



DISPOSITIFS MÉDICAUX  
& PROGRÈS EN

# IMAGERIE

# Sommaire

3

## PRÉFACE

4

L'imagerie médicale,  
une fenêtre ouverte sur le corps

7

## RADIOLOGIE

La seconde vie d'une centenaire

11

## SCANNER

L'intérieur du corps en 3D

15

## IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM)

Voir l'eau est sa force

19

## TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITONS (TEP)

Une arme anticancer... mais pas seulement

23

## ÉCHOGRAPHIE

De l'observation au soin

27

## IMAGERIE INTERVENTIONNELLE

Quand l'image guide le geste

31

## Glossaire

Les mots techniques ou scientifiques expliqués sont  
accompagnés dans le texte du symbole ©

34

## SOURCES et REMERCIEMENTS

# Préface

## Des progrès **fruits d'un partenariat permanent**



**Pr Jean-Pierre PRUVO**

*Secrétaire général de la Société française de radiologie (SFR).*

L'imagerie médicale figure en tête des spécialités jalonées ces dernières années de bonds technologiques majeurs au profit du progrès médical. Au départ à la solde d'une médecine radiologique essentiellement diagnostique, elle est par la suite devenue indispensable tout au long du parcours de soins des patients : du dépistage et du diagnostic au traitement lui-même, à l'évaluation ou au suivi de celui-ci.

L'imagerie est sortie de ses frontières les plus connues, le dépistage et le diagnostic, pour permettre aujourd'hui de soigner grâce aux techniques interventionnelles. Dans de nombreuses situations cliniques, elle offre en effet une alternative mini-invasive à la chirurgie : guidées par l'imagerie, les techniques regroupent la radiofréquence, la cryothérapie, l'angioplastie, l'embolisation, la cimentoplastie... pour traiter les tumeurs cancéreuses, les pathologies artérielles (anévrismes et sténoses), les hémorragies, les pathologies osseuses... On sait moins que l'imagerie, grâce aux techniques fonctionnelles et métaboliques ainsi qu'à une approche multimodale, permet de prédire qu'elle sera l'efficacité d'un traitement. Or, cette fonction prédictive est essentielle pour déterminer les meilleures stratégies thérapeutiques. Au quotidien, les équipes radiologiques, responsables de l'organisation des plateaux

d'imagerie, du choix de leurs matériels et de la qualité de prise en charge des patients, proposent des diagnostics plus précis et des traitements plus efficaces transformant les nouvelles techniques d'imagerie en innovations majeures pour améliorer les soins. L'imagerie est devenue un élément-clé de la médecine personnalisée : lors des réunions de concertation pluridisciplinaires, le radiologue joue un rôle croissant dans les décisions thérapeutiques et évite d'administrer des traitements inadaptés, souvent lourds et coûteux.

Regroupés dans le cadre de plateaux d'imagerie complets et diversifiés permettant aux patients de bénéficier d'une imagerie fonctionnelle, multimodale et hybride, les radiologues et médecins nucléaires chercheurs élargissent les champs d'application de l'imagerie et raccourcissent le temps d'évaluation des nouveaux médicaments et des nouvelles stratégies thérapeutiques. Permettant une diffusion rapide de traitements plus efficaces, l'imagerie participe ainsi à la diminution des dépenses de santé et à l'amélioration de la qualité de vie des patients.

Ces progrès, au bénéfice de la qualité et de la sécurité des soins, sont le fruit d'un partenariat permanent entre les entreprises du secteur et les équipes médicales. Par le biais des innovations en imagerie qu'elles développent ensemble, elles bâtissent sans relâche les fondements d'une médecine plus efficace.

# L'imagerie médicale, une fenêtre

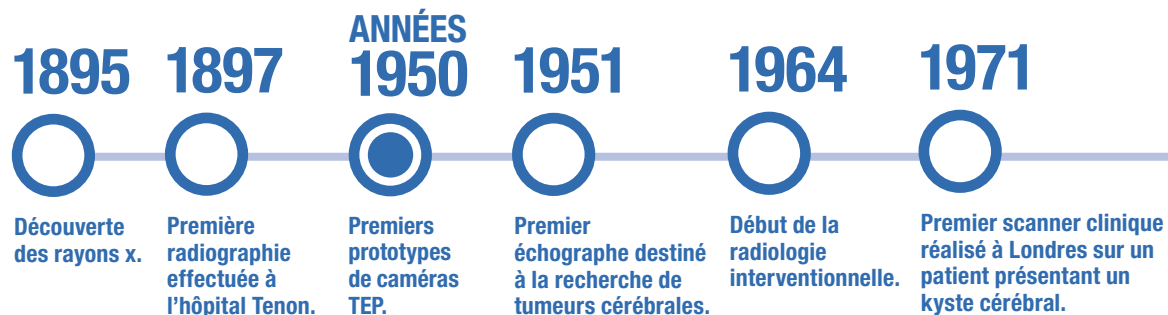
Née avec la découverte des rayons X et de la radiographie, l'imagerie médicale s'est considérablement diversifiée tout au long du xx<sup>e</sup> siècle. Elle est aujourd'hui un outil incontournable pour prendre en charge un patient et utilisée lors de toutes les étapes du parcours de soins. Et pour cause : les évolutions techniques successives, parfois étonnantes, ont contribué à façonner des technologies à la pointe de l'innovation qui en disent chaque jour un peu plus sur l'intimité de nos organes et leur fonctionnement.

Toute aventure humaine compte ses pionniers sans lesquels rien n'aurait été possible. L'histoire de l'imagerie médicale débute à la fin du xix<sup>e</sup> siècle lorsqu'un certain Wilhelm Röntgen, physicien allemand, découvre une nouvelle sorte de rayons invisibles, qu'il baptise rayons X, et grâce auxquels on peut photographier à travers un corps opaque. L'engouement pour cette technique est immédiat. « Pour le grand public, ces rayons invisibles sont un divertissement présenté dans des grands magasins, des cafés, des fêtes foraines et même des soirées mondaines. Des séances de radioscopie alternent fréquemment avec celles de cinématographie, toutes deux étant considérées comme de simples distractions par les contemporains en admiration devant les progrès de la science et de la technologie », racontent Guy et Marie-Josée Pallardy en 2006 lors d'une communication d'histoire

de la médecine intitulée « *Histoire abrégée du radiodiagnostic et de l'imagerie médicale* ». Le corps médical est lui aussi sous le charme et la radiologie fait son entrée dans les hôpitaux dès 1897. Il faut alors près de trente minutes pour obtenir une image thoracique. Deux ans plus tard, cinq à dix secondes suffiront.

## LES TRENTE GLORIEUSES DE L'IMAGERIE

À mesure que la demande s'accroît, médecins, ingénieurs, médecins et industriels collaborent. Le film souple apparaît en 1914 pour remplacer les plaques de verre à simple émulsion. Les appareils d'alors sont suffisamment performants pour être utilisés au chevet des blessés sur le front pendant la Première Guerre mondiale. À l'issue du conflit, l'intérêt de la radiologie fait l'unanimité. « *La période 1920-1960, qualifiée d'âge d'or de la radiologie*



# ouverte sur le corps



Console de diagnostic en mammographie



aux USA, correspond à l'épanouissement de cette spécialité médicale », notent les Pallardy. Les innovations se succèdent. Elles concernent tout autant les tubes d'émission des rayons X que les écrans radiographiques et les produits de contraste per-

mettant de visualiser les organes creux et les vaisseaux. Avec l'arrivée des amplificateurs de luminescence<sup>6</sup> en 1953, les salles de radiologie sortent de l'ombre car les médecins ne sont plus obligés de travailler dans le noir.

À la même époque, est mise au point la caméra à scintillation qui permet les premiers examens de scintigraphie<sup>6</sup> en médecine nucléaire bien avant la mise au point de la tomographie par émission de positons<sup>6</sup>. Les années soixante sont celles de la naissance de modalités d'imagerie fondées sur d'autres moyens que les rayonnements, à commencer par l'échographie<sup>6</sup> et l'écho-doppler<sup>6</sup> tous deux inspirés de la technique du sonar qui utilise les ultrasons pour repérer un objet à distance. Ainsi devient-il possible dans certains cas, de s'affranchir des rayons X qui, à hautes doses, produisent sur l'organisme des effets délétères. Puis vient le tour de l'imagerie par résonance magnétique, IRM<sup>6</sup>, issue du travail de physiciens sur le phénomène de la spectroscopie par résonance magnétique et qui fait ses débuts dans la sphère médicale au milieu des années soixante-dix. >>>

## 1975



Premières images IRM de tissus humains.

## 1992



Premières images du cerveau en fonctionnement.

## ANNÉES 2000



Naissance de l'élastographie, premiers traitements par HIFU du cancer de la prostate.

## 2002



Premières utilisations du scanner pour établir un diagnostic coronaire.

## MILIEU DES ANNÉES 2000



Large diffusion de la TEP en clinique.

## 2008



Première utilisation de l'IRM interventionnelle pour traiter une tumeur cérébrale.

>>> Elle produit d'abord des images en coupe de la tête, sur lesquelles on distingue bien les différents tissus mous, puis, dès le début des années quatre-vingt, des vues en trois dimensions du corps entier. La décennie soixante-dix est aussi celle du développement des premières générations de scanners à rayons X qui permettent eux aussi de visualiser les organes dans l'espace, en particulier les structures osseuses et les poumons.

### VOIR LE CORPS FONCTIONNER EN DIRECT

À la fin des années soixante-dix, les progrès de l'informatique et de l'électronique ouvrent une nouvelle page de l'histoire de l'imagerie médicale. Ils ont tôt fait d'en envahir les différentes modalités et en améliorent considérablement les performances. En l'espace d'une dizaine d'années émergent, entre autres, les scanners spiralés puis multibarrettes, l'IRM fonctionnelle, la radiographie numérisée ou encore l'échographie fonctionnelle. Les modalités anatomiques, qui livrent des vues de l'intérieur du corps, composent désormais avec les modalités fonctionnelles qui révèlent l'activité et le métabolisme des tissus. Les possibilités offertes par l'imagerie médicale s'étendent, conséquence directe de l'évolution technique des systèmes qui ont gagné à la fois en puissance, en précision et en sensibilité.

L'imagerie interventionnelle, qui consiste à guider un acte diagnostique ou thérapeutique par l'image sans avoir à « ouvrir » le patient, bénéficie largement de ces avancées. La radiographie est la pre-

mière modalité mise à contribution à cette fin, d'abord pour effectuer des angioplasties<sup>G</sup> puis pour prendre en charge les anévrismes<sup>G</sup> cérébraux ou pour procéder à des traitements oncologiques<sup>G</sup>. Désormais, on recourt aussi au scanner, à l'échographie, à l'IRM, voire à plusieurs modalités pour pratiquer certaines interventions. La période récente est également marquée par l'arrivée de la Tomographie par émission de positons (TEP) utilisée à des fins cliniques depuis une dizaine d'années après avoir été pendant longtemps un puissant outil de recherche en neurosciences. En quelques années seulement, la TEP couplée au scanner (TEP-scan) a considérablement amélioré la prise en charge des cancers.

### LES DÉVELOPPEMENTS CONTINUENT

L'imagerie médicale actuelle est un éventail d'outils en mesure d'aider au diagnostic, d'évaluer la sévérité d'une maladie, de guider une intervention, de contribuer à la prise en charge et au suivi thérapeutique, voire d'améliorer les connaissances sur l'anatomie ou le fonctionnement du corps humain. « *Dans 30 à 40 % des cas, relève l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale), le support de l'imagerie a permis de modifier l'attitude thérapeutique au bénéfice du patient.* » Modalités anatomiques ou fonctionnelles, utilisant les rayonnements ionisants, le champ magnétique ou les ultrasons : chaque technologie a ses atouts mais aussi ses limites qui conditionnent ses indications tout autant que les développements dont elle fait l'objet. Pour la

radiographie et le scanner, par exemple, la réduction des doses est devenue un enjeu industriel central dès lors que les effets néfastes des rayons X sur l'organisme ont été mis en évidence. Quant aux IRM de très haute puissance, ce sont des machines très chères donc moins répandues.

À mesure que les technologies se développent, de nouveaux usages voient le jour. Les exemples ne manquent pas : ainsi en médecine nucléaire, la production de nouveaux traceurs élargit les indications de la TEP, laquelle devient un outil diagnostique également en cardiologie et en neurologie. Quant aux IRM de haut champ, ils fournissent des séquences fonctionnelles en un temps record et ceux à large tunnel, voire complètement ouverts, permettent de proposer l'examen à de nouveaux patients, notamment aux enfants et aux personnes obèses. L'imagerie spectrale, qui s'appuie sur des scanners à plusieurs niveaux d'énergie, donne, elle, accès à l'étude de la ventilation et la perfusion du poumon. De son côté, la radiographie 3D « corps entier » en position debout facilite grandement la planification chirurgicale et le suivi des pathologies ostéoarticulaires. Sans compter l'élastographie qui revisite la prise en charge des maladies du foie... Et ce n'est pas fini ! Les systèmes qui associent plusieurs modalités d'imagerie commencent à sortir des laboratoires de recherche pour entrer dans les établissements de santé et les blocs opératoires à l'instar des couplages TEP-IRM ou de la fusion d'images. ■

## RADIOLOGIE

# La seconde vie d'une centenaire

Pionnière de l'imagerie médicale, la radiologie conventionnelle a longtemps été la seule technique disponible pour visualiser l'intérieur du corps. L'arrivée d'autres modalités telles que le scanner et l'IRM aurait pu l'évincer complètement. C'était sans compter le potentiel d'innovation des rayons X...

### À QUOI ÇA SERT ?

La radiologie conventionnelle est une modalité d'imagerie anatomique spécialement adaptée à la visualisation des tissus denses. L'orthopédie, la rhumatologie et l'orthodontie y ont fréquemment recours. Les examens sont rapides et peu coûteux par rapport à d'autres modalités d'imagerie. Comme les appareils radiographiques sont très répandus, il est facile d'y avoir accès. Les clichés permettent d'étudier les traumatismes osseux, les déformations du squelette et l'implantation des dents. La radiographie permet de repérer et d'observer des tumeurs au niveau des poumons ou des seins (on parle alors de mammographie). Elle révèle aussi, sur certains organes, des anomalies liées à

des infections virales ou bactériennes. En revanche, la radiographie distingue moins bien les tissus mous dont le cartilage.

### COMMENT ÇA MARCHE ?

La radiographie utilise les rayons X. Générés par un tube, ils traversent le corps humain mais sont plus ou moins absorbés par les tissus en fonction de leur densité. De l'autre côté du patient, un film photographique imprime le résultat comme le ferait une pellicule photo. Dans les systèmes actuels, le film a été remplacé par un détecteur électronique, plus sensible et qui numérise directement les images. >>>



Salle avec capteur plan



Mobile de radiographie

>>> L'acquisition est rapide, ce qui permet d'obtenir des images en rafale si besoin. En injectant un produit de contraste, il est possible de rendre plus opaques certaines structures creuses comme l'appareil digestif ou les articulations. Celles-ci apparaissent alors plus nettement sur l'image. Si on injecte de l'iode, celui-ci rend le sang opaque. On réalise ainsi des radiographies des vaisseaux, appelées angiographies, ou des artères coronaires situées à la surface du cœur (coronographies).

## UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

La radiographie est de loin la plus ancienne modalité d'imagerie médicale. Elle est aussi celle par qui certaines autres sont arrivées, à commencer par le scanner qui, comme elle, utilise les propriétés des rayons X. Celles-ci ont été mises en évidence à la toute fin du XIX<sup>e</sup> siècle (voir encadré page 10). Très vite, le corps médical s'intéressa de près à la technique et dès 1897, le Pr Antoine Bécclère réalisa à l'hôpital Tenon (Paris) les premières radiographies

sur un patient. La radiographie prit son essor durant la Première Guerre mondiale : pour faire face à l'afflux de blessés de guerre, on s'appuya de plus en plus sur l'aide qu'apportaient les rayons X et la radiographie dont la maîtrise augmenta de jour en jour. On s'en servit notamment pour repérer les corps étrangers et les éclatements osseux avant de pratiquer une chirurgie. Sur le front, les « petites Curies » étaient des ambulances radiologiques inventées par Marie Curie pour pratiquer sur place des radiographies d'urgence. Plusieurs médecins ayant été formés à cette période, la technique se répandit rapidement après-guerre.

Le film photographique fut le premier à être utilisé en radiologie. Comme pour les photographies argentiques, la révélation de l'image puis sa fixation sont nécessaires pour qu'apparaissent en noir les zones les plus exposées et en blanc les moins exposées. La technique perdura pendant des décennies jusqu'à la digitalisation qui débuta dans les années quatre-vingt. L'exploration du cœur introduisit les techniques de radio-cinéma pour en

# 0,1 millisievert

C'est la dose moyenne d'exposition aux rayons X générée par une radiographie pulmonaire. À titre de comparaison, la dose annuelle d'exposition naturelle en France est vingt-quatre fois plus élevée.

visualiser la dynamique. La radiographie informatisée utilisa alors un écran radioluminescent à mémoire à la place du film. Sur celui-ci, l'image latente était révélée grâce à un balayage laser puis numérisée.

## L'ÈRE NUMÉRIQUE

Bientôt, les premiers capteurs plans prirent la relève pour détecter les rayons X et fournir immédiatement une image numérisée. La radiographie numérique était née. Les radiologues pouvaient désormais jouer sur le contraste de l'image, améliorer sa qualité et se passer de consommables et de produits chimiques. « *L'imagerie numérique a ouvert la voie*

## 1895



Découverte des rayons x.

## 1897



Premières radiographies effectuées à l'hôpital Tenon (Paris).

## 1914



Apparition des films souples.

## 1931



Première artériographie cérébrale.



à tous les traitements possibles des constantes. À partir d'une seule acquisition, on obtient plusieurs images qui peuvent être retravaillées à l'envi, réduites ou agrandies », explique le Pr Valérie Bousson, radiologue au service de radiologie ostéoarticulaire de l'hôpital Lariboisière (Paris). Finies les radiographies ratées à cause d'une quantité de rayonnements mal estimée ! La mammographie, qui concerne spécifiquement le sein, emprunte quelques années plus tard le même chemin.

À l'heure où la radiographie se modernisait, d'autres modalités d'imagerie virent le jour et démontrèrent leur pertinence dans de nombreuses indications. L'IRM est utilisée depuis la fin des années soixante-dix pour explorer l'anatomie puis l'activité des tissus mous tandis que les scanners spiralés permettent d'acquérir rapidement des images en trois dimensions de tout le corps humain. La radiologie conventionnelle ne règne plus en maître sur l'imagerie médicale. Néanmoins, elle demeure la modalité de référence pour l'étude des os et du squelette. Qui plus est, elle continue de contribuer, au côté du scanner, à l'exploration du poumon. >>>

## ÉCLAIRAGE

### « La mammographie a complètement changé »

**Martine CASTRO**,  
membre de l'association Europa Donna.

« J'entends souvent des femmes dire qu'elles ne font pas de mammographie parce que cela fait trop mal. C'est faux car ce n'est plus un examen douloureux. Les salles et les machines ont changé. On n'a plus le sein complètement écrasé comme avant. La première fois, il m'a semblé que la machine était un œil énorme qui me regardait. Puis, j'en ai fait une autre avec un appareil de qualité supérieure. La manière de se positionner était plus confortable et l'examen moins stressant. On m'a diagnostiqué un cancer du sein. Les examens



d'imagerie qui ont suivi ont permis d'orienter la prise en charge puis d'éliminer l'hypothèse qui fait frémir... Pour moi, l'imagerie, c'est ce qui permet d'être tranquille pendant un moment. L'image

est plus accessible qu'un compte-rendu parce qu'on y voit sa tumeur dans tous ses détails. Elle est un objet de médiation, le point de départ d'un dialogue avec le médecin. »

# 1964



**Début de la radiologie interventionnelle.**

# 1965



**Premier mammographe.**

# ANNÉES 1980



- Début de la numérisation des clichés.
- Premières radiographies basse dose 2D/3D corps entier.
- Amélioration continue des matériels visant à limiter la dose de rayons X.

## >>> LA STÉRÉO-RADIOGRAPHIE DU CORPS ENTIER

La radiographie étant très prisée par les spécialistes de l'os, restait à savoir comment la réinventer. La grande taille de certains os et les fortes doses de rayons X nécessaires pour obtenir des clichés de qualité constituaient des faiblesses. De plus, les orthopédistes voulaient disposer d'une vue d'ensemble du squelette en 2D et 3D pour visualiser son organisation et le positionnement dans l'espace des structures osseuses. En 2003, un prototype d'outil de radiographie fut présenté. Il permettait une radiographie 2D/3D basse dose du corps entier en position fonctionnelle : debout. La technologie s'est depuis diffusée, en France et à l'étranger, pour l'examen du système ostéo-articulaire et les besoins de la chirurgie orthopédique. « *Avant, on devait travailler par segments et exposer le patient aux rayons X pendant une heure pour obtenir toutes les coupes face et profil, se souvient le*



*Pr Bousson. Avec ce nouveau système, deux vues face et profil du patient suffisent. La réduction de dose est énorme. Et on accède enfin à une vue de la stature du patient qui rend possible le travail sur la posture. On peut visualiser les mécanismes de compensation. Les bénéfices concernent aussi la planification chirurgicale et le suivi des pathologies de la colonne, de la hanche ou du genou. »*

### LA RÉDUCTION DE DOSE

Si, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, Wilhelm Röntgen manipulait sans précaution les rayons X dont il ne supposait pas les effets sur l'organisme humain, plus personne n'ignore aujourd'hui le danger (radiodermite, cancers) que représente l'exposition à de fortes doses de rayonnements ionisants. Pour les fabricants d'équipements de radiographie, le défi consiste à limiter au maximum la dose de rayons X



Radiographie face, profil, 3D

## À SAVOIR

### LA MAIN DE BERTHA

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Röntgen mit en évidence un type de rayonnement jusqu'alors inconnu qu'il baptisa rayons X. Le premier objet qu'il soumit à leur action en vue d'obtenir une image sur une plaque photographique fut la main de sa femme prénommée Bertha. L'exposition dura vingt-cinq minutes. Il observa alors des différences d'absorption selon les matériaux : forte pour les métaux comme l'or de l'anneau que portait son épouse, moyenne pour les os, faible par les tissus mous. Ces travaux eurent un retentissement considérable et immédiat. Et la main de Bertha fit le tour du monde.

à laquelle le patient est exposé tout en conservant une qualité d'image suffisante. L'utilisation de capteurs plans de plus en plus performants y contribue de même que l'avènement récent de nouvelles technologies de détection basse dose. Les systèmes actuels intègrent également des outils de calcul de la dose avant l'irradiation afin de délivrer la quantité la plus faible possible en fonction des caractéristiques de l'examen et du patient. L'adoption de bonnes pratiques lors de la réalisation de l'imagerie et la connaissance approfondie de leurs appareils par les utilisateurs - médecins, paramédicaux et radiologues - favorisent également la limitation à l'exposition. ■

## SCANNER

# L'intérieur du corps en 3D

En moins de quarante ans, la tomodensitométrie, qui permet d'observer les organes et les tissus en trois dimensions, est devenue une modalité d'imagerie médicale incontournable. Les innovations technologiques dont elle a bénéficié ont considérablement amélioré ses performances ainsi que la sécurité et le confort des patients.

### À QUOI ÇA SERT ?

Dès ses débuts, le scanner fut plébiscité par le corps médical pour explorer le cerveau. De fait, il permet de voir ce qui échappe aux autres modalités d'imagerie et ce, avant la mise au point de l'IRM. Il est devenu incontournable pour la détection et le suivi de nombreuses pathologies tumorales.

Dans les pays développés, l'usage du scanner, basé sur la tomodensitométrie, connaît une croissance spectaculaire. La France, en revanche, souffre d'un sous-équipement notoire. Le nombre de scanographies (examens d'imagerie effectués par scanner) augmente en effet de 10 % par an. Année après année depuis le début de la décennie quatre-vingt, la technique du scanner intègre des technologies toujours plus performantes qui per-

Scanner



mettent désormais de reconstituer une vue morphologique de n'importe quelle partie du corps humain, fût-elle située en profondeur. Et ce, à partir de multiples coupes, jusqu'à des centaines voire des milliers actuellement, prises sous des angles différents et obtenues grâce à l'émission de rayons X.

### COMMENT ÇA MARCHE ?

La technique du scanner repose sur l'absorption spécifique des rayons X par les différents tissus de l'organisme. Alors que la radiographie par rayons X livre des images de projection en seulement deux dimensions, le scanner autorise l'exploration de volumes car le corps est radiographié par coupes successives. La superposition de ces coupes permet de reconstituer une image en trois dimen- >>>



Console d'acquisition et de traitement

>>> sions des différents organes en fonction de leur densité. À cet égard, il se rapproche de l'imagerie par résonance magnétique (IRM), autre modalité d'imagerie en trois dimensions (cf. page 15). Le scanner a toutefois ses atouts propres, en particulier une excellente résolution spatiale obtenue à force d'innovations technologiques.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

La tomodensitométrie, mise en œuvre par les scanners, est une technique d'imagerie apparue dans les hôpitaux français voilà quarante ans et n'a eu de cesse d'évoluer depuis son invention en 1971. « Avec les premiers appareils, l'acquisition d'images était très lente, de l'ordre de cinq à dix secondes par tour pendant lesquelles il ne fallait surtout pas bouger, se souvient le Pr Jacques Rémy, membre du service de radiologie du CHRU de Lille. Pour obtenir les différentes coupes, la table de l'époque sur laquelle le patient était allon-



Scanner

*gé se déplaçait pas à pas dans le tunnel de l'appareil. On obtenait des coupes de quelques millimètres d'épaisseur tous les centimètres, de sorte que l'on disposait d'informations seulement sur une partie de l'organe. »*

C'est pourquoi les scanners spirales, qui sont apparus dans les années quatre-vingt-dix, ont représenté un progrès significatif. Dans cette configuration, les rayons X tournent autour du patient et il ne

faut plus qu'une fraction de seconde pour obtenir une coupe. Les premiers scanners spirales compartaient initialement un nombre limité de barrettes pour ensuite évoluer vers quelques dizaines, voire des centaines de barrettes. « Cette technique a ouvert des perspectives considérables dans la détection et la caractérisation des nodules pulmonaires, poursuit le Pr Jacques Rémy. Elle est à l'origine de l'initiative du dépistage du cancer bronchique par le scanner. »

1971



Premier scanner clinique réalisé à Londres sur un patient présentant un kyste cérébral.

1973



Apparition du scanner dans les hôpitaux français.

ANNÉES  
80



Premiers scanners séquentiels permettant de cartographier le corps entier.

ANNÉES  
90



Apparition des scanners volumiques ou spirales.

ANNÉES  
2000



Apparition du scanner multibarrette.

## LA « COURSE AUX BARRETTES »

Dans les années qui suivirent, les scanners spirales<sup>®</sup> se dotèrent d'un nombre croissant de détecteurs, bientôt rassemblés en barrettes. D'une barrette unique, on passa à quatre puis seize puis soixante-quatre. Les machines devinrent capables de faire autant de coupes en un seul tour du système tube et détecteurs. Autrement dit, plus le nombre de barrettes augmente, plus l'acquisition d'images est large et rapide. Le patient, lui, passe de moins en moins de temps allongé dans le tunnel du scanner. Le scanner multibarrette<sup>®</sup>, encore appelé multi-coupe, est né et, avec lui, la « course aux barrettes » dont le nombre augmente au fur et à mesure des possibilités technologiques de les multiplier. « *Tout va très vite. Le nombre de barrettes augmente tous les deux ans en moyenne*, observe le Dr Jean-François Paul, Chef d'unité scanner et IRM à l'hôpital Marie Lannelongue (Le Plessis-Robinson). *Aujourd'hui, les machines les plus puissantes comportent 320 barrettes. D'autres sont équipées de deux tubes émetteurs de rayons X, ce qui permet aussi >>>*

# 2002



Premières utilisations du scanner pour établir un diagnostic coronaire.

# 2006



Premières utilisations de scanners double source à des fins de recherche clinique.

## ÉCLAIRAGES

### « L'outil d'imagerie de référence pour le poumon »

Pr Jacques RÉMY, radiologue au CHU de Lille.

« *Le scanner est aujourd'hui très sensible à la moindre anomalie du poumon, ce qui en fait l'outil d'imagerie de référence pour cet organe. Quand les machines étaient très lentes, la respiration et les mouvements cardiaques ébranlaient les poumons et rendaient difficile l'interprétation des images. Mais aujourd'hui, obtenir l'image du poumon immobile ne prend*

*qu'une fraction de seconde. Les patients n'ont plus besoin de bloquer longtemps leur respiration. Cela n'a l'air de rien mais pour les enfants notamment, c'est une véritable avancée. »*



### « Les applications cardiaques sont le moteur des innovations du scanner »

Dr Jean-François PAUL, Chef d'unité scanner et IRM à l'hôpital Marie Lannelongue (Le Plessis-Robinson).

« *Le scanner est en train de prendre une place de plus en plus importante pour le diagnostic des coronaropathies et l'évaluation du muscle cardiaque. Pour faire du scanner coronaire, la technologie 64 coupes est le minimum requis. La résolution temporelle élevée des machines actuelles permet de procéder à l'examen pour n'importe quel patient, quel que*

*soit son rythme cardiaque. Les nouveaux scanners et techniques de synchronisation avec l'électrocardiogramme permettent d'imager le cœur entier en un seul battement, ce qui améliore notablement la qualité diagnostique. Les applications cardiaques sont désormais le moteur des innovations du scanner. »*



>>> *une acquisition accélérée.* » La tendance est aux larges détecteurs et aux spirales rapides pour obtenir en très peu de temps l'image volumique d'un foie, d'un cœur ou d'un crâne. « *De tels équipements technologiques sont capables de balayer des organes mesurant jusqu'à 16 centimètres. D'où le retour à l'acquisition séquentielle sans qu'il y ait besoin de déplacer la table. Or, sans ce mouvement, les images obtenues sont plus pures.* »

### L'ENJEU DE LA RÉDUCTION DES DOSES

Parallèlement à ces innovations technologiques, industriels et professionnels, conscients des effets néfastes pour la santé de l'exposition à des rayonnements ionisants, se sont attachés à proposer des examens scanographiques de moins en moins irradiants pour le patient. Objectif : rechercher l'efficacité optimale au moindre risque. « *Les doses d'irradiation diminuant, les prescriptions de scanner augmentent et concernent des patients qui n'auraient pas pu en bénéficier hier* », constate le Professeur Rémy. C'est vrai notamment en pédiatrie où il importe d'irradier le moins possible des organes en cours de développement et pour les femmes

# 0,25 seconde

(250 MILLISECONDES)

C'est le temps mis par les scanners les plus rapides pour effectuer un tour complet du patient.

enceintes en raison des risques de malformation du fœtus due aux rayonnements ionisants.

Sur le marché de la tomodensitométrie, se sont donc développés depuis les années quatre-vingt-dix des méthodes et des outils pour réduire la dose de rayonnements ionisants à son minimum utile. Des équipements servant à moduler la dose en fonction de la taille et de la morphologie du patient ou encore de son électrocardiogramme ont ainsi vu le jour. D'autres visent à limiter l'irradiation des organes sensibles. Plus récemment, des méthodes dites de reconstruction itératives sont apparues. Leur principe consiste à réduire le bruit de l'image, c'est-à-dire toutes les données parasites, sans affecter sa résolution spatiale. La technique, très gourmande en calculs mathématiques, correspond à une sorte de nettoyage et fournit des images de bonne qualité à faible dose de rayonnements ionisants. « *D'ici quelques années, assure le Pr Jacques Rémy, la dose de rayons X reçue lors d'un scanner pulmonaire sera équivalente à celle d'une radiographie du poumon. Soit une fraction de la dose moyenne que tout un chacun reçoit naturellement chaque année, à savoir trois millisieverts.* »

### AUX PRÉMICES DE L'IMAGERIE SPECTRALE

Ces dernières années, une autre étape a été franchie avec l'arrivée des scanners double énergie également dénommés bi-énergie. À l'heure actuelle, leur utilisation relève surtout de la recherche clinique mais les applications de routine commencent à se déve-

## À SAVOIR

### NÉ DANS UNE MAISON DE DISQUES ANGLAISE

L'ingénieur qui a inventé le scanner travaillait pour le département d'électronique d'EMI (Electrical and Musical Industries), le célèbre label des Beatles. Godfrey Hounsfield mit au point la technique de tomographie calculée par ordinateur (en anglais, Computered tomography - CT). Il construisit un premier prototype de CT de la tête en 1970 qu'il testa sur lui-même. Ses travaux et ceux d'Allan Cormack, qui a jeté les bases mathématiques de la tomodensitométrie, furent récompensés par le Prix Nobel de médecine en 1979.

opper. Dernière-née des innovations en matière de scanner, cette technologie permet la différenciation des niveaux d'énergie à l'aide de récepteurs multicouches dans le spectre du rayonnement initial. Résultat de cette imagerie dite spectrale : moins d'artéfacts<sup>6</sup> et une meilleure résolution des images. Hier outil purement morphologique, le scanner s'aventure ainsi sur la voie de l'imagerie fonctionnelle. « *Avec ces machines, on est capable d'étudier la perfusion et la ventilation du poumon*, explique le Professeur Rémy. *Avant l'examen, le patient respire un gaz sans effet toxique dont on suit la dispersion dans les poumons* ». En plein essor, l'imagerie spectrale profite à de nombreux examens : l'imagerie des calculs biliaires ou encore le diagnostic et le suivi du traitement de la goutte. ■

# IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM)

## Voir l'eau est sa force

Trente ans ont suffi à l'IRM pour se tailler une place de choix parmi les explorations médicales à visée diagnostique et thérapeutique. Le fait est qu'elle n'a pas son pareil pour donner à voir l'anatomie et le fonctionnement des différents organes et tissus mous, à commencer par le cerveau.

### À QUOI ÇA SERT ?

L'IRM est une modalité d'imagerie non invasive et non irradiante qui fournit des vues en deux ou trois dimensions de l'intérieur du corps. Elle permet d'explorer tous les tissus mous : le cerveau, la moelle, les muscles, les organes digestifs et reproducteurs, etc. Elle permet non seulement d'en connaître la structure anatomique (IRM anatomique) mais aussi d'en suivre le fonctionnement et le métabolisme (IRM fonctionnelle). Elle est très utilisée en neurologie pour localiser certaines malformations du cerveau notamment mais également pour repérer des anomalies du cartilage, des muscles ou du cœur et pour le diagnostic des tumeurs cancéreuses. L'IRM fonctionnelle fournit des informations sur l'activité cérébrale, musculaire ou cardiaque et ce, avec une grande précision anatomique et temporelle.



### COMMENT ÇA MARCHE ?

L'IRM repose sur le principe de la Résonance magnétique nucléaire (RMN). Pour produire des images, le système plonge le patient dans un champ magnétique puissant généré par un aimant. En sa présence, les protons de l'eau réagissent comme des petites boussoles : ils s'alignent dans l'axe du champ magnétique. Une onde de radiofréquence est alors appliquée entraînant une rotation des protons. Quand elle s'arrête, les protons reviennent à leur état initial en libérant un signal (onde électromagnétique). C'est ce signal, généré lors du retour à l'équilibre, qui est traduit en >>>



IRM

>>> intensité et localisé dans l'espace, ce qui permet de construire l'image. Ainsi toutes les parties du corps riches en eau ou en graisse sont visibles, soit la grande majorité des tissus mous. À l'inverse, on distingue mal les os et les poumons. Plus le signal recueilli est intense, plus le point sur l'image est blanc. L'intensité dépend de la nature du tissu, si bien que l'IRM permet de les distinguer. Des produits de contraste paramagnétiques peuvent être administrés au patient pour augmenter la qualité de l'image. Quant à l'IRM fonctionnelle, elle permet de détecter la modification des propriétés

magnétiques de l'hémoglobine lorsque celle-ci subit une oxygénation. On peut alors visualiser les zones les plus consommatrices d'oxygène, c'est-à-dire les plus actives. Elle permet également de visualiser les mouvements de l'eau extracellulaire qui est ralentie dans les tissus à forte densité cellulaire (certaines tumeurs, par exemple).

## UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

L'histoire de l'Imagerie par résonance magnétique démarre après la Seconde Guerre mondiale avec la description du phénomène de la Résonance magnétique nucléaire (RMN). Les premières images datent quant à elles de 1973. Les chercheurs s'étaient inspirés des méthodes de reconstruction d'images de la tomodensitométrie (scanner) et parvinrent à visualiser en IRM une coupe en deux dimensions... d'un poivron. La technique évolua alors rapidement au rythme des progrès de l'électronique et de l'informatique. Dès 1977, on sut produire par IRM l'image d'un corps humain vivant.

« Dans les vingt ans qui ont suivi l'arrivée de l'IRM en France, entre 1980 et 2000, raconte Isabelle Magnin, Directrice du Centre de recherche en acquisition et traitement d'images pour la santé (Creatis), les progrès ont d'abord concerné la qualité des images produites. » Grâce à l'IRM, l'exploration du système nerveux s'accéléra et les connaissances sur l'anatomie du cerveau s'accumulèrent. La technique devint progressivement la référence pour produire des images du système nerveux central qui distinguent la substance blanche, la substance grise et le liquide céphalo-rachidien. « La plupart des avancées technologiques de l'IRM ont d'abord bénéficié à la neurologie avant de basculer vers le corps entier », note le Dr Sophie Taïeb, radiologue au Centre Oscar Lambret (Lille).

## DES AIMANTS DE PLUS EN PLUS PUISSANTS

La puissance des IRM a considérablement augmenté au fil des années. Au début des années quatre-vingt, les machines délivraient un champ magnétique de 0,5 à 1 Tesla<sup>④</sup>. Trente ans plus tard, la grande majorité des IRM ont une puissance de

# 646

C'est le nombre d'appareils d'IRM en service en France au 1<sup>er</sup> janvier 2013, soit environ 10 machines par million d'habitants. La moyenne européenne est de 20 appareils par million d'habitants (30 pour un million en Allemagne). Le délai d'attente est d'environ 30 jours pour bénéficier d'une IRM en France contre quelques jours en Allemagne.

## 1975



Premières images IRM de tissus humains.

## 1982



Installation des premiers appareils d'IRM en France.

## 1990



Première IRM 3T en France.

## 1992



Premières images du cerveau en fonctionnement.

## 2007



Première IRM 7T en France.



1,5 Tesla. « L'augmentation de la puissance a permis l'essor de l'IRM fonctionnelle en neurologie », explique le Docteur Taïeb.

Et depuis une dizaine d'années, sont commercialisées des IRM 3 Tesla qui permettent de recueillir plus de signal et par conséquent davantage d'informations sur les organes et les tissus. Résolution de l'image accrue, coupes plus fines et meilleur

contraste entre les différentes structures anatomiques : tels sont quelques-uns de ses principaux atouts qui en font un outil de choix pour caractériser le comportement d'un organe au travers de séquences fonctionnelles, métaboliques, de diffusion ou de perfusion. Par ailleurs, comme l'acquisition d'images est moins longue, la durée de l'examen pour le patient est raccourcie de même que le délai d'attente pour bénéficier d'un examen. « Avec une IRM 3 Tesla, témoigne le Docteur Taïeb, il faut 30 minutes pour faire une séquence fonctionnelle



**FIN DES ANNÉES  
2000**



**Premières machines à ouverture large (70 centimètres).**

**2010**



**Introduction de séquences d'acquisition silencieuses.**

contre 45 avec appareil 1,5 T. En injectant un produit de contraste et à partir de coupes très fines, de l'ordre de 0,6 millimètre, il devient possible d'étudier la cellularité des tissus. » L'utilisation de ces machines à très haut champ reste cependant soumise à conditions. En particulier, tous les matériaux médicaux (implants, prothèses etc.) posés chez le patient doivent être compatibles, ce qui sup- >>>

## ÉCLAIRAGE

### « L'IRM est indispensable pour prendre en charge les cancers gynécologiques »

**Dr Sophie TAÏEB,**  
radiologue au Centre  
Oscar Lambret (Lille)



« En oncologie gynécologique, l'IRM a de nombreuses indications. On s'en sert pour faire la différence entre des tumeurs de l'ovaire plus ou moins agressives. Pour un cancer de l'utérus, l'examen permet de déterminer la taille de la lésion et donc d'orienter vers tel ou tel traitement. Face à un cancer de la prostate, on s'appuie sur l'IRM pour décider de la meilleure option thérapeutique entre la chirurgie ou la radiothérapie. Par la suite, l'IRM est utilisée pour évaluer l'efficacité d'un traitement par chimiothérapie. Mais passer un examen d'IRM n'a rien d'agréable : la machine fait beaucoup de bruit, il y fait chaud et on doit rester immobile. Heureusement, grâce à l'augmentation de la puissance informatique des machines, le patient y reste moins longtemps qu'auparavant. »

>>> pose qu'ils aient été testés au préalable. Enfin, des IRM encore plus puissants existent. Pour l'heure, ces appareils de 7 voire 11,7 Tesla sont utilisés uniquement à des fins de recherche. À Saclay, par exemple, le centre de neuro-imagerie NeuroSpin s'en sert pour mieux comprendre le fonctionnement du cerveau, qu'il soit pathologique ou non.

### DES IRM PLUS SPACIEUX

Une autre série d'innovations est intervenue au cours de ces cinq dernières années et porte non plus sur la puissance de l'aimant mais sur l'ouverture du tunnel. Les fabricants ont mis au point des tunnels au diamètre élargi. Les modèles classiques de 60 centimètres cohabitent désormais avec des équipements à large ouverture (70 centimètres). Parallèlement, est apparue une nouvelle génération d'appareils dits à champ ouvert, c'est-à-dire sans tunnel. De telles machines améliorent l'accessibilité en facilitant l'examen pour des patients appareillés, en surpoids, anxieux ou claustrophobes. Ces équipements sont également mieux adaptés pour les enfants. Ont également été développées des machines dédiées aux membres et qui permettent de produire des images d'un patient en position

assise, ce qui développe les usages ostéoarticulaires. Plus confortables et moins bruyantes, elles sont aussi moins onéreuses que les appareils classiques.

### VERS DES MODALITÉS HYBRIDES

Et si nous n'étions qu'à la préhistoire de l'IRM ? Avec l'avènement de l'imagerie interventionnelle, l'IRM vient de faire son entrée dans le bloc opératoire afin de guider certaines interventions chirurgicales non-invasives. Associée aux ultrasons focalisés<sup>G</sup>, elle contribue déjà au traitement du fibrome utérin, à l'ablation de certaines tumeurs osseuses ou à la destruction des noyaux gris dans le cadre du traitement de la maladie du tremblement essentiel. Elle permet en effet de piloter les ultrasons mais aussi de contrôler l'élévation de température, y compris dans des zones jusqu'alors inaccessibles. Par ailleurs, les premières machines d'imagerie hybride qui couplent un appareil d'IRM à un Tomographe par émission de positons (TEP) sont opérationnelles depuis peu en Europe et permettent de mettre en évidence, sur un même cliché et lors d'un examen unique, l'activité métabolique des organes ainsi que le fonctionnement biochimique des tissus. ■

## À SAVOIR

### DOUBLE PRIX NOBEL

L'invention de l'imagerie par résonance magnétique a valu à Paul Lauterbur et Peter Mansfield de recevoir le Prix Nobel de médecine en 2003. Le premier, chimiste américain, aurait eu l'idée de l'IRM dans un wagon-restaurant. Il aurait griffonné sa machine sur une serviette de table. Le second, britannique, était imprimeur avant de devenir physicien. Il montra comment les signaux radio de l'IRM peuvent être analysés mathématiquement et convertis en une image exploitable. C'est également lui qui a jeté les bases de l'IRM fonctionnelle. Mais rien n'aurait été possible sans le développement préalable de la Résonance magnétique nucléaire (RMN). Des travaux pour lesquels deux physiciens (Felix Bloch et Edward Purcell) furent eux aussi récompensés par le Prix Nobel, cinquante ans plus tôt, en 1952.

# TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITONS (TEP)

## Une arme anticancer... mais pas seulement

En l'espace de seulement dix ans, la Tomographie par émission de positons (TEP) a révolutionné la prise en charge du cancer. Forte de son succès, cette modalité d'imagerie fonctionnelle au cœur de la médecine nucléaire suscite aujourd'hui l'intérêt de plusieurs autres spécialités médicales.

### À QUOI ÇA SERT ?

La Tomographie par émission de positons (TEP) est une modalité d'imagerie fonctionnelle en trois dimensions utilisée en médecine nucléaire. Son principal intérêt réside dans sa capacité à quantifier l'activité métabolique des cellules. La lecture des clichés permet aux médecins de différencier les tissus sains des tumeurs malignes et de leurs métastases. « La TEP a révolutionné la prise en charge du cancer, estime le Pr Patrick Bourguet, médecin nucléaire au Centre Eugène Marquis (Rennes). Lors du diagnostic, elle est indiquée pour faire un bilan d'extension initial de la tumeur. En ce qui concerne les

ganglions, le scanner dira s'ils sont petits ou gros, autrement dit de taille normale ou pas avec un risque d'erreur une fois sur trois. La TEP, elle, révèle s'ils sont cancéreux ou pas. » On se sert aussi de la TEP pour diagnostiquer les récurrences de cancer le plus tôt possible, lorsque les amas tumoraux sont encore de très petite taille. Elle est par ailleurs de plus en plus utilisée pour évaluer la réponse de la tumeur à un traitement et pour adapter la posologie recommandée.

### COMMENT ÇA MARCHE ?

La TEP repose sur le principe général de la scintigraphie. La technique consiste à suivre à l'aide d'une caméra à positons le rayonnement (les photons) émis par un traceur radioactif, également >>>



TEP

>>> appelé radiotracteur<sup>Ⓢ</sup>, injecté dans l'organisme du patient. Celui-ci se compose d'un élément chimique radioactif, qui se désintègre progressivement, couplé à un traceur choisi pour ses propriétés physiologiques. Par exemple, s'il s'agit de suivre l'activité de cellules cancéreuses, grandes consommatrices de sucre, l'élément radioactif de choix est l'isotope 18 du fluor incorporé dans une molécule d'analogue de glucose. L'ensemble forme le Fluorodésoxyglucose (FDG) marqué au fluor 18 qui est de loin le traceur actuellement le plus utilisé en imagerie TEP. Du reste, il est particulièrement bien adapté pour caractériser un lymphome<sup>Ⓢ</sup> ou un cancer du poumon ainsi que la grande majorité des tumeurs à l'exception notable du cancer de la prostate pour lequel les médecins lui préfèrent la choline.

Aux doses utilisées, la radioactivité ne présente aucun danger pour le patient. « *Le FDG n'a aucun effet secondaire* », confirme le Professeur Bourguet. La production d'isotopes radioactifs puis celle des



Imageur tomographique par émission de positons

radiotraceurs requièrent des équipements de haute technologie, notamment des cyclotrons<sup>Ⓢ</sup>, et reposent sur les principes de la physique nucléaire. L'examen a lieu dans un service hospitalier de médecine nucléaire et nécessite une caméra TEP. À ne pas confondre avec une gamma-caméra utilisée pour une autre modalité d'imagerie nucléaire, la Tomographie par émission de photons (TEMP).

## UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

### PREMIÈRES RECHERCHES EN NEUROSCIENCES

La Tomographie par émission de positons est une technique de scintigraphie qui ne date pas d'hier. Le principe a vu le jour dans les années cinquante aux

**ANNÉES  
1950**



**Premiers prototypes de caméra TEP.**

**ANNÉES  
1970**



**Développement de la TEP et utilisation des premiers radiotraceurs pour la recherche en neurosciences.**

**FIN DES ANNÉES  
1990**



**Validation de l'utilisation clinique du FDG en cancérologie.**

**ANNÉES  
2000**



**Construction des premiers PET-scan qui deviennent le standard de référence.**

# 110 minutes

C'est la durée de la demi-vie du fluor 18, c'est-à-dire le temps au terme duquel il ne restera plus que la moitié de la radioactivité initiale de ce radiotracer. Autrement dit, la quasi-totalité de l'activité disparaît en moins de douze heures, ce qui laisse peu de temps après la production du radiotracer pour pratiquer l'imagerie TEP FDG.

États-Unis. Jusqu'à la fin des années soixante-dix en France, seuls les centres de recherche en neurosciences de Lyon, Caen et Orsay y avaient recours pour explorer, à des fins de recherche, les différentes pathologies neuropsychiatriques humaines. De nombreux traceurs furent testés pendant cette période sans qu'aucune application clinique évidente n'émerge. Il fallut attendre la toute fin du siècle dernier pour que fût validée l'utilisation du FDG en cancérologie et quelques années de plus pour assister aux premières imageries TEP effec-

## MILIEU DES ANNÉES 2000



Premiers usages cliniques de l'imagerie TEP.

## 2014



Installation du premier TEP-IRM français à Lyon.

tuées en médecine nucléaire. « *La première caméra TEP made in France date de la fin des années quatre-vingt-dix* », se souvient Jean-François Chatal, Professeur émérite en médecine nucléaire à l'Université de Nantes. Rapidement, germa l'idée, qui perdura, de coupler la caméra TEP à un scanner. L'ensemble, nommé PET-scan, tourne autour du patient et permet de reconstituer l'image en trois dimensions de la zone étudiée. « *À l'époque, il fallait compter une heure par patient et les machines en traitaient huit par jour*, se souvient le Professeur Bourguet. *Aujourd'hui, elles sont plus précises et plus sensibles, si bien que l'examen est beaucoup moins long puisqu'il ne faut plus que vingt minutes. En outre, en dix ans, la réduction des doses en radiotraceurs frise les 30 %.* »

### LA CANCÉROLOGIE COMME TREMPLIN

Même si son utilisation en cancérologie est à l'origine du développement de la TEP en médecine nucléaire, la TEP FDG n'est pas cantonnée à cette seule spécialité. Le rubidium 82 est par exemple de plus en plus utilisé aux États-Unis pour visualiser l'activité cardiaque de perfusion du myocarde. Ainsi, « *en neurologie, complète le Pr Patrick Bourguet, la TEP au FDG permet de visualiser les circuits de transmission de neurotransmetteurs comme la dopamine ou la sérotonine. Elle contribue déjà au diagnostic de certaines formes d'épilepsie et de démence.* » De son côté, le rubidium 82 est par exemple de plus en plus utilisé aux États-Unis pour visualiser l'activité cardiaque. >>>

## ÉCLAIRAGE

### « Un processus typique »

Pr Patrick BOURGUET, médecin nucléaire au Centre Eugène Marquis (Rennes).



« *Le processus industriel de la Tomographie par émission de positons (TEP) est typique puisque l'effet de niche a cédé le pas à un sujet de santé publique. Issue de la recherche, la technique a su trouver une première application clinique de grande échelle en cancérologie. Celle-ci a nécessité des équipements en machines et suscité des investissements considérables de la part des industriels. Les produits ont alors fait des sauts technologiques majeurs qui bénéficient aujourd'hui à d'autres pathologies. Actuellement, la demande, les applications et les traceurs sont là. Et la recherche fourmille.* »

>>> Par ailleurs, d'autres radiotraceurs testés jadis au cours de recherches cliniques recommencent à susciter de l'intérêt et à faire leurs preuves pour révéler et quantifier divers phénomènes cellulaires. En cancérologie tout d'abord : « *Le cuivre 64 couplé à une petite molécule appelée ATSM semble être un bon marqueur de l'hypoxie tumorale, affirme le Professeur Chatal. À l'avenir, on pourrait s'en servir pour renforcer la dose d'irradiation de radiothérapie là où la tumeur est peu oxygénée. Au niveau moléculaire, des radiotraceurs permettant de visualiser l'angiogénèse (formation de nouveaux vaisseaux tumoraux) ou l'apoptose (mort programmée d'une cellule) pourraient également arriver prochainement sur le marché.* »

### BIENTÔT DES CYCLOTRONS DE POCHE

La France compte plus de vingt cyclotrons assurant la production principalement de fluor-18 pour la médecine nucléaire. Ces équipements de pointe occupent des surfaces de plusieurs dizaines de mètres carrés, à distance des services de médecine nucléaire dans lesquels les patients sont pris en charge. Aussi faut-il transporter les traceurs d'un endroit à l'autre. Pendant le trajet, une quantité non négligeable de radioactivité décroît et le radiotraceur devient inutilisable pour l'imagerie. Pour

contourner le problème, des industriels commencent à proposer des cyclotrons « de poche », adaptés au gabarit d'une pièce standard et qui pèsent entre une et quatre tonnes. Objectif : produire sur place et à la demande les marqueurs nécessaires à l'imagerie et aux traitements de médecine nucléaire. Cette proximité, couplée à l'arrivée de TEP-CT numériques à la sensibilité plus élevée, permettra l'utilisation de nouveaux traceurs à durée de vie très courte.

### L'ÈRE DE LA TEP-IRM

En matière d'imagerie TEP, la dernière innovation en date consiste à remplacer le scanner par un appareil d'IRM pour former un appareil de très haute technologie appelé TEP-IRM (ou PET-MRI en anglais). Seuls quelques-uns de ces imageurs hybrides existent pour le moment à travers le monde. Alors que la première machine du genre est sur le point d'être mise en service en France, à Lyon, ses modalités d'usage restent encore à définir. « *Pour l'heure, observe le Professeur Chatal, les indications respectives des TEP-scan et des TEP-IRM suscitent de vastes débats. En pratique, cela permet de délivrer moins d'irradiations au patient, ce qui pourrait s'avérer très utile en pédiatrie. On y verra certainement plus clair d'ici deux ans.* » ■

## VU DU CÔTÉ DES PATIENTS

### « J'ai évité un changement de prothèse »

Huit mois après s'être fait poser une prothèse du genou, Françoise, 72 ans, déclare un érysipèle qui la fait beaucoup souffrir. Les médecins penchent pour une infection de la prothèse. On lui prescrit des antibiotiques et suggère une intervention de remplacement. « *L'un des médecins avait un doute car les cultures biologiques restaient négatives. Il pensait qu'il pouvait s'agir d'un épisode inflammatoire lié à une poussée de spondylarthrite ankylosante. J'ai alors fait toute une série d'exams qui n'ont rien donné. C'est le PET-scan qui a finalement fait la différence. Il a permis d'éliminer l'hypothèse de l'infection et de confirmer le diagnostic inflammatoire. Grâce à cela, j'ai évité un changement de prothèse dans les quarante-huit heures !* »

# ÉCHOGRAPHIE

## De l'observation au soin

Tandis que l'échographie pousse toujours plus loin l'exploration anatomique, de nouvelles technologies utilisant les ultrasons sont en passe de révolutionner le diagnostic mais aussi la prise en charge de certains cancers, des hépatites ou encore du glaucome.

### À QUOI ÇA SERT ?

Aujourd'hui, l'examen échographique est devenu incontournable pour suivre le développement du fœtus et le déroulement de la grossesse. Un tel usage est relativement récent puisqu'il n'a qu'une quarantaine d'années. L'échographie est également en train de passer de l'observation à l'action, l'utilisation des ultrasons à des fins thérapeutiques faisant actuellement l'objet de multiples recherches et allant au-delà d'une utilisation dans le cadre d'une

Échographe



### COMMENT ÇA MARCHE ?

Modalité d'imagerie anatomique et fonctionnelle, l'échographie fournit une vue de l'intérieur du corps humain en deux voire trois dimensions à partir de l'émission d'ultrasons de faible intensité. Générées par une sonde posée sur le corps, ces ondes de compression traversent les milieux liquides à la vitesse de 1 500 mètres par seconde. Elles rebondissent sur les tissus qu'elles rencontrent à la manière d'une balle de tennis. La sonde capte ces échos et les transmet à un appareil qui assure leur conversion en signaux vidéo, dessinant à l'écran l'image de la zone étudiée. >>>



Échographe portable

## À SAVOIR

### QUAND LES JEUX VIDÉO SONT SOURCE D'INSPIRATION

Alors que les échographes fonctionnaient surtout grâce à l'électronique embarquée, des industriels étendent aujourd'hui cette intelligence aux logiciels puisés dans l'univers du jeu vidéo. Une industrie connue pour sa haute qualité d'images et ses prouesses graphiques, avec laquelle ils ont noué des partenariats. Ces échographes nouvelle génération de très haute définition contiennent donc un nombre restreint de cartes électroniques et des logiciels qui pilotent les processus graphiques. Résultat : l'acquisition de données est beaucoup plus rapide, ce qui pourrait bientôt permettre de visualiser des phénomènes jusqu'alors invisibles.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

L'hypersonographie : c'est ainsi que les Autrichiens Karl Dussik, médecin, et son frère Friederick, physicien, appelèrent en 1947 leur technique de diagnostic médical utilisant les ultrasons pour visualiser les ventricules cérébraux. Avant eux, personne n'avait encore eu l'idée d'exploiter les caractéristiques de ces ondes à des fins médicales. Quelques années plus tard, en 1951, le premier échographe vit le jour en Grande-Bretagne, destiné à la recherche de tumeurs cérébrales.

### LA RÉVOLUTION DU BALAYAGE ÉLECTRONIQUE

Utilisés en routine pour la clinique depuis le début des années soixante-dix, les premiers échographes étaient équipés de sondes monovoie, c'est-à-dire capables d'émettre des ondes dans une seule direction. Les images étaient obtenues très lentement en promenant la sonde à la surface du corps. « Une première révolution survint à la fin des années

soixante-dix grâce aux progrès de l'électronique et au développement de l'informatique, donnant un coup d'accélérateur à la reconstruction d'images. Les barrettes multiéléments permettent d'effectuer des balayages électroniques qui fournissent en un temps de plus en plus court des données de plus en plus nombreuses », explique Jean-Yves Chapelon qui dirige, à l'Inserm à Lyon, le laboratoire Thérapies et applications ultrasonores. À la même époque, les signaux numériques, qui peuvent être stockés, firent leur apparition et les capacités de mémorisation des données augmentèrent rapidement. En quelques années, le numérique envahit les appareils et supplanta le traitement d'images analogiques. Parallèlement, les séquences d'images s'accéléraient jusqu'à permettre l'acquisition en temps réel.

### L'AVÈNEMENT DE LA TECHNIQUE DITE ÉCHO-DOPPLER

À la même époque, un autre examen utilisant les propriétés des ondes sonores vit le jour : le doppler

1951



Premier échographe destiné à la recherche de tumeurs cérébrales.

DÉBUT ANNÉES  
1970



Premiers échographes unidirectionnels et apparition du doppler.

1974



Première échographie obstétricale en France.

FIN ANNÉES  
1970



Apparition des barrettes multiéléments.

ANNÉES  
1980 ET 1990



Développement de l'échographie fonctionnelle.



qui s'appuie sur l'effet du même nom décrit au XIX<sup>e</sup> siècle par un physicien autrichien. Couplée à l'échographie classique, la technique dite écho-doppler fournit une imagerie fonctionnelle qui explore les caractéristiques du flux sanguin dans le cœur et les vaisseaux. Elle est aujourd'hui très pratiquée en médecine vasculaire et permet de repérer ou, au contraire, d'éliminer l'hypothèse de pathologies telles que la thrombose, la phlébite, la sténose ou l'anévrisme. Pour cela, la sonde doppler, posée sur la peau, émet des ultrasons qui traversent la cavité cardiaque et les parois des vaisseaux avant d'être réfléchis par les globules rouges dont on peut alors suivre la vitesse, le trajet et les turpitudes.

### L'ÉCHOGRAPHIE DEVIENT FONCTIONNELLE

À partir des années quatre-vingt et plus encore dans la décennie quatre-vingt-dix, les technologies de reconstruction d'images furent suffisamment performantes pour que l'échographie elle-même devienne fonctionnelle. On ne se contenta plus d'explorer la biométrie des différents organes : on

pouvait désormais assister en direct à l'activité du muscle cardiaque, aux mouvements du fœtus ou à la réaction d'un tissu sous l'effet d'un geste. À ce jour, tous les organes mous tels que le foie, les reins, la vessie, la prostate ou les muscles peuvent être explorés par échographie. Seuls le cerveau et les poumons font figures d'exception. Le premier parce que la boîte crânienne qui l'entoure stoppe net les ondes de compression et les seconds à cause de l'air dont ils sont emplis qui empêche la transmission ultrasonore.

### L'INTÉRÊT DES MICROBULLES

Les progrès technologiques et le coût de plus en plus abordable des composants électroniques ont permis de repousser les limites de l'échographie. Les sondes ultrasonores devinrent de plus en plus petites, ce qui ouvrit la voie à de nouvelles explorations des organes digestifs, à l'aide d'endoscopes, et intravasculaires, y compris au niveau des artères coronaires qui mesurent moins de 5 millimètres. En cancérologie, on a aujourd'hui recours à l'échographie dite de contraste, technique non invasive qui augmente la sensibilité de détection des tumeurs. Cette modalité utilise des produits de contraste - des microbulles - qui améliorent l'intensité du signal recueilli. Injectés en intraveineuse, ils se fixent préférentiellement sur les tissus largement irrigués. Or, les tumeurs et les métastases sont plus vascularisées que les tissus sains. Et plus récemment, les techniques de wash-in (fixation) et wash-out (relargage) des produits de contraste contribuent à >>>

## ÉCLAIRAGE

### « Un processus typique »

**Dr Albert GELET,**  
urologue.



*« Chez un patient sur cinq atteint de cancer de la prostate, la tumeur ne concerne que 10 à 15 % du volume prostatique. Tout l'enjeu du traitement focal consiste à faire l'ablation de cette zone tout en conservant l'organe. C'est possible grâce aux ultrasons focalisés de haute intensité (en anglais, High intensity focused ultrasound, HIFU) qui chauffent les cellules tumorales jusqu'à les détruire et ce, sans endommager les tissus environnants. Lorsque le système est couplé avec une machine IRM, on peut cibler sur l'écran de l'appareil les contours de la tumeur avec une grande précision. Aujourd'hui, de plus en plus de centres experts s'équipent pour proposer cette technique aux patients. »*

ANNÉES  
2000



**Naissance de l'élastographie.  
Premiers traitements  
par HIFU du cancer de  
la prostate.**

2008



**Premiers échographes  
utilisant les ondes  
ultrasonores et  
de cisaillement.**

>>> définir les caractéristiques des échanges sanguins dans les tissus tumoraux. L'identification des produits de contraste fait aujourd'hui l'objet de recherches. « *L'enjeu est important puisqu'il s'agit de poser un diagnostic et de suivre une pathologie de la manière la moins invasive possible mais avec une précision optimale*, souligne Jean-Yves Chapelon. *Pour un patient atteint d'un cancer de la prostate, le jour où l'échographie de contraste deviendra systématique en lieu et place des biopsies, ce sera pour lui la fin des ponctions.* »

### L'ÉLASTOGRAPHIE, UNE « SISMOLOGIE DU CORPS »

L'évolution de l'échographie se poursuit également à travers l'élastographie. L'histoire de cette nouvelle technique débute en 1987. Jusqu'à cette date, on pensait que les ondes de cisaillement, mises en évidence par les sismologues, ne pouvaient pas circuler dans le corps humain à la différence des ondes de compression. De fait, aux fréquences ultrasonores, seules les ondes de compression voyagent dans les tissus biologiques tandis que les ondes de cisaillement sont très vite absorbées. Aussi a-t-il fallu attendre que les capteurs et les systèmes de détection des échographes gagnent en sensibilité et en rapidité pour pouvoir les visualiser. L'élastographie utilise ces ondes de cisaillement, générées par des ondes de fréquence sonore, pour mesurer l'élasticité de palpation d'un organe et désigner des zones anormalement dures à l'instar des nodules. Aujourd'hui, l'imagerie multi-ondes combine ondes

sonores et ultrasonores pour obtenir de nouvelles images du corps humain et de l'élasticité des organes avec un contraste et une résolution inégalés jusqu'alors et une précision inférieure au millimètre. Si bien que l'on est aujourd'hui capable de mesurer le degré de fibrose du foie ou d'évaluer l'efficacité d'un traitement contre l'hépatite C à l'écran et non plus à partir d'une biopsie.

### DES ULTRASONS QUI SOIGNENT

Enfin, les ultrasons sont également en train de passer de l'observation à l'action. Ainsi, leur utilisation à des fins thérapeutiques fait actuellement l'objet de multiples recherches. Du reste, le domaine de la thérapie à haute intensité est le premier à avoir été exploré par le corps médical dans l'entre-deux Guerres, avant le développement de l'imagerie. Comme les rayons du soleil passant au travers d'une loupe, un faisceau d'ultrasons de haute intensité génère un effet thermique. Ciblé sur une zone donnée, celui-ci peut en détruire tout ou partie. La méthode des ultrasons focalisés à haute intensité, dite HIFU, vise donc à provoquer la nécrose cellulaire, notamment au niveau d'une tumeur. Elle a d'abord été utilisée pour le traitement focal, c'est-à-dire ciblé, du cancer de la prostate comme option alternative à la chirurgie (*voir encadré*). Dans les années 2000 est apparue une nouvelle génération de machines couplant ces ultrasons thérapeutiques à un système de guidage par IRM. Le traitement du fibrome utérin a été le premier à bénéficier de cette avancée. « *Des recherches cliniques prometteuses*

*sont en cours pour développer la méthode des HIFU au traitement du glaucome mais aussi du tremblement essentiel, la maladie de Parkinson ou encore des douleurs centrales* », souligne Jean-Yves Chapelon. Elle pourrait en outre prochainement investir les établissements de soins pour venir à bout des métastases hépatiques ou des tumeurs cérébrales profondes. ■

### À SAVOIR

#### AU COMMENCEMENT ÉTAIT LE SONAR

Bien avant leur utilisation médicale, les ultrasons ont connu un destin militaire. Dès la Première Guerre mondiale, les propriétés de propagation et de réflexion dans l'eau des sonars furent exploitées pour localiser les sous-marins ennemis. L'invention découlait des travaux du physicien français Paul Langevin. Alors que des essais étaient effectués dans la baie de Toulon, des poissons morts remontèrent à la surface. L'idée germa alors d'utiliser les ultrasons pour détruire des cellules vivantes et traiter certaines maladies. L'échographie, quant à elle, vit le jour après la Seconde Guerre mondiale.

## IMAGERIE INTERVENTIONNELLE

# Quand l'image guide le geste

Près de soixante ans après la réalisation des premiers abords endovasculaires, l'imagerie interventionnelle a envahi les salles d'opération pour assister les médecins dans leurs gestes diagnostiques et thérapeutiques. Pour le plus grand bénéfice des patients qui gagnent en confort, en sécurité et rentrent plus vite chez eux.

### À QUOI ÇA SERT ?

L'imagerie interventionnelle rassemble toutes les modalités d'imagerie utilisées afin de guider des gestes diagnostiques ou thérapeutiques effectués à l'intérieur du corps. Elle inclut la radiologie interventionnelle, pratiquée par des radiologues, mais aussi la neuroradiologie interventionnelle au niveau du cerveau, la cardiologie interventionnelle et la chirurgie interventionnelle. À la différence des interventions chirurgicales classiques, ces techniques consistent à poser une endoprothèse, à pratiquer une ponction, à détruire une tumeur, à effectuer une embolisation ou encore à drainer un organe sous contrôle visuel sans « ouvrir » le patient. Et ce, grâce à l'imagerie qui permet au médecin de visualiser avec précision la lésion ou la zone à atteindre et lui sert de support pour effectuer son geste. Ce type

d'acte, lorsqu'il est indiqué, présente l'avantage d'être moins traumatisant pour l'organisme et nécessite une anesthésie moins longue, ce qui améliore à la fois la sécurité et le confort du patient et réduit la durée de l'hospitalisation. Dans certains cas, le suivi à domicile est envisageable dès lors que l'intervention destinée à installer le dispositif thérapeutique a eu lieu.

### COMMENT ÇA MARCHE ?

Deux voies d'accès à l'organe ou au tissu sont possibles et le choix dépend de l'acte envisagé. >>>



Salle de radiologie interventionnelle

>>> L'abord se fait soit par les vaisseaux sanguins (voie endovasculaire), soit à travers la peau (voie percutanée). Le guidage par imagerie permet de s'assurer, en temps réel, du bon positionnement de l'extrémité de l'aiguille, du cathéter ou de tout autre dispositif nécessaire au geste *in situ*. Grâce aux systèmes de fusion d'images, on parvient désormais à recalibrer les images obtenues préalablement sur celles disponibles en salle d'intervention, de manière à compiler les informations des différentes vues. Cela consiste, par exemple, à ramener en salle d'angiographie des clichés d'échographie de scanner ou d'IRM.



Système de radiologie interventionnelle

## UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

On estime que l'imagerie interventionnelle moderne est née avec la radiologie interventionnelle et, dans les années soixante, avec les premières procédures endovasculaires. Le Pr Charles Dotter, considéré comme l'un des pionniers de la radiologie interven-

tionnelle, réalisa la première dilatation artérielle percutanée en 1964, aux États-Unis, au niveau de l'artère poplitée (qui irrigue le genou, la jambe et le pied) d'une patiente atteinte de gangrène. Il opère alors sous contrôle angiographique (une modalité d'imagerie des vaisseaux aux rayons X) pour diriger le cathéter et placer le dilatateur à l'endroit souhaité. Treize ans plus tard, un cardiologue, le Pr Andreas

Grünzig, améliora sensiblement la technique en mettant au point la dilatation par ballonnet qui ouvrit la voie à l'angioplastie des coronaires (coronaro-plastie).

### LES TECHNIQUES D'EMBOLISATION

Les techniques d'embolisation sous angiographie sont un peu plus récentes puisque la première

1955



Premier drainage urinaire percutané.

1964



Premières dilatations artérielles guidées par artériographie.

1977



Première angioplastie coronaire au ballonnet.

1981



Première chimioembolisation.

1985



Pose des premiers stents.

# 110 000

C'est le nombre moyen d'angioplasties coronaires pratiquées chaque année actuellement en France. L'intervention consiste à introduire un ballonnet dans une artère obstruée afin de traiter la maladie coronarienne.

d'entre elles a été réalisée en 1973. Au fil des années, s'est développé tout un arsenal d'agents d'embolisation comme les coils, ces pelotes de fil de métal destinées à obstruer une artère afin que le sang n'y circule plus. Les neuroradiologues se sont appropriés cette approche qui permet de prendre en charge les malformations vasculaires hémorragiques et de prévenir certains accidents de type AVC. « Plusieurs innovations techniques se sont succédé concernant les coils, note le Pr Alain Bonafé, neuroradiologue au CHU de Montpellier. Parmi les plus récentes, les cages intra-anévris-

males permettent de déposer en une seule fois l'équivalent de plusieurs dizaines de coils dans les vaisseaux cérébraux tandis que les systèmes de diversion de flux servent à reconstruire le vaisseau porteur. » Les chercheurs travaillent également à mettre au point de nouveaux agents liquides d'embolisation sous forme de gel avec certaines propriétés de viscosité ou d'opacité.

## EN ONCOLOGIE

L'oncologie aussi a largement bénéficié des apports de l'imagerie interventionnelle en général, d'abord pour diagnostiquer les tumeurs au moyen de biopsies effectuées par voie transcutanée puis pour traiter certaines tumeurs. « La première chimio-embolisation<sup>6</sup> remonte au début des années quatre-vingt et a introduit la possibilité de procéder à des traitements oncologiques par radiologie interventionnelle », rappelle le Pr Vincent Vidal, Directeur du laboratoire d'imagerie interventionnelle expérimentale de l'Université Aix-Marseille. Par la suite, d'autres traitements ont vu le jour, administrés à l'aide d'une aiguille positionnée en percutané. La thermoablation (destruction par le chaud), qui recourt à des courants électriques alternatifs pour brûler les tissus tumoraux, est utilisée depuis la fin des années quatre-vingt-dix afin de traiter certaines tumeurs hépatiques. Elle est à présent également validée pour le poumon, le rein et l'os. À l'inverse, la cryoablation<sup>6</sup> utilise les propriétés du froid pour détruire les cellules tumorales. Au chapitre des innovations, l'électroporation<sup>6</sup> suscite des >>>

## ÉCLAIRAGE

### « L'embolisation a révolutionné le traitement des anévrismes »

Pr Alain BONAFÉ,  
neuroradiologue.



« Au cours des quinze dernières années, la neuroradiologie interventionnelle a transformé la prise en charge des malformations

vasculaires cérébrales, à commencer par les anévrismes cérébraux sans rupture. La chirurgie avec craniectomie a progressivement cédé la place à l'embolisation qui est aujourd'hui le traitement de référence. On aborde l'anévrisme à partir d'un point de ponction au niveau de l'artère fémorale, sous contrôle du geste guidé par imagerie aux rayons X relayée à l'écran. Les résultats sont excellents et les effets secondaires moins nombreux. Le gain pour les patients est également symbolique car il n'est plus nécessaire d'ouvrir la boîte crânienne. »

## 1992



Première utilisation de coils pour traiter les anévrismes intracrâniens.

## 2008



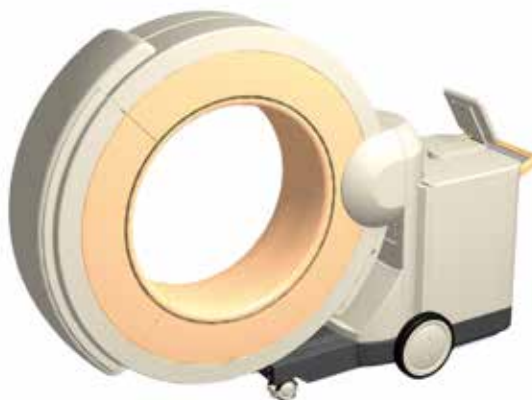
Première utilisation de l'IRM interventionnelle pour traiter une tumeur cérébrale.

>>> espoirs en thermothérapie<sup>®</sup> des tumeurs pancréatiques car la technique permet d'envoyer un courant électrique qui détruit les zones tumorales sans créer d'échauffement dans les tissus voisins. Par ailleurs, on commence à traiter certains cancers du foie par radioembolisation percutanée, c'est-à-dire par administration de substances radiothérapeutiques au contact direct de la tumeur.

### LA PRODUCTION D'IMAGES

À mesure que les indications diagnostiques et thérapeutiques de l'imagerie interventionnelle se développent, les systèmes de guidage et de contrôle par l'image qui lui sont nécessaires se perfectionnent. Ainsi après l'angiographie, c'est le scanner, l'échographie et plus récemment l'IRM qui ont été de plus en plus souvent mis à contribution pour aider au pilotage du geste, d'une part, et à sa planification, d'autre part. « *Le guidage sous IRM est intéressant car il ne produit aucune irradiation, justifie Vincent Vidal. En revanche, il impose de n'utiliser absolument aucun matériel ferromagnétique, pas même une aiguille métallique.* » Les techniques récentes de fusion d'images permettent de s'abstraire de cette contrainte en calquant les vues IRM de la zone cible obtenues en amont sur celles aux rayons X de l'intervention en cours.

Développer les capacités de modélisation des équipements d'imagerie afin de visualiser le mouvement de certains organes, comme le rein ou le foie, sous l'effet de la respiration constitue l'un des autres défis à relever dans les prochaines années. Ainsi une thérapie ultralocalisée, comme les ultrasons focalisés de haute intensité (HIFU, en anglais), aurait-elle plus de chances d'atteindre parfaitement sa cible en continu. Enfin, plusieurs innovations visent à réduire les doses de rayons X administrées au patient pour produire les images. L'enjeu est d'autant plus important que les procédures interventionnelles sont le plus souvent longues et qu'il est crucial de conserver une bonne qualité d'image avec une dose la plus faible possible tout au long de l'intervention. ■



Système d'imagerie peropératoire numérique

### À SAVOIR

## UNE SALLE HYBRIDE CARDIOVASCULAIRE DE POINTE À LILLE

La salle hybride robotisée inaugurée fin 2012 au CHRU de Lille est un concentré d'innovations en cardiologie interventionnelle. L'originalité de la plate-forme de fabrication française tient au fait que les chirurgiens cardiovasculaires disposent, au sein d'un bloc opératoire aseptisé, de toute une gamme d'options pour l'imagerie 3D et la fusion de modalités embarquées dans un système mobile qui peut se déplacer autour du patient. Des interventions mini-invasives par voies endovasculaire et percutanée, notamment en cas de rupture d'anévrisme de l'aorte, de rétrécissement de la valve aortique ou encore d'accident vasculaire cérébral, y sont réalisées y compris pour des patients inopérables par ailleurs car trop fragiles.

# GLOSSAIRE

## **Amplificateur de luminance (ou de brillance)**

Appareil permettant de transformer une image optique en une image électronique. Il est utilisé en radioscopie pour augmenter la luminosité et la précision d'une image recueillie directement sur un écran fluorescent puis pour la projeter sur un écran de télévision. L'image est obtenue par un faisceau de rayons X de faible intensité, ce qui expose le patient à une irradiation légère. L'image peut être observée, photographiée et transmise à distance.

## **Anévrisme (ou anévrisme) cérébral**

Cavité formée par la dilatation des parois d'une artère intracrânienne et contenant du sang. Généralement, l'anévrisme cérébral non rompu est découvert fortuitement lors d'une investigation radiologique car il n'est associé à aucun symptôme. La rupture d'un anévrisme cérébral produit une hémorragie plus ou moins importante dont les conséquences peuvent être dramatiques.

## **Angioplastie**

Procédé destiné à réparer ou à remodeler un vaisseau par suture, désobstruction, élargissement à l'aide d'une pièce, dilatation par sonde à ballonnet etc. L'angioplastie transluminale percutanée consiste à dilater une artère rétrécie par une plaque d'athérome (cholestérol) ou une malformation. Sous contrôle radioscopique, une sonde à ballonnet est introduite à travers la peau dans l'artère et poussée jusqu'au lieu du

rétrécissement. Le ballonnet est alors gonflé de manière à écraser la plaque d'athérome et à rétablir un calibre artériel suffisant pour la bonne circulation du sang.

## **Artéfact**

Phénomène parasite faussant le tracé d'un appareil enregistreur, dû à la technique utilisée ou à l'appareil lui-même, et qui risque de perturber l'interprétation des données.

## **Chimioembolisation**

Mode de traitement qui associe l'embolisation (obstruction thérapeutique d'une zone inaccessible par la chirurgie) et la chimiothérapie. Préconisé pour certaines tumeurs malignes, il consiste à déposer localement par voie artérielle des microcapsules contenant le médicament anticancéreux.

## **Cryoablation**

Technique mini-invasive de destruction d'une tumeur fondée sur l'alternance de cycles rapides de congélation et de réchauffement entraînant la nécrose des tissus. Le refroidissement est obtenu par la circulation d'un gaz, l'argon, dans une cryosonde placée au contact de la tumeur, ce qui entraîne la formation de glace dans le tissu.

## **Cyclotron**

Machine cylindrique dans laquelle règne le vide et qui sert à accélérer des particules chargées >>>

>>> (protons, ions) sous l'action combinée d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Les particules atteignent ainsi des vitesses extrêmes. A leur sortie de l'accélérateur, elles sont projetées sur une cible, ce qui produit des atomes radioactifs utilisés ensuite en médecine nucléaire.

### Écho-doppler

Combinaison d'un examen doppler et d'une échographie, qui ajoute aux informations sur la circulation sanguine fournies par le doppler des éléments anatomiques relatifs aux vaisseaux ou au cœur.

### Échographie

Technique d'imagerie médicale fondée sur l'enregistrement des échos produits par les ultrasons lors de leur passage à travers différents milieux et structures de l'organisme.

### Électroporation

Méthode de destruction des cellules cancéreuses qui consiste à augmenter la perméabilité de la membrane cellulaire sous l'effet d'impulsions électriques courtes et intenses.

### Imagerie par résonance magnétique (IRM)

Technique d'imagerie médicale utilisant les propriétés de Résonance magnétique nucléaire (RMN) des protons, en particulier ceux des molécules d'eau, du corps humain. Elle fournit

des images en trois dimensions et en coupe d'une très grande précision anatomique.

### Lymphome

Tumeur composée de tissu lymphoïde typique, développée soit dans les organes contenant déjà ce tissu comme la rate ou les ganglions, soit dans ceux qui n'en contiennent pas. Terme généralement réservé aux tumeurs malignes comme les maladies de Hodgkin, de Burkitt et les leucémies lymphoïdes.

### Radiotracteur

Molécule marquée avec un atome radioactif et utilisée pour suivre, par détection externe, le fonctionnement normal ou pathologique d'un organe. Le radiotracteur présente les mêmes propriétés physico-chimiques que son homologue non radioactif mais a la particularité d'émettre un rayonnement, ce qui permet de repérer sa position dans l'organisme. Synonyme : traceur radioactif.

### Scanner multibarrette

Machine de tomodesitométrie (scanner) équipée de plusieurs rangées de détecteurs (barrettes) servant à mesurer l'intensité des rayons X après qu'ils ont été partiellement absorbés lors de leur passage à travers l'organisme. Synonyme : scanner multidétecteur.



**Scanner spiralé**

Machine de tomодensitométrie (scanner) émettant des rayons X en continu pendant l'examen, la table d'examen sur laquelle est allongé le patient se déplaçant à l'intérieur de l'anneau de l'appareil. Permet d'obtenir des images multicoupes. Synonyme : scanner hélicoïdal.

**Scintigraphie**

Technique d'imagerie médicale relevant de la médecine nucléaire et fondée sur le repérage dans l'organisme d'un atome radioactif qui y a été introduit pour étudier un phénomène physiologique ou pathologique, le suivi de son cheminement et de sa fixation. Les radiations émises par l'atome radioactif sont enregistrées par un compteur à scintillation placé en face de la zone à explorer. On obtient ainsi la silhouette et la carte de l'organe ou de la région qui a fixé le produit radioactif.

**Tesla**

Nom du physicien yougoslave Nikola Tesla (1857-1943). Unité du système international pour l'induction magnétique, utilisée notamment pour quantifier la puissance d'un appareil IRM.

**Thermothérapie**

Catégorie de techniques médicales utilisant la variation de température pour traiter une pathologie, notamment certaines tumeurs par le

froid (cryothérapie) ou par la chaleur (radiofréquences, micro-ondes, laser).

**Tomographie par émission de positons (TEP)**

Technique d'imagerie médicale relevant de la médecine nucléaire et fondée sur la détection, par une caméra appropriée, des rayonnements associés aux positons (particules élémentaires légères de même masse que l'électron mais de charge électrique positive) émis par une substance radioactive introduite dans l'organisme. Elle permet d'obtenir des images en coupe (tomographies) des organes. En anglais, *Positron emission tomography (PET)*.

**Traitement oncologique**

Série de mesures mises en œuvre dans le but de prévenir ou de soigner un cancer.

**Ultrasons focalisés**

Technique thérapeutique qui utilise un faisceau d'ondes ultrasonores de haute intensité afin de détruire localement une tumeur, notamment au niveau de l'utérus ou de la prostate. Ce faisceau traverse l'organisme et chauffe les tissus visés. Les cellules ainsi portées à haute température pendant quelques minutes meurent.

## SOURCES

Principales sources ayant contribué à la rédaction de ce document.

### OUVRAGES ET RAPPORTS

- « *Imagerie médicale du futur* », rapport du Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME), octobre 2013.
- « *L'histoire illustrée de la radiologie* », Pr Guy Pallardy, Marie-Josée Pallardy, Auguste Wackenheim, Editions Dacosta, 1989.
- « *La radiologie interventionnelle en France* », Fédération de radiologie interventionnelle, Société française de radiologie, 2010.
- « *Dictionnaire illustré des termes de médecine* », Jacques Delamare et al., Editions Maloine, 31<sup>e</sup> édition, 2012.
- « *Dictionnaire de médecine* », Serge Kernbaum et Jean-Pierre Gréunfeld, Editions Flammarion Médecine-sciences, 8<sup>e</sup> édition, 2008.

### DOSSIERS

- « *Imagerie médicale, dossier d'information* », Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), 2011.
- « *Imagerie médicale, la vie en transparence* », textes de l'exposition, Centre national de la recherche scientifique (CNRS), avril 2012.
- « *Imagerie médicale, radiographie d'une révolution* », Laure Cailloce, Fabrice Demarthon, Philippe Testard-Vaillant, CNRS *Le Journal* n°260-261, septembre-octobre 2011.
- « *L'essentiel sur l'imagerie médicale* », dossier du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), décembre 2013.

### ARTICLES

- « *Échographie, les applications se diversifient* », Isabelle Bouhier, Sophie Segard, *Journal de radiologie*, vol 85 n°7-8, 2004.
- « *L'imagerie de perfusion* », Pr Alexandre Krainik, *Nouvelles techniques d'imagerie*, Haute Autorité de santé (HAS), 18 octobre 2013.
- « *L'imagerie métabolique* », Pr Alain Luciani et Dr Emmanuel Itti, *Nouvelles techniques d'imagerie*, Haute Autorité de Santé (HAS), 18 octobre 2013.
- « *Le TEP-scanner : il voit vivre nos cellules* », Gabriel Martin, *La Recherche*, n°368, 2003.
- « *De l'imagerie médicale au renversement temporel* », Mathias Fink, *La revue pour l'histoire du CNRS*, n°24, 2009.

### RECOMMANDATIONS ET BONNES PRATIQUES

- « *Exploration ostéo-articulaire des membres par IRM : intérêt diagnostique des équipements à champ modéré et des équipements dédiés* », Haute Autorité de Santé (HAS), 2012.
- « *Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale* », Société française de radiologie (SFR), 2013.

### SITES INTERNET

- Société française de radiologie (SFR) : [www.sfrnet.org](http://www.sfrnet.org)
- « *Le Larousse* », encyclopédie médicale en ligne : [www.larousse.fr/encyclopedie](http://www.larousse.fr/encyclopedie)

## LES PRINCIPALES SOCIÉTÉS SAVANTES EN IMAGERIE

- Société française de radiologie (SFR).
- Société française d'imagerie cardiaque vasculaire (SFCV).
- Société française de neuroradiologie (SFNR).
- Société française d'imagerie thoracique (SIT).
- Société d'imagerie génito-urinaire (SIGU).
- Société d'imagerie musculo-squelettique (SIMS).

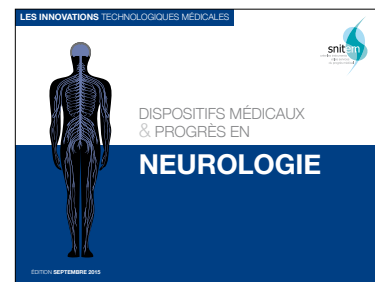
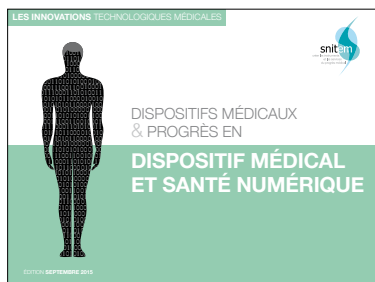
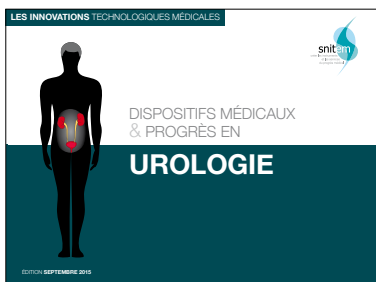
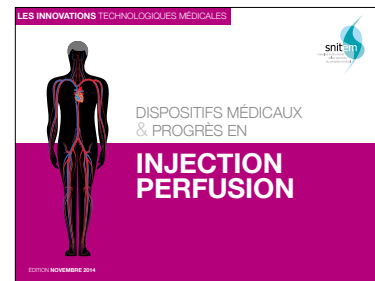
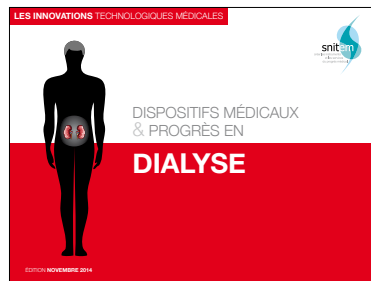
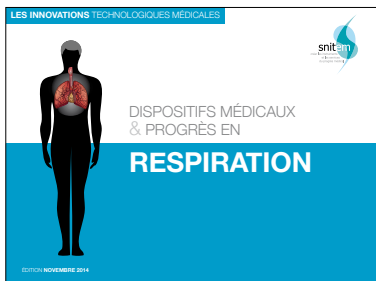
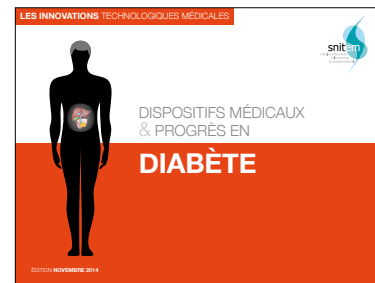
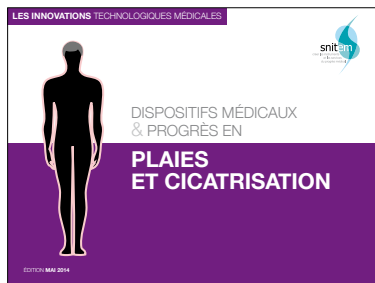
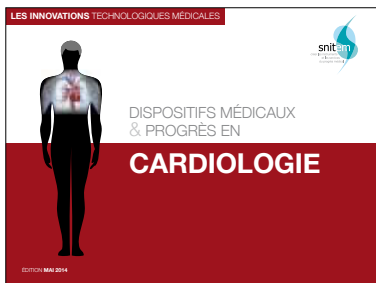
## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce document a été rendue possible grâce à la disponibilité et aux apports de nombreux acteurs. Qu'ils en soient tous ici remerciés, en particulier, par ordre alphabétique :

Pr Alain Bonafé, CHU Montpellier • Pr Patrick Bourguet, CLCC Rennes • Pr Valérie Bousson, Société française de radiologie • Stéphane Boyer, GE Healthcare • Martine Castro, association Europa Donna • Stephan Catheline, Inserm Lyon • Jean-Yves Chapelon, Inserm Lyon • Jean-François Chatal, Arronax • Jean-François Drouet, GE Healthcare • Pr Guy Frijia, ancien chef de service à l'Hôpital européen Georges Pompidou, Professeur à l'Université Mac Master (Ontario, Canada) • Dr Albert Gelet, urologue • Wladimir Kawiecki, Siemens Healthcare France • Ghislaine Lasseron, association Europa Donna • Alain Martinez, Philips France Activité Healthcare • Marie Meynadier, EOS Imaging • Dr Jean-François Paul, Hôpital Marie Lannelongue (Le Plessis-Robinson) • Pr Jean-Pierre Pruvo, secrétaire général de la Société française de radiologie • Pr Alain Rahmouni, CHU Henri Mondor Paris • Pierre Reboul, EDAP TMS • Pr Jacques Rémy, CHRU Lille • Jacques Souquet, SuperSonic Imagine • Dr Sophie Taïeb, Centre Oscar Lambret (Lille) • Vincent Vidal, Laboratoire d'imagerie interventionnelle expérimentale.

# Dans la même collection

Documents téléchargeables sur le site du Snitem [www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)



Donnez nous votre avis sur ce document sur le site [www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)



Quand l'épopée de l'innovation des dispositifs médicaux se confond avec l'extraordinaire histoire de l'imagerie médicale.

**SNITEM**

92038 Paris - La Défense cedex

Tél. : 01 47 17 63 88

Fax : 01 47 17 63 89

[www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)

[info@snitem.fr](mailto:info@snitem.fr)

 [@snitem](https://twitter.com/snitem)