

# cnrs

le journal

Tiré à part du  
n° 260-261  
septembre-octobre 2011

**IMAGERIE MÉDICALE**

## Radiographie d'une révolution

- Ce qui se prépare dans les labos
- Les questions qu'elle soulève



➔ **Exposition**  
« Imagerie biomédicale :  
la vie en transparence »  
au Musée des arts et métiers à Paris



Depuis la toute première radiographie, en 1895, l'imagerie médicale a fait des progrès saisissants. Révolutionnant la médecine, elle permet aujourd'hui de visualiser les os, les tissus et les organes de façon toujours plus précise et moins invasive. Le but? Dépister les anomalies, évidemment, mais aussi, et de plus en plus, soigner. Dans les laboratoires du CNRS, de nombreux scientifiques œuvrent pour améliorer les différentes technologies et en inventer de nouvelles. À l'occasion du 30<sup>e</sup> anniversaire de l'IRM, *CNRS Le journal* est parti à leur rencontre.

UNE ENQUÊTE DE LAURE CAILLOCE, FABRICE DEMARTHON ET PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

# IMAGERIE MÉDICALE

## Radiographie d'une révolution



Une escalade de progrès **3** | Explorer le corps **4** | Ce qui va sortir des labos **6** | Simuler pour mieux soigner **8** | L'imagerie face à l'éthique **10** |

# Une escalade de progrès

**C'est l'une des plus grandes révolutions de l'histoire de la médecine.** Elle a commencé à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, avec l'apparition de la radiographie, et elle est toujours en cours ! L'imagerie médicale, 70 millions d'exams en France chaque année, est loin d'avoir atteint ses limites. Si la radiographie est toujours la technique la plus répandue, elle a été rejointe par d'autres technologies, telle l'imagerie par résonance magnétique (IRM), dont on célèbre cette année le 30<sup>e</sup> anniversaire. Chemin faisant, les fonctions de l'imagerie ont évolué. De simple photographie de l'intérieur du corps humain, fournissant des informations sur la structure osseuse ou la forme et les anomalies des différents organes, elle offre aujourd'hui une vue imprenable sur ces mêmes organes en pleine action et permet de visualiser jusqu'au métabolisme cellulaire. Elle facilite ainsi le diagnostic de maladies comme le cancer et certaines affections neurodégénératives. Et, pour parfaire le tableau, elle s'est découverte une autre vocation : celle de soigner les patients. Autant dire que, dans le monde entier, les scientifiques œuvrent pour que l'imagerie développe tout son potentiel.

## DES IMAGES DE MEILLEURE QUALITÉ

Mais revenons un peu en arrière... « Dans les vingt ans qui ont suivi l'arrivée de l'IRM en France, entre 1980 et 2000, les progrès ont d'abord concerné la qualité des images produites », se souvient Isabelle Magnin, directrice du Centre de recherche en acquisition et traitement d'images pour la santé (Creatis)<sup>1</sup>, à Villeurbanne. À l'inverse des rayons X, qui différencient mal les divers tissus mous, l'IRM a révélé la structure intime du cœur, d'autres muscles, des organes abdominaux, mais aussi, et surtout, du cerveau. « Le premier impact de l'IRM, c'est la vision qu'elle a donnée du système

01 Le 20 juillet 1977, l'américain Raymond Damadian (à gauche) affirme devant la presse que ce super-aimant peut renseigner sur l'intérieur du corps humain. Il est l'un des inventeurs de l'IRM.



nerveux central, avec sa substance blanche, sa substance grise, le liquide céphalorachidien, etc. », confirme Luc Darrasse, directeur de l'unité Imagerie par résonance magnétique médicale et multimodalités<sup>2</sup>, à Orsay, qui a fait partie de l'équipe ayant construit la première machine IRM dans l'Hexagone. Dans une moindre mesure, l'appareil a aussi permis de bannir les

interventions d'arthroscopie diagnostique, lors desquelles on incisait pour voir les dysfonctionnements d'une articulation.

Puis la tomographie par émission de positons (TEP), apparue en clinique il y a une quinzaine d'années, a complètement révolutionné le diagnostic en cancérologie grâce à son marqueur surnommé molécule du siècle : le glucose marqué au fluor radioactif ou FDG. « Celui-ci permet de réaliser l'imagerie de la plupart des tumeurs cancéreuses, qui se caractérisent par une forte consommation de glucose », explique François Brunotte, du Laboratoire d'électronique, d'informatique et d'image<sup>3</sup>, à Dijon. Si la TEP sert déjà à évaluer la malignité d'un foyer tumoral, elle n'en est cependant qu'à ses balbutiements : d'autres molécules radioactives sont déjà disponibles, tandis que des dizaines d'autres sont à l'étude dans le but de mieux caractériser chaque type de tumeur.

## LE CERVEAU MIS À NU

L'imagerie ne sert pas seulement à cartographier l'intérieur du corps : elle dévoile aussi le fonctionnement d'organes tels que le cerveau, dont elle a totalement bouleversé la vision traditionnelle. « Il y a encore vingt ans, on pensait que chaque zone du cerveau avait une fonction précise, comme l'aire de Broca et la fonction du langage, raconte Bernard Mazoyer, directeur du Centre d'imagerie-neurosciences et d'applications aux pathologies<sup>1</sup>, à Caen. Aujourd'hui, on sait que, pour chaque fonction, plusieurs aires s'activent en même temps en divers endroits. La difficulté est de comprendre lesquelles,

et avec quel tempo. » Pour lever le voile sur ce processus complexe, on utilise l'IRM dite fonctionnelle, qui permet de regarder localement le débit et l'état d'oxygénation du sang, l'activation d'une zone du cerveau provoquant un brusque afflux de sang oxygéné. Là où l'entreprise se corse, c'est que le cerveau est un organe qui se développe différemment chez chacun. Afin de faire la part entre ce qui est individuel et ce qui est commun à tous, l'équipe de Bernard Mazoyer vient de cartographier les dix fonctions principales chez 300 personnes – langage, mémoire, vision, calcul... –

et y a associé une batterie de tests psychométriques révélant les compétences de chacun, ainsi qu'une analyse du patrimoine génétique. Reste à exploiter les données recueillies pour mieux connaître la mécanique intime de la pensée humaine.

1. Unité CNRS/Université de Caen-Basse-Normandie/Université Paris-Descartes/CEA.

CONTACT :  
Bernard Mazoyer  
> mazoyer@cyceron.fr



À voir sur le journal en ligne : le film *Le Cerveau partagé*, avec Bernard Mazoyer.

## UNE VRAIE COMPLÉMENTARITÉ

Existe-t-il une technique supérieure aux autres ? « Loin d'être en concurrence les unes avec les autres, chaque modalité d'imagerie apporte une information différente et complémentaire », insiste Luc Darrasse. La TEP allume les zones ciblées





02 La tomographie à émission de positons (TEP) peut servir au suivi thérapeutique des maladies neurodégénératives.

par le radiotracer sans donner d'informations spatiales précises, puisque l'anatomie (os, organes) n'y apparaît pas, un manque comblé par le scanner X et l'IRM. De son côté, l'échographie de nouvelle génération est capable de mesurer l'élasticité des tissus, une autre manière de caractériser les tumeurs cancéreuses. « *La tendance est de coupler plusieurs types d'imagerie pour cette raison* », confirme Isabelle Magnin. Différentes associations sont ainsi en cours d'élaboration ou de test.

## DES POSSIBILITÉS À EXPLORER

Si l'alliance est de mise, aucune des techniques existantes ne semble par ailleurs avoir épuisé ses possibilités individuelles. Grâce à la recherche et aux progrès de l'informatique, certaines devraient même effectuer rapidement des pas de géants. Isabelle Magnin prévoit ainsi « *un véritable foisonnement* » dans les vingt années à venir. Au menu, un essor de la mesure de certaines substances du corps, ou encore la contribution des technologies de l'imagerie pour soigner les maladies, à l'image des ultrasons utilisés pour brûler les tumeurs. Les chercheurs essaient aussi de mettre au point des marqueurs capables non seulement de visualiser les zones malades, mais aussi d'y acheminer les médicaments. Enfin, la simulation numérique rendra des services toujours plus précieux aux chirurgiens. Trente ans après l'apparition de l'IRM, l'imagerie médicale a encore de beaux jours devant elle.

1. Unité CNRS/Inserm/Université Lyon-I/Insa Lyon.
2. Unité CNRS/Université Paris-Sud-XI.
3. Unité CNRS/Université de Bourgogne.

### CONTACTS :

**François Brunotte**  
> francois.brunotte@u-bourgogne.fr  
**Charles-André Cuenod**  
> ca@cuenod.net  
**Luc Darrasse**  
> luc.darrasse@u-psud.fr  
**Isabelle Magnin**  
> isabelle.magnin@creatis.insa-lyon.fr

# Explorer le corps grâce...

## ... AUX ULTRASONS (ÉCHOGRAPHIE)

**PRINCIPE** Des ultrasons sont projetés dans le corps et sont réfléchis différemment selon les tissus. C'est à partir de cet écho que l'image anatomique est réalisée. L'échographie peut aussi établir la vitesse d'écoulement des fluides, du sang par exemple.

**RÉSOLUTION** Inférieure au millimètre.

**APPLICATIONS** Imagerie de l'abdomen, des systèmes vasculaire et reproducteur, des muscles et tendons...

**AVANTAGES** Faible coût, portabilité, innocuité, temps réel.

**INCONVÉNIENTS** Manque de précision dans les régions profondes ou derrière de grandes masses hétérogènes (os, poumons), "opérateur-dépendante" : la réussite de l'examen dépend beaucoup du manipulateur.

**ÉVOLUTIONS** L'échographie en 3D offre un diagnostic plus précis. L'élastographie, qui permet de mesurer la viscosité des

tissus à l'aide d'ondes mécaniques, se développe également. Elle peut remplacer la palpation manuelle dans des régions inaccessibles. L'avenir s'ouvre aussi à l'échographie thérapeutique : des ondes acoustiques focalisées sont capables de détruire des tumeurs.



→ Échographie d'un fœtus en trois dimensions.

© GE MEDICAL SYSTEMS/SPL/COSSMOS

## ... À LA RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM)

**PRINCIPE** Placés dans un champ magnétique puissant (de l'ordre de 1 tesla, soit 20 000 fois l'intensité du champ magnétique terrestre), les noyaux d'hydrogène que contient le corps humain s'alignent telles de petites boussoles. Sous l'effet de brèves impulsions d'ondes radio, ils basculent, puis se réalignent sans arrêt, en émettant à leur tour des ondes dont les caractéristiques dépendent des tissus. Ce sont ces ondes qui servent à construire l'image.

**RÉSOLUTION** De l'ordre du millimètre.

**APPLICATIONS** Imagerie de tous les tissus mous, notamment du système nerveux central (cerveau et moelle épinière). Les tissus contenant peu d'eau, comme l'os ou les poumons, sont moins visibles.

**AVANTAGES** Précision, innocuité, prises de vue dans toutes les orientations, 3D intrinsèque.

**INCONVÉNIENTS** Relative lenteur (une image en quelques minutes), coût élevé.

**ÉVOLUTIONS** L'IRM fonctionnelle (IRMf) est en plein essor. Elle permet d'observer non seulement

l'anatomie des organes, mais aussi leur activité. Son utilisation en neurologie est emblématique. La seconde grande évolution consiste en l'imagerie parallèle. Un réseau d'antennes (seize dans les appareils modernes), et non plus une seule antenne, émet et capte les ondes radio. L'image finale est reconstruite à partir de chaque antenne. Le temps d'acquisition passe alors à quelques secondes seulement.

→ Coupe sagittale du cerveau obtenue à partir d'une IRM.



### ... AUX RAYONS X (RADIOGRAPHIE, SCANNER)

**PRINCIPE** Des rayons X (des photons) sont projetés à travers le corps et interagissent avec les tissus. L'atténuation

→ En haut, à gauche, la radio d'une main d'enfant. À droite, une représentation du cœur vu au scanner 3D. En bas, à gauche, détection automatique de calcifications dans les artères coronaires.

des photons transmis dépend de la densité et du type de tissus traversés. Ce principe, utilisé en radiographie (la plus ancienne technique d'imagerie médicale) avec un film photosensible, est repris dans le scanner X avec un système de photodétecteurs tournant autour du patient : le corps est alors observé par tranches et peut être reconstruit en 3D.

**RÉSOLUTION** Inférieure au millimètre.

**APPLICATIONS** Imagerie des tissus denses, des os, des organes en mouvement (en synchronisation avec le cœur par exemple)... Les tissus mous sont moins bien définis.

**AVANTAGES** Sensibilité, rapidité (le corps entier peut être observé en plusieurs dizaines de seconde), coût moins élevé que l'IRM.

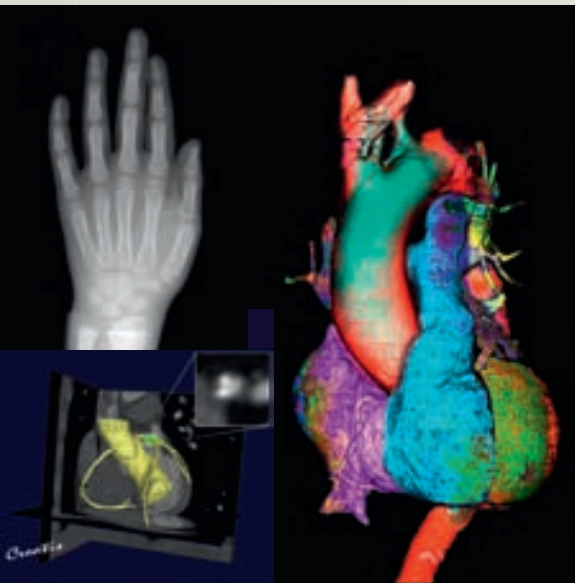
**INCONVÉNIENTS** Les rayons X sont nocifs pour la santé. Plus la résolution de l'image nécessite d'être élevée,

plus la dose reçue par le patient est importante.

**ÉVOLUTIONS** Scanner à double énergie capable de réaliser deux images différentes en même temps, capteurs plans... Les machines évoluent. La réduction des doses de rayons X demeure cependant la première des préoccupations. Algorithmes de modulation de la dose selon la zone du corps traversée, amélioration des capteurs et perfectionnement du traitement des images sont autant de pistes explorées pour réduire les risques pour le patient.

### LES AGENTS DE CONTRASTE

Aujourd'hui, toutes les techniques d'imagerie médicale peuvent être améliorées grâce à des substances appelées agents de contraste. Injectés au patient, ils augmentent la précision du résultat et peuvent aussi fournir des informations sur l'activité des organes pour des techniques normalement orientées vers l'imagerie anatomique.



© LIVING ART ENTREPRISES/BSIP, © M. A. ZULUAGA, E. DELGADO, M. ORNISCZ/GENIS PHOTO THEQUE

### ... AUX RADIOÉLÉMENTS (SCINTIGRAPHIE, TEP, ...)

**PRINCIPE** Une substance radioactive, combinant le plus souvent un radioélément (iode 123, technétium 99, fluor 18...) à une molécule vectrice, est injectée au patient. Ce traceur, qui va s'accumuler dans l'organe cible, émet soit directement des rayonnements gamma (scintigraphie, tomographie par émission monophonique dite TEMP), soit des positons (TEP), qui eux-mêmes se décomposent en photons gamma. Ce rayonnement,

révélateur de l'activité de l'organe, peut être détecté et permet de construire une image.

**RÉSOLUTION** Quelques millimètres.

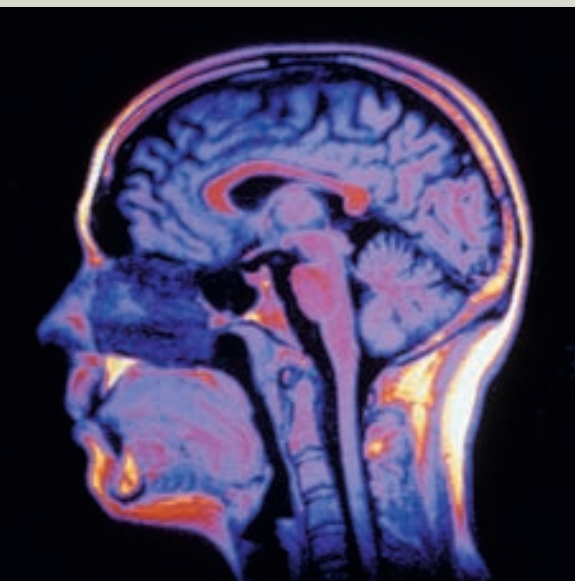
**APPLICATIONS** Détection des tumeurs en fonction de leur consommation de sucre, analyse de l'activité cérébrale, marquage de l'air respiré par le patient en pneumologie...

**AVANTAGES** Très sensible, technique d'imagerie fonctionnelle par nature.

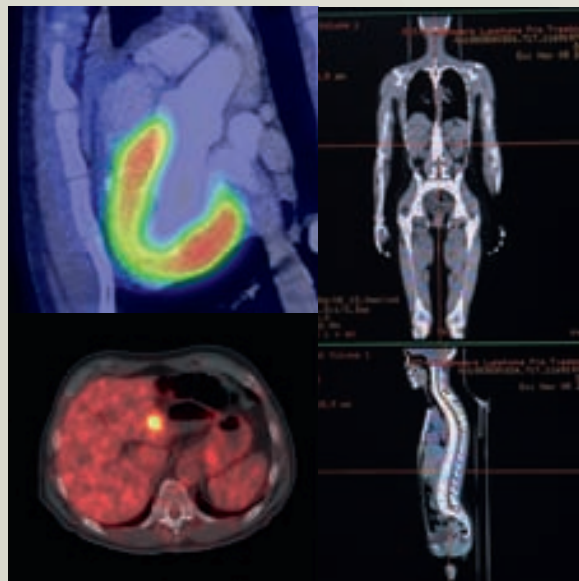
**INCONVÉNIENTS** Coût élevé, lenteur (une image en plusieurs minutes), produits radioactifs.

**ÉVOLUTIONS** Ces dernières années, des sources de rayonnement gamma compactes et portables ont été mises au point. Par ailleurs, la TEP commence à être associée à d'autres techniques comme le scanner X (TEP-SCAN) ou l'IRM (TEP-IRM). L'image à haute résolution du scanner ou de l'IRM est alors combinée à l'image fonctionnelle de l'organe obtenue grâce à la TEP.

→ Visualisation de cellules du myocarde (en haut, à gauche), d'une tumeur hépatique (en bas, à gauche) et recherche de cellules cancéreuses (à droite).



© E. A. CABANIS, E. MANUEL/ALAIN/INSERM



© A. MARIQUE/IGIP CYCERON, © T. BOUAT, J. A. MASON/BOBE/INM/GENIS PHOTO THEQUE, © B. RAJAU/GENIS PHOTO THEQUE



# Ce qui va sortir des labos

**L'imagerie a plus d'une corde à son arc.** Si elle reste évidemment en première ligne pour le diagnostic médical, elle est également d'une grande aide dans le choix des traitements. Et, désormais, elle intervient même au cœur du processus thérapeutique. Dans les laboratoires, les chercheurs rivalisent d'ingéniosité pour qu'elle soit de plus en plus utile tout au long du parcours des patients. Voici quelques exemples.

## L'AIDE AU DIAGNOSTIC

L'imagerie devrait tout d'abord tirer grand bénéfice de la vague des nanotechnologies. Ainsi, en IRM, l'injection au patient de nanoparticules d'oxyde de fer va permettre de diagnostiquer et de localiser sans erreur possible une tumeur hépatique. « Une fois dans le sang, les nanoparticules sont immédiatement reconnues comme des corps étrangers par l'organisme, qui les redirige aussitôt vers le foie, l'organe filtre par excellence », explique Patrick Couvreur, qui mène activement ces recherches au cœur de l'unité Physico-chimie, pharmacotechnie, biopharmacie<sup>1</sup>, à Châtenay-Malabry. Ces particules sont absorbées par les cellules saines du foie et ignorées par les cellules tumorales qui, déficientes, ne jouent plus leur rôle de filtre. On obtient alors une image en négatif de la tumeur.

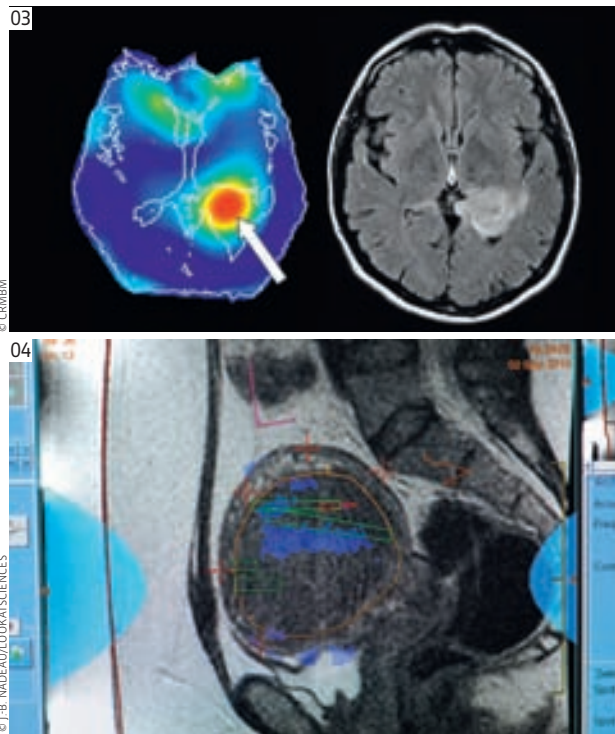
**03** Le sodium, qui s'est accumulé ici au sein d'une lésion de sclérose en plaques (flèche), est un marqueur de la souffrance cellulaire.  
**04** Les ultrasons peuvent servir à brûler des fibromes utérins.

La spectroscopie de résonance magnétique, très usitée aujourd'hui dans les laboratoires, est une autre façon innovante d'employer l'IRM pour le diagnostic des désordres métaboliques. « On continue d'utiliser les caractéristiques magnétiques du noyau d'hydrogène, sauf qu'il ne s'agit plus de l'hydrogène de l'eau, mais de celui des autres substances présentes

dans l'organisme, qu'on va pouvoir quantifier de cette façon », détaille Jean-Philippe Ranjeva, du Centre de résonance magnétique biologique et médicale<sup>2</sup>, à Marseille. Ainsi, dans le cerveau, un taux de NAA (N-acétylaspartate) plus faible que la moyenne statistique, assorti d'une hausse du taux de myo-inositol, révèle une maladie d'Alzheimer. Ces recherches, menées en partie par l'équipe de Jean-Philippe Ranjeva, devraient révolutionner le diagnostic de cette maladie dans les prochaines années. D'autres substances, telles que la créatine et la choline, sont de bons indicateurs de la prolifération cellulaire et membranaire et d'une possible tumeur cérébrale. « La spectroscopie par IRM permet de faire une biopsie du cerveau non invasive et non traumatique », souligne Jean-Philippe Ranjeva.

## VALIDER LES TRAITEMENTS

Au-delà du diagnostic, l'imagerie sert à valider ou invalider l'efficacité d'une thérapie en mettant très rapidement en évidence ses effets au niveau cellulaire, ouvrant ainsi la voie à une véritable médecine personnalisée. Ainsi, le glucose marqué au fluor 18 (FDG) utilisé en imagerie TEP permet de caractériser l'évolution du métabolisme d'une tumeur cancéreuse avant même que sa taille ne se modifie de façon détectable au scanner ou à l'IRM. « Auparavant, on faisait un scanner de contrôle plusieurs semaines, voire plusieurs mois, après le début du traitement choisi – radiothérapie, chimiothérapie –, afin de déterminer si celui-ci avait un impact sur la tumeur



## ET L'IMAGE DEVIENT ANIMÉE...

**05** Images IRM du cœur lors de trois phases de la systole correspondant à l'éjection du sang dans l'organisme.

Passer de la photo au film en trois dimensions : telle est l'ambition des scientifiques pour certaines techniques d'imagerie. Les applications sont innombrables, du repérage d'anomalies dans le système

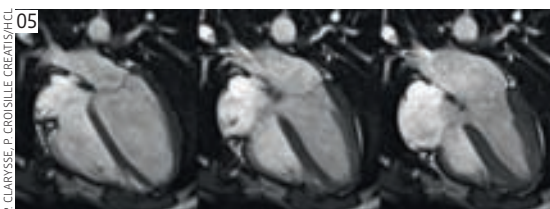
cardio-vasculaire à la prise en compte des mouvements provoqués par la respiration lors d'une radiothérapie de tumeurs pulmonaires. L'imagerie animée ne date pas d'hier : « En radiographie, grâce à

l'utilisation d'un agent de contraste iodé, on peut suivre les battements du cœur à 25 images par seconde », rappelle Patrick Clarysse, du laboratoire Creatis. Mais il s'agit d'une imagerie de projection en deux dimensions. Aujourd'hui, les modalités tomographiques (scanner X, IRM, ultrasons et imagerie nucléaire) permettent de reconstruire des images en 3D. Problème : en IRM, par exemple, les signaux sont envoyés toutes les 600 millisecondes et ne

correspondent pas forcément au tempo des mécanismes observés. Le cycle cardiaque s'effectue ainsi en un peu moins d'une seconde. « Les images ne sont pas acquises en temps réel, mais reconstituées a posteriori », note Patrick Clarysse, qui travaille sur ce sujet. Il faudra une quinzaine de pulsations cardiaques pour reconstituer une séquence d'images complète.

**CONTACT :**  
Patrick Clarysse  
> patrick.clarysse@creatis.insa-lyon.fr

**TOMOGRAPHIE**  
Reconstruction en 3D d'un objet à partir d'une série de projections en 2D acquises sous différents angles de vue.





À voir sur le journal en ligne : le film *Le Corps en transparence*, avec Mathias Fink et Mickaël Tanter.

visée, explique Irène Buvat, du laboratoire Imagerie et modélisation en neurobiologie et cancérologie<sup>3</sup>, à Orsay. *Aujourd'hui, dès quinze jours après le début du traitement, on peut évaluer son impact et adapter les modalités thérapeutiques si nécessaire. Le temps gagné est précieux dans le cas de cancers à évolution rapide.* Avec son équipe, la scientifique tente d'améliorer les méthodes d'exploitation des images de TEP. Le but : en extraire les informations les plus précises sur l'agressivité d'une tumeur ou encore la manière dont celle-ci réagit au traitement.

### DES IMAGES QUI SOIGNENT

Dernier bouleversement, et non des moindres, les techniques d'imagerie telles que l'échographie deviennent désormais des outils thérapeutiques à part entière. Alternative à la chirurgie et à la radiothérapie, découverte dans les années 1990, les ultrasons focalisés brûlent littéralement une tumeur à distance et commencent à être utilisés en clinique, en particulier

06 **Télémanipulation d'un robot utilisé notamment pour la chirurgie dite transluminale, dans laquelle les outils sont conduits par les orifices et les voies naturelles du corps.**

pour le traitement des cancers de la prostate ou des fibromes utérins bénins. Le principe est le même que lorsqu'on focalise la lumière avec une lentille. Le cône d'ultrasons fait monter en température le tissu ciblé, jusqu'à 50 ou 60 degrés, et détruit le tissu malade. Pour être sûr de ne pas endommager de tissu sain autour de la tumeur, les ultrasons sont généralement guidés par IRM.

Seul inconvénient de cette modalité : ces ondes de pression sont perturbées par les os, ce qui rend difficile l'intervention sur une tumeur au cerveau, par exemple. Pour résoudre ce problème, les chercheurs de l'Institut Langevin ondes et images<sup>4</sup>, à Paris, dirigé par Mathias Fink, colauréat au printemps dernier de la première médaille de l'innovation du CNRS, ont décidé de prendre la difficulté à l'envers avec leur "échographe à retournement temporel" : « On fait émettre une onde à partir de l'endroit où se trouve la tumeur, puis on enregistre le signal reçu

### DES YEUX POUR LES ROBOTS

C'est la petite nouvelle des salles d'opération : la robotique guidée par imagerie relaie de plus en plus la main du praticien, qu'il soit chirurgien ou radiothérapeute. L'utilisation d'un bras robotisé présente de multiples avantages. « Elle garantit la précision et la reproductibilité du geste et, grâce à l'imagerie, on est sûr que le robot ne dérape pas hors de la zone d'intervention », explique Michel de Mathelin, qui mène des recherches sur ce thème au Laboratoire des sciences de l'image, de l'informatique et de la télé-détection<sup>5</sup>, à Illkirch. Mais l'assistant robotique ne sert pas qu'à soigner plus efficacement le patient, il protège également le médecin en évitant de trop exposer sa main aux radiations : « Aujourd'hui, les interventions percutanées comme les infiltrations, certaines biopsies, les ablations tumorales par radiofréquence ou encore les vertébroplasties sont fréquemment réalisées sous contrôle d'un appareil à rayons X afin d'atteindre au mieux la cible, précise le chercheur, ce qui signifie que le praticien est exposé aux rayons X médicaux, qui sont nocifs à haute dose. »

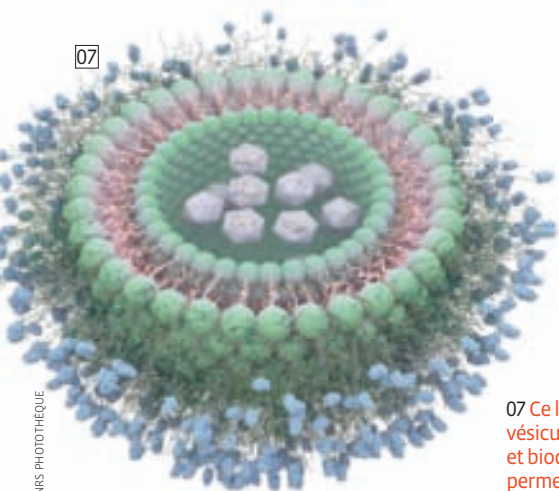
1. Unité CNRS/Université de Strasbourg/Insa Strasbourg.

CONTACT :  
Michel de Mathelin  
> demathelin@lsiiit-cnrs.unistra.fr





# Simuler pour mieux soigner



07 Ce liposome, vésicule artificielle et biodégradable, permet d'encapsuler un médicament dont la délivrance dans le corps sera commandée par ultrasons.

au niveau de la boîte crânienne et on la renvoie à l'envers vers la tumeur », indique Mickaël Tanter, responsable de l'équipe développant ce système de thérapie transcranienne.

Mais les ultrasons focalisés ne se substituent pas seulement à la radiothérapie. Ils servent également à libérer un médicament au plus près de la tumeur, limitant ainsi les dégâts collatéraux de la chimiothérapie sur le reste de l'organisme. « Pour ce faire, le médicament est encapsulé dans un nanovéhicule thermosensible tel qu'un liposome et envoyé dans le système sanguin. Les ultrasons, en faisant légèrement monter la température au niveau de la tumeur, jusqu'à 41-42 degrés, font exploser le nanovéhicule qui libère alors la molécule thérapeutique », détaille Chrit Moonen, directeur de recherche au laboratoire d'Imagerie moléculaire et fonctionnelle de Bordeaux<sup>5</sup>. « On en est encore à l'âge de pierre des ultrasons dans la pharmacologie », ajoute le chercheur, qui prédit de nombreux développements à cette vieille technologie.

1. Unité CNRS/Université Paris-Sud-XI.
2. Unité CNRS/Université de la Méditerranée.
3. Unité CNRS/Université Paris-Sud-XI/Université Paris-Diderot.
4. Unité CNRS/ESPCI ParisTech/UPMC/Université Paris-Diderot/Inserm.
5. Unité CNRS/Université Bordeaux-Segalen.

#### CONTACTS :

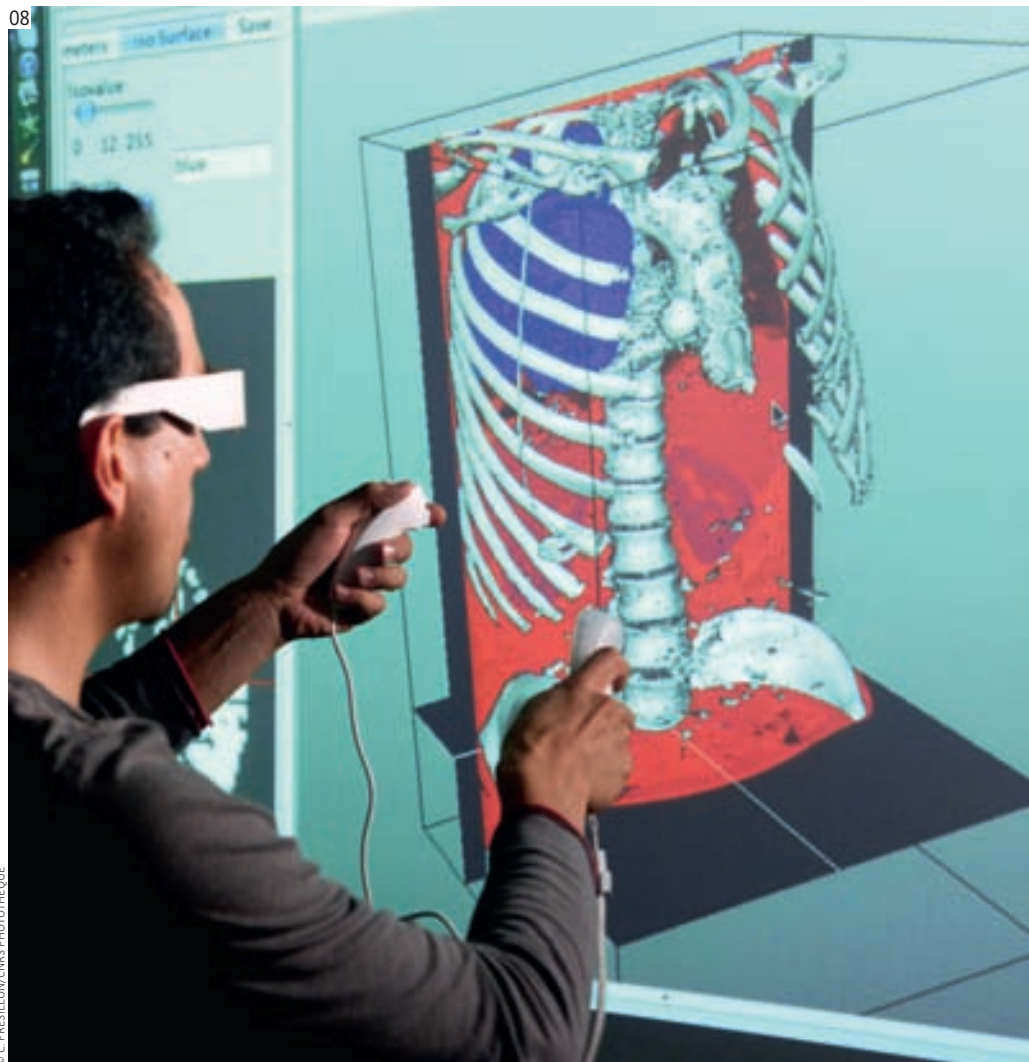
**Irène Buvat**  
> [buvat@imnc.in2p3.fr](mailto:buvat@imnc.in2p3.fr)  
**Patrick Couvreur**  
> [patrick.couvreur@u-psud.fr](mailto:patrick.couvreur@u-psud.fr)  
**Chrit Moonen**  
> [c.moonen@imf.u-bordeaux2.fr](mailto:c.moonen@imf.u-bordeaux2.fr)  
**Jean-Philippe Ranjeva**  
> [jp.ranjeva@univmed.fr](mailto:jp.ranjeva@univmed.fr)  
**Mickaël Tanter**  
> [mickael.tanter@espci.fr](mailto:mickael.tanter@espci.fr)

**C**hacun de nous disposera-t-il bientôt d'un double virtuel qui pourra tester des médicaments à sa place et servira aux chirurgiens à simuler une opération avant de la réaliser "pour de vrai" ? Fascinante perspective que cet avatar numérique ! Mais d'une telle complexité à mettre au point qu'il restera longtemps cantonné au domaine de la science-fiction. Il n'empêche, l'ère du patient numérique a bel et bien commencé. La modélisation du cœur, destinée, entre autres, à tester informatiquement la pose d'un pacemaker, avance à grands pas. La coloscopie virtuelle, grâce à laquelle on

explore le côlon reconstruit en 3D à partir d'images scanner ou IRM, donc sans avoir besoin d'anesthésier le patient, est déjà une réalité. Même si l'interprétation des images obtenues *via* cette technique reste compliquée. Ce souci est d'ailleurs récurrent en matière d'imagerie. C'est pourquoi les scientifiques travaillent d'arrache-pied sur des outils numériques capables d'aider les praticiens.

#### IDENTIFIER LES PATHOLOGIES

Laurent Cohen, du Centre de recherche en mathématiques de la décision<sup>1</sup>, à Paris, développe, par exemple, des outils







permettant aux radiologues d'isoler en quelques clics des vaisseaux dans des images IRM et de les visualiser sous tous les angles. Cette application est très précieuse pour « *estimer la gravité d'un anévrisme [dilatation d'une artère] ou d'une sténose [rétrécissement] en cas d'accident cardiovasculaire* », précise le mathématicien. Autre illustration : les travaux qui consistent à élaborer des méthodes performantes de détection et d'analyse de modifications de structures anatomiques dans les images IRM du cerveau, en particulier celui du fœtus et de l'enfant. De quoi faciliter « *l'identification de pathologies comme la ventriculomégalie,*

*une taille anormale des ventricules du cerveau* », se félicite François Rousseau, qui mène ces travaux au Laboratoire des sciences de l'image, de l'informatique et de la télédétection<sup>2</sup>, à Illkirch. Ces méthodes permettent aussi de « *modéliser la maturation cérébrale, normale ou pathologique chez le fœtus* », ajoute le chercheur. Mais elles concernent également les maladies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson, sclérose en plaques...).

### FACILITER LES OPÉRATIONS

Enfin, faire appel à la simulation dans le domaine des actes chirurgicaux, rien de tel pour aider un clinicien à planifier ses gestes et à anticiper leurs conséquences. Ainsi, avant une opération délicate telle celle visant à corriger des anomalies du

maxillaire et de la mandibule, simuler chaque étape de l'intervention permet de répondre à des questions comme : « *Si je découpe et repositionne tels fragments osseux à tel endroit, quelle conséquence cela va-t-il avoir sur la façon de parler du patient, sur l'esthétique de son visage, sur ses capacités de mastication, etc. ?* » >>>

### LE RÔLE CLÉ DES MATHÉMATIQUES

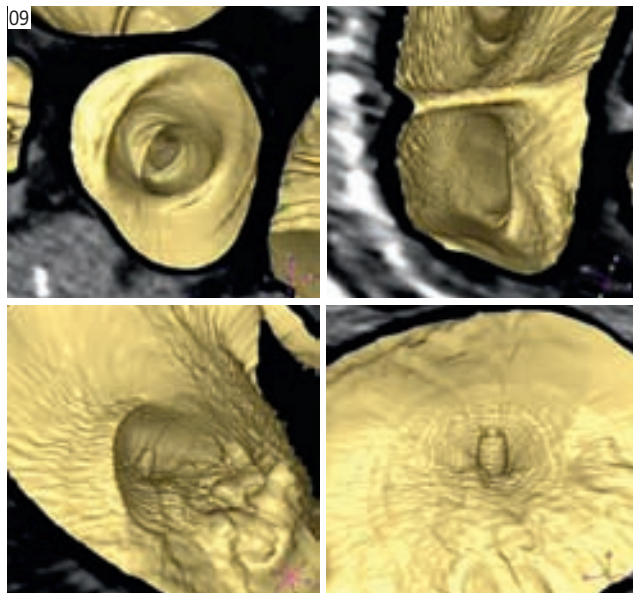
Si les images scanner, IRM, TEP, etc., ont métamorphosé la pratique médicale, les mathématiques et l'informatique y sont pour beaucoup. Qu'il s'agisse de passer du signal brut issu des systèmes d'acquisition à des images numériques interprétables par le médecin, d'améliorer le contraste ou de diminuer le bruit de ces images, ou encore d'en extraire automatiquement des organes particuliers, des pathologies comme des tumeurs, toutes ces étapes exigent de concevoir des modèles mathématiques, de les rendre opérationnels dans des algorithmes de traitement et de faire mûlir de puissants ordinateurs. « *Ces thèmes de recherche, bien que déjà anciens, suscitent toujours beaucoup de travaux pour fournir des outils en adéquation avec les attentes des médecins*, remarque Isabelle Bloch, du Laboratoire traitement et communication de l'information<sup>3</sup>, à Paris. *Celles-ci sont terriblement concrètes : comment détecter un tissu malin ? comment quantifier sa dangerosité pour le patient ? Il faut alors arriver à collecter des propriétés sur les images, qu'elles soient morphologiques (taille et forme d'une tumeur), densitométriques (opacité ou niveau de gris des tissus), etc., puis à les associer au sein de formulations mathématiques qui conduiront à des décisions raisonnées de la part des médecins. Tous les patients, donc tous leurs organes, étant différents, d'importants progrès ont été accomplis ces dernières années dans la modélisation de cette variabilité.* » À l'avenir, une meilleure prise en compte dans les équations de la complexité de l'agencement des organes et des tissus devrait permettre à l'imagerie de fournir une aide encore plus performante à l'élaboration d'un diagnostic, au suivi des patients et à la prise de décision médicale.

1. Unité CNRS/Télécom ParisTech.

#### CONTACT :

Isabelle Bloch

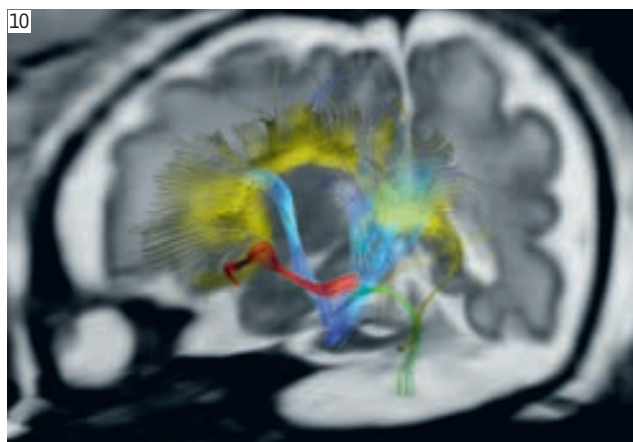
> [isabelle.bloch@telecom-paristech.fr](mailto:isabelle.bloch@telecom-paristech.fr)



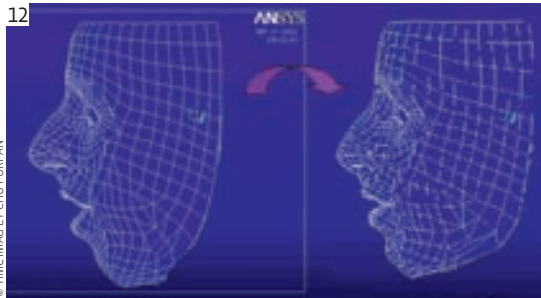
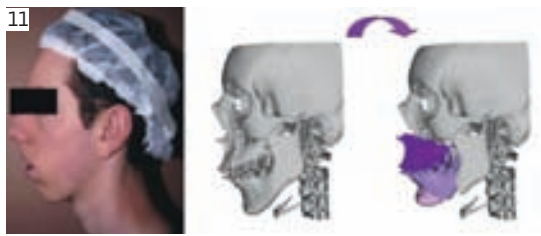
08 Les techniques de réalité dite augmentée permettent de visualiser de manière interactive les images en 3D.  
09 Ces images sont extraites d'une coloscopie virtuelle. Le côlon étant reconstruit en 3D uniquement à partir d'images scanner ou IRM, le geste invasif est évité.  
10 Grâce à l'IRM de diffusion, on visualise ici les faisceaux de substance blanche du cerveau d'un fœtus.

© T. DESCHAMPS ET L. COHEN/CEREMADE

© F. ROUSSEAU, E. OUBEL/CNRS PHOTO THEQUE



# L'imagerie face à l'éthique



© TIMC-IMAG ET CHU PURPAN

11 Avant l'intervention sur la mâchoire du patient (à gauche), ses structures osseuses sont étudiées au scanner, puis le résultat du geste de découpe et de déplacement des os est simulé (en violet). 12 L'influence de la découpe osseuse sur les muscles attachés à la peau est aussi modélisée.

>>> énonce Jocelyne Troccaz, du laboratoire Techniques de l'ingénierie médicale et de la complexité-Informatique, mathématiques et applications de Grenoble<sup>3</sup>. Pour ce faire, son équipe construit un modèle en 3D à partir d'images scanner ou IRM en y intégrant le maximum de données biomécaniques personnalisées (structures osseuses, principaux muscles, autres tissus mous...).

« Plus ces données sont précises, plus le modèle est prédictif », souligne la chercheuse, dont la méthode est aussi mise à profit par les urologues pour faciliter le placement, dans la prostate, de grains radioactifs à l'aide d'aiguilles afin de détruire les zones cancéreuses. « Ces aiguilles, quand on les introduit, se déforment et font bouger la prostate, dit-elle. Nos modèles doivent servir à anticiper les déplacements de la glande et à mieux atteindre la cible. » Nul doute que, dans les prochaines années, le mariage du virtuel et de l'imagerie médicale ne donne naissance à bien d'autres applications.

1. Unité CNRS/Université Paris-Dauphine.  
2. Unité CNRS/Université de Strasbourg/Insa Strasbourg.  
3. Unité CNRS/Université Joseph-Fourier/VetAgro Sup.

#### CONTACTS :

**Laurent Cohen**  
> [cohen@ceremade.dauphine.fr](mailto:cohen@ceremade.dauphine.fr)  
**François Rousseau**  
> [rousseau@unistra.fr](mailto:rousseau@unistra.fr)  
**Jocelyne Troccaz**  
> [jocelyne.troccaz@imag.fr](mailto:jocelyne.troccaz@imag.fr)

13 Les rayons X fascinent le grand public dès leur découverte, comme le prouve cette illustration de 1900.



© SWIM INK 2, LLC/CORBIS

**S**i l'imagerie est au premier plan dans le paysage de la médecine actuelle, son essor draine aussi son lot de questionnements éthiques. Car, si elle reste avant tout une aide indispensable au diagnostic, elle montre parfois plus de choses qu'elle ne devrait, n'est pas exempte de risques pour la santé des patients, soulève des problèmes de confidentialité des données... Et remet même en question notre rapport au corps.

#### DES CRAINTES ANCIENNES

Dès leur découverte, en 1895, les rayons X, en permettant à l'homme de « contempler son squelette de son propre vivant », selon l'expression de David Le Breton, du laboratoire Cultures et sociétés en Europe<sup>1</sup>, à Strasbourg, firent l'objet de démonstrations enthousiastes dans des grands magasins, des cafés, des théâtres,

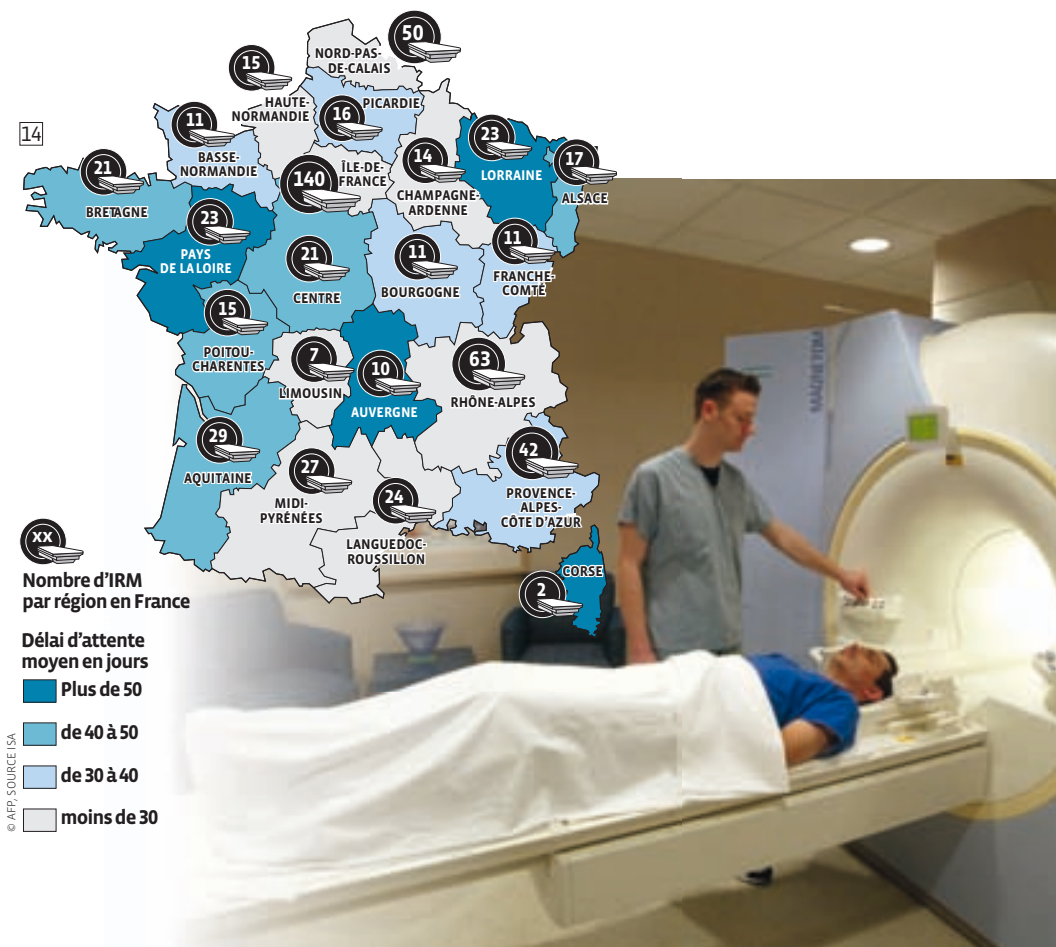
etc. Dans le même temps, « la transparence des corps » rendue possible par l'invention de Röntgen fit craindre à de nombreux commentateurs que l'on n'aboutisse à « un surplus de nudité entraînant la dissolution des mœurs, poursuit l'anthropologue. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le fantasme régna que toute intimité allait disparaître, à tel point que l'on alla jusqu'à vendre des vêtements à l'épreuve des rayons X pour sauvegarder la pudeur des femmes! »

De telles peurs font aujourd'hui sourire, même si la banalisation de la radiologie, qui « supprime l'écran de la peau », n'a pas totalement éteint la fascination mêlée de répulsion que provoque chez certains « la révélation de leurs entrailles d'ordinaire invisibles », note David Le Breton. De même, l'imagerie médicale a accentué la distance entre le spécialiste « possesseur d'un savoir ésotérique qu'il peine à partager » et un usager tenaillé par l'angoisse du diagnostic. D'où l'importance pour les hommes de l'art qui font face à des images de plus en plus sophistiquées de ne pas oublier de regarder leurs patients.

#### COMMENT INFORMER LE PATIENT ?

Autre question déontologique posée aux médecins : quelle attitude adopter quand un examen permet de détecter une maladie alors que le patient ne souffre d'aucun trouble et qu'il n'existe aucun traitement efficace? « Pour ma part, quand une IRM met, par exemple, en évidence de petites lésions de la substance blanche du cerveau, une anomalie habituellement assez bénigne, mais que l'on soupçonne d'être associée, dans certains cas, à la survenue de démences comme la maladie d'Alzheimer, je le signale dans mon compte rendu, mais je me garde de toute interprétation excessive pour ne pas affoler le patient », répond Vincent Dousset, chef du service de neuro-imagerie diagnostique et thérapeutique du CHU de Bordeaux et directeur du Laboratoire d'excellence Trail-Ibio. Celui-ci s'inquiète par ailleurs des





risques de piratage du secret médical liés à l'intrusion de l'informatique dans toutes les composantes de l'imagerie médicale et, surtout, de la propension de certains acteurs économiques (banques, assurances, etc.) à réserver des prestations aux seules personnes pouvant justifier de leur bon état de santé par un scanner ou une IRM.

### LES RISQUES D'IRRADIATION

Font également problème certains effets secondaires de l'imagerie. Ainsi, les rayonnements ionisants du scanner sont susceptibles de provoquer des cancers à long terme. Mais, pour les médecins, habitués à examiner la balance coûts/bénéfices des examens ou des traitements, ce risque reste bien inférieur au gain immédiat en matière de diagnostic.

Cependant, à en croire l'Autorité de sûreté nucléaire, l'exposition de la population aux radiations ionisantes au cours d'examens d'imagerie médicale aurait ainsi augmenté de 47% en cinq ans, un souci majeur pour le gendarme du nucléaire. L'une des raisons tient à la pénurie d'équipements IRM qui, eux, n'irradient pas. Avec 592 appareils, l'Hexagone ne dispose que de 9,5 IRM

14 La pénurie d'équipements IRM pose problème en France. En Corse, en Lorraine, en Auvergne et dans les Pays de la Loire, le délai moyen pour passer un examen dépasse 50 jours.

par million d'habitants, et occupe, en Europe, l'avant-dernière place, devant la Turquie. Résultat : faute d'IRM disponible en urgence ou même dans un délai raisonnable, beaucoup d'examens sont réalisés par défaut au scanner.

« L'objectif doit être de remplacer le scanner par l'IRM chaque fois que cela est possible, commente Vincent Dousset. Mais déclarer sur un ton dogmatique que, demain, il ne faut plus faire de scanner, est déraisonnable. Il existe en effet des indications pour lesquelles le scanner est l'examen le plus informatif, comme l'exploration du thorax, de l'abdomen et du pelvis en cancérologie. »

1. Unité CNRS-Université/Université de Strasbourg.

#### CONTACTS :

**Vincent Dousset**  
> [vincent.dousset@u-bordeaux2.fr](mailto:vincent.dousset@u-bordeaux2.fr)  
**David Le Breton**  
> [dav.le.breton@orange.fr](mailto:dav.le.breton@orange.fr)

## Pour en savoir +

### À VOIR |

**L'Os en pixels**  
(2011, 13 min), réalisé par Marcel Dalaise, produit par CNRS Images  
> <http://videothèque.cnrs.fr>

**Une sélection photo sur l'imagerie biomédicale**  
> <http://photothèque.cnrs.fr>

### EN LIGNE |

> [www.cnrs.fr/imagerie-biomedicale](http://www.cnrs.fr/imagerie-biomedicale)

### EXPOSITION |

**Imagerie biomédicale : la vie en transparence**  
Du 2 mai 2012 au 6 janvier 2013, au Musée des arts et métiers, 60, rue Réaumur, 75003 Paris. Cette exposition est réalisée par le CNRS, en partenariat avec la Société Française de Radiologie et la CASDEN.  
> [www.arts-et-metiers.net](http://www.arts-et-metiers.net)

**cnrs**  
le journal

**Rédaction :** 1, place Aristide-Briand - 92195 Meudon Cedex **Téléphone :** 01 45 07 53 75  
**Mél :** [journal-du-cnrs@cnrs-dir.fr](mailto:journal-du-cnrs@cnrs-dir.fr) **Le journal en ligne :** [www2.cnrs.fr/journal/](http://www2.cnrs.fr/journal/)  
**CNRS (siège) :** 3, rue Michel-Ange - 75794 Paris Cedex 16

**Directeur de la publication :** Alain Fuchs **Directrice de la rédaction :** Brigitte Perucca  
**Directeur adjoint de la rédaction :** Fabrice Impériali

**Rédacteur en chef adjoint :** Matthieu Ravaud **Chefs de rubrique :** Fabrice Demarthon, Frédérique Laubenheimer, Charline Zeitoun **Assistante de la rédaction et fabrication :** Laurence Winter **Ont participé à cette enquête :** Laure Cailloce, Philippe Testard-Vaillant

**Secrétaire de rédaction :** Isabelle Grandrieux **Conception graphique :** Céline Hein **Iconographes :** Christelle Pineau, Stéphanie Tritz, Cecilia Vignuzzi **Couverture :** C. Latta/GettyImages **Photogravure :** Scoop Communication **Impression :** Groupe Morault, Imprimerie de Compiègne - 2, avenue Berthelot - Zac de Mercières - BP 60524 - 60205 Compiègne Cedex **ISSN 0994-7647 AIP 0001309 Dépôt légal :** à parution

**Photos CNRS disponibles à :** [photothèque@cnrs-bellevue.fr](mailto:photothèque@cnrs-bellevue.fr); <http://photothèque.cnrs.fr/>  
La reproduction intégrale ou partielle des textes et des illustrations doit faire obligatoirement l'objet d'une demande auprès de la rédaction.





La **Société Française de Radiologie**  
et le **Collège des Enseignants de Radiologie de France**  
partenaires du **CNRS** à l'occasion de l'événement :  
**Imagerie biomédicale : La vie en transparence**

19-23 octobre - Palais des Congrès de Paris  
Le congrès des professionnels de l'imagerie médicale

**Journées Françaises de Radiologie**  
Diagnostique et Interventionnelle

60<sup>èmes</sup>  
**JFR**  
**2012**

**QUELQUES POINTS FORTS**

**Radiologie interventionnelle**

Route de l'interventionnel  
et village interventionnel

**Imagerie ostéoarticulaire**

Cours approfondi et Syllabus

**Innovation en échographie**

avec la participation de la  
Fédération Française d'Ultrasons

**Éthique en imagerie**

Conférence Antoine Béclère  
présentée par Didier Sicard

**Le patient et la radiologie**

Séance avec la participation des  
associations de patients

**Recherche**

Carrefour de la recherche

Programme, inscription  
1<sup>er</sup> Juin 2012  
[jfr.radiologie.fr](http://jfr.radiologie.fr)

