

## HISTOIRE ABRÉGÉE DU RADIODIAGNOSTIC ET DE L'IMAGERIE MÉDICALE

par Guy PALLARDY et Marie-José PALLARDY

Schématiquement, on peut distinguer trois périodes principales :

1896 - 1920 : le temps des pionniers de la radiologie, une aventure sans frontière

1920 - 1960 : l'épanouissement radiologique et les perfectionnements

1960 à nos jours : l'émergence de nouvelles techniques d'imagerie.

La transmission rapide et la répercussion mondiale de deux événements survenus, par une étrange coïncidence, le 28 décembre 1895 annoncent le début du XX<sup>ème</sup> siècle :

- à Paris boulevard des Capucines, au sous-sol du Grand Café, a lieu la première séance publique qui, pour un franc, permet de découvrir sur un écran les images animées que les frères Auguste et Louis Lumière nomment le "cinématographe" ; il y a trente-trois spectateurs dont Georges Méliès.

- en Bavière, Wilhelm Conrad Roentgen (orthographe allemande : Röntgen), physicien renommé pour ses recherches en électricité (1845-1923), ancien recteur de l'Université de Wurtzbourg, dépose à la Société de physique médicale de cette ville son fameux mémoire sur *Une nouvelle sorte de rayons*. La découverte marque le début historique de l'imagerie médicale et vaudra à son auteur le Prix Nobel de physique, attribué pour la première fois en 1901.

L'idée de rayons invisibles, qu'il a dénommés X, lui est venue le 8 novembre 1895 ; depuis cette date, il a multiplié les expérimentations afin d'en étudier les propriétés physiques avant de se décider à publier sa découverte. Il a même réussi le 22 décembre à "photographier à l'aide des rayons X" les os de la main de son épouse, Bertha, réalisant ainsi la première radiographie. Un modeste quotidien de Vienne publie l'information dès le 5 janvier ; la grande presse s'empare de la nouvelle et, par le seul moyen du télégraphe, lui assure une diffusion si large et si rapide qu'elle constitue une "première", annonçant la médiatisation des événements qui caractérise le XX<sup>ème</sup> siècle.

Partout dans le monde, on s'efforce de reproduire l'expérience du professeur Roentgen en "photographiant à travers les corps opaques", car le matériel nécessaire existe dans la plupart des laboratoires et cabinets de physique : tubes à vide (dérivés de ceux de Holtz ou de Crookes) ; générateurs de haute-tension soit électrostatiques (type Wimshurst), soit bobines d'induction (type Ruhmkorff). D'ailleurs les fabricants proposent des appareils de ce genre à des prix accessibles. 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 considérées comme de simples distractions par les contemporains en admiration devant les progrès de la science et de la technologie.

Dès janvier 1896 dans les pays industrialisés, certains membres du corps médical ont pressenti l'intérêt d'une technique d'exploration de l'être humain, traversé par les rayons X. En France, les médecins parisiens Toussaint Barthélemy et Paul Oudin, après de nombreux tâtonnements, réussissent des clichés des os de la main, avec une exposition d'une vingtaine de minutes ; ces premiers résultats sont présentés par le mathématicien Henri Poincaré à l'Académie des Sciences le 20 janvier 1896. Les événements s'enchaînent : Henri Becquerel, professeur de physique au Muséum d'histoire naturelle de Paris, présent à la séance, s'interroge sur les rapports entre rayons X et fluorescence.

Reprenant ses recherches, il découvre la radioactivité naturelle le 1er mars 1896. Pierre et Marie Curie se lancent alors dans l'étude des corps radioactifs et réussissent à isoler le radium en 1898. L'année 1903 voit Marie Sklodowska, épouse Curie, soutenir sa thèse de docteur ès sciences, intitulée *Recherches sur les substances radioactives* et les trois physiciens, Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie, se partager le Prix Nobel de physique. Après le décès accidentel de son mari en 1906, Marie Curie poursuivra les travaux entrepris avec lui et recevra un deuxième Prix Nobel, de chimie cette fois, en 1911.

Les applications progressives de cette série de découvertes vont entraîner une véritable révolution scientifique et médicale dont le retentissement n'est pas actuellement terminé. Antoine Bécclère (1856-1939), médecin des hôpitaux de Paris, assiste à une démonstration de radioscopie chez ses amis Oudin et Barthèlèmy ; il entrevoit les possibilités d'investigations du corps humain par les rayons X. Dès 1897, il implante à ses frais un appareil de radioscopie dans son service de médecine à l'hôpital Tenon. La radiologie entre dans les hôpitaux avant l'électricité : la machine électrostatique qui fournit la haute-tension est actionnée à la main ! En janvier 1899, le docteur Bécclère transporte son matériel à peine amélioré à Saint-Antoine où il vient d'être nommé. Dès 1902, il lui adjoint la radiothérapie parce qu'il a rapporté d'Autriche un appareil de dosimétrie ; puis la curiethérapie grâce aux quelques milligrammes de radium donnés par Pierre et Marie Curie. Il se consacre à promouvoir et codifier la radiologie : son esprit fécond et son activité inlassable lui permettent d'inventer du matériel, de jeter les bases de la sémiologie par confrontation avec les lésions constatées, d'instituer un enseignement suivi par de nombreux élèves français et étrangers. Devenu une référence mondiale en radiodiagnostic comme en radiothérapie, il connaît, entre autres distinctions, les honneurs de l'Académie de médecine et de la Présidence du Congrès international de radiologie de 1931.

Nos contemporains, familiers d'électronique et d'informatique, auront du mal à prendre conscience des difficultés rencontrées par les pionniers de la radiologie pour faire fonctionner le matériel de l'époque et en obtenir un résultat valable. Mais il leur suffit de regarder, au Musée de l'Assistance Publique à Paris, l'autoportrait (1908) du docteur Georges Chicotot : sa main droite tient un chalumeau à gaz destiné à chauffer par intermittence un petit tube de platine qui contribue à régler la tension admise aux bornes de l'ampoule à rayons X ; le chronomètre dans sa main gauche permet d'évaluer le temps de pose. Son regard doit se porter fréquemment sur les appareils de mesure. Il n'existe pratiquement aucune protection car les dangers des rayons, bien que soupçonnés par certains, ne sont pas encore démontrés.

Aucun texte n'incluant la radiologie dans l'exercice de la médecine (il ne sera voté qu'en 1934), toute personne peut ouvrir une officine de radiographie : pharmaciens, ingénieurs, fabricants de matériel, voire divers commerçants ; les plus sérieux conseillent de "venir accompagné de son docteur" ! Malgré tout, la technologie progresse. Rappelons qu'en 1897 une radiographie de l'abdomen avec cinquante minutes d'exposition donnait un mauvais résultat dû aux mouvements respiratoires du sujet et au rayonnement diffusé ; seuls se pratiquaient couramment les clichés des os des membres et ceux des poumons en raison de leur contraste aérien. Les temps de pose vont en diminuant puisque le cliché thoracique qui, en novembre 1896, nécessitait trente minutes, n'exige plus, fin 1898, que cinq à dix secondes.

Dès les premières applications des rayons X, une industrie naît, grandit et se diversifie pour concevoir et fabriquer le matériel nécessaire au fur et à mesure que la

demande s'accroît et se précise. Une coopération entre physiciens, ingénieurs, médecins et industriels se traduit par de constants progrès. Citons par exemple la mise au point, à partir de 1908, de générateurs à "contacts tournants", redresseurs électromécaniques qui permettent d'employer le courant alternatif ; leur puissance nettement accrue dépasse même celle que les tubes radiogènes existants peuvent accepter.

La première période de l'histoire radiologique s'achève avec la guerre 1914-1918 qui va démontrer l'intérêt déterminant de cette spécialité médicale et du radiologiste. En effet, si des autorités comme les professeurs Bouchard, médecin, et Lannelongue, chirurgien, se sont révélés d'ardents partisans des examens aux rayons X, beaucoup restent dans l'expectative et certains persistent à nier leur utilité. Or, ce premier conflit mondial, qui inaugure les bombardements massifs et l'emploi des armes automatiques, entraîne, outre les hécatombes, de très nombreuses blessures par projectiles. L'expérience montre que les infections s'aggravent avec les délais de transport vers l'arrière, d'où la nécessité de créer des équipes radio-chirurgicales mobiles et des hôpitaux de campagne plus près du front : le radiologiste localise les corps étrangers métalliques et, si nécessaire, guide le chirurgien pendant leur extraction. Très nombreux sont les procédés de repérage des projectiles : parmi les plus employés, ceux du Médecin-Major Eugène Hirtz (1869-1936) et du docteur Georges Haret (1874-1932) ; pour certains fragments superficiels de fer ou d'acier, l'électro-aimant du professeur Jean Bergonié de Bordeaux (1857-1925). Le docteur René Ledoux-Lebard (1879-1946), mobilisé à Tours, est chargé de former à ces techniques de guerre les radiologistes des contingents américains de 1917.

Soulignons encore l'activité et le dévouement inlassables de Marie Curie, auréolée du prestige de deux Prix Nobel, pour dépanner le matériel radiologique, former du personnel, mobiliser les bonnes volontés et réunir les dons en vue de réaliser des ambulances de radiologie surnommées les "petites curies". La paix revenue, les chirurgiens qui ont participé à cette guerre et se sont, avec leurs confrères radiologues, dépensés sans compter pour opérer des blessés dans des conditions difficiles, ne peuvent plus se passer de l'apport radiologique : désormais on doit équiper les hôpitaux et les cliniques, créer un enseignement pour former radiologues et manipulateurs.

La période 1920-1960, qualifiée d'âge d'or de la radiologie aux USA, correspond à l'épanouissement de cette spécialité médicale. L'Europe, qui avait été accaparée par ses conflits meurtriers, peut enfin perfectionner la technologie et accéder aux inventions provenant des Etats-Unis.

Les ampoules à rayons X dites "à gaz raréfié" (ou en raccourci "à gaz"), de faible rendement avec des performances difficilement contrôlables, font progressivement place, à partir de 1920, aux tubes à émission thermo-ionique (par cathode incandescente) mis au point en 1913 par l'ingénieur américain W.D. Coolidge (1873-1975) ; ils sont doués de meilleures performances et autorisent des réglages précis. Sur le même principe, une valve redresseuse de courant alternatif, réalisée en 1914, donnera naissance aux kénotrons, composants indispensables des générateurs haute-tension jusqu'à l'adoption de redresseurs secs dans les années 50. L'invention de Coolidge est perfectionnée en 1929 par adjonction d'une anticathode tournante due à l'ingénieur hollandais A. Bouvers (1893-1972) et destinée à mieux évacuer la chaleur. Les tubes radiogènes actuels s'inspirent encore de ces mêmes principes.

Pour réaliser leurs clichés, les pionniers de la radiographie devaient se contenter des produits photographiques ainsi que des lourdes et fragiles plaques de verre à simple émulsion. En 1914, apparaît le film souple en nitrate de cellulose, plus maniable mais

dangereusement inflammable ; émulsionné des deux côtés à partir de 1916, il est remplacé en 1924 par le triacétate de cellulose incombustible qui, à son tour, cèdera sa place aux dérivés des polyvinyliques dans les années 60. Les écrans renforçateurs, qui augmentent considérablement le rendement des films, ne deviennent efficaces qu'à partir de 1933.

Depuis les débuts de la radiologie, le rayonnement diffusé nuit beaucoup à la netteté des clichés des parties épaisses du corps humain ; pour éliminer le flou résultant, le docteur Gustave Bucky, de Berlin, (1880-1963), invente, en 1913, un dispositif de lamelles de plomb efficace, mais qui laisse sur les radiographies l'image d'un quadrillage gênant. Bucky ayant émigré aux USA, l'aventure se poursuit en 1916 avec un médecin de Chicago, Hollis E. Potter (1880-1964) : après avoir modifié cette grille, il conçoit un système qui l'anime d'un mouvement uniforme pendant la pose, supprimant sa trace sur le cliché. Ainsi naît le "potter-bucky", adopté par les radiologues du monde entier. Aminci, perfectionné et automatisé, le "potter" est toujours en usage sur la plupart des appareillages actuels de radiologie.

En 1921, le dermatologue français André Bocage (1892-1953) prend le brevet de son procédé de radiographie sur plaque en mouvement "permettant d'isoler dans les tissus la région intéressante" ; cette invention fait appel au déplacement homothétique de deux des éléments de la triade : ampoule, film et sujet. Nul n'étant prophète en son pays, il faut attendre les années 1930 pour que la France s'intéresse à cette technique alors que la Hollande, l'Allemagne et l'Italie ont déjà conçu des appareils pour cette "radiographie en coupes" ou tomographie ou stratigraphie. Complétant radioscopie et radiographie, elle permet d'affiner le dépistage de masse de la tuberculose, ce fléau si redouté depuis un siècle ; surtout de mieux préciser l'étendue des lésions et d'en suivre l'évolution sous thérapeutique. Perfectionnée pour l'étude neurologique et ostéo-articulaire, elle atteint son apogée (Polytome) après la deuxième guerre mondiale.

La recherche porte également sur les produits de contraste permettant de visualiser organes creux et vaisseaux qui échappaient aux investigations radiologiques. Le tube digestif fut d'abord très faiblement opacifié par les sels de bismuth, puis, avec efficacité, par le sulfate de baryum insoluble dont la purification était au point à partir de 1911.

En 1921, le professeur Jean Sicard (1872-1929) et son interne Jacques Forestier (1890-1978) inventent la myélographie avec l'huile d'œillette iodée (lipiodol) dont la synthèse avait été effectuée en 1901 par le professeur de pharmacie Marcel Guerbet. Après des modifications ou adjonctions, l'usage du lipiodol diffusait alors dans le monde radiologique pour toutes sortes d'opacifications comme bronchographies, hystérogaphies, fistulographies et lymphographies, ces techniques étant réunies sous le terme de "lipiodo-diagnostic".

En 1927, Egaz Moniz (1874-1955), neurochirurgien portugais, publie dans la *Revue de Neurologie de Paris* sa technique d'"encéphalographie artérielle" (artériographie cérébrale) après injection intra-artérielle d'iodure de sodium ; il recevra le Prix Nobel de médecine en 1949, plus précisément pour sa conception d'une intervention sur le cortex. En 1929, les professeurs Lichtwitz et von Lichtenberg effectuent en Allemagne les premières urographies par injection intraveineuse d'un produit prévu à l'origine comme anti-infectieux. La même année, le chirurgien W. Forssmann, de Berlin, qui sera Prix Nobel de médecine en 1956, inaugure, sur lui-même, le cathétérisme cardiaque et le radiologue Dos Santos innove au Portugal ses aortographies par ponction directe. En 1952, la technique d'artériographie par voie fémorale et le matériel mis au point par le radiologiste suédois Sven Seldinger ont initié la majorité des angiographies actuellement

pratiquées. Les produits primitifs, difficiles à manier, vont évoluer et la chimie élaborée des années 1980 donne naissance à de nouveaux opacifiants non ioniques ou de faible osmolalité, beaucoup mieux tolérés.

Parmi les progrès matériels qui caractérisent la troisième période de cet historique, signalons les machines à développer. Après des modèles volumineux et lents reproduisant le développement manuel, apparaît, fin 1956, une nouvelle catégorie de machines à rouleaux-nylon qui traitent en continu tous les formats radiographiques, se chargent en chambre noire mais fonctionnent en plein jour sans répandre de liquide et délivrent des clichés secs en moins de deux minutes. Cette technologie révolutionne le rythme et les conditions de travail des anciennes chambres noires humides et chaudes où l'on patougeait dans l'eau. Elle entraîne une réorganisation complète de l'activité en radiologie, autorisant le travail à temps plein.

La pratique radiologique connaît d'autres importants changements à partir de 1953 avec l'apparition des premiers amplificateurs de luminance, issus d'une conception de J.W. Coltman (USA) en 1948. D'abord de modestes dimensions, ces systèmes amplifient de 1000 à 3000 fois la faible luminance de l'image radioscopique classique ; relayés par une chaîne d'images télévisées, ils permettent de travailler en lumière à peine atténuée, avec de moindres doses de rayonnement. Les salles de radiologie sortent de l'obscurité et le médecin n'est plus obligé de perdre 15 à 20 minutes d'adaptation au noir comme au début de la spécialité. Les premières tables télécommandées avec amplificateur de luminance apparaissent vers 1967, apportant un certain confort au sujet examiné et des commodités technologiques au personnel. Le radiocinéma devient exploitable, connaît une grande vogue qui, par la suite, s'éteint progressivement.

La scanographie ou tomodensitométrie (computed tomography ou CT en anglais) ou "scanner" pour le grand public, prend ses racines dans la reconstruction tridimensionnelle à partir de radiographies de fantômes expérimentaux, publiée en 1963 et 1964 aux USA par Mac Leod Cormack (1924- ).

Godfrey Newbold Hounsfield (1919- ), ingénieur au centre de recherche EMI (Electrical Musical Instruments) en Angleterre, applique ces techniques de reconstruction à l'identification de structures photographiées ou radiographiées sous des angles différents. Il arrive ainsi à réaliser des images en coupes du crâne à partir de nombreuses mesures des rayonnements résiduels provenant d'une source de rayons X qui tourne autour de ce crâne ; il utilise de nouveaux récepteurs sensibles et un ordinateur de grande capacité nécessités par l'importance des calculs. Le prototype du EMI scanner, limité à l'examen du crâne, est installé en août 1971 à l'hôpital de Wimbledon, dans le service du docteur James Ambrose. Godfrey Hounsfield prend son brevet d'invention en 1972. Les premiers résultats, publiés en 1973, soulèvent à juste titre l'enthousiasme : les unités composant l'échelle des densités (de -1000 à +1000) sont nommées Hounsfield ou H ; Mac Leod Cormack et Hounsfield reçoivent le Prix Nobel de médecine en 1979. Dans une rude concurrence, les grandes firmes conçoivent plusieurs générations successives d'appareils. Constamment perfectionnés, les modèles permettent l'examen du corps entier à partir de 1980 ; le mouvement hélicoïdal, mis au point dans les années 1990, augmente les performances des coupes et des reconstructions 3 D.

Plus que centenaire, l'imagerie aux rayons X poursuit son chemin, même dans sa forme classique née en 1896. Pourtant elle connaît de profondes mutations dans les années 1990 : devenue partiellement "numérisée", elle s'adresse alors soit aux écrans à mémoire qui, utilisés à la place d'un film radiographique, permettent, par ordinateur

interposé, d'obtenir des images selon les critères désirés ; soit au même traitement informatisé, directement effectué sur l'image fournie par l'amplificateur de luminance. Quelles que soient leurs modalités, toutes les techniques d'imagerie précédentes sont basées sur les différences d'absorption du rayonnement X par les divers composants du corps humain, allant du calcium (opaque) aux gaz (très transparents) ; on emploie parfois le terme d'images "calciques".

La médecine nucléaire, qui utilise les rayonnements émis par les isotopes radioactifs, constitue un chapitre à part. Sans vouloir en faire l'historique, signalons la découverte en 1934 de la radioactivité artificielle par Frédéric et Irène Joliot-Curie, qui leur valut le Prix Nobel de chimie de 1935. Mais les applications à la médecine voient le jour bien plus tard : la participation à l'imagerie médicale ne prend réellement son essor qu'à partir de 1954 avec la caméra à scintillations mise au point aux USA par le physicien H.O. Anger. Ses perfectionnements successifs ont permis les examens de scintigraphie qui fournissent de précieux renseignements métaboliques. Les bases de la tomographie d'émission sont jetées dès 1963-1964 par les publications de Mac Leod Cormack, déjà citées. Cette technique, longtemps confinée à la recherche sur le foie et le cerveau, soulève actuellement de grands espoirs en imagerie sous le terme de TEP ou tomographie par émission de positons (PET en anglais).

Les années 1960 voient également naître, avec l'informatique débutante, de nouveaux systèmes d'imagerie (échographie, IRM), utilisant d'autres moyens que les rayonnements. Dès 1880, Pierre Curie et son frère Jacques avaient étudié les phénomènes de piézo-électricité, générateurs d'ultra-sons. Il faut le naufrage du Titanic en 1912, puis la menace des sous-marins allemands sur les convois alliés pendant la guerre 1914-18 pour qu'on s'intéresse aux ultra-sons et que Paul Langevin (1872-1946), élève de Pierre Curie, invente en 1916 un dispositif à la fois émetteur et récepteur, utilisant le cristal de quartz excité par un champ alternatif adapté ; mais sa réalisation n'est pas au point pour la première guerre mondiale. Perfectionné pendant le deuxième conflit par les alliés grâce à l'électronique qui permet les brèves impulsions, il joue un rôle important dans la détection des sous-marins sous l'appellation de SONAR. Le secret-défense de cette découverte ne sera levé qu'après la guerre, rendant possible l'utilisation médicale. Dans divers pays, on tente, sans grands succès, d'étudier la transmission des ultra-sons à travers le crâne ; puis vers 1956, leur réflexion par les composants du cerveau avec des résultats très inégaux (écho-encéphalographie). En 1957, au Royaume-Uni, la collaboration de l'ingénieur T. Brown et du gynécologue Ian Donald aboutit au prototype à balayage manuel pour examen du corps par réflexion des ultra-sons (échographie). Les progrès suivants portent sur l'automatisme du balayage (1960), l'introduction de l'échelle de gris de G. Kossof (1971), la conception nouvelle des transducteurs (1973), puis le temps réel (1980) grâce aux progrès informatiques. L'idée d'appliquer à l'échographie le principe énoncé en 1842 par le physicien autrichien C. Doppler, débute au Japon en 1959 ; puis se poursuit en 1967 par les travaux de F.D. Mac Leod (USA) et en 1971 par ceux de L. Pourcelot (France), d'où naîtront la débitimétrie sanguine et la mesure de la vitesse des globules.

Les prémices de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) se situent en 1946 : les physiciens des USA, Félix Bloch (1905-1981) et Edward-M. Purcell, découvrent le "moment magnétique" des composants nucléaires porteurs d'une charge électrique (proton par exemple) et étudient leur comportement dans un champ magnétique ; ce qui leur vaut le Prix Nobel de physique en 1952. Ces notions permettent la naissance, dans les

années 1960, de la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire car des champs magnétiques puissants deviennent possibles par l'emploi de supra-conducteurs tels que les métaux maintenus au voisinage du 0 absolu (par exemple, circuit d'hélium liquide : -269°C). L'IRM arrive plus tard : son principe est de plonger le corps humain dans un champ magnétique homogène et puissant (0,5 à 1,5 Tesla), d'émettre à intervalles des ondes de radiofréquences, puis de recueillir les réactions des protons aux incitations de ces ondes ; ceci dans le but d'obtenir toutes sortes d'images du corps humain (en coupes ou en 3 D) grâce aux techniques de reconstruction déjà évoquées à propos de la scanographie. Les calculs utilisent les transformées d'un mathématicien français, le baron Joseph Fourier (1768-1830) et nécessitent des ordinateurs de très grande puissance.

Cette imagerie débute modestement en 1971 avec Raymond Damadian, professeur de physique à l'Université de Brooklyn, qui pense ainsi différencier les tissus pathologiques des tissus sains grâce à son "index de malignité". En 1973, le professeur Paul Lauterbur (1929- ), de l'Université de Stony Broke, réussit des images en coupes de tubes capillaires et de poivrons ; elles font le tour du monde pour illustrer l'article de la technique qu'il dénomme "zeugmatographie", terme qui ne sera pas consacré par l'usage. Damadian réalise, en 1976, un premier prototype utilisable et effectue l'année suivante des examens sur des volontaires. Presque simultanément des équipes de Grande-Bretagne, à Aberdeen et Nottingham, réussissent des images en coupes de doigts et de poignets, puis du crâne en 1979. Le Prix Nobel de médecine de 2003 réunit Paul Lauterbur et Peter Mansfield. Au début, les appareils sont limités à l'examen de la tête et il faut attendre les années 1980 pour obtenir des explorations du corps entier grâce à des champs magnétiques puissants et homogènes, de grandes dimensions. Devant l'intérêt suscité par cette nouvelle imagerie, les constructeurs de matériel radiologique, déjà très concernés par l'évolution des scanographes, se lancent dans la conception des onéreux appareils d'IRM : l'importance des investissements nécessaires entraîne un regroupement des firmes à l'échelle mondiale avec disparition des plus modestes.

En conclusion, l'imagerie médicale, terme né vers 1989 et désormais consacré par l'usage, englobe un siècle de technologies : radiologie et scanner (rayons X), médecine nucléaire (isotopes radioactifs), échographie (ultra-sons), IRM (réactions des protons) ; auxquelles il faut ajouter les vues des diverses endoscopies. L'ensemble, qui n'aurait pas vu le jour sans les prodigieux progrès informatiques, a permis la gamme d'explorations du corps humain que nous connaissons ; mais également de guider, par l'image en temps réel, certaines biopsies ou thérapeutiques (imagerie interventionnelle) et, par ses reconstructions en trois dimensions, de réaliser une représentation dans l'espace de tel ou tel organe aux fins de diagnostic précis, de mesures ou de bilan chirurgical ; sans omettre les immenses possibilités de la numérisation, comme la reprographie laser et la transmission de l'image à distance.

D'après *l'Histoire illustrée de la radiologie* par G. Pallardy, M.J. Pallardy et A. Wackenheim, Paris, Dacosta, 1989 (épuisé).