

# Histoire de la PTG : Comment en est-on arrivé là ?

## Total Knee Arthroplasty: How did we get there?

M Ollivier, S Parratte, X Flecher, PO Pinelli, JM Aubaniac, JN Argenson

Institut du mouvement et de l'appareil locomoteur - Hôpital Sainte Marguerite - Aix-Marseille Université - CHU Marseille.

### Mots clés

- ◆ Prothèse totale de genou
- ◆ Histoire
- ◆ Dessin des implants
- ◆ Alignement mécanique
- ◆ Alignement cinématique
- ◆ Anatomie du genou

### Résumé

Depuis les prothèses totales de genou utilisées par les pionniers du XIX<sup>ème</sup> siècle jusqu'au implant anatomique les plus modernes, nous n'avons eu de cesse d'améliorer notre technique et notre matériel.

L'objectif de ce travail est de survoler l'histoire de la prothèse de genou en insistant sur l'évolution du dessin et de la philosophie de nos implants afin de répondre à la question, comment en sommes-nous arrivés là ?

Nous détaillerons ainsi les modifications des contraintes des implants posés en première intention pour des patients de plus en plus demandeurs d'implants fiables et durables, mais surtout d'une qualité de vie postopératoire restaurée.

Nous analyserons ensuite les changements de philosophie de pose (notamment au niveau du respect/sacrifice du ligament croisé postérieur) et le dessin des implants (pour tendre vers un genou à la cinématique la plus proche du genou natif).

Nous discuterons enfin de la pertinence des dogmes établis par les pionniers. Les travaux de recherche des dernières années ayant battu en brèche la logique mécanique du siècle dernier par l'avènement d'une logique moins plus cinématique ou individualisée.

### Keywords

- ◆ Total knee arthroplasty
- ◆ History
- ◆ Implants design
- ◆ Mechanical alignment
- ◆ Kinematic alignment
- ◆ Knee anatomy

### Abstract

Since the early days, implants designed by the pioneers to the most modern anatomic implant, we have been constantly improving our technique and material to release patients from their painful knees.

The objective of this work is to fly over TKA (Total knee arthroplasty) history with a special emphasis for procedures, philosophy and implants, design to answer the question "How did we get here?"

We will detail modifications in terms of implants, constraints used to treat knee arthritis for patients looking for safe, reliable and durable implants, as well as a restored quality of life.

We will then analyze main changes in TKA philosophy (especially regarding posterior cruciate ligament conservation/sacrifice) and implants, design (to move towards prosthetic knees as close as possible to patients, native knees).

Finally, we will discuss the actual relevance of dogmas established by the pioneers, when mechanical perfection was described as a mandatory to provide optimal results. « *Tantale servit aux Dieux les membres de son fils Pélopes. Les Dieux indignés ressuscitèrent Pélopes. Une épaule déjà mangée par Déméter fut remplacée par une articulation d'ivoire.* »

Ovide, *Métamorphoses*, livre VI, vers 410-415 avant J-C.

## Historique du développement des implants articulaires de genou

### Les premières prothèses

Les premières tentatives d'élaboration de prothèses de genou datent du XIX<sup>ème</sup> siècle (Verneuil, Péan, Gluck). Ces premiers essais utilisaient initialement des matériaux comme le caoutchouc, le platine ou l'ivoire (voir citation ci-dessus). L'amélioration

des alliages métalliques comme le Vitallium constituait une première avancée notable (1938 - Venable & Stuck). La plupart des échecs étaient liés à des infections souvent mortelles.

### Les prothèses à charnière

L'introduction de la première prothèse à charnière (Börje Walldius) signe les débuts de l'ère moderne pour l'arthroplastie du genou. Les premiers résultats chez des patients extrêmement handicapés et porteurs d'importantes déformations restaient limités par la fragilité du matériau employé (acrylique, puis inox). De nombreux modèles furent développés jusqu'à aujourd'hui, améliorant progressivement matériaux et modes de fixation et notamment en cas de révision ou de déformations sévères (prothèses LL, Stanmore, Guepar, Link, etc.). (Fig.1). Initialement ces prothèses étaient à charnière fixe, une première évolution importante a été accomplie avec l'apparition des premières charnières rotatoires de Trillat ou de Lagrange-Letournel.

### Correspondance :

Jean-Noël Argenson

Chirurgie orthopédique et traumatologie - Hôpital Sainte Marguerite - 270, bd Sainte Marguerite - 13009 Marseille.

Tel : 04 91 74 49 97 - E-mail : Jean-noel.ARGENSON@ap-hm.fr

Disponible en ligne sur [www.acad-chirurgie.fr](http://www.acad-chirurgie.fr)

1634-0647 - © 2017 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

DOI : 10.14607/emem.2017.2.005



Figure 1. Prothèse Totale de Genou Guépar.



Figure 2. Prothèse Totale Condylar de John Insall.

### Les prothèses à glissement (1)

Les premières prothèses à glissement non contraintes et préservant le pivot central ont été développées par Gunston. La prothèse bénéficiait d'une fixation cimentée à base de polyméthyl-méthacrylate. La prothèse *Imperial College London Hospital* de Freeman & Swanson puis la prothèse *Total Condylar* de J. Insall étaient deux modèles semi-contraints sacrifiant les ligaments croisés et assurant la stabilité par la congruence des cuvettes tibiales.

Le modèle *Total Condylar* et son implant tibial avec tige a longtemps été considéré comme un « *gold standard* », du fait de sa longévité. La prothèse Insall-Burstein fut présentée comme une amélioration du modèle *Total Condylar*, (Fig.2) postéro-stabilisée par un système de pivot tibial/cage fémorale, tentant de recréer artificiellement la fonction du LCP, en facilitant le mouvement de « *roll-back* ».



Figure 3. Prothèse de genou à conservation du LCP.

### Evolutions modernes du dessin des implants utilisés en chirurgie prothétique du genou

#### Implant à conservation du croisé postérieur (2)

Le ligament croisé postérieur (LCP) est l'un des stabilisateurs passifs les plus importants de l'articulation fémoro-tibiale. Les prothèses conservant le croisé postérieur (Cruciate Retaining : CR) (Fig.3), présentent l'inconvénient d'une difficulté d'équilibrage de la tension du LCP.

Le concept de PTG à conservation du croisé postérieur, permet d'éviter la réalisation d'une boîte de postéro-stabilisation et représente donc une solution plus conservatrice pour le fémur. Néanmoins la réalisation de ce type d'implant sous-entend une intégrité du ligament croisé postérieur, chez un sujet (le plus souvent) de plus de 50 ans. Cette réflexion pose la question du contrôle dynamique du tiroir antéro-postérieur des PTG CR. Les études les plus récentes comparant implants postéro-stabilisés (PS) et à conservation du croisé (CR), ne retrouvent pas de différence cinématique lors du fonctionne-



Figure 4. Prothèse de genou à plateau mobile.

ment de ces deux types d'implants. Plusieurs études ont néanmoins décrit des cinématiques paradoxales des implants CR avec généralement un déplacement antérieur (paradoxal) du composant fémoral associé à une rotation externe (inversée) lorsque la flexion augmente. Les méta-analyses et revues de la littérature ne montrent pas de supériorité des implants CR sur les implants PS : il n'en reste pas moins que 75 % des PTG de première intention effectuées au Royaume-Uni en 2012 étaient PTG-CR. Cette large suprématie semble inversée en France, même si les études les plus récentes ne permettent pas de trancher quant à la supériorité d'un des dessins à la fois sur le plan clinique, radiologique et cinématique.

### Plateau mobile (PM) 1990 ou plateau fixe (PF) (3)

Les implants à plateau mobile (PM) (Fig.4) ont été développés dans le but de proposer une cinématique de genou plus physiologique par rapport aux implants classiques à plateau fixe (PF). La philosophie des PTG PM repose sur l'amélioration de la cinématique articulaire susceptible de diminuer l'usure du polyéthylène en augmentant la surface de contact qui se déplace ainsi avec les mouvements du genou.

Pour cela l'implant en polyéthylène est laissé mobile en rotation au-dessus de l'implant tibial en flexion du genou.

Les résultats à long terme des implants PM sont excellents (4) même si un examen approfondi de la littérature ne montre aucune différence dans le taux de survie à long terme ou de différence fonctionnelle significative entre implants PM et PF.

### Implant High-flexion (5)

L'objectif de la conception d'un implant high-flexion (HF) est de créer un implant sûr et durable permettant une flexion  $>120^\circ$ . Les premières prothèses à conservation du croisé postérieur présentaient une cinématique de flexion-extension aux amplitudes extrêmes assez erratiques comportant un « roll-back » fémoral avec une potentielle translation antérieure. Ces éléments ont poussé au développement d'implants HF postéro-stabilisés (PS). Le phénomène de « roll-back » est inévitable pour obtenir une flexion satisfaisante puisqu'il se produit aussi dans le genou sain. Ainsi le développement d'implant HF sous-entend la création d'un plot de stabilisation modifié susceptible d'accueillir l'implant fémoral « en douceur » lors du « roll back », associée à une augmentation de la surface articulaire de contact lorsque la flexion est supérieure à  $90^\circ$ . Une autre considération importante dans la conception du plot tibial et de la came fémorale est la résistance à la subluxation du système lors des mouvements extrêmes de flexion.

### Implants ultra-congruents (PTG UC) (6)

La justification des conceptions dites « ultra-congruentes » est de minimiser l'usure du polyéthylène en améliorant la conformité insert-carter fémoral et ainsi de réduire les zones de pics de contraintes lors du mouvement (la surface de contact et donc de répartition des contraintes étant maximale durant toute l'amplitude du mouvement). De plus la création de système de plot-came des inserts PS a conduit à des « considérations mécaniques » nouvelles : augmentation du besoin de stabilité et des contraintes lors de la flexion, production de contraintes importantes déplacées sur le système de came produisant des débris.

Ces inserts sont caractérisés par une lèvre antérieure élevée et un creusement plus important au milieu du plateau de l'insert en polyéthylène ; l'idée de base étant d'empêcher une subluxation antérieure du fémur pendant la flexion. Par ailleurs, cette amélioration de la congruence devrait théoriquement éviter les pics de contraintes et fournir une meilleur



Figure 5. Plateau tibial asymétrique des prothèses modernes anatomiques.

leure répartition des forces de stress. Lors de l'utilisation de ces inserts, la stabilité du genou est assurée par une articulation plus anatomique qui suppose un équilibrage de la tension des parties molles optimal.

Ces implants ne nécessitent pas de système de came, évitant le risque de conflit avec le plot central, l'usure du polyéthylène de la came et le risque de fracture des condyles liée à une résection osseuse importante pour la créer la boîte de postéro-stabilisation inter-condylienne.

Les premiers implants UC ont été rapidement retirés du marché suite à une série de descellements précoces et de limitation importante des amplitudes postopératoires chez certains patients. La seconde génération d'implants est caractérisée par les mêmes avantages potentiels en termes d'usure, mais permet de diminuer les contraintes de cisaillement sur l'implant tibial et augmente les amplitudes articulaires autorisées.

L'analyse de la littérature sur la cinématique des inserts modernes UC comparée aux inserts CR et PS, démontrent une plus grande tendance à la translation antéro-postérieure du fémur au-dessus du tibia.

### Implants (plus) anatomiques 2015 (7,8)

L'évolution la plus récente des implants posés dans le cadre d'une prothèse totale de genou, concerne sans doute l'avènement d'implants « anatomiques ». En effet, les formes du fémur distal et du tibia proximal sont d'être extrêmement variables d'une région géographique à l'autre mais chez un même sujet. Ces variations rendant impossible l'adaptation parfaite Morphologie-Prothèse pour un chirurgien utilisant des implants standards.

Une erreur dans la taille des implants ou leur positionnement pour coller au mieux à l'anatomie individuelle aura des répercussions sur la cinématique prothétique et créera de potentiel conflit avec les parties molles environnantes.

Des implants plus anatomiques avec notamment une augmentation de la taille millimétrique (et donc plus de tailles disponibles) pour l'implant fémoral et un plateau tibial asymétrique/anatomique (permettant un meilleur compromis couverture de la surface osseuse/rotation axiale de la surface) pour le versant tibial ont été développées depuis 2015. (Fig.5) Les premiers résultats *Ex-vivo* pour le plateau tibial et *In-Vivo* pour l'implant fémoral sont très encourageants mais demande une confirmation par des études *In-Vivo* comparatives.

## Évolution de la philosophie de pose des implants : une histoire d'alignement

Les pionniers de la PTG ont été confrontés à des patients en situation de handicap extrême et ont recherché une solution durable et fiable à leur proposer. Ainsi, les premières prothèses étaient des charnières non anatomiques. Par rapport au traitement médical ou arthrolyse d'emblée les résultats étaient bons. Cependant, un grand nombre de patients ont continué à ressentir des douleurs et des taux élevés de reprise ont été signalés.

La solution à ces problèmes a été trouvée dans la conception d'implants non contraints. Afin d'éviter une défaillance prématurée et la nécessité d'une révision précoce, l'idée d'aligner chaque composant sur l'axe mécanique du membre inférieur été prônée comme règle absolue.

La technique chirurgicale de référence correspondait ainsi à la pose d'implant avec des coupes osseuses fémorales distales et tibiales effectuées perpendiculairement à l'axe mécanique et une libération des tissus mous réalisée pour équilibrer les espaces en flexion et en extension.

Cette philosophie d'alignement neutre a été contestée par Parratte et al (9) qui ont analysé la survie à 15 ans de PTG selon l'alignement post-opératoire du membre opéré. Ils ont trouvé dans leur série de 398 PTG cimentées de seconde génération que non seulement un alignement post-opératoire neutre (HKA =180+/- 3°) ne protégeait pas du risque de descellement, mais surtout que les patients porteurs de prothèses non parfaitement alignées présentaient une survie tout à fait comparable aux patients parfaitement alignés.

Avec une population de patients de plus en plus exigeants une attention particulière a été portée sur des objectifs d'alignement. Bellemans et coll (10) ont montré qu'un interligne articulaire formé par le valgus relatif du fémur distal et le varus relatif du tibia proximal, conduit à une articulation inclinée avec une moyenne de 1.8° de varus chez des sujets sains de sexe masculin et 0.8° chez les sujets sains de sexe féminin. Les résections osseuses alignées sur un axe mécanique neutre ne permettent pas de rétablir l'anatomie « physiologique » des ligaments collatéraux. En conséquence, une libération interne est souvent nécessaire pour équilibrer l'espace en l'extension et la laxité naturelle du ligament collatéral latéral en flexion. L'augmentation de la satisfaction de nos patients suppose peut-être un changement du paradigme d'alignement des implants vers une restauration « cinématique » et non mécanique du genou prothésé. Cela doit être mis en balance avec le risque majoré d'implants positionnés en dehors de la zone de sécurité « outliers » résultant en des positionnements excessifs en varus de l'implant tibial et favorisant descellement et usure précoces.

Les défenseurs d'une restauration cinématique et individuelle de l'alignement du membre inférieur après PTG, se basent notamment sur les résultats des prothèses unicompartimentales du genou. Ces implants ont démontré d'excellents résultats fonctionnels, une usure minimale et une excellente survie même dans un contexte de déformation constitutionnelle conservée. Une autre illustration de ce paradoxe a été rapportée dans plusieurs études démontrant l'absence d'effet néfaste du défaut d'alignement mécanique des implants, un défaut de correction même involontaire dans la correction de la déformation en varus pouvant même conduire à de meilleurs résultats par rapport à la restauration d'un alignement neutre (11). Il est également pertinent de noter que l'interligne articulaire des patients présentant un varus constitutionnel reste relativement parallèle au sol (12), ce qui peut être mécaniquement bénéfique après la pose d'une prothèse. De nouvelles techniques alternatives de pose de PTG tendant à maintenir l'alignement du membre dans sa déformation d'origine ont été récemment mises au point. Ces techniques peuvent être définies comme « entièrement anatomiques » lors-

que l'alignement pré-arthrosique du patient est rétablie ou « hybride » quand seulement une partie de l'anatomie du patient est préservée (compromis d'alignement) (13,14).

Les techniques d'alignement cinématique ou anatomique peuvent aussi utiliser des repères pour définir l'orientation 2D et 3D des implants, fémoral et tibial, grâce à un ancillaire utilisant la technologie d'instrumentation sur mesure « Patient Specific Instrumentation » (PSI) (15), ou par l'utilisation d'un ancillaire basée sur la navigation (14). Chaque option a ses avantages et ses inconvénients : l'instrumentation classique est comparativement peu coûteuse, mais a pour principal inconvénient la difficulté à juger en peropératoire du positionnement final des implants ; la création d'un ancillaire PSI nécessite l'utilisation d'une imagerie 3D préopératoire supplémentaire, et entraîne un temps de planification préopératoire potentiellement long impliquant le chirurgien. La navigation bien que chronophage permet de prendre en compte les particularités de l'usure articulaire, d'optimiser l'obtention d'une balance ligamentaire optimale en définissant avec précision l'anatomie du patient et les corrections nécessaires.

## Conclusion

Depuis le début de leur utilisation par les pionniers au siècle dernier, les chirurgiens n'ont eu de cesse d'innover dans le domaine de la chirurgie prothétique du genou.

Si les modifications du dessin des implants semblent se stabiliser depuis quelques années, la philosophie de pose des implants est en plein changement de paradigme.

Les prochaines années permettront de différencier parmi les récentes innovations, celles qui constituent un vrai progrès (16).

## Discussion en séance

### Questions d'Y Catonné

1. Causes des reprises ?

#### Réponse

Instabilité, descellement, usure, infection.

2. L'usure n'est-elle pas un problème majeur ?

#### Réponse

Cela l'était au début, c'est moins le cas avec les progrès des techniques chirurgicales et des matériaux de frottement, en particulier le polyéthylène.

3. Nécessité des registres ?

#### Réponse

Les registres sont importants afin de donner une idée de la pratique globale d'un pays en incluant des utilisateurs fréquents et moins fréquents ; ils ont des limites comme l'absence de prise en compte du résultat rapporté par les patients.

### Question de J Caton

Quels sont les facteurs qui sont à l'origine de la différence entre le nombre de prothèses en France et aux USA ?

#### Réponse

Il y a très certainement des facteurs acquis comme l'obésité avec comme conséquence l'arthrose qui affecte en premier lieu le genou ; ceci étant dit la courbe d'implantation des prothèses de genou en France connaît une augmentation nettement plus importante que celle des prothèses de hanche.

### Question de G Morvan

Les mauvais résultats ne sont-ils pas dus à une mauvaise correction des axes ?

#### Réponse

Les défauts de correction des axes vont avoir plusieurs conséquences néfastes : instabilité, descellement et usure précoces.

**Question de D Poitout**

Résultat de la chirurgie mini-invasive et des prothèses céramiques ?

**Réponse**

La chirurgie mini-invasive a permis de réduire le traumatisme musculaire et accélérer la récupération, mais elle ne doit pas être source d'erreur chirurgicale par mauvaise exposition ; au niveau du genou les seules expériences d'utilisation de la céramique sont limitées au Japon, dans quelques centres seulement, sans adoption par la communauté internationale.

**Références**

1. Insall J, Tria AJ, Scott WN. The total condylar knee prosthesis: the first 5 years. *Clin Orthop Relat Res.* 1979;145:68-77.
2. Scott RD, Volatile TB. Twelve years' experience with posterior cruciate retaining total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;205:100-7.
3. Dennis DA, Komistek RD, Mahfouz MR, Haas BD, Stiehl JB. In Vivo Determination of Knee Kinematics: A Multicenter Analysis of 811 Total Knee Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and related Research.* 2003;416:37-57.
4. Argenson JN, Parratte S, Ashour A, Saintmard B, Aubaniac JM. The outcome of rotating-platform total knee arthroplasty with cement at a minimum of ten years of follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94:638-44.
5. Argenson JN, Scuderi GR, Komistek RD, Scott WN, Kelly MA, Aubaniac JM. In vivo kinematic evaluation and design considerations related to high flexion in total knee arthroplasty. *J Biomech.* 2005;38:277-84.
6. Mazzucchelli L, Deledda D, Rosso F, Ratto N, Bruzzone M, Bonasia DE, Rossi R. Cruciate retaining and cruciate substituting ultracongruent insert. *Ann Transl Med.* 2016;4:2.
7. Dai Y, Scuderi GR, Penninger C, Bischoff JE, Rosenberg A. Increased shape and size offerings of femoral components improve fit during total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22:2931-40.
8. Stulberg SD, Goyal N. Which Tibial Tray Design Achieves Maximum Coverage and Ideal Rotation: Anatomic, Symmetric, or Asymmetric? An MRI-based study. *J Arthroplasty.* 2015;30:1839-41.
9. Parratte S, Pagnano MW, Trousdale RT, Berry DJ. Effect of postoperative mechanical axis alignment on the fifteen-year survival of modern, cemented total knee replacements. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92:2143-9.
10. Bellemans J, Colyn W, Vandenuecker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470:45-53.
11. Vanlommel L et al. Slight undercorrection following total knee arthroplasty results in superior clinical outcomes in varus knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;2:2325-30
12. Victor JM et al. Constitutional varus does not affect joint line orientation in the coronal plane. *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472:98-104.
13. Howell SM et al. Does varus alignment adversely affect implant survival and function six years after kinematically aligned total knee arthroplasty? *Int Orthop.* 2015;39:2117-24.
14. Hutt JR et al. Kinematic TKA using navigation: Surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016;102:99-104.
15. Calliess T, Bauer K, Stukenborg-Colsman C, Windhagen H, Budde S, Ettinger M. PSI kinematic versus non-PSI mechanical alignment in total knee arthroplasty: a prospective, randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016; Apr 27. [Epub ahead of print]
16. Young SW, Walker ML, Bayan A, Briant-Evans T, Pavlou P, Farrington B. The Chitranjan S. Ranawat Award : No Difference in 2-year Functional Outcomes Using Kinematic versus Mechanical Alignment in TKA: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475:9-20.