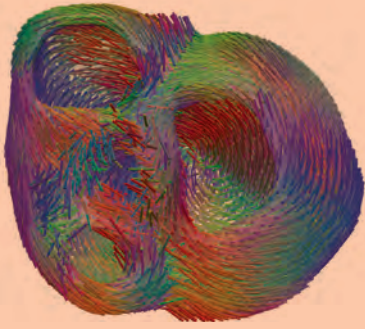


L'IMAGERIE MÉDICALE :



⋮ Ing. François Chung, MSc



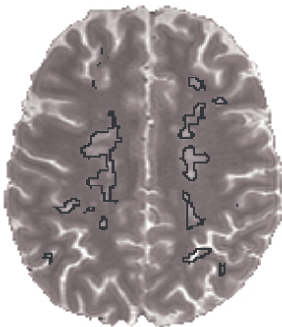
Un domaine d'ingénierie et de recherche au service de la société

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.

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

Quantification de la sclérose en plaques

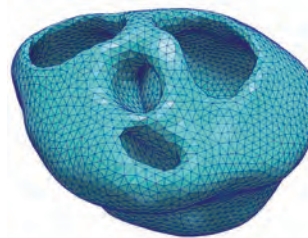


Historiquement, le cerveau est parmi les premiers organes à avoir fait l'objet d'une forte attention dans la communauté de l'imagerie médicale. Un exemple d'application clinique est la sclérose en plaques qui, avec environ 2 500 000 de malades dans le monde, est la maladie neurologique du jeune adulte la plus fréquente après l'épilepsie. Les méde-

cins 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 céphalorachidien 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.

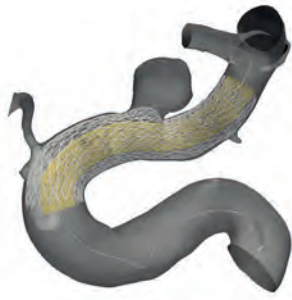
Traitement de l'insuffisance cardiaque



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. 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

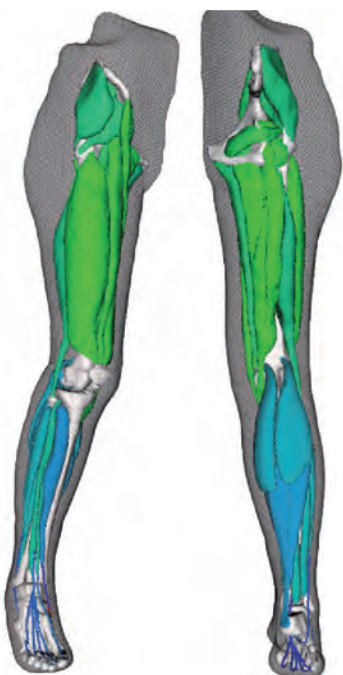


D'après un rapport de l'OMS publié en 2008, les maladies cardio-vasculaires sont les causes les plus importantes de décès dans le monde, suivies des accidents vasculaires cérébraux. Cause principale de ces accidents, l'anévrisme intra-crânien qui est une déformation de la membrane des vaisseaux sanguins 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. 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. 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

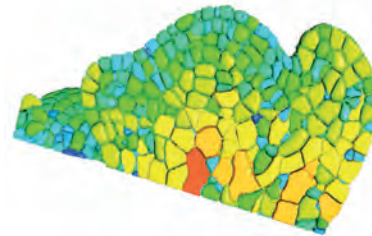
Les pathologies liées au système locomoteur, telles que l'arthrite, l'arthrose et l'ostéoporose, touchent plusieurs centaines de millions de personnes dans le monde et sont considérées comme les causes les plus courantes de douleur et d'handicap physique à long terme. La recherche en biomécanique a pour 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. Celles-ci étant plus précises, les scénarios de traitement sont plus efficaces et permettent un meilleur traitement du patient. En orthopédie, de récents travaux font usage de tels modèles afin d'estimer le risque de fracture de la hanche via une estimation de la densité minérale osseuse.

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. 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. 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 écosystème 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 devenue 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. Tout cela au bénéfice du patient et, in fine, au grand bénéfice de la société.

Bibliographie :

- Maria Pia Amato, Emilio Portaccio, Clinical outcome measures in multiple sclerosis, *Journal of the Neurological Sciences*, volume 259, issues 1-2, pages 118-122, 2007.
- 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.
- Dominique Chapelle, Frédérique Clément, Frank Génot, Patrick Le Tallec, Michel Sorine, José M. Urquiza, A Physiologically-Based Model for the Active Cardiac Muscle Contraction, *Proceedings of the First International Workshop on Functional Imaging and Modeling of the Heart*, pages 128-139, London, UK, 2001.
- 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.
- Chong Zhang, Recovery of cerebrovascular morphodynamics from time-resolved rotational angiography, Ph.D. Thesis, Universitat Pompeu Fabra, Spain, 2011.
- World Health Organization. The global burden of disease: 2004 update, 2008.
- 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.
- Tristan Whitmarsh, Karl D. Fritscher, Ludovic Humbert, Luis M. Del-Rio-Barquero, Rainer Schubert, Alejandro F. Frangi, Hip fracture discrimination using 3D reconstructions from Dual-energy X-ray Absorptiometry, *Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro, ISBI 2011, USA*, 2011.
- Lionel Dupuy, Jonathan Mackenzie, Jim Haseloff, Coordination of plant cell division and expansion in a simple morphogenetic system, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, volume 107, issue 6, pages 2711-2716, 2010.
- 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.