

Les différentes techniques d'imagerie médicale

DES PHARMACIE HOSPITALIERE
9 Février 2017



Dr Marie-Pierre Guenfoudi

Définition

- Regroupe les moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain à partir de différents phénomènes physiques (RX, RMN, US ou la radioactivité) auxquels on associe parfois les techniques d'imagerie optique comme l'endoscopie.

Définition

- Née avec la découverte des rayons X, l'imagerie médicale s'est considérablement diversifiée au cours du XX^{ème} siècle
- A révolutionné la médecine grâce au progrès de l'informatique ⇒ Outil incontournable dans la prise en charge d'un patient : utilisé à toutes les étapes du parcours de soins
- Évolutions techniques successives : technologie(s) de pointe

Les différentes techniques

- A – La radiologie standard
- B – Le scanner
- C – L'imagerie par résonnance magnétique IRM
- D – La tomographie par émission de positons (TEP)
- E – La tomographie d'émission monophotonique (TEMP)
- F – L'échographie
- G – L'imagerie interventionnelle

A- LA RADIOLOGIE STANDARD



- Pionnière de l'imagerie médicale
- Longtemps seule technique disponible
- Examens rapides et non coûteux
- Accès facile (appareils très répandus)

1- Historique

- Découverte ancienne : 1895 par Wilhelm Conrad Röntgen au cours de travaux sur le tube cathodique.
- Découvre l'existence d'une fluorescence d'un écran platino-cyanure de baryum.
- Ces rayons ne sont arrêtés ni par le papier ni par le verre mais le sont par le plomb et le platine.
- Rayonnement inconnu jusqu'alors « rayon X »
- 1^{ère} radiographie de la main de sa femme
- 1^{er} Prix Nobel de physique en 1901 et engouement immédiat pour cette technique

La main de bertha :

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Roentgen mit en évidence un type de rayonnement jusqu'alors inconnu qu'il baptisa le rayon X.

Le premier « objet » qu'il soumit à leur action en vue d'obtenir une image fut la main de sa femme Bertha.

L'exposition dura 25 minutes; il observa alors des différences d'absorption selon les matériaux : forte pour les métaux comme l'or de l'alliance de Bertha, moyenne pour les os et faible pour les tissus mous.

Ces travaux eurent un retentissement considérable et immédiat et la main de Bertha fit le tour du monde !!

2- Principe

- Utilise les rayons X (générés par un tube) qui traversent le corps humain et sont plus ou moins absorbés par les tissus en fonction de leur densité.
- Le résultat est imprimé sur un film photographique.
- Dans les systèmes actuels, le film a été remplacé par un détecteur électronique, plus sensible et qui numérise directement les images.
- L'acquisition est rapide et permet d'obtenir des images en rafale si besoin.
- Ainsi une structure dense (os) apparaîtra plus "blanche". A l'inverse, une structure aérique (comme les poumons) apparaîtra en "noir".

3- Applications de la radiologie standard

➤ Exploration dite "standard" du corps :

- ❖ Exploration des structures osseuses et articulaires : densité importante
- ❖ Exploration des poumons : densité très faible.

(Par contre, pas les parties molles (muscles, tendons, disques vertébraux, cerveau, organes abdominaux) du fait de leur densité intermédiaire)

↳ pathologie orthopédique, rhumatologique, pulmonaire, ainsi que l'orthodontie et l'étude dentaire.

➤ Examens dit « de contraste » qui par adjonction d'un produit de contraste « radio-opaque » permettent une analyse plus fine (structures creuses comme l'appareil digestif, les articulations, les vaisseaux sanguins..)

Une histoire d'innovation

- L'ère numérique : remplacement des films photographiques par des détecteurs avec fourniture immédiate d'images numérisées
- La stéréo-radiographie du corps entier : permettant de faire des radiographie du patient debout et d'obtenir une vue d'ensemble du squelette en 2D ou 3D
- La réduction des doses : grâce à l'utilisation de capteurs plans de plus en plus performants, aux outils de calcul de dose permettant de délivrer la dose la plus faible possible

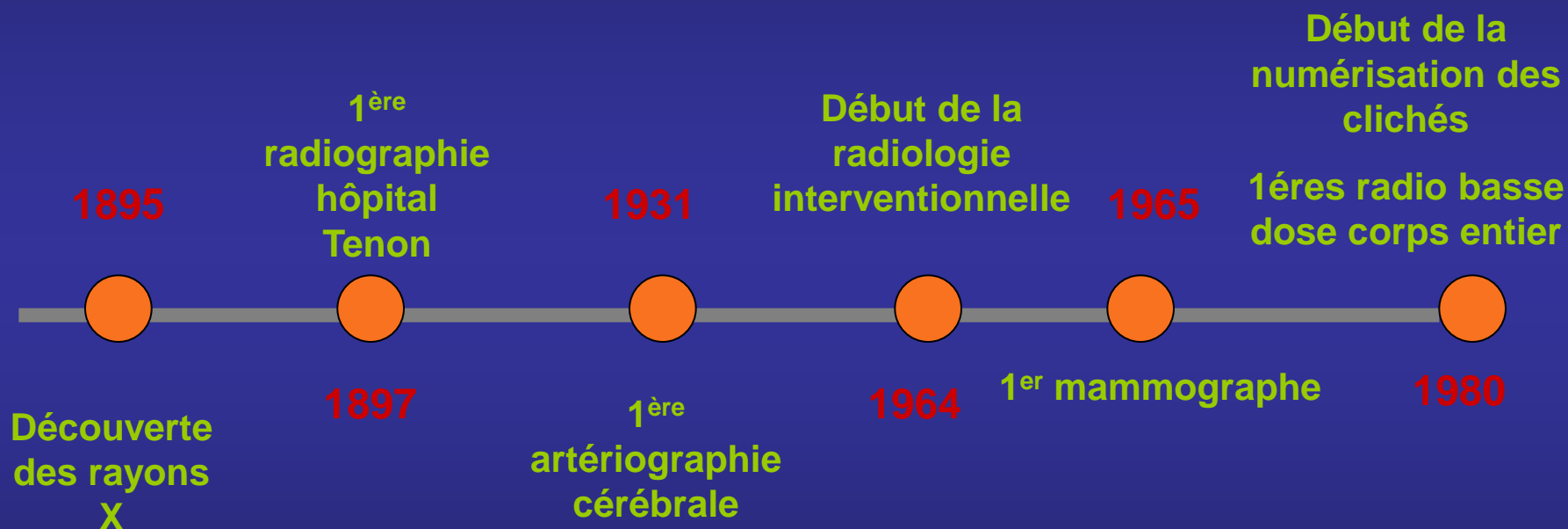
0.1 millisievert : c'est la dose moyenne d'exposition aux rayons X pour une radio pulmonaire. La dose annuelle d'exposition naturelle en France est 24 fois plus élevée.

Stéréo-radiographie corps entier



RADIOGRAPHIE CORPS
ENTIER ET
RECONSTRUCTION 3D

Quelques dates



B - Scanner ou tomodensitométrie

- Permet d'observer les organes et les tissus en 3D
- Devenue incontournable
- Les innovations technologiques dont elle a bénéficié ont considérablement amélioré ses performances, la sécurité et le confort des patients.
- Dès ses débuts, plébiscitée par le corps médical pour l'exploration du cerveau
- Devenue incontournable pour la détection et le suivi de nombreuses pathologies tumorales avant la mise au point de l'IRM

Sir **Godfrey Newbold Hounsfield**, ingénieur britannique est connu pour avoir conçu le premier scanner.

Il était alors ingénieur à l'EMI (Electronical Musical Instrumental), le célèbre label des Beatles.

Il a l'idée de déterminer le contenu d'une boîte à partir de clichés radiographique pris tout autour selon divers angles.

Il entame la construction d'un ordinateur qui prend des clichés radiographiques d'un même objet selon différents angles du vue pour reconstruire une image de l'objet en tranches.

Pendant le même temps Cormack établit la théorie mathématique décrivant un tel appareil. Cormack et Hounsfield seront récompensés par le prix nobel de médecine en 1979.

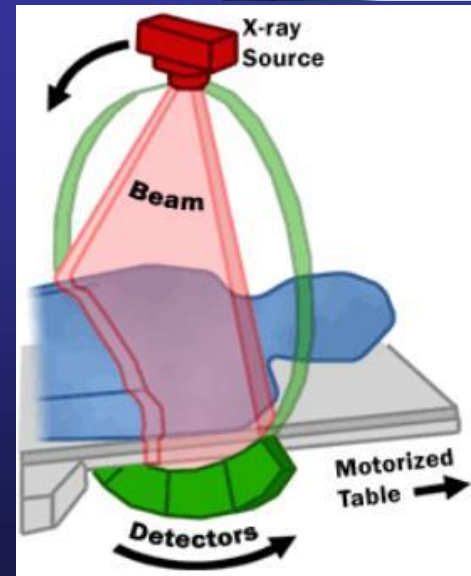
Son nom a été donné à l'unité Hounsfield, mesure quantitative de la radiodensité utilisée dans l'évaluation des scanners. Son symbole est HU et va de $-1\ 000$ HU pour l'air, à $+1\ 000$ HU pour l'os, en passant par 0 HU pour l'eau.

Principe

- Repose sur l'absorption des rayons X par les différents tissus de l'organisme.
- Alors que la radiographie livre des images de projection en 2 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 3D des organes en fonction de leur densité
- Recours fréquent à un produit de contraste iodé

Principe

- Source de rayons X couplée à un ou des détecteurs (barrettes)
- Table motorisée (vitesse de déplacement)
- Console de traitement des données pour traiter les images natives



Principe

- Pour les examens injectés : nécessité de coupler le déclenchement de l'acquisition des images avec l'arrivée du produit de contraste = **injection automatique**



Injecteur OptiVantage

Une histoire d'innovation

- **1ers appareils** : acquisition très lente et temps d'immobilisation du patient long
- **Scanners spiralés** : rayons X tournent autour du patient (1 fraction de sec pour obtenir une coupe)

0.25 seconde : c'est le temps mis par les scanners les plus rapides pour effectuer un tour complet du patient !

- **La course aux barrettes** : au départ 1 barrette puis 4, 16, 64... Aujourd'hui 320 ; le nombre de barrettes augmentent tous les 2 ans en moyenne ! ⇒ acquisition plus large et rapide, réduction du temps d'immobilisation dans le tube

Une histoire d'innovation

- Réduction des doses
- Aux prémices de l'imagerie spectrale :
arrivée des scanners à double énergie ou biénergie permettant moins d'artéfact et une meilleure résolution d'images.
Ouverture de la voie du fonctionnel : étude de la perfusion et de la ventilation pulmonaire

Avantages

- Rapide : temps d'immobilisation et d'apnée réduit
- Multiples possibilités de reconstruction
- Réalisation concomitante de certains actes (biopsie – ponctions)
- Alternative à l'IRM dans certains cas (matériel non compatible, claustrophobie)

Inconvénients

- Irradiant
- Produits de contraste non dénués de risques

Exemples d'examens rayons X (1)

- **Examens du squelette** :
 - ❖ Radiographie standard essentiellement en traumatologie
 - ❖ Scanner : fractures, malformation, bilan des tumeurs osseuse ou musculaires
- **Examens ostéo-articulaires** : arthrographie ou arthroscanner (étude plus fine des articulations et cartilages)
 - ❖ Nécessitent l'injection d'un produit de contraste à base d'iode directement dans l'articulation
 - ❖ Indications en diminution depuis l'IRM
- **Examens du tube digestif** : lavement baryté

Exemples d'examens rayons X (2)

➤ Examens urinaires :

- ❖ L'urographie intraveineuse : opacification des voies excrétrices urinaires après injection IV d'un produit de contraste. Recherche de malformations, tumeurs et calculs bloqués dans l'uretère.
- ❖ La cystographie : étudie les parois de la vessie et de l'urètre par injection d'un produit de contraste à l'aide d'une sonde introduite dans les voies urinaires (opacification à contre courant).
 - Diverticules, tumeur, reflux urine vers reins
 - Rétrécissement du conduit ou irrégularité du calibre

➤ Examens gynécologique :

- ❖ Hystérosalpingographie : étudie la cavité utérine et les trompes par injection d'un produit de contraste à l'aide d'une sonde introduite dans l'utérus
 - Recherche de tumeur, fibrome, rétrécissement des voies génitales
 - Bilans de stérilité, infections répétitives, saignements génitaux, douleurs....
- ❖ Mammographie : étude des seins sans injection

Exemples d'examens rayons X (3)

➤ Examens des vaisseaux :

- ❖ Angiographie : étudie les vaisseaux sanguins non visibles en RX standard
 - Artériographie : recherche de sténoses
 - Phlébographie : membres inférieurs et veine cave inférieure pour la recherche de phlébites (après une échographie-doppler) et des thromboses veineuses
- ❖ Coronarographie : étudie les artères coronaires du cœur pour dépister des anomalies de circulation dues à un obstacle (plaque athérome, embolie)

Peut être couplée à un geste thérapeutique (angioplastie)

C-IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE IRM

- Evolution majeure de l'imagerie permettant d'analyser à distance des organes de manière très précise.
- Méthode non invasive et non irradiante
- Permet d'explorer les tissus mous (cerveau, moelle, muscles, organes digestifs et reproducteurs...
 - ❖ structure anatomique (IRM anatomique)
 - ❖ fonctionnement et métabolisme (IRM fonctionnelle)

C- IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE IRM



➤ Elle recherche :

- ❖ Au niveau du cerveau, des lésions infectieuses ou inflammatoires, des anomalies des vaisseaux, des tumeurs.
- ❖ Au niveau de la colonne vertébrale, des hernies discales.
- ❖ Au niveau des articulations, des lésions ligamentaires ou méniscales

Principe (1)

- Repose sur le principe de la Résonnance magnétique nucléaire (RMN)
- Schématiquement, cette technique plonge le patient dans un champ magnétique généré par un aimant.
- En sa présence, les protons de l'eau réagissent comme de petites boussoles et s'alignent dans le sens du champ.
- Une onde de radiofréquence est alors appliquée entraînant une rotation des protons

Principe (2)

- A l'arrêt de l'onde de radiofréquence, les protons reviennent à leur état initial en libérant un signal (onde électromagnétique)
- Ce signal traduit en intensité permet de construire l'image
- Ainsi les parties du corps riches en eau ou en graisses sont visibles (majorité des tissus mous)
- A l'inverse, on distingue mal les os et les poumons
- Des produits de contraste paramagnétiques peuvent être administrés pour augmenter la qualité de l'image

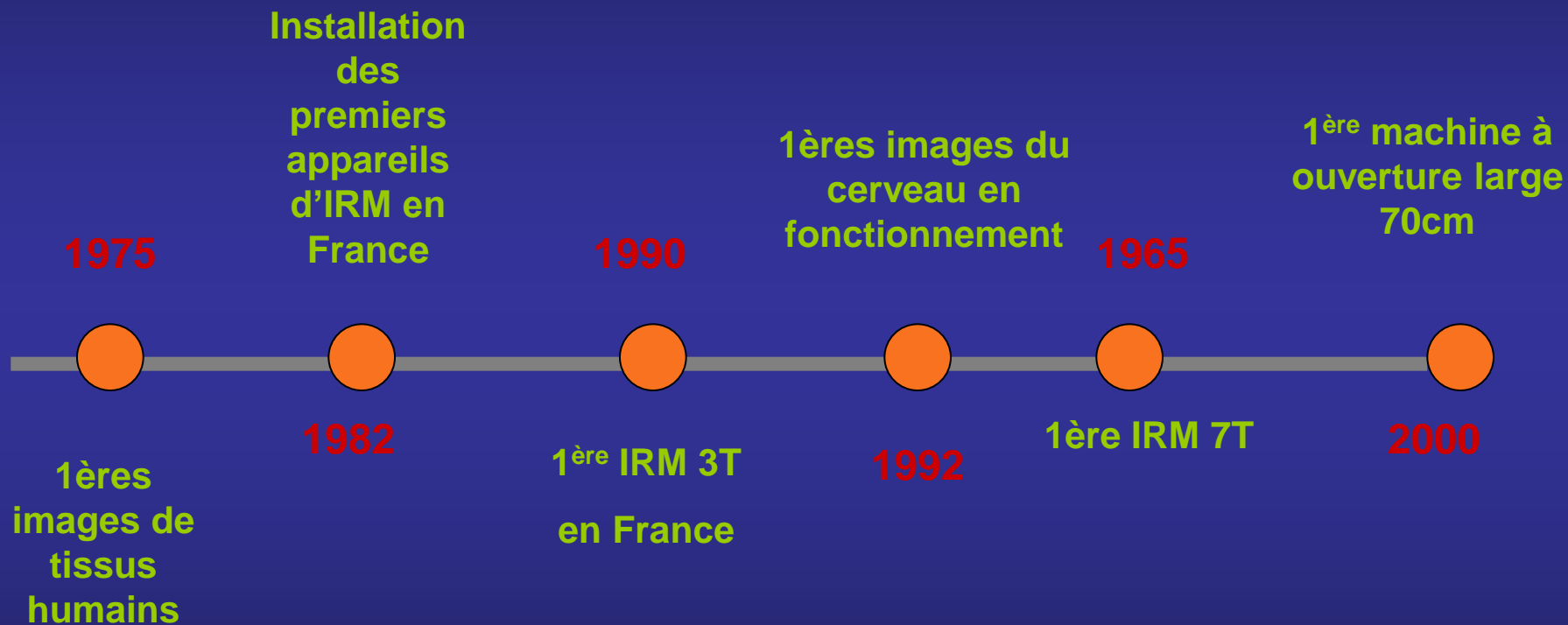
Principe (3)

- Pour l'IRM fonctionnelle, elle permet de détecter la modification des propriétés magnétiques de l'hémoglobine lorsque celle-ci subit une oxygénation.
- Elle permet de visualiser les zones les plus consommatrices d'oxygène c'est-à-dire les plus actives
- Elle permet aussi de visualiser les mouvements de l'eau extracellulaire qui est ralentie dans les tissus à forte densité cellulaire (tumeurs)

Une histoire d'innovation

- Des aimants de plus en plus puissants :
0.5 à 1T dans les années 80 - 1.5 T (2000)- 3T
depuis une dizaine d'années - 7 voir 11.7 T à des
fins de recherche (A Saclay étude du
fonctionnement du cerveau)
⇒ Permet temps d'acquisition moins long, durée
de l'examen raccourci
- IRM plus spacieux : ouverture agrandie de 60 à
70 cm
- IRM à champ ouvert : sans tunnel
- Vers des solutions hybrides : associations avec
US, TEP

Quelques dates



Double prix nobel

- Paul Lauterbur et Peter Mansfield : 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 en papier

Le deuxième, 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

Mais rien n'aurait été possible sans :

- Felix Bloch et Edwards Purcell : prix nobel en 1952 pour leur découverte de la résonance magnétique nucléaire RMN

D – La tomographie par émission de positons (TEP)

- En dix ans, la TEP a révolutionné la prise en charge du cancer
- Modalité d'imagerie fonctionnelle en 3 D utilisée en médecine nucléaire
- Principal intérêt = capacité à quantifier l'activité métabolique des cellules; ce qui permet de différencier les tissus sains des tumeurs malignes et de leurs métastases
- Permet aussi de diagnostiquer les récives le plus tôt possible et d'évaluer la réponse de la tumeur à un traitement et d'adapter la posologie
- Imagerie fonctionnelle (par opposition à l'imagerie de structure)

Principe (1)

- Repose sur le principe général de la scintigraphie
- Consiste à suivre à l'aide d'une caméra à positons le rayonnement émis par un traceur radioactif (radiotraceur) injecté dans l'organisme du patient
- Algorithme de reconstruction informatique permet d'obtenir des images de la répartition du traceur

Principe (2)

- Un radiotraceur se compose d'un élément chimique radioactif (qui se désintègre progressivement) couplé à un traceur choisi pour ses propriétés physiologiques.

Exemple : pour suivre l'activité de cellules cancéreuses grandes consommatrices de sucre; l'élément radioactif de choix = isotope 18 du fluor et le traceur = molécule d'analogue de glucose. L'ensemble = ^{18}F -Fluorodésoxyglucose ^{18}F (le plus utilisé)

Principe (2)

- Aux doses utilisées : pas de danger
- Production d'isotopes radioactifs et des radiotraceurs : Cyclotrons car $\frac{1}{2}$ vie courte des isotopes (110 minutes pour le fluor 18)
- Service de médecine nucléaire et caméra TEP (attention \neq gamma-caméra utilisée dans la TEMP)

Domaines d'applications

- **Neurosciences** : d'abord à des fins de recherche puis pour le diagnostic de maladies neurodégénératives (Alzheimer, épilepsie, démences)
- **Cancérologie** : utile à différentes étapes :
 - ❖ lors du diagnostic pour l'identification d'une anomalie détectée lors d'un précédent examen (échographie, radiographie) et pour préciser sa nature (tumeur maligne ou bénigne) ;
 - ❖ lors du bilan d'extension pour la recherche précise de l'étendue du cancer et d'éventuelles métastases ;
 - ❖ lors du traitement, il permet de juger de l'efficacité d'une thérapie ;
 - ❖ lors de la surveillance pour la détection d'une éventuelle récurrence
- **Cardiologie** : pour la recherche de viabilité du muscle cardiaque après un infarctus

Une histoire d'innovations

➤ Couplage au scanner : le PET Scan

L'ensemble tourne autour du patient et permet une reconstruction de l'image en 3D et améliore la rapidité, la sensibilité et la résolution.

➤ Bientôt des cyclotrons de « poche »

- surface importante de plusieurs dizaines de m² à distance des services de médecine nucléaire
- perte de radioactivité lors du transport des radiotraceurs
- développement de cyclotrons adaptés au gabarit de pièces standard permettant une production sur place et l'utilisation de nouveaux traceurs à durée de vie très courte

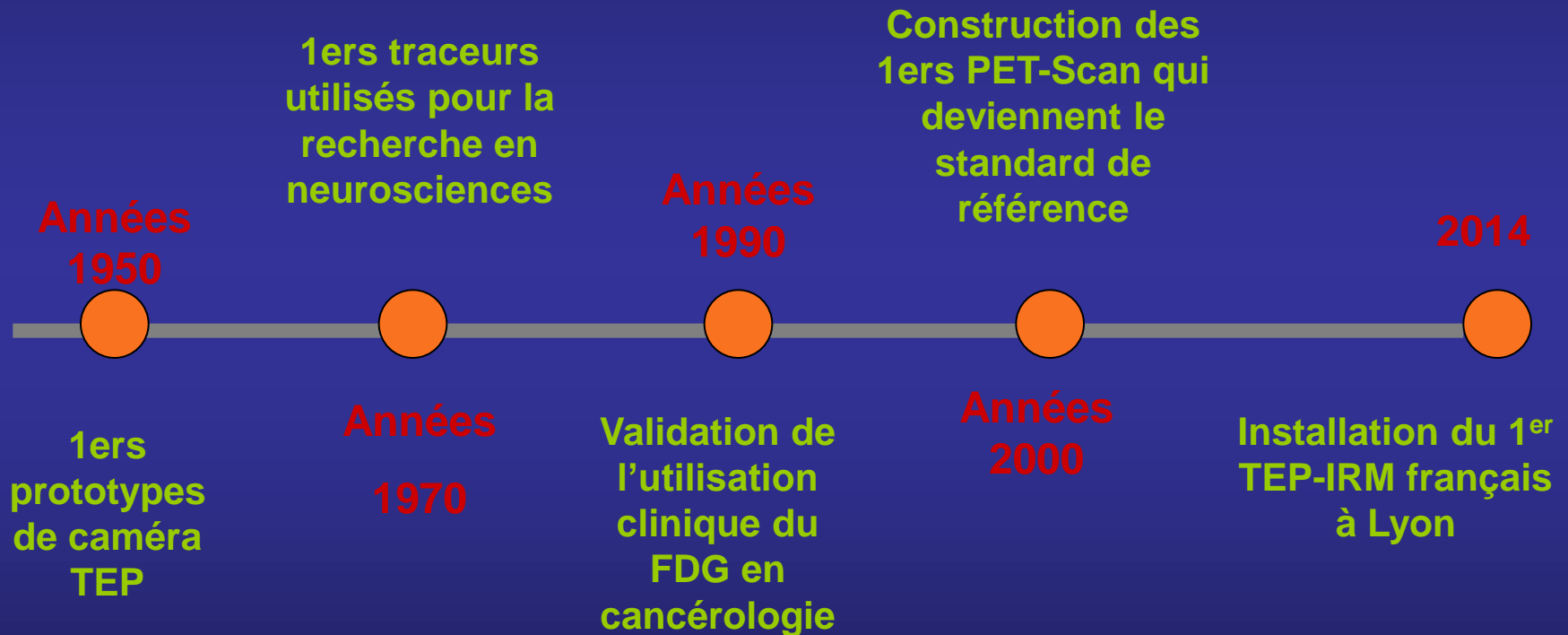
➤ L'ère de la TEP-IRM

Encore très peu d'appareil au monde

Indications respectives encore en débat

Intérêt probable en pédiatrie

Quelques dates



E – La tomographie d'émission monophotonique (TEMP)

- Assez proche de la TEP
- Utilisation d'un produit radioactif émetteur de rayonnements gamma (constitués de photons) = radio pharmaceutiques
- Capacité à marquer certaines molécules qui ont un intérêt biologique et dont on veut suivre le devenir dans l'organisme
- Permet donc d'étudier le fonctionnement des organes.
- Prescription par un médecin spécialisé en médecine nucléaire et délivrance par un pharmacien spécialisé en radiopharmacie

Applications

➤ 2 versants

- ❖ Diagnostique : scintigraphie thyroïdienne, myocardique.
- ❖ Thérapeutique : hyperthyroïdie par l'iode ^{131}I , polyglobulie primitive par le phosphore ^{32}P , les métastases osseuses douloureuses par le strontium ^{89}Sr

F- L'ECHOGRAPHIE



- 1955, visualisation du corps humain en coupe par l'utilisation des ultrasons. Ces ultrasons traversent toute la matière à l'exception des os et de l'air contenu dans le corps. (1500 m/sec)
- Les ultrasons de faible intensité sont dirigés sur les zones à étudier grâce à une sonde posée sur la peau.
- Cette sonde émet des ultrasons qui rebondissent sur les tissus qu'ils rencontrent à la manière d'une balle de tennis. La sonde capte les échos produit par les organes et les transmet à un appareil qui assure leur conversion en signal vidéo
- Utilisation encore limitée de produits de contraste.

E- L'ECHOGRAPHIE

- Elle permet l'analyse de nombreux organes
 - ❖ Superficiels :
 - Parotides, thyroïde, muscles et tendons, articulations, testicules, seins, ganglions, vaisseaux
 - ❖ Profonds :
 - Foie, vésicule, reins, rate, pancréas, utérus, ovaires, prostate...
- Pendant la grossesse, elle permet d'étudier la vitalité et le développement du fœtus, de dépister des anomalies ou encore de déterminer le sexe.

E- L'ECHOGRAPHIE

Système doppler

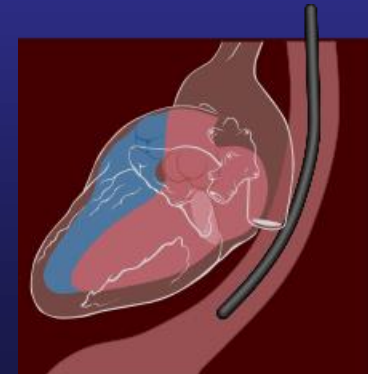
- Il permet l'étude du débit dans les artères et veines.
- La sonde se présente sous forme de stylo appliqué en regard de la zone à étudier.
- Il recherche des perturbations du flux sanguin pouvant être en rapport avec un obstacle ou un rétrécissement.
- Souvent intégrés dans l'appareil d'échographie

Echographie transthoracique

- Couplée au doppler, elle permet à l'aide d'une sonde placée sur le thorax, de créer une image du cœur en mouvement et de suivre également les flux sanguins à l'intérieur du cœur.
- Souvent complétée par une échographie transoesophagienne (E.T.O.)

Echographie transoesophagienne

- Permet d'explorer le cœur, les valves et cavités à l'aide d'un capteur ultra sonore qui est placé sur un endoscope.
- Voie privilégiée pour obtenir des images du cœur car l'œsophage est accolé au cœur.
- Les ultrasons émis sont réfléchis par les structures cardiaques et analysés par l'échographe.
- Indications les plus fréquentes :
 - ❖ Recherche d'un caillot intra cardiaque
 - ❖ Anomalie au niveau des valves
 - ❖ Anomalie de fonctionnement d'une prothèse
 - ❖ Anomalie de la paroi de l'aorte thoracique



Echographie endocoronaire

- Permet de visualiser le cœur de l'intérieur grâce à un fin cathéter, munie à son extrémité d'une sonde d'échographie.
- Précise à la fois qualitativement (morphologie de la plaque) et quantitativement (mesure de la surface de lumière résiduelle).
- Indications :
 - ❖ Exploration du tronc commun, des sténoses calcifiées, des sténoses molles, des anévrysmes, des dissections, des thrombus, la visualisation du bon positionnement des stents.
 - ❖ En complément de l'angiographie chaque fois que les données sont insuffisantes ou ambiguës

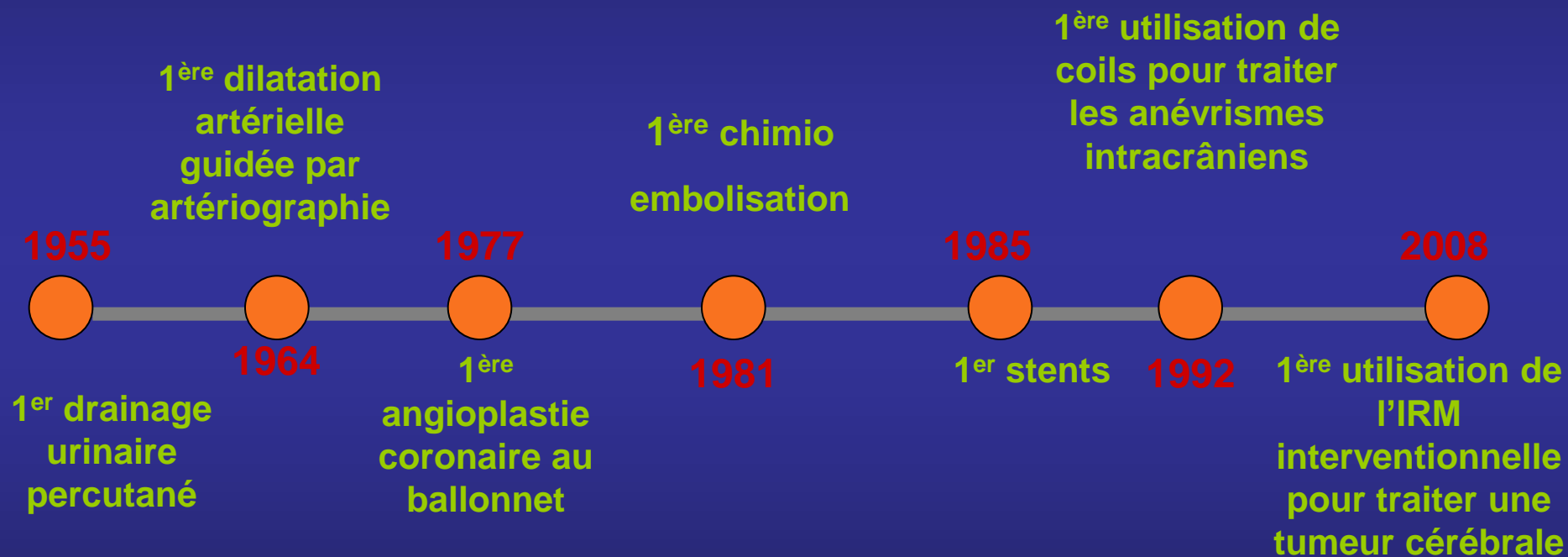
G – l'imagerie interventionnelle

- Elle désigne toute modalité d'imagerie utilisée afin de guider des gestes diagnostic ou thérapeutiques effectués à l'intérieur du corps
 - ❖ radiologie interventionnelle
 - ❖ neuroradiologie interventionnelle
 - ❖ cardiologie interventionnelle
 - ❖ chirurgie interventionnelle

F – l'imagerie interventionnelle

- 2 voies d'accès à l'organe sont possibles
 - ❖ Par les vaisseaux sanguins (fémorale, radiale)
 - ❖ A 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 tout autres dispositif nécessaire au geste in situ

Quelques dates



Tomographie à cohérence optique C.T.O.

- Mise au point en 1991. Non invasif et très performant.
- Comparable dans son principe à l'imagerie ultrasonore.
- Basée sur la réflexion d'ondes non pas ultrasonores mais lumineuses.
- Application en ophtalmologie : suivi des maladies de la rétine (un laser infrarouge permettant reconstruction de toute l'épaisseur de la rétine)
- Application cardiologie : prometteur dans l'analyse des plaques d'athérome et le dans le guidage d'une angioplastie.
- Recherche en dermatologie : prometteur dans la caractérisation des tumeurs et maladies inflammatoires

Combien coute un examen ?

- Une radiographie standard ?
- Un scanner ?
- Une échographie ?
- Une IRM ?
- UN pet scan ?