

# À QUOI SERVENT LES NOUVELLES TECHNOLOGIES EN MÉDECINE ET EN CHIRURGIE ?

Les nouvelles technologies ont pris une place importante et parfois prépondérante dans le domaine des soins, sans doute parce qu'elles sont la conséquence des avancées et des découvertes réalisées depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle et que nous devons désormais faire face à un déficit majeur : comment assurer des soins de qualité dans un contexte difficile où se mêlent augmentation des dépenses de santé, vieillissement de la population des pays occidentaux et systèmes de financement des soins devenus obsolètes du fait d'une croissance économique durablement réduite ?

Par **Philippe MERLOZ** \*

**L**e domaine des nouvelles technologies en médecine et en chirurgie revêt des visages multiples, que l'on peut regrouper en quelques grands chapitres : modélisation et simulation appliquées à la santé ; signaux et imagerie en santé ; systèmes d'information médicaux et bases de données ; capteurs, vêtements, habitats et réseaux intelligents en santé ; analyse, modèles et outils pour les handicaps ; apprentissage et assistance aux gestes médico-chirurgicaux ; e-Santé [1]. À ces grands chapitres, il importe d'ajouter ceux liés à l'ingénierie du médicament et à la

bio-ingénierie tissulaire et des implants (dispositifs médicaux implantables). Nous verrons qu'une véritable boucle peut être créée autour du patient, partant du diagnostic jusqu'à l'établissement du résultat clinique, en passant par le traitement.

---

## LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

---

### La modélisation et la simulation appliquées à la santé

Les nouvelles méthodes de modélisation et de simulation jouent un rôle primordial dans l'analyse systé-

---

\* Professeur, Clinique Chirurgicale Universitaire d'Orthopédie – Traumatologie – Hôpital Albert Michallon du CHU de Grenoble-La Tronche (38700), Université Joseph Fourier - Grenoble 1.

mique des processus biologiques ou physiologiques. Les retombées attendues de ces projets dans le domaine de la santé sont nombreuses en termes de compréhension des phénomènes biologiques ou physiologiques, d'amélioration du diagnostic ou d'optimisation et d'individualisation de la thérapie (voir les Figures 1 et 2 ci-dessous). Ainsi, par exemple, dans l'industrie pharmaceutique, les méthodes de modélisation et de simulation permettent d'optimiser le développement des thérapeutiques et font désormais partie des dossiers de demande d'autorisation de mise sur le marché des nouveaux médicaments. Les actions de recherche menées au niveau mondial, comme le projet IUPS Physiome, ou européen, comme le Virtual Physiological Human (VPH), ou le réseau « ERASysbio » [2, 3, 4], sont aujourd'hui bien définies.

Les signaux et les images en santé

L'importance de l'imagerie dans les sciences du vivant ne fait que croître, prenant une dimension supplémentaire en imagerie *in vivo* pour la biologie. De nouveaux systèmes spécifiques à la micro-imagerie se développent (optique, acoustique, photo-acoustique) et posent des défis différents en termes de résolution spatiale, de sensibilité, de reconstruction et de mise en correspondance d'images et d'extraction de paramètres quantitatifs. Les signaux et les images s'affirment donc comme des éléments fondamentaux [1], en recherche clinique et en routine, pour établir un diagnostic, préparer une intervention, aider les chirurgiens pendant leur intervention ou encore pour effectuer un suivi thérapeutique.

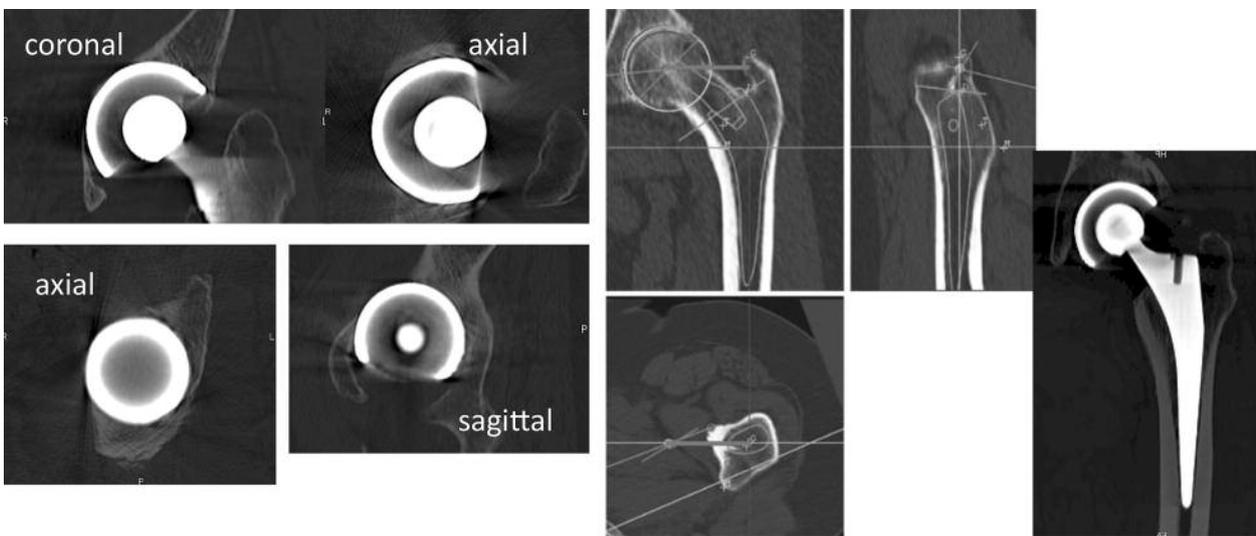


Photo © Symbios®, Yverdon, Suisse et CHU Orthopédie, Grenoble

**Figure 1 :** Planification préopératoire (en 3 dimensions) d'une pose de prothèse totale de hanche à partir d'images tomodensitométriques.

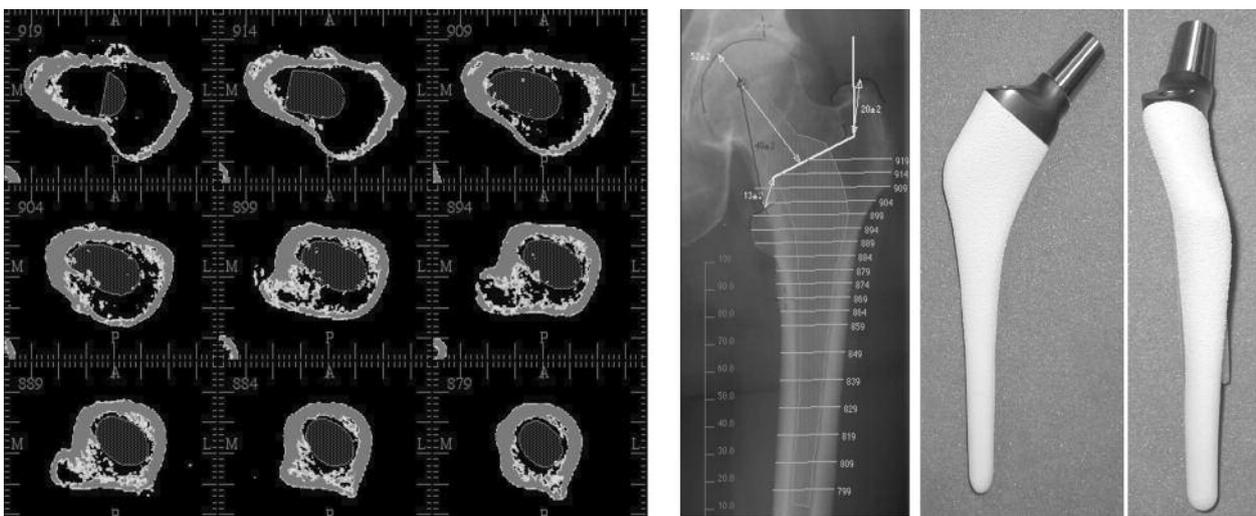


Photo © Symbios®, Yverdon, Suisse

**Figure 2 :** Prothèse totale de hanche personnalisée (sur mesure) réalisée à partir d'images tomodensitométriques.

## Les systèmes d'information médicaux (SIM) et les bases de données médicales

Le traitement de l'information occupe une place de plus en plus importante dans les activités de délivrance des soins et de recherche biomédicale. La qualité des soins et la sécurité des patients sont des enjeux majeurs dans ce contexte d'informatisation des systèmes de santé. Ces systèmes d'information sont de nature composite, c'est-à-dire qu'ils associent de multiples composants hétérogènes et distribués. Leur assemblage pose la question fondamentale du partage de la sémantique des informations et des traitements, qui est indispensable pour assurer la cohérence du système et son bon fonctionnement. Par informations, on entend ici non seulement des données acquises dans le cadre d'explorations chez un patient (biologie, imagerie, etc.), mais également des connaissances (sous la forme de bases de cas, de modèles statistiques ou de modèles symboliques). La représentation de ces données et de ces connaissances et la constitution d'entrepôts permettant de les partager constituent donc des enjeux majeurs déterminants pour le succès de toute la recherche biomédicale, qu'elle soit méthodologique ou clinique [1].

## Capteurs, vêtements, habitats et réseaux intelligents en santé

Ce domaine s'adresse à la problématique de l'acquisition de signaux et de la production d'informations sur le patient et son environnement en situation extrahospitalière. Il tire donc sa spécificité de l'intégration poussée des techniques avancées des capteurs et de traitement des signaux dans des microsystèmes embarqués autonomes [1]. Ce domaine est en plein essor, comme on peut le constater à travers la priorité qui lui a été

donnée par la Commission européenne dans deux récents appels à projets : FP6 et e-Inclusion [1, 5].

## Analyses, modèles et outils pour les handicaps

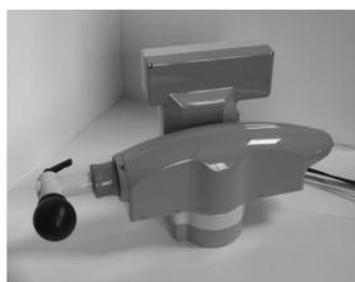
Redonner de l'autonomie à une personne très lourdement handicapée ou lui permettre de conserver celle-ci le plus longtemps possible dans le cas d'un handicap évolutif, est un défi tant sur le plan technologique que sur les plans social et scientifique. Ce domaine est plus particulièrement focalisé sur les personnes âgées et sur les handicaps cognitifs, sans négliger toutefois les autres types de handicap (sensoriel et moteur). Il aborde les questions fondamentales de la compréhension et de la modélisation de la communication, de l'action (contrôle sensorimoteur), de la perception et de l'évaluation des nouvelles technologies de rééducation et de suppléance [1, 6]).

## L'apprentissage des gestes médico-chirurgicaux et l'assistance à leur réalisation

Ce domaine s'intéresse spécifiquement au guidage et à l'assistance de certains gestes médico-chirurgicaux, que ceux-ci soient simples ou complexes. Sous ce même thème, on retrouve toutes les problématiques liées à l'utilisation des robots en médecine et en chirurgie (voir la Figure 3). Par ailleurs, on peut se servir de toutes les données pré-, per- et postopératoires d'une assistance informatisée ou robotisée pour concevoir des systèmes permettant au médecin ou au chirurgien junior de simuler son geste en suivant une courbe d'apprentissage bien définie [1, 7]. Cet enseignement peut être conçu en recourant à un ordinateur ou à Internet (*e-learning*).



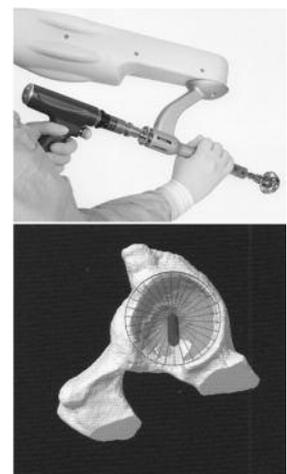
**I-Block™**



**Acrobot™**



**Rio Mako™**



**Figure 3** : Systèmes robotisés pour chirurgie orthopédique. L'exemplaire à gauche est un porte-instrument et les deux, à droite, sont des systèmes haptiques.

## L'e-Santé

Les technologies en e-Santé ont de très nombreuses applications, parmi lesquelles on peut citer : l'autonomie et la téléassistance au handicap ; la télé-médecine avec le télé-diagnostic, la téléconsultation, la télé-chirurgie, la télé-expertise, la télésurveillance et le monitoring à distance de signes vitaux et de descripteurs de santé ; le *self-care* et la p-Santé (ou santé personnalisée), avec les systèmes de santé personnels intelligents ; l'informatique embarquée et ubiquitaire ; l'intelligence ambiante ; l'habitat intelligent ; le *web sémantique* ; la téléformation ; la télé-vigilance ; la chirurgie guidée par l'image (voir la Figure 4) ; l'imagerie diagnostique assistée par ordinateur et tous les services pouvant être sollicités au moyen des Techniques de l'Information et de la Cognition (TIC) dans la pratique médicale de soins et d'accompagnement des individus (aide à la décision et à l'orientation médicale, accès à l'information médicale et environnementale pour la santé, mise en œuvre du dossier médical partagé et accès à ce dernier) [1, 8].

### Bio-ingénierie tissulaire et bio-ingénierie des implants

Dans le domaine tissulaire, les recherches sur les cellules souches laissent présager des applications cliniques très variées et importantes pour la reconstruction de segments d'organes. Dans le domaine des implants, les dispositifs personnalisés (*patient specific implants*) commencent à être utilisés de façon courante ; les matériaux de type céramique utilisés pour la

fabrication de prothèses articulaires offrent une haute résistance à l'usure malgré leur fragilité relative ; les matériaux bio-résorbables sont, quant à eux, d'un usage fréquent en chirurgie reconstructrice. Les microsystèmes implantables et autoalimentés (bio-piles) sont pratiquement sortis de leur phase d'essais et sont promis à de grands développements (9), notamment pour la prise en charge de certaines maladies chroniques (le diabète, par exemple).

### LES NOUVELLES TECHNOLOGIES EN MÉDECINE ET EN CHIRURGIE

L'énumération de ces nouvelles technologies est un peu artificielle, mais ce qui est remarquable c'est le fait qu'elles peuvent être mises en œuvre à toutes les étapes de ce qu'il est convenu d'appeler le parcours de soins du patient, ce dernier étant véritablement au centre du système à l'étape diagnostique, pendant le traitement lui-même et, enfin, lors de l'analyse du résultat. L'imagerie médicale intervient durant la phase pré-thérapeutique. Son caractère numérique permet de planifier le geste thérapeutique. Pendant cette même phase pré-thérapeutique, les organes peuvent être modélisés, des modèles qui peuvent servir de base à la réalisation de gestes et/ou d'implants personnalisés (voir la Figure 2). Des développements analogues sont attendus en pharmacologie. Les techniques de modélisation peuvent aussi servir d'aide au geste thérapeutique (gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur – GMCAO) avec un guidage passif ou actif (robot) dudit geste grâce à l'utilisation d'algorithmes de fusion d'images ou à

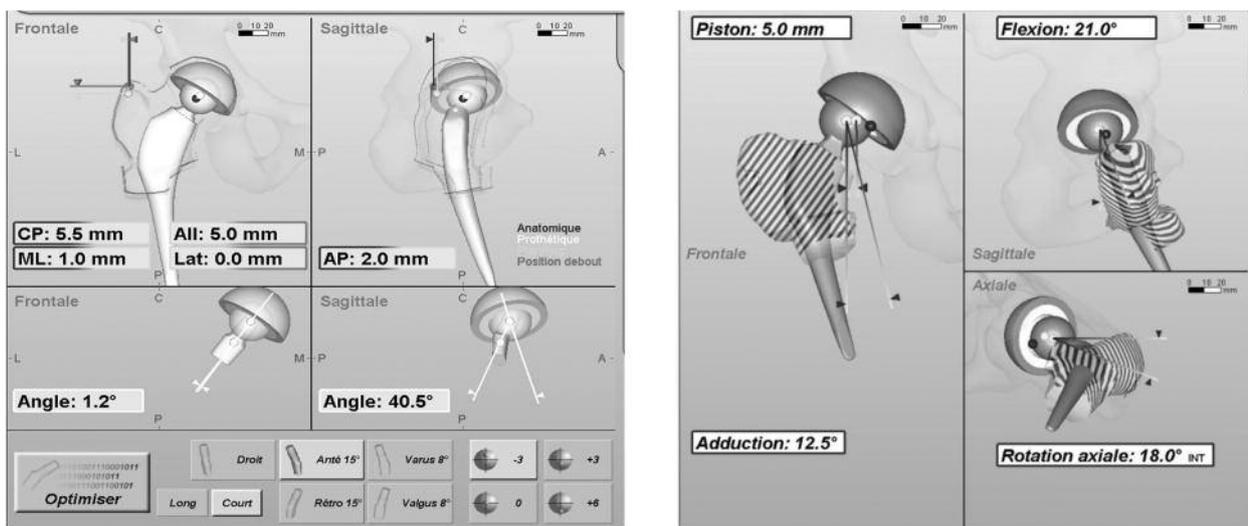


Photo © CHU Orthopédie, Grenoble

**Figure 4 :** Images de synthèse montrées au chirurgien en peropératoire lors de la pose d'une prothèse totale de hanche. Elles permettent de contrôler en temps réel le positionnement optimal d'une prothèse.

l'utilisation de modèles statistiques déformables [10]. Les données interventionnelles enregistrées peuvent ensuite être confrontées et comparées aux informations postopératoires immédiates (par exemple, le positionnement d'un implant dans une articulation) ou tardives (comme le bilan clinique à moyen terme) afin de pouvoir juger du résultat. Le but final est d'offrir au patient la précision du diagnostic, la précision et la sécurité du geste thérapeutique et la fiabilité du résultat clinique, avec, si possible, un résultat fonctionnel entravant le moins possible ses activités de la vie quotidienne.

Colligées les unes après les autres tout au long des années, ces informations numériques peuvent servir à évaluer les traitements entrepris, à établir des bases de données documentées et des protocoles thérapeutiques, et à imaginer des systèmes de simulation basés sur l'expérience permettant à nos jeunes collaborateurs en formation d'acquérir un entraînement et une gestuelle en laboratoire.

Au delà de ces remarques, la constitution de ces données (*big data*) de nature composite sera appelée à être partagée entre des acteurs d'horizons différents, mais elle devra toujours rester centrée sur le patient et sur son environnement en situation hospitalière comme en situation extrahospitalière.

Ainsi, *via* de multiples sources, on peut imaginer que les informations numériques parties du génome puissent être complétées par d'autres informations sur la cellule elle-même, puis sur l'organe, puis sur le patient en tant qu'individu et, enfin, au niveau d'un groupe de population voire d'une population entière.

## CONCLUSIONS

Les méthodes et les outils de modélisation restent encore à développer pour aborder tous les problèmes, et en particulier ceux liés aux spécificités du domaine de la santé. Ces défis ne pourront être relevés qu'au travers d'une collaboration étroite entre plusieurs disciplines, comme les sciences de l'ingénieur, les mathématiques, le traitement du signal et de l'image, et surtout, grâce à une interaction étroite entre les informaticiens et des équipes de physiologistes, de biologistes et de cliniciens.

Cela se traduit par la mise en place, dans les établissements de soins et dans les laboratoires de recherche, de systèmes d'information dont le rôle est non seulement d'assurer le stockage et l'accès aux informations, mais également d'en assurer le traitement. Cette évolution découle directement de celle de la médecine vers une médecine plus scientifique, plus sûre et plus personnalisée qui exige que les décisions diagnostiques ou thérapeutiques soient fondées sur des mesures dûment validées et que celles-ci puissent faire l'objet d'une traçabilité. Les nouvelles technologies et l'outil informatique constituent en cela un renfort précieux non seulement pour réaliser les traitements de façon plus fiable et plus reproductible, mais aussi pour mieux les organiser et les documenter. Il s'agit là d'un véritable défi à la fois technique et clinique que nous devons relever au bénéfice des patients.

*Remerciements : à la Direction, aux animateurs et aux membres du GdR (Groupement de Recherche) STIC Santé CNRS – Inserm.*

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] GdR STIC-Santé : [www.stic-sante.org/](http://www.stic-sante.org/)
- [2] IUPS Physiome : <http://physiomeproject.org/meetings>
- [3] VPH : <http://physiomeproject.org/about/the-virtual-physiological-human>
- [4] Réseau : <http://www.erasysbio.net/>
- [5] FP6 European Project : <http://cordis.europa.eu/ist/einclusion/projects.htm>
- [6] FP7 European Project : <http://cordis.europa.eu/ist/so/einclusion/home.html>
- [7] Thème F GdR STIC-Santé : <https://liris.cnrs.fr/~fzara/Wiki/doku.php?id=themef-gdr>
- [8] E santé : [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/health/whatis\\_ehealth/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/information_society/activities/health/whatis_ehealth/index_en.htm)
- [9] Bio-pile : <https://lejournal.cnrs.fr/articles/prix-de-linventeur-europeen-philippe-cinquin-en-finale>
- [10] MERLOZ (Ph.), "Navigation and Hip Surgery", *in EFORT IL Book* (European Instructional Lectures) ; BENTLEY (G), ed. Springer Heidelberg, 2002, pp. 117-130, (13<sup>th</sup> EFORT Congress 2012, Berlin, 23-25 mai 2012).