

La mystérieuse histoire de la radiologie

Dossier pédagogique

1 CONCEPTS SCIENTIFIQUES

1.1 Les rayonnements

Dans le dictionnaire, on définit le rayon comme un trait lumineux émis par le soleil en ligne droite. Dans ce cas, le rayonnement n'est rien d'autre qu'un ensemble de rayons.

En physique, on définit le rayonnement comme un transport d'énergie dans l'espace sous forme d'ondes ou de particules à partir d'une source.

Le rayonnement naturel

Le soleil émet plusieurs types de rayonnements. Dans le cas du rayonnement solaire, on dira qu'il est naturel. Il existe aussi des rayonnements artificiels, comme celui des ampoules ou des plaques chauffantes.

Le rayonnement naturel émis par le soleil est un rayonnement de type électromagnétique.

Les ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique est due à un champ électrique et un champ magnétique perpendiculaires oscillants en phase (figure 1). Elle se propage dans le vide à la vitesse de la lumière ($c = 299792458$ m/s). Dans le cas d'une onde sinusoïdale ou monochromatique, elle a une fréquence ν définie et une période $T = 1/\nu$. La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde en une période, soit $\lambda = c T = c/\nu$.

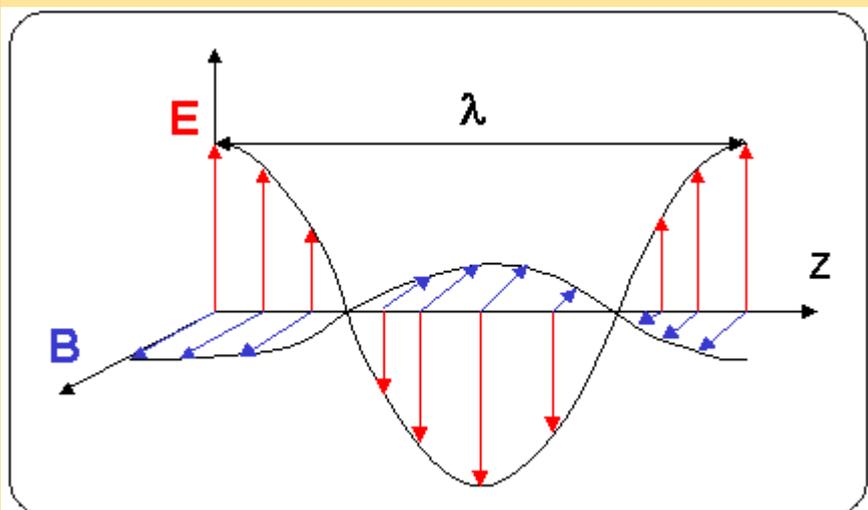


Figure 1. Onde électromagnétique - Structure à un instant donné des champs électrique et magnétique, E et B, de l'onde se propageant dans la direction z.

Le modèle corpusculaire de la lumière complète le modèle ondulatoire. Cette dualité a été introduite par Planck et Einstein pour interpréter le rayonnement du corps noir et l'effet photoélectrique (1900 et 1906). La dualité onde-corpuscule est ensuite généralisée à l'ensemble des particules par de Broglie (1923) et constitue un des fondements de la mécanique quantique.

Le modèle corpusculaire du rayonnement électromagnétique est mieux adapté aux rayonnements de hautes fréquences : on considère qu'un faisceau est constitué de photons, des particules sans masse qui se déplacent à la vitesse de la lumière. Chaque photon transporte une quantité d'énergie E proportionnelle à la fréquence de l'onde $E = h \nu$, où h est la constante de Planck.

Le rayonnement solaire peut être visible ou invisible.

- Visible comme les rayons lumineux qui donnent la lumière.
- Invisible comme les rayons infrarouges (IR) qui émettent de la chaleur, les ultraviolets (UV) qui sont plus énergétiques que les rayons lumineux et font bronzer.

Ces 3 types de rayons ont la particularité de pouvoir être arrêtés par un simple carton ou un papier noir.

Il existe d'autres types de rayons invisibles émis par le soleil : les rayons gamma γ , les rayons X, les UV, les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radios.

Même si on ne peut pas les voir, la majorité de ces rayonnements nous sont utiles : les rayons X traversent la matière et permettent de faire de la radiographie, l'ultraviolet permet, entre autres, de bronzer en été, mais aussi de stériliser les aliments, l'infrarouge nous sert tous les jours lorsque nous appuyons sur le bouton d'une télécommande et les ondes radio nous permettent d'écouter nos chansons préférées, les informations à la radio ou encore d'utiliser un téléphone portable.

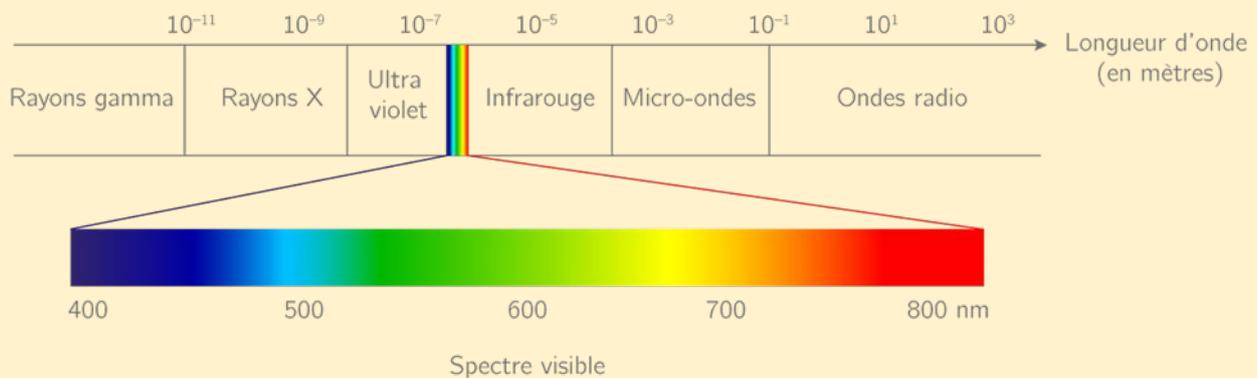
Spectre électromagnétique

On classe les rayonnements électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde ou de leur fréquence dans le vide. Ce classement est appelé spectre électromagnétique.

Ainsi, la lumière visible est un rayonnement électromagnétique qui ne constitue qu'une petite tranche du spectre électromagnétique. Elle se situe entre les longueurs d'onde de 380 à 780 nanomètre (nm). A chaque longueur d'onde correspond une couleur, comme les couleurs de l'arc-en-ciel (l'ensemble des couleurs constitue la lumière blanche).

En dehors de la lumière visible, on distingue aussi de part et d'autres du spectre visible les rayons gamma γ , les rayons X, les UV, les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radios.

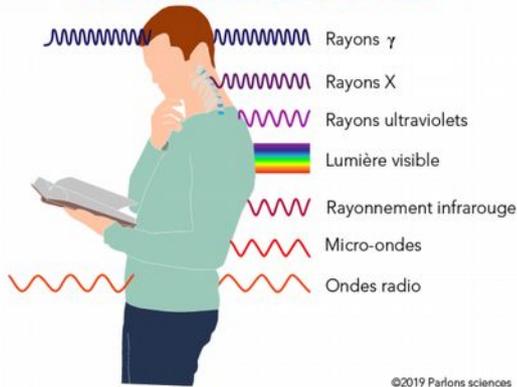
Chaque type de rayonnement a une longueur d'onde qui lui est propre mais tous se déplacent à la vitesse de la lumière.



Le soleil émet tous ces types de rayonnement en même temps.

Le rayonnement artificiel

COMMENT LE RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE INTERAGIT AVEC LE CORPS HUMAIN



Le soleil comme les étoiles et de nombreux matériaux terrestres produisent des rayonnements ionisants. On parle d'irradiation naturelle. Depuis plus d'un siècle, l'homme a réussi à produire de l'irradiation de manière artificielle. Elle est estimée à 15% de l'irradiation totale à laquelle nous sommes soumis.

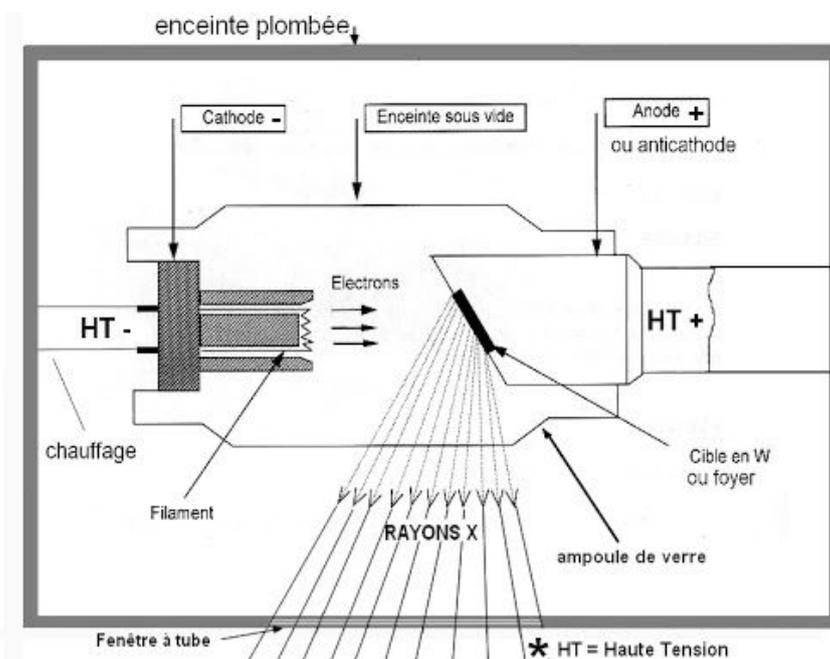
1.2 Les rayons X

On appelle rayons X les ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-12} m, et les énergies des photons X sont comprises entre 40 et 4×10^5 eV (1 eV correspond à $1,6 \times 10^{-19}$ J, c'est l'énergie d'un photon dans l'infra-rouge). Ces énergies sont de l'ordre de grandeur des énergies de liaison des électrons des couches internes des atomes (de l'ordre du keV).

Les rayons X sont produits par des électrons rapides, invisibles à l'œil nu, qui percutent la surface de n'importe quelle matière. Ils sont tellement énergétiques qu'ils peuvent traverser certains matériaux et objets. Ce sont ces rayons qu'on utilise en radiologie médicale.

En traversant la matière, ils décrochent des électrons des atomes, qui ne sont plus électriquement neutres et qu'on appelle ions. C'est pour cela qu'on parle alors de rayonnement ionisant.

Ce rayonnement peut être visualisé si certaines substances chimiques émettant une lumière visible sous l'influence des rayons X sont utilisées. On appelle ça la fluoroscopie ou la radioscopie.



Principe de production des rayons X de Bremsstrahlung: tube à rayons X.

● Utilité des rayons X

Comme ils peuvent traverser la matière, les rayons X sont utilisés entre autres pour découvrir ce qui se trouve à l'intérieur d'un corps ou d'un objet qu'on ne peut (ou ne veut) ouvrir.

Grâce à eux, en médecine, le radiologue peut voir les fractures des os ou dépister certaines maladies. On utilise aussi la radiologie en dentisterie et dans l'industrie quand on veut voir à l'intérieur d'un objet sans le casser ou l'ouvrir. Par exemple, pour détecter une pièce défectueuse, dans les aéroports pour examiner le contenu des bagages, en archéologie pour voir ce qu'il y a sous les bandelettes d'une momie...

Danger des rayons X

Certains rayonnements peuvent être dangereux pour le corps humain si on y est exposé trop longtemps. Il s'agit des rayons gamma, rayons X et ultraviolets. En effet, ceux-ci produisent des particules chargées en traversant la matière : des électrons et des ions. Ce sont les électrons éjectés qui peuvent provoquer des dégâts aux brins d'ADN.

Certaines matières radioactives comme le plutonium ou l'uranium en produisent, même si la majorité des radiations émises par ces éléments ne sont pas des rayons X.

Le plomb arrête la plus grande partie de ces rayons.

Dans certaines conditions et parce qu'ils sont très énergétiques, les rayons X peuvent être dangereux pour les tissus vivants. Les personnes qui y sont soumises pendant de multiples et longues séances sont parfois atteintes de radiodermite (brûlure de la peau due à une trop forte exposition aux rayons X) qui peut évoluer en cancer.

En 1897 déjà, le professeur gantois de radiologie Jules **De Nobele** signale la présence d'une radiodermite chez un jeune homme qui participe sur les champs de foire à des démonstrations lors d'expériences longues et répétées avec des rayons X.

Le personnel qui réalise annuellement des milliers de clichés (médecins et technologues) se place le plus souvent derrière des murs ou des écrans plombés avec des fenêtres en verre au plomb pour être protégé des radiations.

Si ils doivent travailler dans les salles, ils portent alors des tabliers et des gants contenant du plomb. Le plomb et d'autres matières qui ont une densité d'électrons élevée arrêtent les rayons X. Pour mieux garantir la protection des patients, de nombreuses recherches ont été effectuées afin de diminuer la dose d'irradiation nécessaire à l'obtention d'images radiologiques. Ces travaux ont abouti à la découverte de nouvelles techniques.

Si les rayons X sont dangereux, ils sont parfois nécessaires et bénéfiques car leur action biologique nocive est capable de détruire les cellules cancéreuses. C'est ainsi qu'on a développé la radiothérapie, la science de guérir par le rayon. Au départ, on utilisait les mêmes rayons X en radiologie et en radiothérapie mais comme ils n'étaient pas assez efficaces pour atteindre les cancers profondément ancrés dans le corps, les radiothérapeutes les ont abandonnés au profit de rayonnements gamma, plus efficaces et plus pénétrants, tels que ceux provenant du radium (vers 1930), du cobalt Co-60 (télécobalthérapie) (vers 1950) et les radiations issues d'un accélérateur de particules (vers 1960).

2 HISTOIRE DE LA RADIOLOGIE

2.1 Qu'est-ce que la radiologie ?

Le mot radio vient du latin et signifie rayon et le suffixe logie vient du grec et signifie science. La radiologie est donc littéralement la science ou l'étude des rayons.

Le radiologue est le médecin qui utilise les rayons à des fins de diagnostic et de traitement interventionnel.

2.2 Qu'est que la radiographie ?

La radiographie est la contraction du mot radiophotographie qui signifie littéralement l'obtention d'images par les rayons. Ce procédé produit et utilise les rayons X ou gamma pour fixer sur une plaque photosensible, c'est-à-dire photographier, l'emplacement et la nature de certaines lésions à l'intérieur du corps humain. Le contraste de l'image est obtenu grâce aux différentes épaisseurs, densités et aux diverses substances des éléments traversés. Une fois la radiographie réalisée, le film est développé dans une chambre noire, plus tard il passe par une machine à développer et les clichés peuvent être observés sur un négatoscope. Actuellement, le système récepteur est entièrement numérisé (radiographie numérique ou digitalisée), qu'il s'agisse de plaques au phosphore lues par un système laser (numérisation dite indirecte parfois appelée CR), ou de capteurs-plan analysant directement les rayons X à la sortie du patient (numérisation dite directe parfois appelée DR). Les images sont alors affichées directement sur un écran d'ordinateur.

Une radiographie nous donne une image immobile du corps. Il est aussi possible d'avoir des images mobiles en réalisant une radioscopie. La radioscopie est l'observation sur un écran des ombres produites par les organes examinés lorsqu'ils sont traversés par les rayons X. Cet examen permet au médecin d'observer les organes en fonctionnement.

En fonction de l'objectif de l'examen, l'appareil radiologique varie, et est basé sur des principes différents qui seront détaillés plus loin.

2.3 Röntgen et les rayons X



A la fin du 19e siècle, les rayons infrarouges et ultraviolets sont connus des savants et les ondes radio sont découvertes en 1890 par le professeur allemand Heinrich **Hertz**. Si depuis des millions d'années, les astres émettent naturellement des rayons X, c'est seulement depuis 1895 que l'homme peut en produire, et a alors pu les identifier dans la nature.

En effet, au 19e siècle, de nombreux physiciens s'intéressent aux phénomènes électriques et certaines recherches visent à connaître les rayons produits à l'intérieur

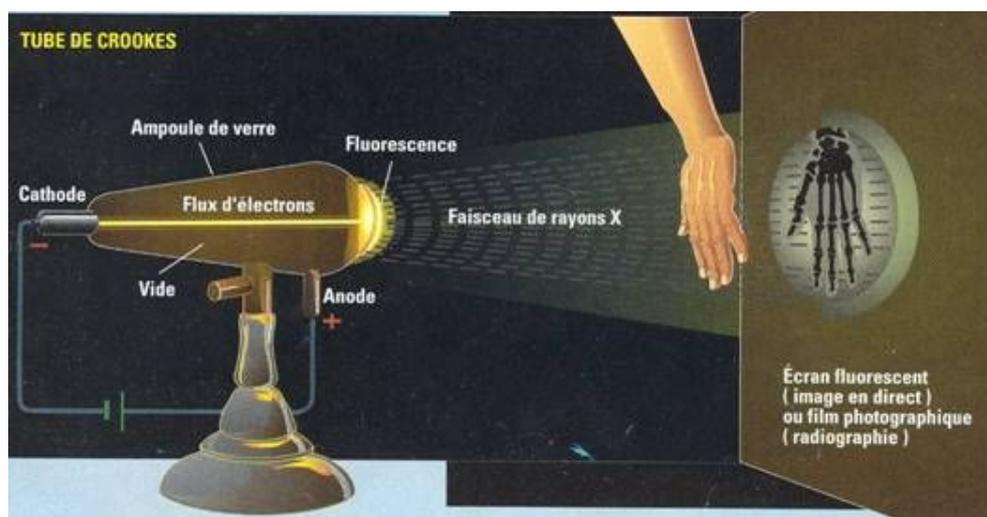
d'un tube cathodique. Ce tube est une ampoule électrique dans laquelle se trouvent deux électrodes (conducteurs, souvent des fils électriques) dont l'une est négative, la cathode, et l'autre positive, l'anode. Dans cette ampoule règne un vide relatif et on applique sur les électrodes une différence de potentiel de plusieurs milliers de volts. Les électrons, particules de matière chargées

négativement, quittent la cathode et entrent en collision avec la matière de l'anode. Cette collision entraîne un important dégagement de chaleur et une petite production de rayons X.



Tube de Crookes (alimenté par une bobine de Ruhmkorff, visible à droite).

Comme beaucoup de scientifiques de son époque, le professeur Wilhelm **Röntgen** étudie les rayonnements cathodiques. Étant daltonien, il dissocie difficilement le vert des autres couleurs. Afin de mieux appréhender les propriétés fluorescentes émises par ce rayonnement, il travaille donc dans l'obscurité la plus totale. Le 8 novembre 1895, il emballe le tube de papier noir afin d'éliminer les rayonnements visible et ultraviolet. Le professeur observe alors sur un écran fluorescent (c'est à dire activé par un rayonnement) placé à un endroit éloigné de l'ampoule, une lumière fluorescente qui traverse l'emballage de papier noir chaque fois que le courant de haute tension est appliqué au tube. On savait que les rayons cathodiques provoquaient la fluorescence mais pas à une telle distance du tube. Or, Röntgen éloigne encore l'écran et constate que la fluorescence persiste malgré l'augmentation de la couche d'air à traverser. La fluorescence se maintient, quand bien même il intercale des objets entre l'ampoule et l'écran. Sachant que le carton noir arrête les rayons lumineux, infrarouges et ultraviolets, il en déduit qu'il ne peut s'agir de l'action de l'un d'eux et qu'il est en présence d'un rayon inconnu capable de traverser la matière, qu'il appelle X. Il vérifie les données de cette découverte pendant six semaines ... à tel point qu'il ne rentre plus chez lui. L'histoire raconte qu'il a même installé son lit dans son laboratoire.



Expérience de Röntgen

Son épouse Anna Bertha s'en inquiète et se fâche le dimanche 22 décembre 1895 car, au repas, c'est distraitement et silencieusement que Röntgen avale le plat qu'elle lui a préparé et dont elle le sait friand. Elle exige une explication ! Pour toute réponse, le savant l'entraîne dans son

laboratoire où il l'informe de son incroyable découverte et lui demande de poser la main gauche sur une plaque photographique tout en gardant la pose jusqu'à l'audition d'un grésillement (temps de pose : 15 minutes). A la grande stupéfaction de Anna Bertha, la plaque développée fait apparaître les os de sa main et la bague qu'elle porte !

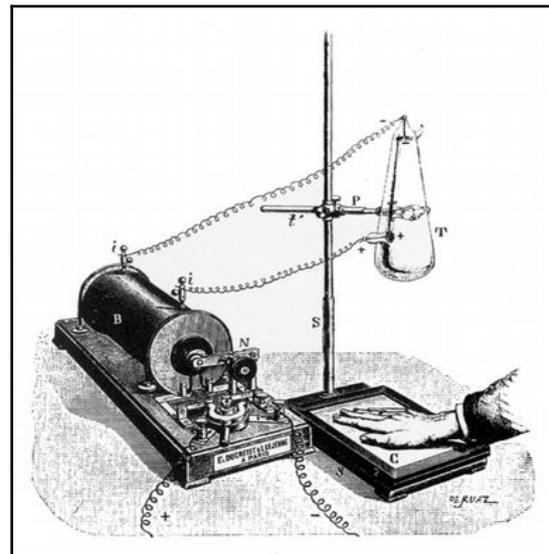


En fait, le silence du chercheur est dû à son inquiétude d'être considéré comme un fou s'il dévoile l'objet de sa découverte sans apporter suffisamment de preuves utiles et convaincantes ! C'est Madame Röntgen qui l'incite à publier sa découverte : ce qu'il fait le 28 décembre 1895 moins d'une semaine après avoir effectué la radiographie de la main de son épouse.

Radiographie de la main de l'épouse de Röntgen

Dès le départ, Röntgen comprend l'importance de sa découverte : découverte qui permettrait, pour la première fois au monde, d'étudier l'anatomie du vivant. De plus, ayant radiographié des objets pour les analyser, le savant réalise aussi que sa découverte pourrait être très utile dans l'industrie.

Premier appareil à rayon X de Röntgen – 1895



Qui était Wilhelm Conrad RÖNTGEN ?

1845 Né à Lennep en Allemagne, le 27 mars 1845, de père allemand et de mère hollandaise. À la suite d'une crise économique, la famille Röntgen abandonne son commerce de textile, quitte l'Allemagne et s'installe à Apeldoorn aux Pays-Bas où le jeune Wilhelm fréquente les écoles primaire et moyenne.

1862 A 17 ans, il entame des études techniques à Utrecht mais, en dernière année et bien que brillant élève, il est exclu de l'école pour n'avoir pas voulu révéler l'identité d'un compagnon de classe instigateur d'un chahut auquel lui-même n'avait pas participé. A l'examen du Jury central, il est interrogé par le professeur qui l'avait renvoyé et ... celui-ci le fait échouer ! L'accès officiel à l'université lui est interdit.

1865 On lui communique que, sous réserve d'un examen d'entrée, l'école Polytechnique de Zurich, en Suisse, accepte les étudiants n'ayant pas obtenu le diplôme de fin d'études secondaires. Il réussit l'examen d'entrée et, trois ans plus tard, obtient le diplôme d'ingénieur en mécanique. Il poursuit ses études à Zurich et, après un an, décroche un doctorat de Physique.

1894 Sa notoriété scientifique devient indiscutable et, à 49 ans, il est nommé recteur de l'université de Würzburg en Allemagne.

1895 Après le rectorat, il reprend ses expériences sur les tubes cathodiques qui le conduisent, le 8 novembre 1895, à la découverte d'un nouveau rayonnement !

Il décline toutes les propositions financières en vue d'une exploitation commerciale de sa découverte.

1901 Il a 56 ans quand, à Stockholm, il reçoit le premier prix Nobel de physique dont il offre le montant (50.000 couronnes suédoises) à son université.

1903 A la demande du gouvernement bavarois, c'est en qualité de directeur de l'Institut de Physique à l'université de Munich que le Professeur Röntgen passe les vingt dernières années de sa vie.

1923 Le 10 février, quatre ans après sa femme, il décède à Munich et est inhumé à ses côtés dans le cimetière de Giessen.

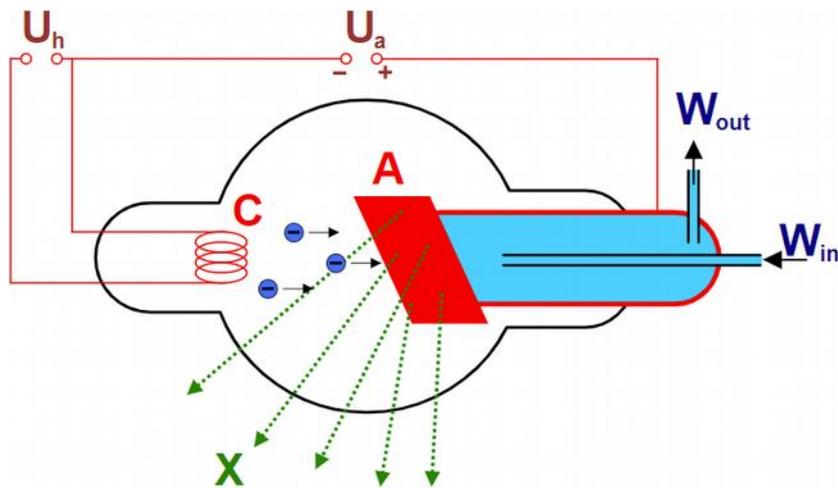
Après sa mort, sa fortune a été partagée entre diverses institutions allemandes et, actuellement, des bourses « Röntgen » sont encore octroyées.



2.4 Le cabinet du radiologue au début du XXe siècle

Afin que les tubes à rayons X puissent bien fonctionner, il est impératif que certaines conditions soient réunies. Dans le but de faciliter le passage des électrons entre les électrodes, on fait le vide dans le tube. La production / l'émission des électrons (e-) doit être continue afin qu'il y ait suffisamment de rayons X en vue d'obtenir une radiographie ou de réaliser une radioscopie. Comme la collision des électrons sur l'anode dégage beaucoup de chaleur, le tube doit être très résistant.

Au fil des expériences, les tubes à rayons X n'ont cessé d'être perfectionnés. Mais la plus importante amélioration a été apportée en 1913 par l'américain William **Coolidge** lorsqu'il imagine de placer, à l'intérieur du tube, un filament de chauffage qui, de manière continue, émet des électrons au niveau de la cathode.



Tube à rayon X de Coolidge :

C : cathode = filament

A : anode

W_{in} et W_{out} : entrée et sortie de l'eau de refroidissement

U_h : basse tension électrique pour le filament

U_a : haute tension électrique entre cathode et anode

X : rayons X

Les électrons émis par la cathode (un filament, le plus souvent en tungstène, chauffé par le passage d'un courant électrique) sont accélérés par une différence de potentiel élevée (de 10 à 150 kV) en direction d'une cible constituée d'une anode en métal (en tungstène également). Les rayons X sont émis par la cible selon deux mécanismes :

- le freinage des électrons par les atomes de la cible crée un rayonnement continu (rayonnement de freinage ou Bremsstrahlung) dont une partie dans le domaine des rayons X ;
- les électrons accélérés ont une énergie suffisante pour exciter certains des atomes de la cible, en perturbant leurs couches électroniques internes. Ces atomes excités émettent des rayons X en retournant à leur état fondamental.

Une faible portion, 1% environ de l'énergie cinétique perdue par les électrons, est rayonnée sous forme de rayons X, les 99 % restants sont convertis en énergie thermique.

William David Coolidge, physicien américain, invente le tube qui porte son nom en 1913. L'innovation principale est l'utilisation du tungstène pour le filament. Ces tubes permettent des progrès majeurs en radiologie. Les tubes actuels sont des améliorations du modèle original de Coolidge.

En 1929, le hollandais Albert **Bouwers** invente le tube à anode tournante. Cette invention consiste en une anode qui tourne continuellement et a pour conséquence une modification de la surface de collision des électrons assurant une meilleure répartition de la chaleur accumulée.

Au début, les effets néfastes des rayons X sont peu ou mal connus, et souvent sous-estimés malgré les observations de radiodermite très vite après la découverte. C'est pourquoi le tube radiologique exposé est ... nu comme un ver : il n'a pas de gaine de protection en plomb autour de lui ... pas plus que ne sont protégés le médecin et le technicien.

Comme les photographes le faisaient, avant la première guerre mondiale, les radiologues utilisent des plaques photographiques en verre qui ont le désavantage d'être très fragiles. Fort heureusement, en 1913, **Eastman-Kodak** aux Etats-Unis, puis **Gevaert** en Belgique, commencent la fabrication de films radiographiques en celluloïde. Ces films indestructibles, mais hautement inflammables, sont utilisés jusqu'à l'apparition du numérique.

Comme le temps d'exposition est trop long, produisant ainsi des images floues, on utilise dès le début des écrans renforçateurs de l'image. Ces écrans sont placés de chaque côté de la plaque photographique et contiennent des substances fluorescentes qui émettent une lumière lorsqu'elles sont soumises aux rayons X. Cette même lumière renforce l'effet des rayons X ce qui réduit considérablement le temps d'exposition pour obtenir une radiographie et, par conséquent, la dose d'irradiation que reçoit le patient.

Au départ, la force motrice indispensable au fonctionnement des appareils radiologiques provient de batteries ou de machines électrostatiques (dynamo) ce qui nécessite un énorme déploiement d'énergie humaine de la part de ceux qui les actionnent.

Il va sans dire que l'installation de circuits électriques dans les hôpitaux est une véritable révolution ... mais elle est aussi dangereuse car tous les fils sont apparents. Ils sont maladroitement fixés au plafond et, selon les besoins, déplacés à l'aide d'un manche de brosse ! Il arrive aussi que l'un d'eux se détache et tombe en provoquant l'électrocution de la personne sur laquelle il atterrit !

2.5 Pendant la première guerre mondiale

1914 : la première guerre mondiale éclate !

Pour sauver plus de blessés, la célèbre Marie Curie parcourt la France et la Belgique et apporte des appareils radiologiques dans des camions afin de réaliser des radiographies à proximité immédiate du front. Ces ambulances, appelées Petites Curies et voiture « Massiot », du nom de l'ingénieur, Georges Massiot, à la tête d'une usine de fabrication d'équipement radiologique, sont équipées d'un appareil Röntgen et d'une dynamo couplée au moteur du véhicule.

En pratique, on installe le blessé sur la table à rayons X située dans ou à côté de la voiture.

Le moteur du véhicule tourne en permanence afin de produire le courant électrique indispensable au fonctionnement de l'ampoule du tube à rayon X fixé au-dessus du soldat.

Marie Curie se rendra elle-même sur le front avec sa fille Irène Curie, alors âgée de 17 ans, pour réaliser les examens radiologiques et former les médecins et techniciens.

A cette époque, on ignore tout ou presque des effets néfastes des rayons X. Les techniciens et les médecins qui réalisent les radiographies n'ont aucune protection.



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



Les radiographies permettent de localiser la balle ou les éclats d'obus dans le corps du soldat. Après ce repérage radioscopique, on utilise un électroaimant pour extraire le projectile afin de réduire les dommages dans le corps du blessé. Cette technique était utilisée par le radiologue militaire belge Etienne **Henrard** (1870-1941) et ses confrères.

Electroaimant – Musée belge de la radiologie

2.6 La radiologie pendant l'entre-deux-guerres

Les premières protections font enfin leur grande apparition !

La firme anversoise DE MAN crée un appareil de radioscopie, réalisé selon les conseils et indications du radiologue bruxellois Léon **Hauchamps**, et muni de protections pour le personnel médical. Le châssis radiologique ainsi que la porte sont recouverts de plomb dans le but de protéger des effets nocifs des rayons X. Le tube radiologique de la table horizontale est lui aussi bien isolé puisqu'il est entouré d'une gaine métallique de couleur noire.



Aussi étrange que cela puisse paraître aujourd'hui, à cette époque, les patients ne se déshabillaient que partiellement pour subir les examens radiologiques.

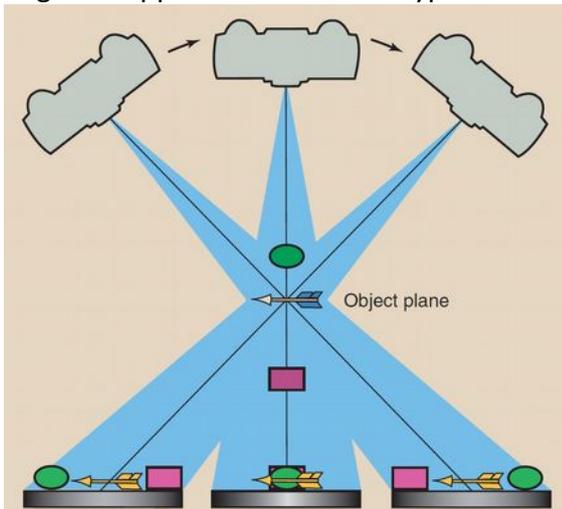
2.7 Les « golden sixties » : les innovations

La tomographie

Au début de la radiologie, pour mesurer la profondeur à laquelle se trouvait un projectile métallique logé dans le corps humain (balle de fusil, éclat d'obus, ...), les médecins recourent au compas, à de fastidieux calculs trigonométriques ou à la radioscopie.

Le médecin français André **Bocage** imagine le principe de la tomographie pendant la première guerre mondiale. La connaissance du grec (Τομή = tomi = coupe) aide à la compréhension de ce mot : il s'agit d'obtenir des images du corps humain comme une succession de tranches.

Cette technique consiste à reconstituer, sur le film radiologique, l'image de la couche du corps concernée (une coupe horizontale, parallèle à l'axe du corps) après projections sous différents angles. L'appareil servant à ce type d'examen s'appelle un tomographe.



Principe de base de la tomographie par projections : Seuls les objets qui se trouvent dans le plan de l'objet sont correctement projetés dans la radiographie. Les objets au-dessus et au-dessous de ce plan sont flous parce qu'ils sont projetés à travers l'image.

Le développement automatique

Par ailleurs, dans le courant des années 60, le développement manuel des films en chambre noire est abandonné au profit de machines automatiques de développement. Celles-ci peuvent être placées dans une pièce à la lumière du jour.

La radioscopie par amplificateur de brillance

Les amplificateurs d'images avec chaîne télévisée succèdent aux écrans de radioscopie et permettent ainsi une diminution de la dose d'irradiation nécessaire aux examens.

Les appareils ne sont pas les seuls à connaître des améliorations ... Les examens eux aussi deviennent plus précis. On cible de nombreuses maladies, en particulier les maladies pulmonaires, dentaires, gastro-intestinales et mammaires.

Les produits de contraste

Sur une radiographie de l'abdomen, par exemple, les structures osseuses sont très clairement perceptibles parce qu'elles sont radio-opaques en raison de la présence de calcium. Mais est-ce qu'on voit clairement le foie, les reins, l'estomac, la vésicule biliaire, l'intestin grêle, le colon, la vessie, les vaisseaux sanguins...? C'est pourquoi, pour être visibles, ces organes doivent être « colorés » par un produit de contraste.

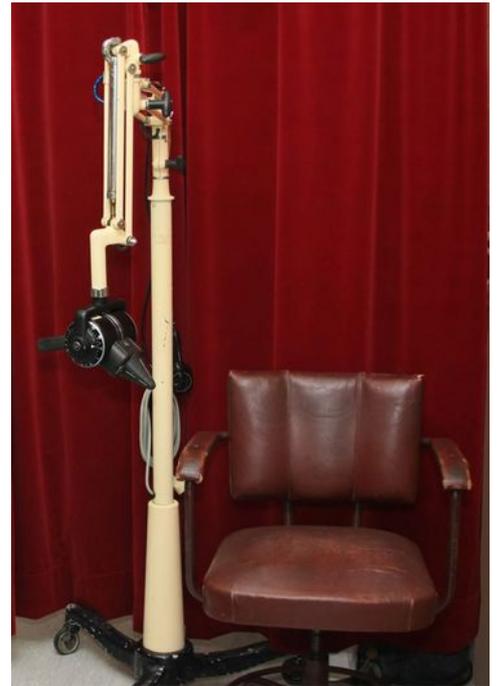
Une première série de produits utilisée est celle des produits de contraste négatif : négatif de par leur densité inférieure à celle du corps humain, comme l'air par exemple.

Comme ce n'était, malgré tout, pas toujours assez clair, on va passer à des substances de contraste positif (densité plus élevée que le corps humain). Le baryum pour les intestins et des produits à base d'iode qu'on injecte dans les vaisseaux.



Appareil Oralix produit par Philips

Les médecins généralistes réalisent des dépistages de la tuberculose par fluoroscopie dans leur cabinet. L'utilisation d'appareils à rayons X dans les centres de tuberculose permettait un diagnostic et un traitement rapide de la maladie.



En dentisterie, chaque cabinet disposait d'un équipement radiologique.



Une attention croissante est également

accordée à la radiologie digestive, et on construit des appareils conçus spécialement à cet effet comme les tables basculantes fluoroscopiques motorisées pour les études gastro-intestinales par exemple de la société belge **Balteau**.

Fluoroscopie pendant les années 1950, pour détecter un cancer de l'estomac.

L'année 1966 a été une étape importante dans la détection du cancer du sein. Le professeur Charles Gros, radiologue et physicien strasbourgeois, conçoit le premier appareil de mammographie. L'appareil est équipé de cônes de compression mammaire.

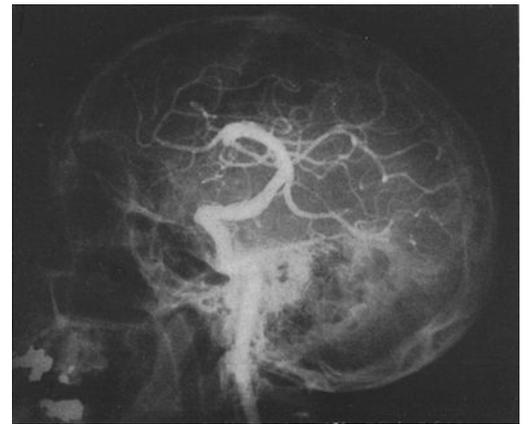
Premier mammographe commercial du Professeur Charles Gros



Enfin, il n'était pas rare que les radiologues ne fassent pas seulement le diagnostic mais assurent également une certaine radiothérapie. La radiothérapie est totalement séparée de la radiologie diagnostique au milieu des années 60.

La neuroradiographie

Le neuroradiologue Georges **Cornelis** de l'Université de Louvain, un radiologue spécialisé dans la connaissance du crâne et du système nerveux, injecte aux patients des médicaments appelés produits de contraste dans l'artère carotide en vue de visualiser les vaisseaux du cerveau et de détecter une éventuelle hémorragie ou une lésion.



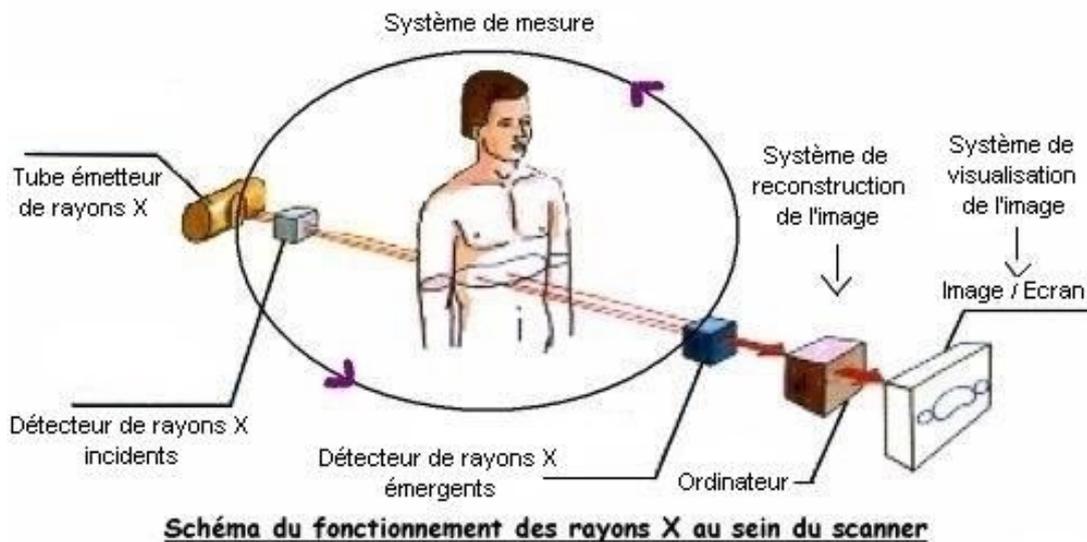
Angiographie carotidienne



Clichés accrochés au négatoscope.

2.8 Le scanner

Pour rappel, une simple radiographie montre une superposition de structures anatomiques allant de la plus superficielle à la plus profonde. Le recours à la tomographie conventionnelle (voir II.7.) permet de voir en tranches horizontales (parallèles à l'axe du corps) et, dès ce moment, de sélectionner ce que l'on recherche.



tpc-pet-scan

En Angleterre, dans les années 70, des savants ont l'idée d'associer cette technique de tomographie à base de rayons X à l'ordinateur- celui-ci est inventé pendant la deuxième guerre mondiale dans le but de décoder les messages secrets des armées allemande et japonaise. Ces travaux de recherche et de mise au point sont réalisés par Godfrey **Hounsfield** et Allan **M. Cormack**, lauréats du prix Nobel de physiologie en 1979 pour leur recherche. Ils sont financés par la division d'électronique de la fameuse firme anglaise E.M.I., dont la branche d'édition de disque est mieux connue puisqu'elle a produit les premiers disques des Beatles.

L'association de la tomographie conventionnelle à l'ordinateur donne naissance à la tomodensitométrie numérique aussi appelée scanner ou CT-scan. La particularité du scanner est de permettre l'étude des organes en tranches transversales (comme des tranches de saucisson !). Toutes les images sont mémorisées par l'ordinateur qui, suivant le noircissement, l'axe, le niveau ... choisis par le radiologue, les restitue avec beaucoup plus de détails et de précision que la tomographie



conventionnelle.

Cette technique, toujours utilisée aujourd'hui, est très fiable pour détecter des lésions ou observer l'évolution de certaines maladies. Elle favorise ainsi la mise en œuvre plus rapide d'un traitement.

Scanner (CT = Computed Tomography = Tomodensitométrie Numérique)

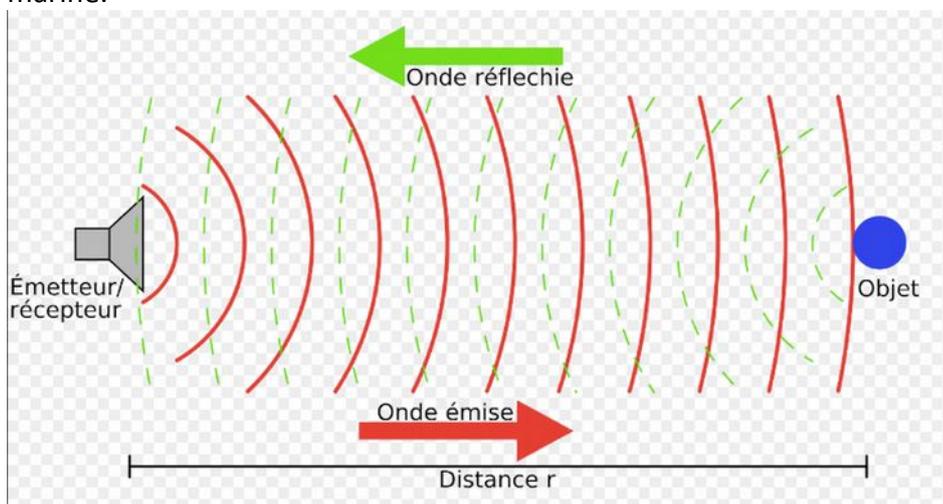
2.9 L'échographie

L'oreille humaine n'est sensible qu'aux sons dont le nombre de vibrations par seconde ou Hertz (Hz) est compris entre 20 et 20 000. Les sons de fréquence inférieure à 20 Hz sont dits infrasons et ceux supérieurs à 20 000 Hz sont appelés ultrasons. Ni les uns ni les autres ne sont perçus par l'homme.

En revanche, les ultrasons sont correctement entendus par les chiens, les phoques et surtout les chauves-souris. Ces dernières, dont la vue équivaut à la nôtre et n'est donc pas suffisante pour se déplacer rapidement dans un environnement sombre, émettent des ultrasons qui, comme un écho, leur reviennent après avoir ricoché sur les obstacles ... ce qui les guide dans leur vol nocturne.

La production artificielle d'ultrasons est découverte en 1880 par Pierre **Curie** qui n'est autre que le mari de la très célèbre Marie **Curie**.

Malgré sa valeur, la découverte des ultrasons par Pierre **Curie** est négligée et « rangée » au fond d'un tiroir. Mais après les naufrages du Titanic et de nombreux navires coulés au début de la première guerre mondiale, Paul **Langevin**, l'un de ses anciens collaborateurs, se souvient de cette invention et la perfectionne pour servir à la détection des objets sous-marins. En 1916, le premier sonar est fabriqué ... pour tomber dans l'oubli pendant 20 ans et être « réinventé » à l'occasion de la seconde guerre mondiale où il devient l'instrument des « vainqueurs » de la guerre sous-marine.

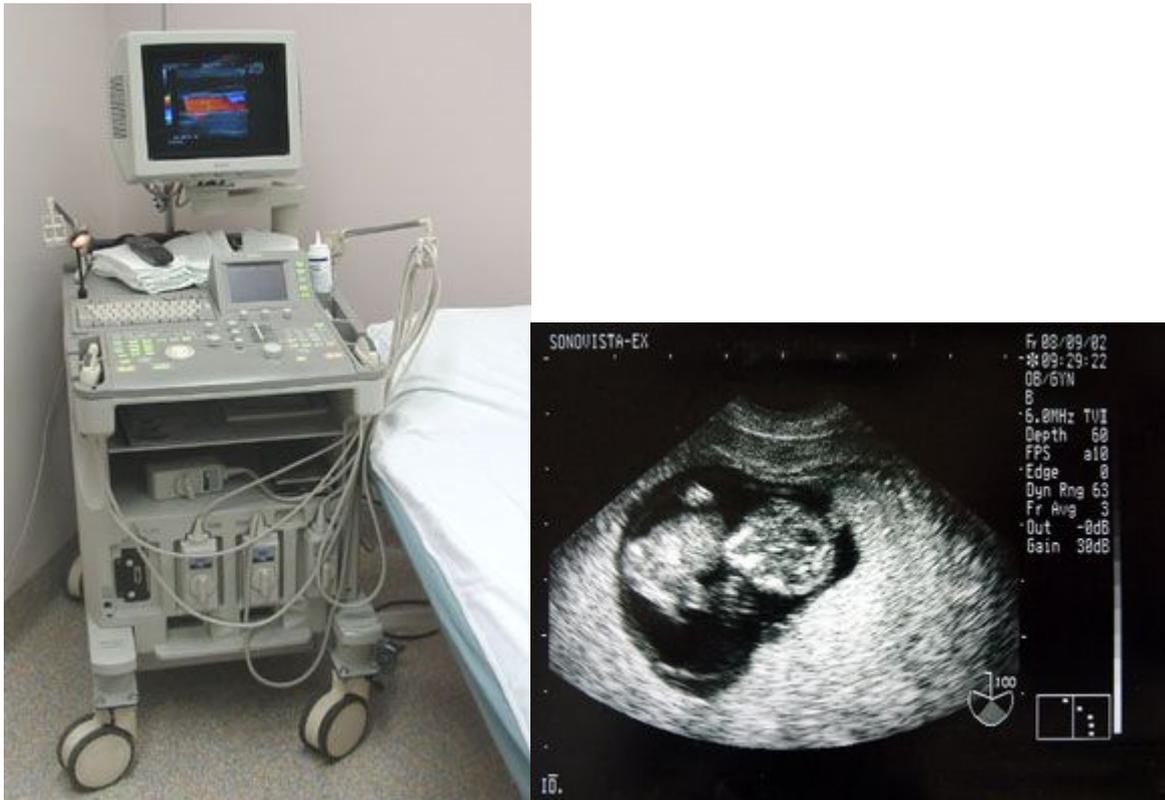


Principe du sonar

Le principe du sonar est simple : un appareil émet des ultrasons qui reviennent vers lui après avoir rencontré un « obstacle ». Cette réflexion produit un écho que l'on peut transformer en images grâce à l'appareil. Ce sont les différences entre les temps de réflexion des ondes ultrasonores qui forment l'image. Ce temps est déterminé par les différentes propriétés de réfraction des matériaux et la distance. L'analyse du signal permet donc de déduire la distance et le type de matériau de l'objet qui renvoie les ultrasons.

Découverte en 1951, l'échographie médicale est basée sur ce principe. Il s'agit d'un procédé d'investigations très peu invasif puisque le rayon X n'est pas utilisé et qu'aucune injection de médicaments, tels les produits de contraste, n'est nécessaire. Cette technique est surtout

pratiquée pour les examens de l'abdomen et pour l'observation de l'évolution du fœtus (futur bébé).



Echographe et échographie d'un fœtus de 9 semaines

2.10 L'IRM

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique récente et en pleine évolution.

Le principe repose sur le phénomène de résonance magnétique nucléaire (RMN), c'est-à-dire portant sur le couplage entre le moment magnétique du noyau des atomes et le champ magnétique externe, décrit par Felix **Bloch** et Edward **Mills Purcell** en 1946.

En 1973, s'inspirant des méthodes de reconstruction d'images utilisées en tomographie, Paul **Lauterbur** réalise pour la première fois une « imagerie » (qu'il baptise *Zeugmatographie*) basée sur la RMN. La première IRM sur une partie de corps humain, en l'occurrence un doigt, fut réalisée en 1976, par l'Anglais Peter **Mansfield**. Avec l'Américain Paul Lauterbur, ils furent récompensés de leur découverte par le prix Nobel de médecine en 2003.

Non irradiante, non invasive, l'IRM permet de reconstituer une image fine, en deux ou en trois dimensions, suivant n'importe quel axe, des tissus mous (le système nerveux, cerveau et moelle épinière, les muscles, les tissus, et les tumeurs) et d'y détecter des lésions difficilement visibles autrement. L'appareil est doté d'un puissant aimant (d'où le nom de « magnétique »). La technique consiste à aimanter les protons des noyaux (d'où le nom de « nucléaire ») d'hydrogène de nos cellules qui vont envoyer à leur tour, en « résonance », des signaux à l'appareil. En analysant ces signaux électromagnétiques, l'ordinateur va pouvoir restituer une image en trois dimensions des tissus observés. Ce procédé est indolore mais nécessite une immobilité absolue du patient pendant quinze à vingt minutes. Il permet de vérifier le bon fonctionnement de certains organes. L'IRM permet aussi de détecter certaines maladies comme l'Alzheimer, la sclérose en plaques ou encore de visualiser des accidents cérébraux.



Machine IRM en géométrie fermée 3 teslas fabriquée par Philips, une antenne 3 de tête est installée en bout de table.

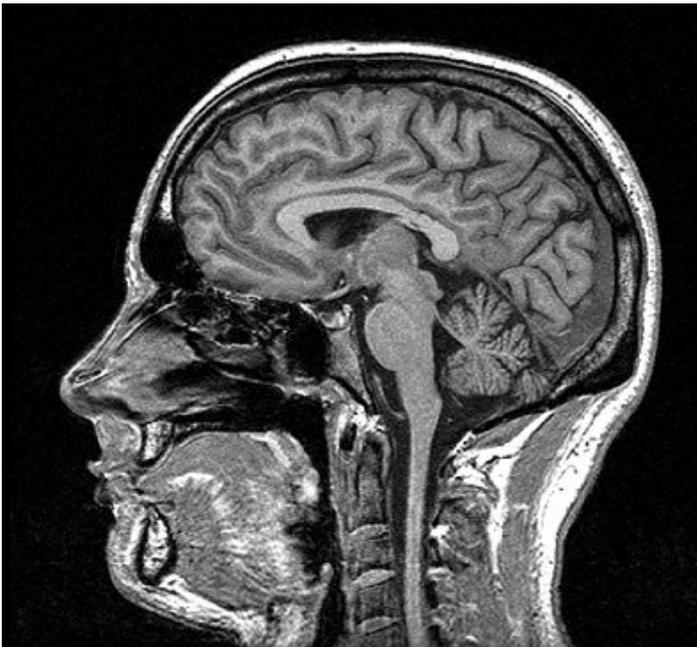


Image IRM du cerveau en reconstruction sagittale

III. Sources

https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant#Effets_des_rayonnements_ionisants_sur_l'organisme

https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_X

<https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/quels-sont-les-differents-types-de-rayonnement>

<https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/quels-sont-les-differents-types-de-rayonnement>

<https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/ued/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html>

<https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-rayonnement-2832/>

<https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/cours/les-spectres-lumineux/12902>

<https://www.brainfacts.org/In-the-Lab/Tools-and-Techniques/2014/Brain-Scans-Technologies-that-Peer-Inside-Your-Head>

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/imagerie-medicale-radiographie-principe.xml>

<http://www.cite-sciences.fr>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Radiographie>

+ sources **musée**