

**Innovation et précision d'une
technologie avancée de soins au service
du patient.**

**Impact global de l'acquisition d'une
solution robotique pour l'optimisation
de la chirurgie prothétique du genou.**

Professeur Thierry THIRION

Chirurgie de l'Appareil Locomoteur –
Traumatologie

CHU de Liège

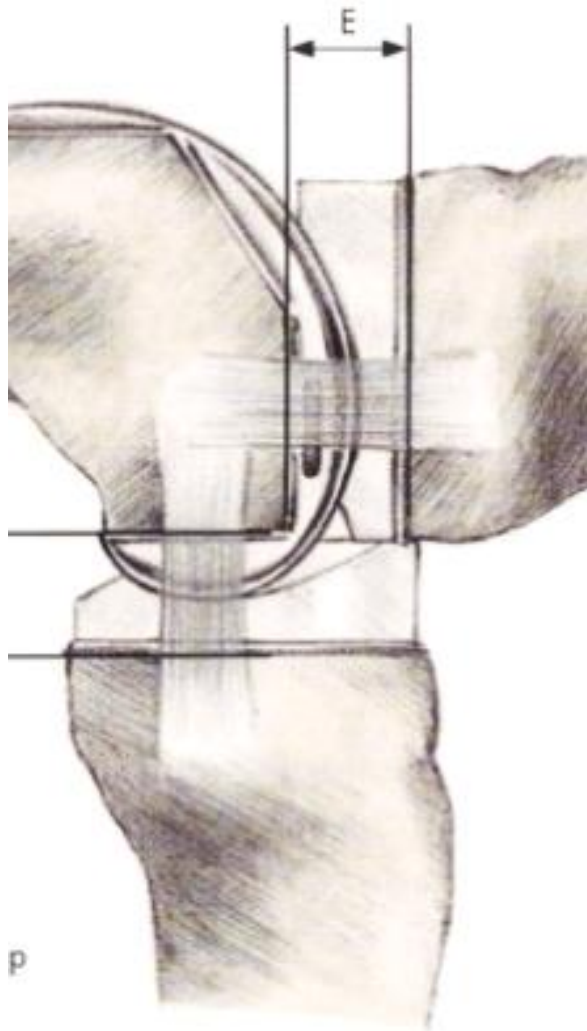
Le 05 décembre 2024



Prothèse Totale de Genou (PTG) : Indications

- La PTG est une avancée majeure en chirurgie orthopédique.
- Traitement commun de la gonarthrose sévère et des pathologies d'origine inflammatoire.
 - Échec du traitement conservateur.
- Objectif d'une PTG : genou indolore, mobile et stable :
 - Modification des attentes des patients.
 - Opérés plus jeunes.



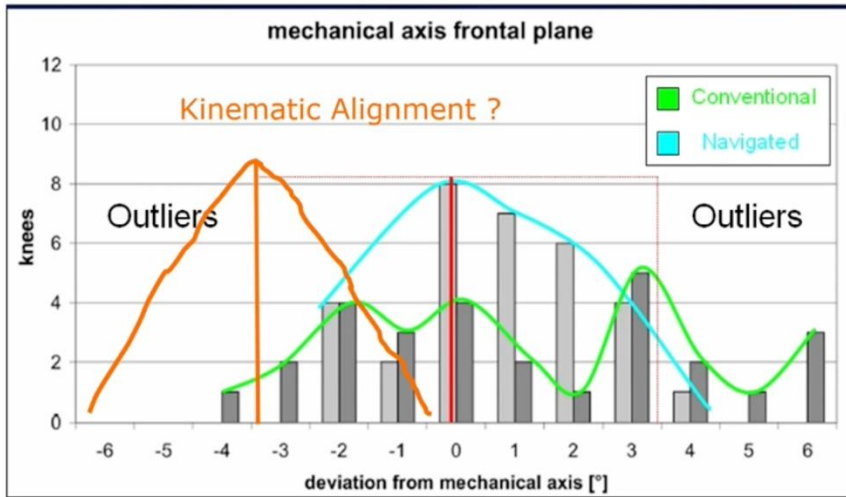


Technique opératoire et défis

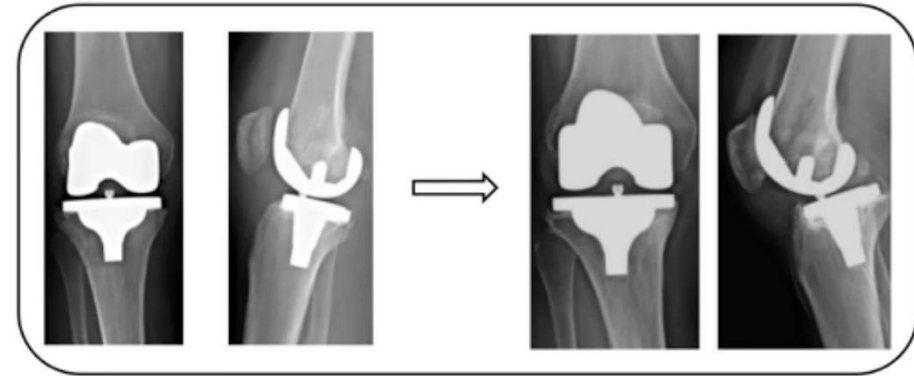
- 10 à 20 % des patients restent insatisfaits.
 - 60.000 cas en 2030 (France).
- Causes multiples :
 - Douleurs persistantes.
 - Mauvais positionnement des implants.
 - Échec fonctionnel.
- Défis :
 - Amélioration de la sélection des patients.
 - Rigueur de la planification.
 - Prothèses de dernière génération.
 - Biomécanique plus proche du genou natif.
 - Améliorer la durée de vie des implants.



Limites...



KA 4ys FU → 84% Survival rate....



Apport de la robotique dans les PTGs

- Optimisation de l'alignement et du positionnement des implants.

- Standardisation de la procédure et réduction du risque d'erreurs.

- Possibilité d'un équilibrage prédictif des tissus mous.

- Aseptic loosening
- Implant malalignment
- Implant malposition
- Mechanical complications
- Mechanical failure
- Revision total knee arthroplasty

Review > [Expert Rev Med Devices](#). 2023 Jul-Dec;20(12):1105-1117.

doi: 10.1080/17434440.2023.2282744. Epub 2023 Nov 24.

Mechanical complications after total knee arthroplasty

Patrick Connolly ¹, Stefan Coombs ¹, Ran Schwarzkopf ¹

Ça n'a pas fonctionné du premier coup...

1983

ARTHROBOT
Limb Positioning



Andronic Devices

1992

ROBODOC
Knee, Hip



Integrated Surgical Systems

2001

Acrobot
Knee



The Acrobot Company

2003

CASPAR
Knee



URS Ortho / MAQUET

2006

BRIGIT
Knee

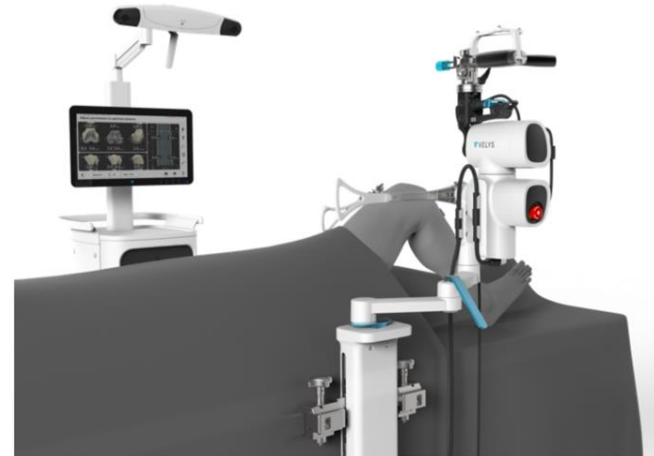


Medtech / Zimmer

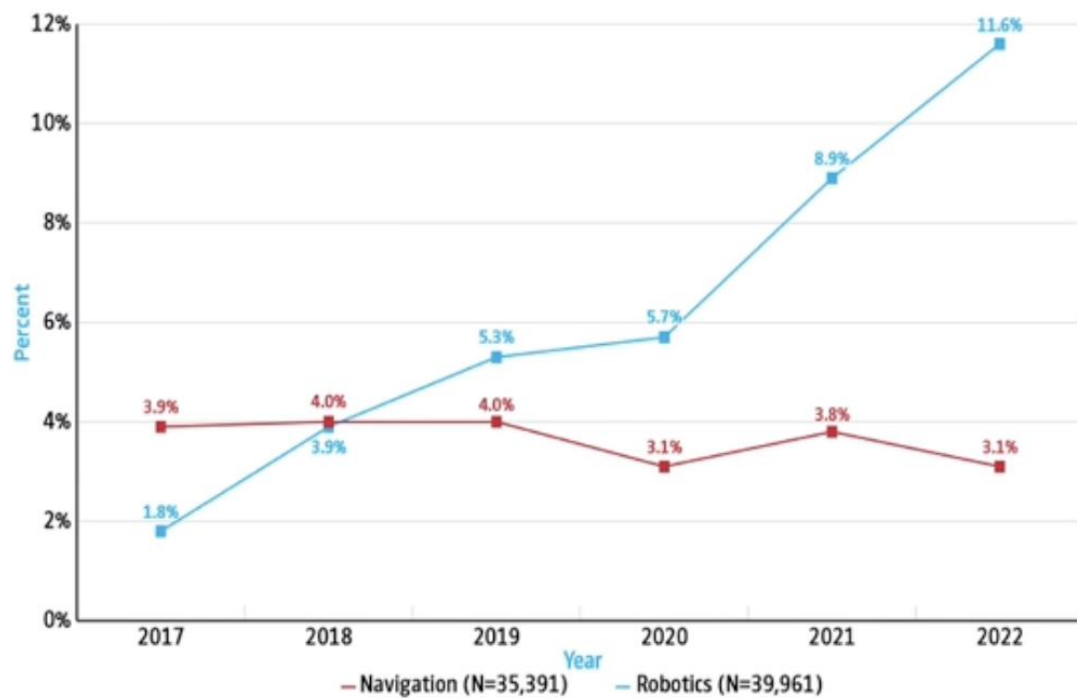
Historique de la robotique en chirurgie du genou

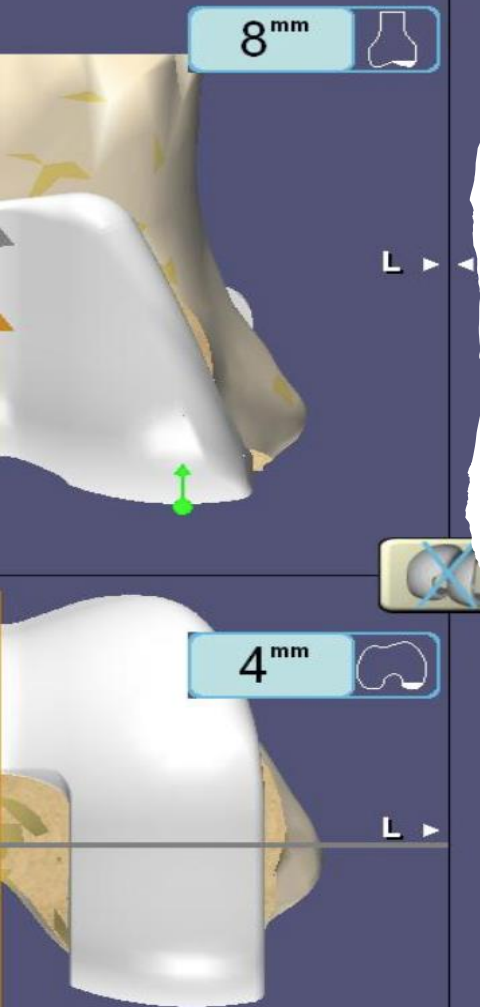
- Premiers robots en orthopédie : années 1980 (ACROBOT).
- MAKO® (2000) :
 - Premier robot dédié à la chirurgie du genou.
 - Nécessité d'un scanner.
- Intégration de l'IA pour les dernières générations :
 - Planification dynamique.
 - Ajustement en temps réel des paramètres.

Différentes solutions robotiques disponibles



Robotic TKA (US)





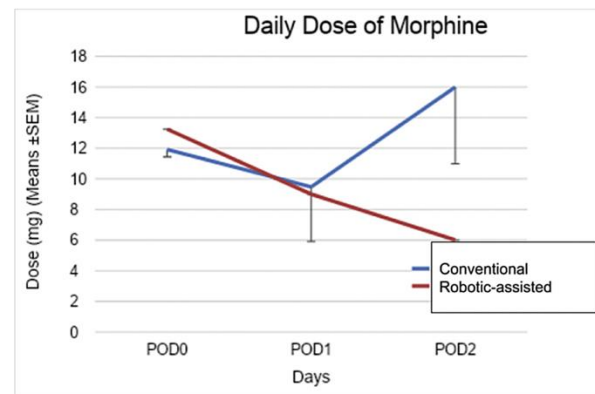
Comment justifier cette évolution technologique ?

- Méthodes traditionnelles :
 - Taux d'insatisfaction.
 - Expérience du chirurgien.
 - Équilibre entre contraintes, stabilité et mobilité.
 - **Pas de retour en temps réel :**
 - Précision des coupes.
 - Alignement.
 - Douleur fémoro-patellaire et instabilité rotulienne fréquentes.



Avantages de la robotique

- Amélioration de la précision du positionnement des implants :
 - Résultats cliniques, diminution du temps d'hospitalisation.
 - Taux de survie des implants.
- Réduction des complications post-opératoires (douleur, saignements).
 - Moins de lésions des tissus mous.
- Meilleure récupération fonctionnelle et réduction du temps d'hospitalisation.
- Pas de complication spécifique lors de l'utilisation d'un robot.



Review > Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2021 Nov;29(11):3585-3598.

doi: 10.1007/s00167-020-06283-z. Epub 2020 Sep 25.

MAKO CT-based robotic arm-assisted system is a reliable procedure for total knee arthroplasty: a systematic review

Cécile Batailler^{1 2}, Andrea Fernandez³, John Swan³, Elvire Servien^{3 4}, Fares S Haddad^{5 6}, Fabio Catani⁷, Sébastien Lustig^{3 8}

Performances des systèmes robotiques

- Les avantages de la robotique ne sont pas clairement définis :
 - Grande hétérogénéité des systèmes – évaluation propre.
- Impact positif sur le résultat des soins au patient.
- Pas de complication spécifique (safe).

	MAKO	NAVIO/CORI	OMNIBOT	ROSA	VELYS	TSOLUTION ONE
IMAGERIE	Basé sur l'imagerie	Sans imagerie	Sans imagerie	les deux	Sans imagerie	Basé sur l'imagerie
AIDE À LA COUPE	Bras de robot haptique avec lame	Fraise intelligente	Lame de scie manuelle	Lame de scie manuelle	Lame de scie manuelle	Fraise automatique robotisée
CONTRÔLE DES CONTOURS	Oui	Basé sur les contours	Non	Non	Non	Oui
ANALYSE DES ESPACES DÉPENDANTS	Manuelle	Manuelle	Standardisé et intégré	Manuelle	Mécanique	Aucune
ENCOMBREMENT	Autonome - Volume important	Portable	Fixé au patient	Autonome - Volume important	Monté sur table - volume réduit	Autonome - Volume important
IMPLANT	PTG / Uni restreint à Stryker	PTG / Uni restreint à Smith & Nephew	PTG restreint à Corin	PTG / Uni restreint à Zimmer-Biomet	PTG / Uni restreint à Depuy-Sytnhes	PTG / Uni Système ouvert
COURBE D'APPRENTISSAGE	7-43 cas	11-29 cas	Aucune information	5-15 cas	Aucune information	12-19 cas
RÉSULTATS PUBLIÉS	48 clinical studies	26 clinical studies	10 clinical studies	8 clinical studies	1 clinical studi	12 clinical studies

Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery
<https://doi.org/10.1007/s00402-022-04632-w>

KNEE ARTHROPLASTY



The evolution of robotic systems for total knee arthroplasty, each system must be assessed for its own value: a systematic review of clinical evidence and meta-analysis

Hannes Vermue¹ · Cécile Batailler² · Paul Monk^{3,6} · Fares Haddad⁴ · Thomas Luyckx⁵ · Sébastien Lustig²

Received: 27 March 2022 / Accepted: 18 September 2022
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

Attractivité technologique et visibilité institutionnelle

Développement de centres d'excellence pour attirer plus de patients et experts

- Capacité de prise en charge.

Partenariats avec l'industrie

- Technologies de pointe.

Collecte de données

- Études cliniques.

Création de contenu éducatif

- Vidéos, webinar, partages d'expériences.

Les différentes solutions robotiques en chirurgie orthopédique

Options, spécificités et capacités technologiques



Types de robots en chirurgie



- Systèmes passifs : Navigation avec placement manuel.



- Systèmes semi-actifs : Interaction robot-chirurgien avec feedback en temps réel.

Mako, Velys



- Systèmes actifs : Réalisation autonome des coupes chirurgicales.

Flexibilité limitée durant l'intervention

Robots MAKO[®] et VELYS[®]

- MAKO (Stryker) :
 - Planification 3D avec CT-scanner, assistance d'un technicien.
 - Volumineux.
- VELYS (DePuy-Synthes) :
 - Contrôle direct, bilan radiographique standard.
 - Données en temps réel, équilibrage ligamentaire dynamique.
 - Transportable.

stryker[®]

2004
MAKO[®] RIO



 DePuy Synthes
THE ORTHOPAEDICS COMPANY OF  Johnson & Johnson

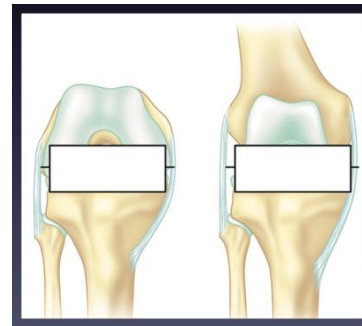
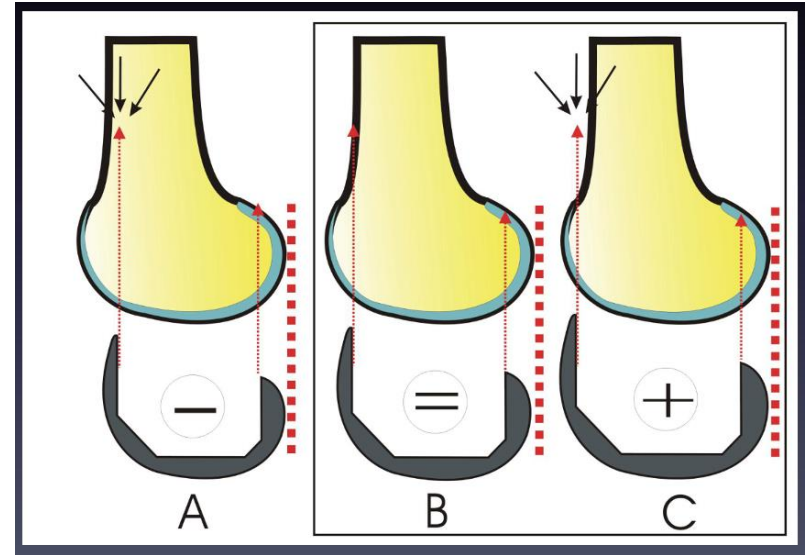
Systèmes robotiques intelligents

- Robots de 4^{ème} génération :
 - Systèmes augmentés par l'IA.
 - Objectif : apporter aux systèmes semi-actifs une capacité d'adaptation en fonction des circonstances opératoires.
- Robots téléportés et hybrides :
Réduction du caractère invasif et précision accrue.



Planification

Importance de la planification préopératoire pour minimiser les complications.



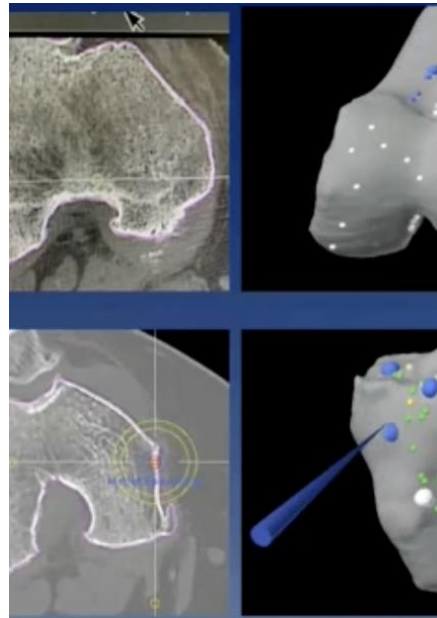
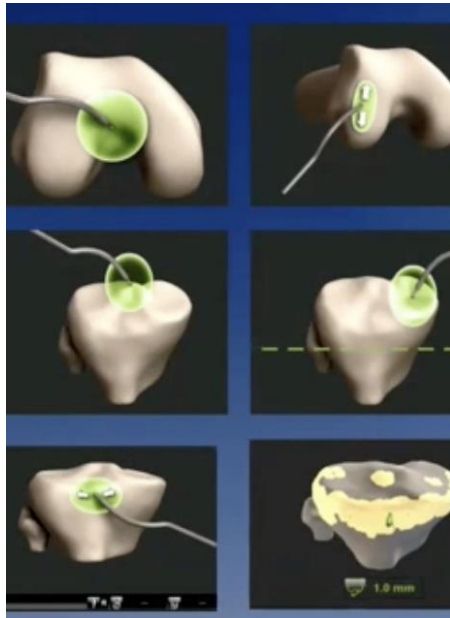
Exigences

- Ré-axer le membre inférieur.
- Conserver l'interligne en situation anatomique.
- Obtenir un genou stable tant en extension qu'en flexion.

Épaisseur et orientation des coupes

Basé sur une anatomie de surface / imagerie 3D

Grande précision des
coupes osseuses – PTG
non cimentées.



BJR

■ KNEE

Less iatrogenic soft-tissue damage
utilizing robotic-assisted total knee
arthroplasty when compared with
a manual approach

A BLINDED ASSESSMENT

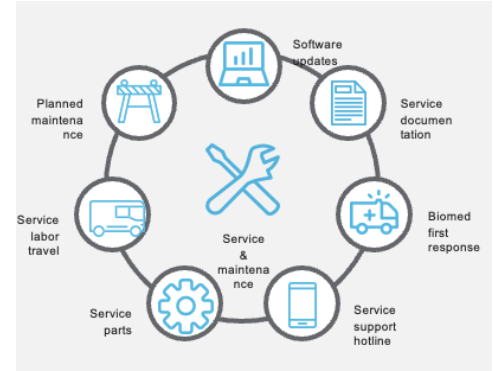
Dès lors...

- Les robots chirurgicaux sont un atout majeur dans la planification et l'exécution des interventions.
- Les avancées futures se concentrent sur l'intégration de l'IA et la réduction des complications.
- Protocoles de récupération rapide après chirurgie (RAAC).
- Peut-on espérer proposer « des genoux oubliés » ?

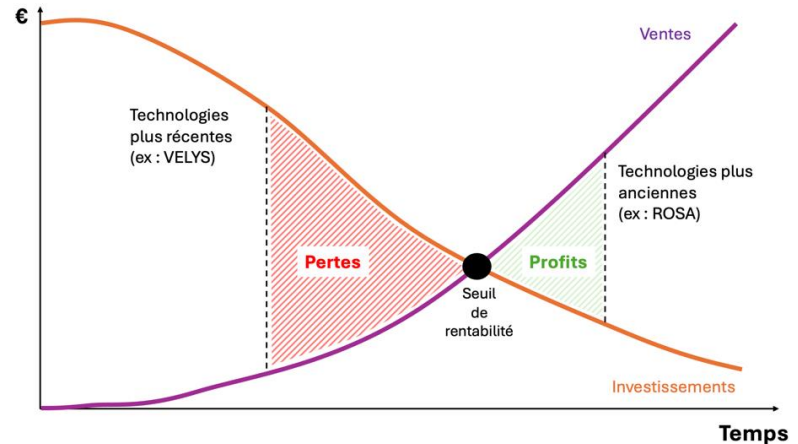


**EXERCICES
CHIRURGIE DU GENOU
UN GUIDE PRATIQUE
DE LA RÉCUPÉRATION**

Coûts initiaux et seuil de rentabilité



- Investissement couteux :
 - Achat du robot.
 - Maintenance.
 - Formation initiale.
- Coûts supplémentaires :
 - Consommables.
 - Mise à jour des logiciels.
- Seuil de rentabilité est entre autre influencé par le moment d'acquisition.
- Pas de recours à des marchés publics classiques.
- Tenir compte des périodes de “non jouissance”.



Retour sur investissement



Augmentation prévue de 20 % de l'activité chirurgicale.

Avancée qualitative



Valorisation de la recherche scientifique et collaboration interdisciplinaire.

Collecte de données

Valorisation de l'axe recherche et enseignement



Rayonnement et réputation institutionnel.



Attractivité chirurgicale renforcée.

Développement d'un centre d'excellence

Impact sur les soins de santé

- Économies sur la stérilisation et les consommables (300-400 euros par intervention).
- Réduction de la durée d'hospitalisation de 25 %.
- Baisse du nombre de séances de rééducation et retour rapide au travail.
- Économie d'échelle potentielle.



Conclusion coûts-bénéfices

- La robotique dans le secteur chirurgical représente un coût initial élevé, mais les bénéfices à long terme incluent une meilleure efficacité, des économies dans les soins, et un rayonnement institutionnel.





Impact de la robotique sur l'équipe chirurgicale

Impact de la robotique sur la pratique et sur l'équipe chirurgicale

- Réorganisation du bloc opératoire.
 - Pour le chirurgien.
 - Pour le personnel infirmier.
 - Pour le patient.
-
- **La robotique transforme la pratique chirurgicale en améliorant la précision et en réduisant les complications.**



Réorganisation du bloc opérateur



May be complex to use and
require significant training



May require additional time
& personnel in the OR



Learning curve
reduced efficiencies²

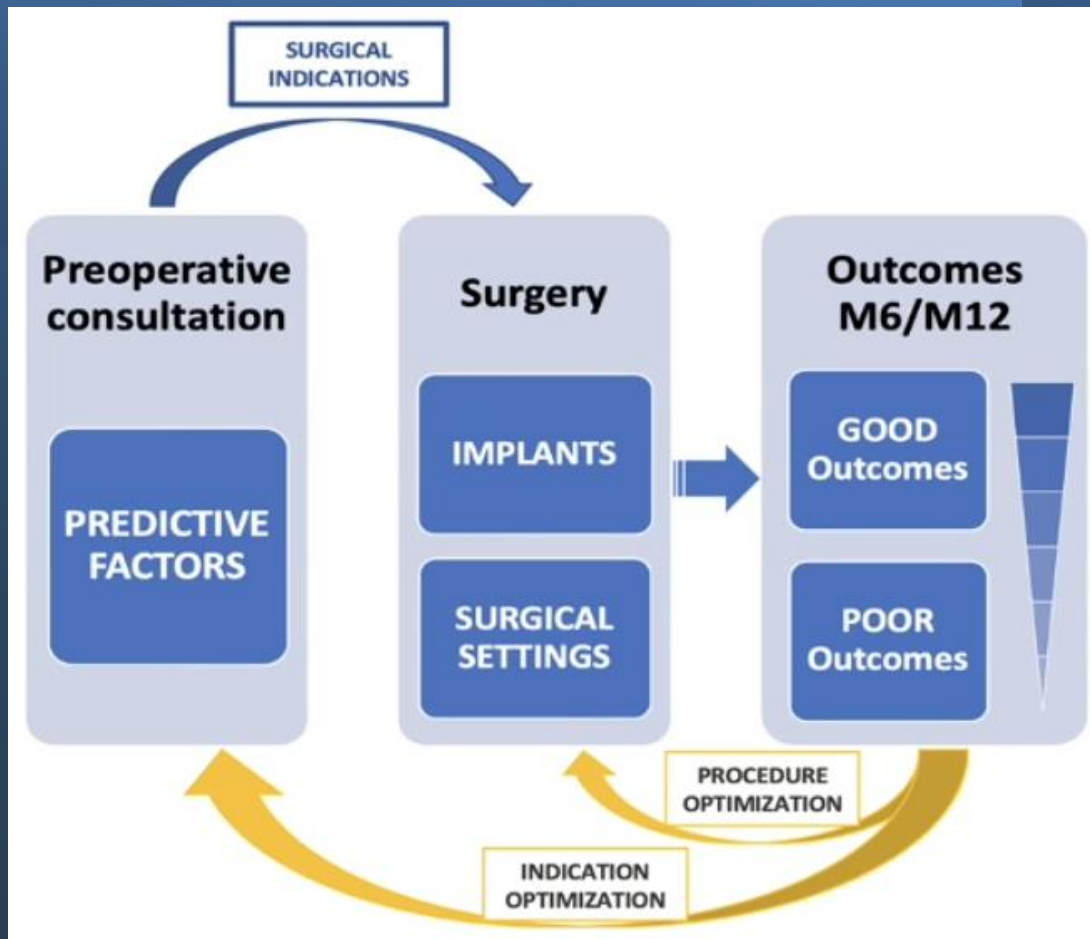
- Installation du robot : nécessite un réaménagement des équipements.
- Courbe d'apprentissage : 20 à 40 interventions pour atteindre un plateau :
 - Augmentation transitoire du temps opératoire.
- Collaboration plus étroite entre les équipes techniques et chirurgicales :
 - Réorganisation complète de la dynamique de groupe.

Bénéfices de la robotique pour le chirurgien



- Précision améliorée et réduction des erreurs humaines :
 - Confiance accrue et bénéfices pour la performance dans les chirurgies prolongées.
 - Alignements personnalisés : risque de cumul des erreurs.
- Simulation préopératoire pour une meilleure planification.
- Retour d'informations en temps réel durant l'opération :
 - Amélioration de l'efficacité opératoire.
- Big DATA et intégration de l'IA.





Impact sur le personnel infirmier



- Modification des pratiques : acquisition de compétences techniques dans le processus chirurgical per- et post-opératoire.



- Rôle accru dans l'installation et la gestion des équipements robotiques.



- Surveillance accrue des patients et récupération accélérée.

Avantages pour le patient

- Diminution du temps de récupération et meilleure gestion de la douleur.
- Placement optimal des implants, moins de révisions chirurgicales.
- Satisfaction accrue grâce à une approche plus précise :
 - Amélioration des scores fonctionnels.



	TOTAL
<i>Nombre moyen d'interventions par an</i>	22.718
Age médian (ans)	68
Age moyen (ans)	67,74

Réorganisation et collaboration

- Nécessité de réorganiser les rôles au sein de l'équipe :
 - Collaboration, communication et délégation, mais...
- Intégration des techniciens spécialisés en robotique.
- Collaboration plus étroite entre le chirurgien et le personnel soignant.

Les petites phrases de Churchill...

*Que la stratégie soit belle
est un fait.*

*Mais n'oubliez pas de regarder
le résultat !...*



Formation continue



Acquisition de compétences technologiques avancées.



Partage des connaissances et intelligence collective.



Importance de la formation continue pour tous les membres de l'équipe :

Impact positif sur le stress (diminution du risque d'erreurs),

Climat de confiance et atmosphère détendue.

Communication et coordination

- Importance d'une communication fluide entre les membres de l'équipe.
- Participation de tous les membres pour une intervention optimale.
 - Modification de la hiérarchie traditionnelle qui régit la vie dans un bloc opératoire.
- Interactions multidisciplinaires :
 - Personnel infirmier, médecins anesthésistes, techniciens, ...
 - Environnement de travail plus participatif et plus horizontal.

L'argent oui... MAIS PAS QUE...

La robotique modifie la dynamique de groupe et renforce la nécessité de collaboration.

Une formation continue est essentielle.

Le bonheur au travail...
c'est possible et rentable !
Il faut idéalement :

- De la valorisation (compétence et responsabilisation),
- Du sens (résultats cliniques),
- Du plaisir (performance et bien-être de l'équipe).

Implications éthiques et réglementaires de la robotique

La chirurgie robotique soulève des questions éthiques et réglementaires majeures.

Une approche éthique et conforme aux normes est essentielle pour garantir des soins de qualité.

Considérations éthiques



Principe de bienfaisance :

- Le robot améliore la précision et réduit la fatigue : profitable au patient.

Principe de non malfaisance :

- La formation continue est cruciale pour ne pas nuire au patient.

Principe d'autonomie :

- Le patient doit être bien informé et donner son consentement éclairé. Il doit disposer "de lui-même".

Principe de Justice :

- Équitabilité pour tout un chacun selon les besoins socialement et médicalement reconnus.

Principe de justice et d'équité



- Il peut être nécessaire de déterminer les patients qui bénéficieront le plus des avantages d'une chirurgie robot-assistée versus manuelle.



- Le coût doit être pris en compte pour une distribution équitable des ressources.



- Le conflit d'intérêts entre industriels, hôpitaux et équipes médicales peut affecter la qualité des soins.

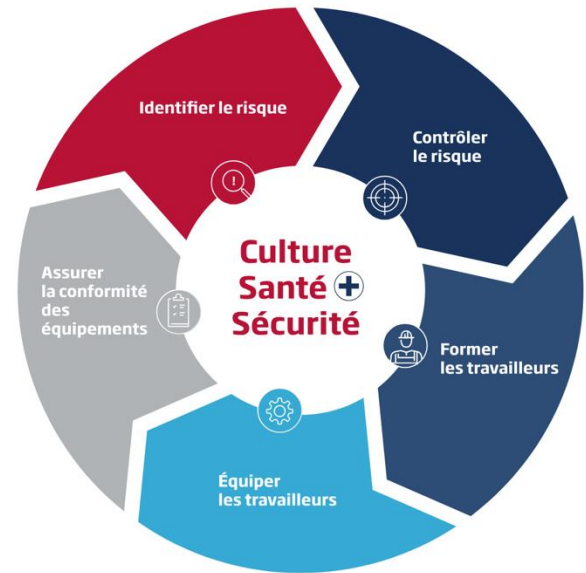
Conformité avec les normes de santé en vigueur

- La robotique chirurgicale doit respecter les normes nationales et européennes :
 - Expérimentation, utilisation, soumission aux normes de fabrication et d'utilisation.
- Le cadre juridique vise à protéger à la fois le patient et les professionnels de santé.



Formation et sécurité

- Importance de la formation continue pour les équipes chirurgicales.
- La sécurité des patients dépend de la compétence des professionnels.
- Simulations et entraînements avant l'introduction d'une nouvelle technologie.



Conclusions et perspectives de la robotique



Avantages de la robotique

- Précision inégalée dans les PTG : meilleur positionnement des implants.
- Réduction des erreurs d'alignement et des complications.
- Retour plus rapide aux activités professionnelles et de loisir.

Réduction des complications

- Minimisation des coupes osseuses et des lésions aux tissus mous = risque peropératoire.
- Moins de complications postopératoires et réduction des taux de révision chirurgicale.
- Gains cliniques et économiques à long terme.

Risques propres au cours de cette intervention

En dépit des soins et prévention, certains accidents ou incidents peuvent se produire au cours de l'opération prévue. Il faut citer:

La blessure de tissus voisins (muscles, tendons).

La blessure de certains vaisseaux peut entraîner une hémorragie abondante. Une transfusion sanguine peut être nécessaire pour compenser les pertes.

Une fracture du fémur ou du tibia, dont le risque est accentué par une ostéoporose et chez le sujet âgé. Elle peut justifier une ostéosynthèse ou une décharge prolongée.

La blessure de nerfs qui peut entraîner, même après reprise chirurgicale, des troubles durables tels qu'une paralysie partielle ou des douleurs irradiées.



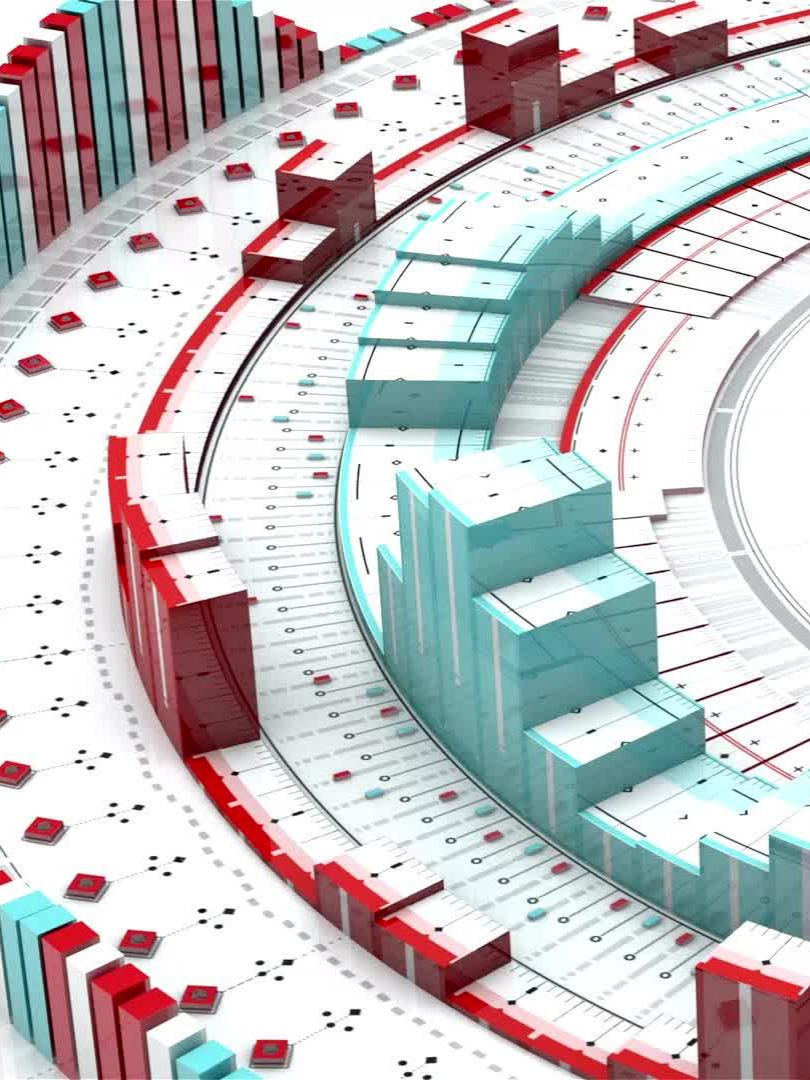
Une infection du site opératoire peut se produire malgré la prévention systématique. Ce risque est accentué par une fatigue générale ou une maladie intercurrente. Une mauvaise hygiène n'est pas simplement compensée par une douche la veille de l'opération.

Un hématome peut se constituer malgré le drainage. Le plus souvent, il reste superficiel, diffuse sous la peau et crée une lésion non douloureuse de le mollet. Dans certains cas exceptionnels, il peut nécessiter une ré-intervention.



Une phlébite peut survenir malgré une prévention systématique par anti-coagulants. Ces phlébites une fois constituées peuvent laisser des séquelles douloureuses durables mais également se compliquer d'embolie pulmonaire. La poursuite du traitement anti-coagulant efficace après l'intervention jusqu'à l'abandon des cannes et la marche sont le plus souvent les meilleurs moyens d'éviter ces complications.

Une nécrose cutanée Une ré-intervention serait alors nécessaire pour nettoyer voire enlever la prothèse. Des séquelles importantes pourraient persister si l'infection ne peut être stérilisée.



Perspectives d'avenir

- Intégration de l'intelligence artificielle pour affiner les systèmes robotiques.
 - Possibilité de chirurgie prédictive.
- Ajustements automatiques pour une précision accrue.
- Expansions futures dans les différents domaines chirurgicaux.
- Notion de cobotique : développement de la personnalisation des actes par une amélioration de la relation entre le robot et le chirurgien.



Formation et cohésion d'équipe

- La formation spécifique renforce les compétences techniques et la cohésion d'équipe.
- Apprentissage initial compensé par une efficacité accrue à long terme.
- Rayonnement institutionnel et valorisation des compétences.



Coûts et accessibilité

- Investissement initial conséquent pour les systèmes robotiques :
 - Consommables non facturables.
- Limitation de l'accessibilité à certains hôpitaux ou patients :
 - Problème éthique.
- Importance du volume d'interventions pour équilibrer les coûts :
 - Risque de pousser les indications opératoires.

Merci



Bibliographie

1. Beger HG, Arbogast R. The art of surgery in the 21st century: based on natural sciences and new ethical dimensions. *Langenbecks Arch Surg* 2006 ; 391 (2) : 143-148.
2. Caillol M. Entre la violence nécessaire de l'acte chirurgical et le respect de l'opéré. *Éthique Santé* 2014 ; 11 (4) : 202-208.
3. Cool CL, Jacofsky DJ, Seeger KA, Sodhi N, Mont MA. A 90-day episode-of-care cost analysis of robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *J Comp Eff Res* 2019 ; 8 (5) : 327-336.
4. Debette C, Lustig S. Evaluation des résultats après prothèse totale de genou. *Cahiers d'enseignement de la SOFCOT* 2016 : 263-266.
5. Doan GW, Courtis RP, Wyss JG, Green EW, Clary CW. Image-free robotic-assisted total knee arthroplasty improves implant alignment accuracy: a cadaveric study. *J Arthroplasty* 2022 ; 37 (4) : 795-801.
6. Dowsey MM, Nikpour M, Dieppe P, Choong PF. Associations between pre-operative radiographic changes and outcome after total knee joint replacement for osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2012 ; 20 (10) : 1095-1102.
7. Hamilton DA, Ononuju U, Nowak C, Chen C, Darwiche H. Differences in immediate postoperative outcomes between robotic-assisted TKA and conventional TKA. *Arthroplast Today* 2021 ; 8 : 57-62.
8. Husson JL, Husson C. Individu et techniques innovantes, réflexions éthiques sur le progrès technologique en matière chirurgicale. *Ann Chir* 2002 ; 127 (5) : 323-326.
9. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Pietrzak JRT, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved early functional recovery and reduced time to hospital discharge compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J* 2018 ; 100-B (7) : 930-937.

Bibliographie

10. Kort N, Stirling P, Pilot P, Müller JH. Robot-assisted knee arthroplasty improves component positioning and alignment, but results are inconclusive on whether it improves clinical scores or reduces complications and revisions: a systematic overview of meta-analyses. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022 ; 30 (8) : 2639-2653.
11. Larose C, Mazeaud C, Eschwege P, Danan JL, Coudane H, Hubert J. La chirurgie robotique sous le regard de l'éthique. *Éthique et santé*, <https://doi.org/10.1016/j.etiqe.2024.06.001>
12. Marchand RC, Sodhi N, Anis HK, Ehiorobo J, Newman JM, Taylor K, Condrey C, Hepinstall MS, Mont MA. One-year patient outcomes for robotic-arm-assisted versus manual total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2019 ; 32 (11) : 1063-1068.
13. Pierce J, Needham K, Adams C, Coppolecchia A, Lavernia C. Robotic arm-assisted knee surgery: an economic analysis. *Am J Manag Care* 2020 ; 26 (7) : e205-e210.
14. Suignard N, Labban J, Deseaux A, Williams T, Dubrana F. Principes techniques de prothèses tricompartimentales du genou de première intention. *EMC – Techniques Chirurgicales – Orthopédie-Traumatologie* 2020 ; 40 (3) : 1-24.
15. Thirion T. Les outils informatiques au service de la planification et du suivi des prothèses totales de la hanche. Thèse de doctorat présentée en vue du grade de Docteur en Sciences médicales, ULiege 2020-2021.
16. Thirion T, Georis P, Szeceł Z, Gillet P. Preoperative planning of Total Hip Arthroplasty. Must this essential part of the procedure be necessarily performed by the orthopedic surgeon? A prospective study about 100 Corail® Hip System. *Acta Orthop Belg* 2020 ; 86 (4) : 644-649.
17. Zhang J, Ndou WS, Ng N, Gaston P, Simpson PM, Macpherson GJ, Patton JT, Clement ND. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved accuracy and patient outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022 ; 30 (8) : 2677-2695.