



L'imagerie médicale nous est désormais familière. Quelle part réserve-t-elle aux mathématiques, à la physique, l'électronique, l'informatique, voire même à la chimie ? Que nous apprendra-t-elle demain sur nous-mêmes ?

Explorer l'intérieur du corps humain : un rêve devenu réalité.

Léonard De Vinci avait, comme Vesale et ses célèbres Ecorchés, cette passion de *connaître et comprendre la nature humaine, savoir ce qu'il y avait à l'intérieur de nos corps* et, il n'hésitait pas pour cela à braver l'interdiction de la dissection par l'église (Figure 1). Il a fallu cependant attendre plus de quatre siècles, et Wilhelm Roentgen (Prix Nobel de Physique en 1901) pour voir les structures anatomiques sans ouvrir le corps. Ce premier pas, l'image par rayons X d'une



Figure 1. La leçon d'anatomie, Rembrandt, 1632

main (Figure 2), marque une étape décisive suivie de nombreuses autres : les ultrasons, liés à l'acoustique sous-marine, dans les années 1960, le tomodynamètre à rayons X (e.g Scanner X) dix ans plus tard (Prix Nobel pour Alan Cormack et Godfrey Hounsfield, 1979), puis l'imagerie par résonance magnétique ou IRM (Prix Nobel de Paul Lauterbur et Peter Mansfield, 2003), la tomographie d'émission par positrons dès 1975 (ou TEP) ... Si la physique joue un rôle essentiel dans les processus d'interaction entre

main (Figure 2), marque une étape décisive suivie de nombreuses autres : les ultrasons, liés à



Hand des Anatomen Geheimrath von Kolliker.
Im Physik. Institut der Universität Würzburg
mit X-Strahlen aufgenommen
von Professor Dr. W. C. Röntgen.

Figure 2. La première image par rayons X de W.C. Roentgen

utile : le mouvement du cœur peut traduire un dysfonctionnement dans son excitation électrique ou dans sa capacité à se contracter. Les méthodes variationnelles ont largement été mises à contribution pour estimer ces mouvements. Enfin, le recalage est la mise en correspondance dans le même repère géométrique de volumes acquis par différentes sources d'image, à différents instants. Cette approche peut consister à *fusionner* une image morphologique (Scanner X) et une image fonctionnelle

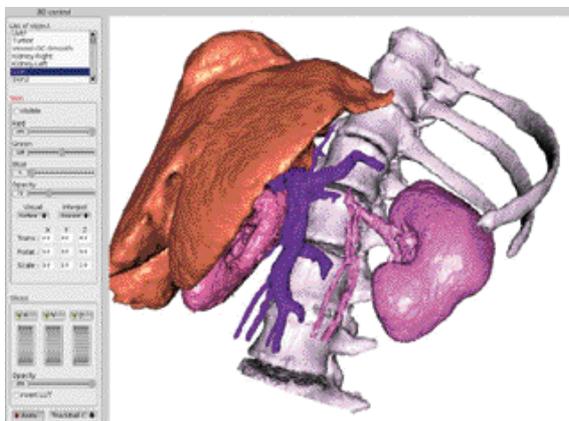


Figure 4. Segmentation du foie (marron) et des reins (violet) par graph-cut d'images scanner X
(J.L Dillenseger, LTSI, Inserm U642, Rennes)

(TEP). Les transformations géométriques restent simples (translation, rotation, mise à l'échelle) mais la complexité devient plus grande quand des déformations sont à prendre en compte.

La visualisation 3D a une place prépondérante à chacune de ces étapes avec des techniques de rendu par transparence permettant de voir des objets contenus dans d'autres.

L'imagerie médicale demain.

Elle va jouer un rôle clef dans de nouvelles thérapies dites mini-invasives ou encore de robotique médicale⁷ dont Jacques Demongeot, Philippe Cinquin et Jocelyne Troccaz ont été les pionniers en France (Figure 5). Il s'agit d'exploiter des observations pré-opératoires pour planifier les gestes à accomplir pendant une intervention chirurgicale. En traversant des cavités naturelles, on peut à partir de petites incisions, introduire et guider les instruments miniaturisés jusqu'à la cible qu'il faut traiter.

Beaucoup moins traumatisantes pour le patient, ces techniques permettent une récupération plus rapide. Les progrès des techniques d'imagerie médicale vont se poursuivre : le Scanner X réduira son niveau d'irradiation en utilisant moins de projections, l'IRM améliorera sa résolution temporelle et le contraste entre tissus, les ultrasons permettront une haute résolution spatiale mais aussi

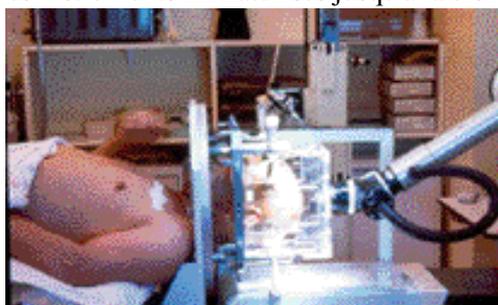


Figure 5. Le premier robot, IGOR, conçu en 1989 par S Lavallée et P Cinquin (TIMC-CNRS, Grenoble) pour des biopsies cérébrales

temporelle (1000 images/s), l'optique dans le proche infra-rouge prendra une place importante, etc.

Mais le plus innovant viendra sans doute d'un couplage de l'intégration de la vision par imagerie et d'une procédure thérapeutique. Le meilleur exemple actuel concerne les transducteurs ultrasonores associant image échographique et thérapie par ultrasons focalisés haute énergie (Figure 6).

Des traitements plus précoces seront permis par l'association d'un radiotraqueur (capable de se fixer sur la cible voulue et d'être visible par IRM ou TEP), d'une molécule thérapeutique et d'un procédé de libération contrôlable par stimulation externe (radiofréquence, ultrasons, optique)⁸. La modélisation mathématique et la simulation de tels systèmes extrêmement complexes vont devenir indispensables.

S'il est donc un domaine de recherche pluri-disciplinaire, c'est bien celui de l'imagerie médicale. Tous les savoirs -biologie, physique, chimie, ingénierie- y convergent, et aucun ne peut se passer des mathématiques, pour le plus grand bien des patients.

J.L. C.

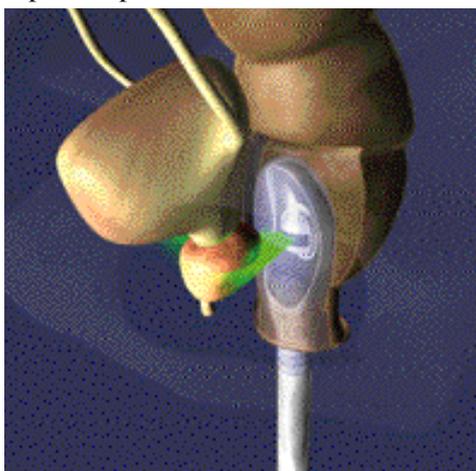


Figure 6. Représentation par synthèse d'images d'un dispositif ultrasonore pour le traitement du cancer de la prostate. En vert, image échographique, en bleu transducteur haute énergie. (société EDAP-TMS, France).

Pour en savoir (un peu) plus

- 1 *La tomographie médicale. Imagerie morphologique et imagerie fonctionnelle*, **P. Grangeat**, Ed Hermes, Paris, 2002
- 2 *Image Analysis and Mathematical Morphology*, **J Serra**, Academic Press, London, 1982
- 3 *Deformable models*, **D. Terzopoulos, K. Fleischer**, The Visual Computer, 4(6), 1988, 306-331
- 4 *Level Set Methods*, **J.A. Sethian**, Cambridge University Press, 1996
- 5 *Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D images*, **Y Boykov, Marie-Pierre Jolly**, International Conference on Computer Vision, (ICCV), vol. I, 2001, 105-112
- 6 *Ondelettes sur l'intervalle*, **Yves Meyer**, Revista Matematica Iberoamericana, 7(2), 1991, 115-133
- 7 *Image-guided therapy: evolution and breakthrough*, **P Haigron, J-L Dillenseger, L Luo, J-L Coatrieux**, IEEE Eng.Med.Biol. Mag, 29(1), 2010, 100-104