

# De l'imagerie médicale à la médecine du futur

Par Dr. Ing. François CHUNG

Depuis ses débuts, l'imagerie médicale a pour objectif de fournir aux radiologues des images médicales afin de les aider dans leur diagnostic. Avec l'avancée des techniques d'acquisition, les radiologues se retrouvent à analyser des images de plus en plus complexes et dans des quantités de plus en plus importantes. Du côté de la recherche, cela se traduit par une collaboration entre physique médicale, radiologie et imagerie médicale. Les physiciens ont pour objectif d'améliorer la qualité et la résolution des images médicales. Ces améliorations permettent d'aider les radiologues dans leur diagnostic et à la communauté de l'imagerie médicale de pouvoir extraire des informations plus précises. Cette collaboration permet non seulement d'avancer dans les sciences médicales (ex. étude de l'anatomie et physiologie), mais également dans les applications cliniques (ex. détection de maladies et planification de thérapie).

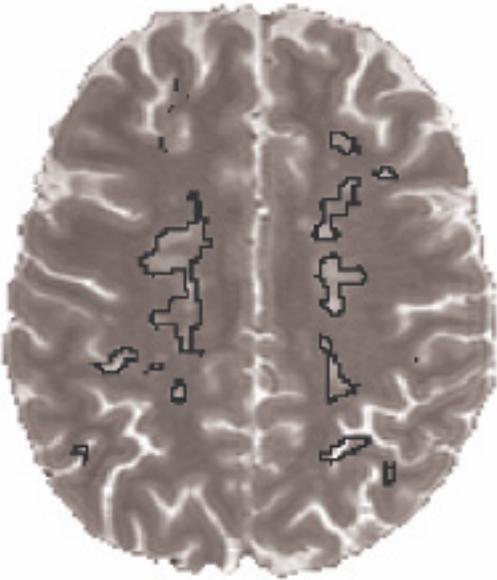
Initialement à cheval entre la physique médicale et la vision informatique, l'analyse d'image médicale est un domaine qui n'a cessé de s'étendre à d'autres disciplines telles que la biomécanique, la psychiatrie et la botanique. Les enjeux de l'imagerie médicale touchent principalement trois acteurs socio-économiques de notre société: le patient, qui bénéficie des derniers progrès pouvant aider les radiologues dans leur diagnostic, la sécurité sociale, qui peut compter sur une réduction des coûts astronomiques liés aux maladies pouvant être diagnostiquées et/ou traitées grâce à l'imagerie médicale, et enfin, les sociétés d'imagerie médicale qui voient en cette discipline un marché prometteur et en constante évolution.

## **1. Quelques applications en imagerie médicale**

Passons maintenant en revue cinq cas concrets d'utilisation de l'imagerie médicale.

### ***Quantification de la sclérose en plaques***

Historiquement, le cerveau est parmi les premiers organes à avoir fait l'objet d'une forte attention dans la communauté de l'imagerie médicale. Un exemple d'application clinique est la sclérose en plaques qui, avec environ 2 500 000 de malades dans le monde, est la maladie neurologique du jeune adulte la plus fréquente après l'épilepsie. Les médecins disposent de trois outils diagnostiques pour étudier la maladie : électrophysiologique, biologique et radiologique. L'électrophysiologie consiste à mesurer la vitesse de conduction de l'influx nerveux, les mesures biologiques se basent par exemple sur l'analyse du liquide céphalo-rachidien et la radiologie concerne l'ensemble des examens produisant des images médicales.

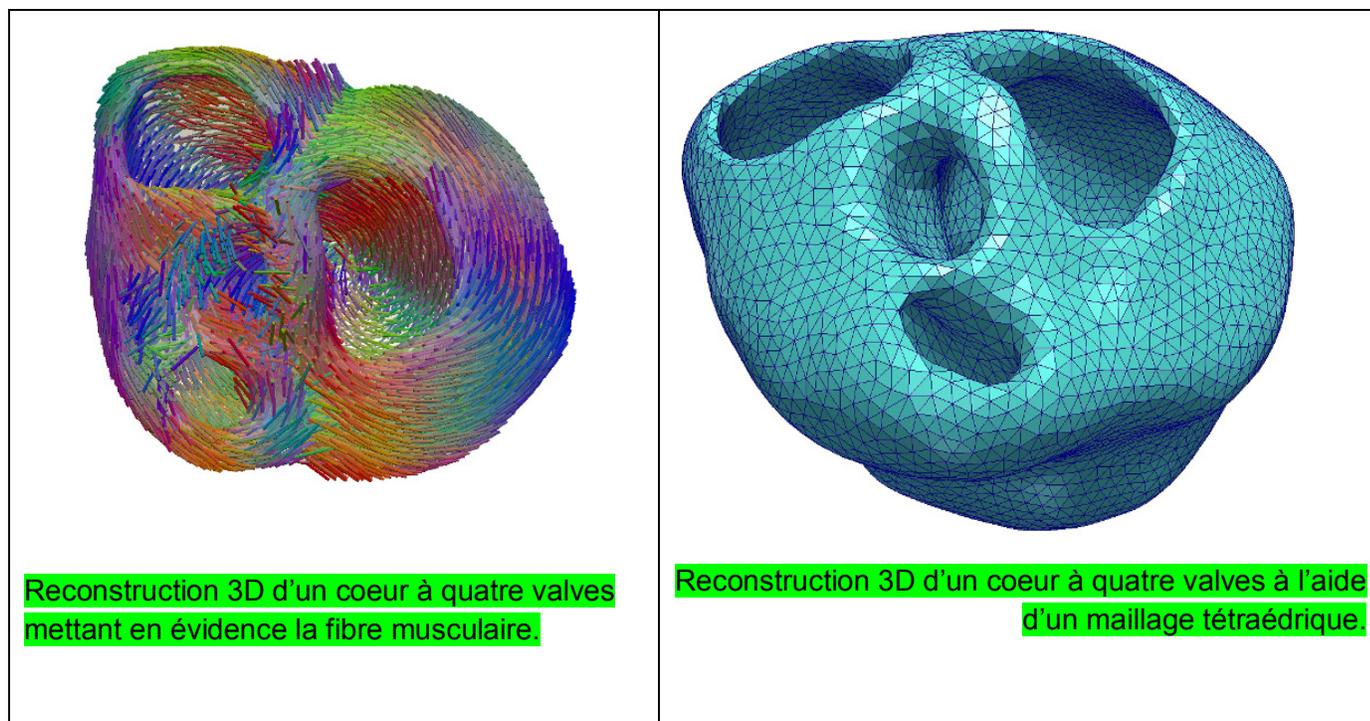


Dans ce dernier cas, l'une des techniques d'acquisition les plus utilisées est l'IRM car elle permet d'obtenir des images précises du cerveau, d'identifier les plaques et de prendre des décisions thérapeutiques dans le cadre du suivi du patient. Combinée avec des techniques de segmentation basées sur la classification des tissus, l'avantage de cette technique est de permettre la quantification semi-automatique des lésions d'un patient et ce, de manière non invasive<sup>1</sup>.

Combinée avec des techniques de segmentation basées sur la classification des tissus, l'IRM permet la quantification semi-automatique des lésions d'un patient et ce, de manière non invasive

### ***Traitement de l'insuffisance cardiaque***

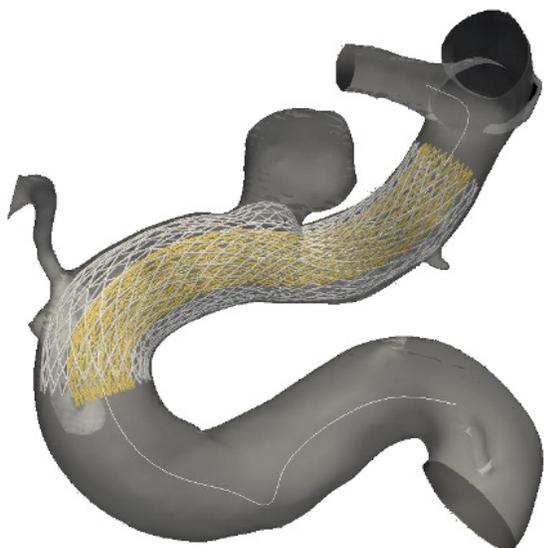
A l'instar du cerveau, le coeur est un organe largement étudié en imagerie médicale. Un exemple d'application est le traitement de l'insuffisance cardiaque dont le but est de restaurer la fonction cardiaque. En milieu clinique, ce traitement consiste à implanter un stimulateur cardiaque qui va rétablir la synchronisation entre ventricules. Malheureusement, cette thérapie n'améliore pas la fonction cardiaque de tous les patients. De plus, les paramètres de configuration des stimulateurs cardiaques (emplacements des sondes et délais entre impulsions) varient d'un patient à l'autre. Pour calculer ces paramètres, des modèles du mouvement cardiaque créés à partir d'observations cliniques existent mais ceux-ci sont généralement génériques et ne tiennent donc pas compte des caractéristiques propres à chaque patient.



A travers des acquisitions médicales, l'objectif de l'imagerie médicale est de pouvoir personnaliser ces modèles dans le but d'offrir une configuration optimale du stimulateur cardiaque à chaque patient<sup>2</sup>. De tels modèles permettent ensuite de planifier des thérapies cardiaques *in silico*, c'est-à-dire en utilisant des simulations par ordinateur.

### ***L'anévrisme intra-crânien***

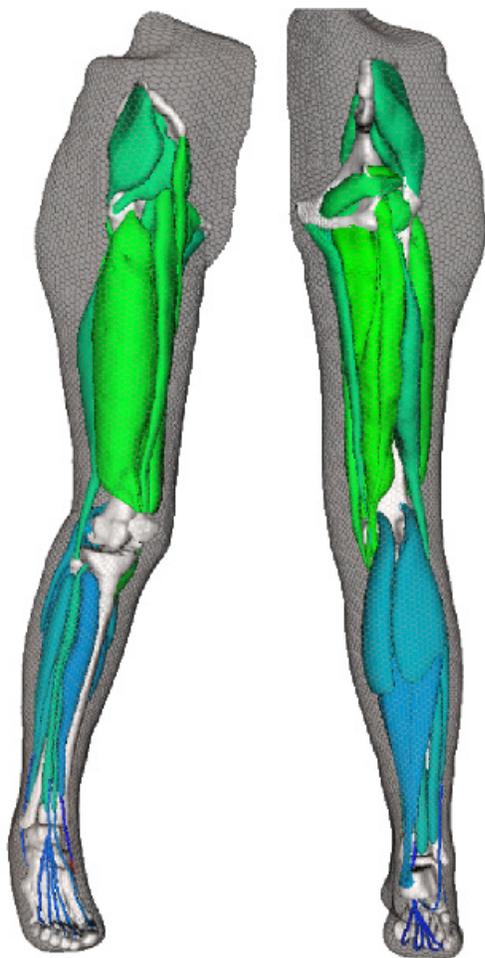
D'après un rapport de l'OMS publié en 2008, les maladies cardio-vasculaires sont les causes les plus importantes de décès dans le monde, suivies des accidents vasculaires cérébraux. Cause principale de ces accidents, l'anévrisme intra-crânien qui est une déformation de la membrane des vaisseaux sanguins prenant la forme d'un sac et qui se situe généralement aux endroits du cerveau où les vaisseaux sanguins se rétrécissent. Le plus grand danger de l'anévrisme est sa rupture, des études cliniques ont montré que la mort subite du patient s'en suivait dans 12,4% des cas et que le décès pour cause d'hémorragie interne s'en suivait dans 32 à 67% des cas.



Simulation 3D d'une occlusion endovasculaire à partir de la modélisation personnalisée d'un anévrisme.

Pour éviter cela, il existe trois routines cliniques: la thérapie pharmacologique, la fermeture de la base de l'anévrisme en utilisant un bracelet et l'occlusion endovasculaire, qui consiste à utiliser une bobine de fer ou une maille en forme de tube dans le but de stopper l'afflux sanguin vers l'anévrisme. Ici encore, l'imagerie médicale joue un rôle important. Elle permet d'identifier les anévrismes ainsi que leurs caractères morphologiques durant tout le cycle clinique, depuis le diagnostic jusqu'à l'opération chirurgicale. Ces dernières années, les efforts de la communauté scientifique se sont concentrés sur la modélisation personnalisée de l'anévrisme<sup>3</sup>. L'objectif est de pouvoir simuler l'évolution de la maladie en prenant en compte des paramètres propres à chaque patient, tels que la structure de l'anévrisme, la morphologie vasculaire et l'hémodynamique.

## Biomécanique et orthopédie

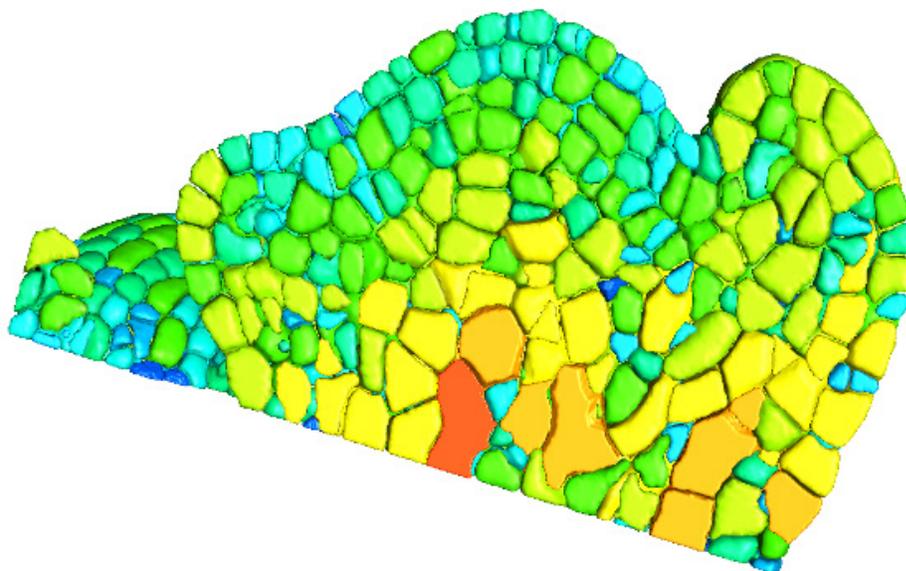


Reconstruction 3D personnalisée des structures anatomiques des membres inférieurs (os, muscles, tendons et peau).

Les pathologies liées au système locomoteur, telles que l'arthrite, l'arthrose et l'ostéoporose, touchent plusieurs centaines de millions de personnes dans le monde et sont considérées comme les causes les plus courantes de douleur et d'handicap physique à long terme. La recherche en biomécanique a pour but de comprendre ces pathologies afin d'améliorer la prévention et le traitement des patients. L'utilisation de modèles biomécaniques permet de simuler différents scénarios de traitement *in silico* avant d'effectuer un traitement *in vivo*, tel qu'une opération chirurgicale du patient. Longtemps, les modèles biomécaniques se sont basés sur des lignes d'actions car les structures anatomiques comme les os et muscles subissent ou exercent leur force le long de leur axe principal. Cependant, ces modèles sont génériques et doivent être mis à l'échelle afin de correspondre aux caractéristiques d'un patient donné. Cette mise à l'échelle n'est pas précise et ne tient pas compte de toutes les caractéristiques anatomiques propres à chaque patient. C'est là qu'intervient l'imagerie médicale. Grâce à des acquisitions d'images, principalement tomographiques pour les os et à résonance magnétique pour les muscles, il est possible d'intégrer des modèles anatomiques propres à chaque patient dans les simulations biomécaniques<sup>4</sup>. Celles-ci étant plus précises, les scénarios de traitement sont plus efficaces et permettent un meilleur traitement du patient.

## L'imagerie médicale au service de la biologie fondamentale

Les applications cliniques ne sont pas l'apanage exclusif de l'imagerie médicale. En biologie fondamentale, une attention particulière se porte actuellement sur le **méristème**, une structure microscopique à la base du développement des plantes et le lieu d'un grand nombre de mécanismes d'organisation des cellules.



Reconstruction et simulation 3D de la croissance du méristème et classification par couleur des différentes cellules.

L'étude du méristème se fait généralement via la modélisation et la simulation de la croissance des plantes. De récents travaux permettent la reconstruction 3D et le suivi de l'évolution des méristèmes à partir d'images microscopiques<sup>9</sup>. Grâce à l'imagerie médicale, il est possible de construire des modèles géométriques et topologiques du méristème à l'échelle cellulaire et au cours du temps. Ces modèles vont permettre de mieux comprendre les mécanismes liés à la croissance des végétaux, indispensables à notre environnement. En effet, les végétaux stabilisent notre éco-système en assurant un rôle de régulation de l'atmosphère et constituent un maillon essentiel dans la chaîne alimentaire de la quasi-totalité des espèces vivantes, dont l'être humain.

A travers ces cinq cas, nous avons vu l'importance que jouait l'imagerie médicale, et ce, dans des domaines aussi variés que la médecine, la bio-mécanique et la biologie fondamentale. De nos jours, l'imagerie médicale est en effet devenu un outil standard en environnement clinique. En plus des grands constructeurs d'appareils d'imagerie médicale, tels que Siemens, Philips et General Electric, qui possèdent leurs propres équipes de recherche et de développement logiciel, de nombreuses équipes de recherche académique et d'entreprises technologiques travaillent depuis la dernière décennie à l'amélioration des algorithmes et outils logiciels afin d'aider les médecins, que ce soit pour le diagnostic ou le traitement de maladies.

## **2. Vers la médecine du futur**

Lors d'une excellente intervention à la conférence TED (Technology Entertainment Design), en avril 2011 à Maastricht, Daniel Kraft a présenté quelques pistes sur la médecine du futur<sup>6</sup>. Et notamment son association avec l'utilisation, désormais courante, de smartphones. Il existe déjà plus de 20 000 applications téléchargeables qui permettent d'exploiter la technologie actuelle dans les mains de n'importe quel détenteur de smartphone. Par exemple, il existe une application permettant de détecter une infection sexuellement transmissible à partir du contact entre un échantillon d'urine et une carte à puce connectée au smartphone. Pour les diabétiques, il existe également le dispositif iBGStar qui se connecte au smartphone et qui permet de calculer le taux de glucose à partir d'un petit échantillon de sang.

Les médecins vont aussi bénéficier de ces avancées technologiques. Par exemple, il est déjà possible pour le médecin de visualiser les images médicales de son patient via son smartphone, ou d'émettre un diagnostic en les visualisant sur une tablette tactile. La consultation également se tourne vers l'ère digitale. Il existe déjà sur le marché un stéthoscope digital qui, connecté au smartphone, permet de visualiser le son via l'application Thinklabs, ou encore **la sonde à ultrasons portable Vscan**



### **Sonde à ultrasons portable Vscan.**

qui, légère et de poche, permet de faire une échographie en dehors de l'hôpital. Mais la consultation elle-même peut se faire de manière digitale. En effet, des études ont montré que le

médecin n'utilisait un contact physique que dans environ 20% des consultations. Aux Etats-Unis, le système American Well permet aux médecins de diagnostiquer à distance, en utilisant un programme de conversation avec webcam de type Skype.

Au niveau diagnostique, la médecine du futur apporte de bonnes nouvelles pour les hommes de plus de 50 ans. En effet, il est possible d'éviter l'introduction du coloscope lors de l'examen coloscopique. En utilisant l'imagerie médicale et en la combinant avec des algorithmes d'intelligence artificielle, les radiologues peuvent identifier des lésions dans le colon. Ce qui pourrait rassurer les hommes concernés par cet examen, et encourager les plus récalcitrants. De manière plus ludique, la technologie à bas coût créée dans l'industrie du jeu pourrait également aider le diagnostic. En utilisant la détection de mouvement, le Kinect de Microsoft pourrait servir à détecter un accident vasculaire cérébral. De son côté, la WiiFit pourrait servir à surveiller le poids et la dépense calorique de chacun, et ce, de manière journalière. Ajoutons à cela des outils tels que les montres qui mesurent le rythme cardiaque et les moniteurs de sommeil Zeo.

Grâce à la chirurgie robotique, les chirurgies vont également bénéficier d'un large panel d'outils technologiques pour les aider dans leur tâche. Il leur est déjà possible d'opérer avec des instruments robotiques. En y ajoutant la réalité augmentée, le chirurgien a la capacité de voir à l'intérieur du patient, de repérer des tumeurs ou toute autre pathologie. Et en y intégrant l'aide à la décision (informatique décisionnelle), un chirurgien dans une ville est à même d'aider un collègue opérant dans une autre ville. Au niveau esthétique, la généralisation du système NOTES (Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery) permettra aux patients de se faire opérer par chirurgie robotique et de sortir du bloc opératoire sans cicatrice.

Pour les patients souffrant de tétraplégie, les avancées en Interface Neuronale Directe (IND), c'est-à-dire la mise en place de puces sur le cortex moteur des patients, leur permettent déjà de contrôler un curseur, un fauteuil roulant ou même un bras robotisé. Dans le futur, ces appareils deviendront plus petits et disponibles à un plus grand nombre de patients. Pour les patients atteints d'obésité, les micro-robots de type i Pill, après avoir été avalés, permettent de prendre des photos du système digestif en circulant de manière autonome dans celui-ci, avec pour objectif d'aider le diagnostic et le traitement. Ces mêmes micro-robots seraient à même de déboucher les artères de patients atteints d'athérosclérose. Les stimulateurs cardiaques (pacemakers) suivent aussi cette tendance de miniaturisation. Ils deviennent également plus faciles à placer, et permettent donc de réduire le temps de formation des cardiologues. Dans le futur, ils pourraient être connectés au smartphone pour permettre au patient de se déplacer tout en étant surveillé à distance.

Tout ceci nous indique que la médecine se dirige vers une ère de miniaturisation, de décentralisation et de personnalisation. Les enjeux de la médecine du futur vont donc consister dans un premier temps à mettre en place ces trois aspects et ensuite à les améliorer en milieu clinique. Avec pour objectif de permettre au médecin d'être plus efficace, d'améliorer le bien-être de tout un chacun et, pourquoi pas un jour, d'arriver à traiter les personnes en bonne santé avant qu'elles ne tombent malades.

## Bibliographie

1. Jean-Christophe Souplet, *Évaluation de l'atrophie et de la charge lésionnelle sur des séquences IRM de patients atteints de sclérose en plaques*, Thèse de sciences, Université de Nice Sophia-Antipolis, France, 2009.
2. Florence Billet, *Assimilation de données images pour la personnalisation d'un modèle électromécanique du coeur*, Thèse de sciences, Université de Nice Sophia-Antipolis, France, 2010.
3. Chong Zhang, *Recovery of cerebrovascular morphodynamics from time-resolved rotational angiography*, Ph.D. Thesis, Universitat Pompeu Fabra, Spain, 2011.
4. Jérôme Schmid, Anders Sandholm, François Chung, Daniel Thalmann, Hervé Delingette, Nadia Magnenat-Thalmann, *Musculoskeletal simulation model generation from MRI datasets and motion capture data*, Recent Advances in the 3D Physiological Human, pages 3-19, Springer-Verlag, 2009.
5. Romain Fernandez, Pradeep Das, Vincent Mirabet, Eric Moscardi, Jan Traas, Jean-Luc Verdeil, Grégoire Malandain, Christophe Godin, *Imaging plant growth in 4-D: robust tissue reconstruction and lineaging at cell resolution*, Nature Methods, volume 7, pages 547-553, 2010.
6. Daniel Kraft, *Medicine's future? There's an app for that*, TED Conference, Maastricht, April 2011.