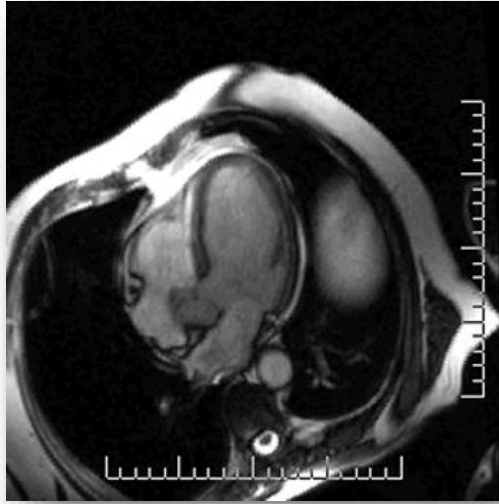
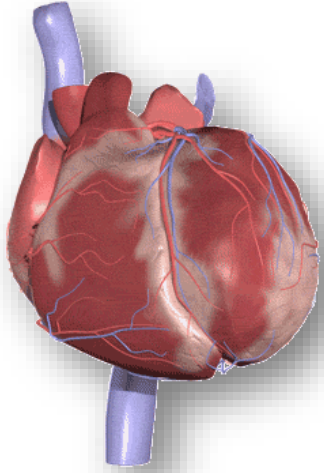


Introduction à l'imagerie médicale : de la technique à la pratique



INSA février 2016

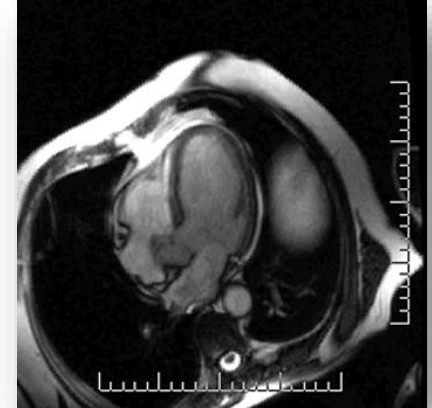
Dr Arnaud Muller, Pr P.-J. Valette

Service de radiologie digestive et interventionnelle

Centre Hospitalier Edouard Herriot et Lyon Sud

Objectifs

- ▶ Comprendre que l'imagerie médicale n'est pas qu'une imagerie structurale (morphologique, anatomique), plane et statique, mais peut 3D ou 4D, virtuelle, histologique, fonctionnelle, métabolique... et souvent multimodale



- ▶ Comprendre les principes techniques des modalités d'imagerie médicales, et leur histoire
- ▶ Comprendre l'utilité de ces techniques en pratique, et comment elles ont bouleversé l'image du corps, le raisonnement médicale et les prise en charge thérapeutiques



Et Dieu dit :

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Et la lumière fut.

*(Genèse 1:3,
nouvelle version)*

Intro

L'imagerie, une révolution de la démarche médicale !

Le spectre lumineux (électromagnétique) visible ne permet pas de voir à travers la peau et les organes

Immense révolution médicale :

L'imagerie repousse les frontières du visible et transforme la démarche diagnostique

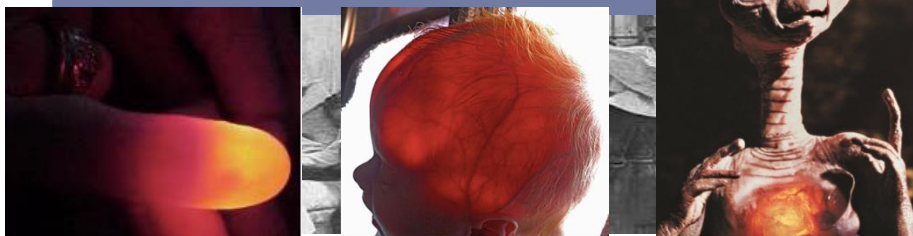


L'imagerie, une révolution de la démarche médicale !

► Démarche diagnostique en 1900

Interrogatoire

Examen clinique



Chirurgie



► Démarche diagnostique en 2016

Interrogatoire

Examen clinique

Biologie



IMAGERIE



+/- Chirurgie

Les techniques d'imagerie médicale

Radiologie : « utilisation des rayons X à des fins diagnostiques et thérapeutiques ».

Trop restreint : les méthodes d'imagerie sont multiples et reposent sur des principes physiques différents

- **Rayons X** : radiographie et tomodensitométrie (scanner)
- **Ultrasons** : échographie
- **Résonance magnétique nucléaire** : IRM
- **Radio-traceurs** : scintigraphie et TEP (Med. Nucl.)

=> **Imagerie médicale**: ensemble des moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain



L'imagerie médicale : à quoi ca sert ?

Voir **la MORPHOLOGIE** des organes :

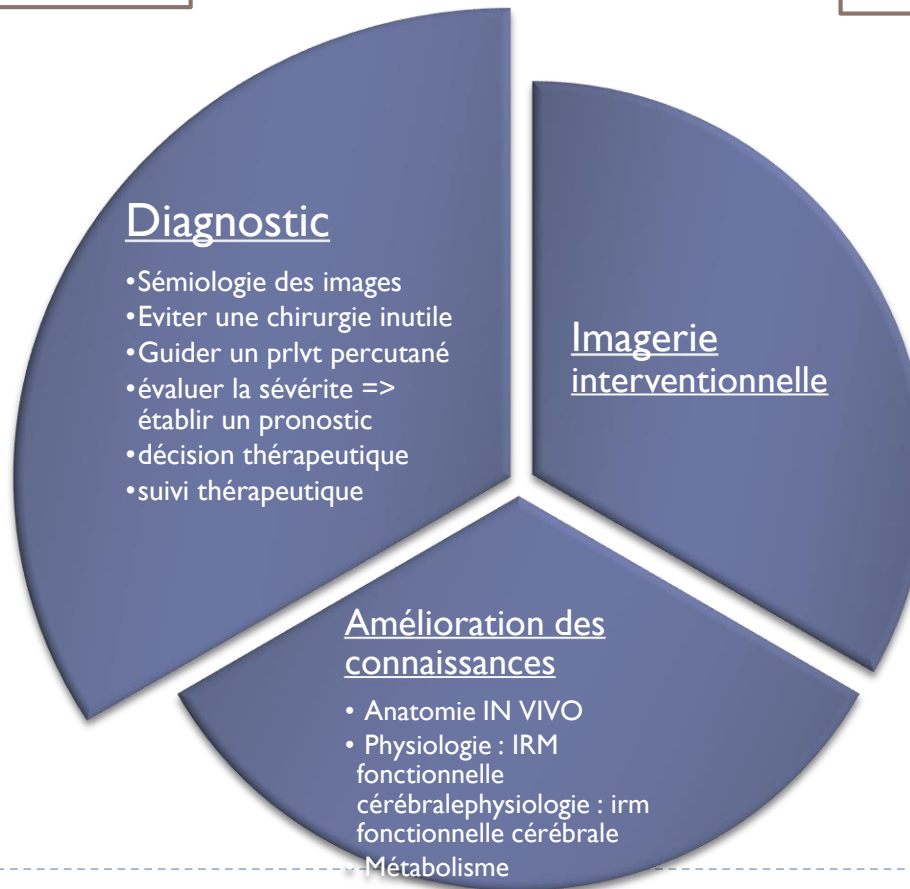
- Imagerie en projection ou en coupe
- Représentation du volume, réalité virtuelle

Voir **le FONCTIONNEMENT** des organes :

- Imagerie dynamique
- Imagerie fonctionnelle

Entrer dans **l'intimité structurelle** des organes et des maladies

- Imagerie de haute résolution
- Imagerie « moléculaire »



Les spécialités de l'imagerie

Radiologie

Radiologue

Rx (Radio + Scanner, US, IRM)

Diagnostic

Obtenir des éléments diagnostiques par analyse sémiologique d'images
Guider des prélèvements à des fins d'analyse biologique

Thérapeutique

Réaliser un geste thérapeutique guidé par imagerie

Médecine Nucléaire

Médecin nucléaire

Radio métabolites, scintillateurs

Diagnostic

Thérapeutique

Radiothérapie

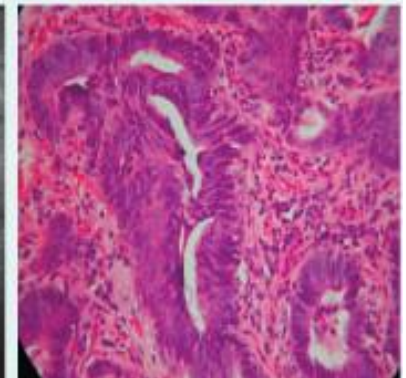
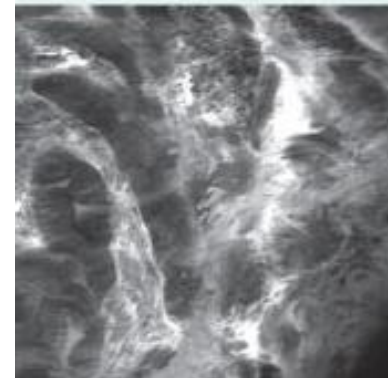
Oncologue

Ryts gamma, alpha, Béta

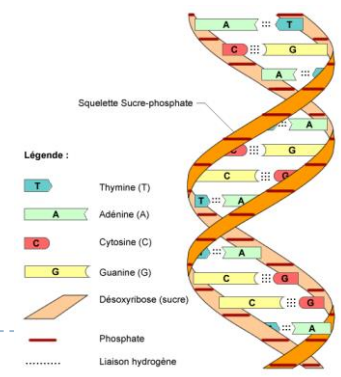
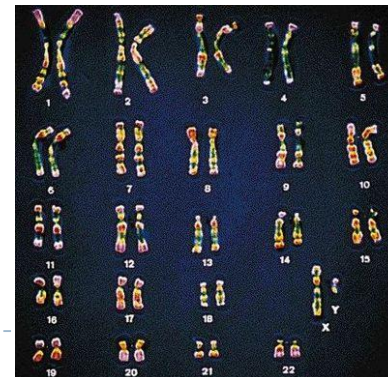
Thérapeutique

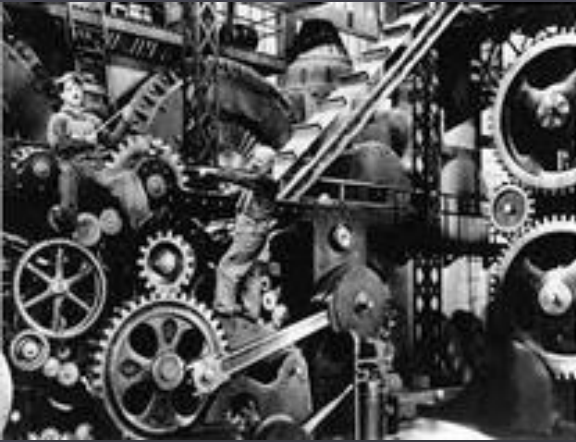
Les autres technique d'imagerie

- ▶ L'endoscopie
- ▶ L'endo-microscopie confocale
- ▶ L'anatomo-pathologie



- ▶ La génétique





Techniques d'imagerie

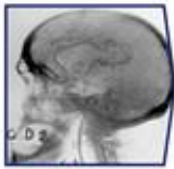
Histoire, principes technique, avantages et inconvénients
pratiques, avenir

L'imagerie médicale : des (r)évolutions technologiques permanentes

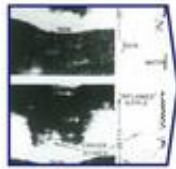
De 1895 à 1990, évolution technologique permanente



1895
1^{ère} radio



1920
1^{ère} artério



1953
1^{ère} écho



1960
1^{ère} mammo



1970
1^{er} scanner



1980
1^{ère} IRM



1990
Radio num

Des prix Nobel en cascade

- 1901 - [Wilhelm Conrad Röntgen](#)
- 1903 - [Marie Curie](#)
- 1903 - [Henri Becquerel](#)
- 1904 - [Lord Rayleigh](#)
- 1915 - [William Bragg](#)

De 1990 à aujourd'hui, accélération brutale :



1994
Scanner
2 détecteurs



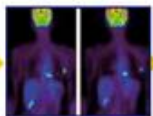
1995
1^{ers} réseaux
d'imagerie



2000
3D



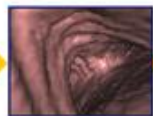
2002
Mammo num



2002
TEP



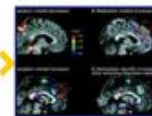
2003
1^{ers} Pacs



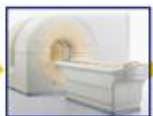
2003
Endoscopie
virtuelle



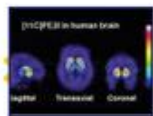
2004
4D



2005
IRM
fonctionnelle



2007
IRM à 7 Tesla



2008
Imagerie
moléculaire



2008
Généralisation
de l'archivage



2009
Scanner 310
barrettes



2010
Projet région
sans film ?

The Nobel Prize in Chemistry
1921 - [Frederick Soddy](#)
1922 - [Francis William Aston](#)

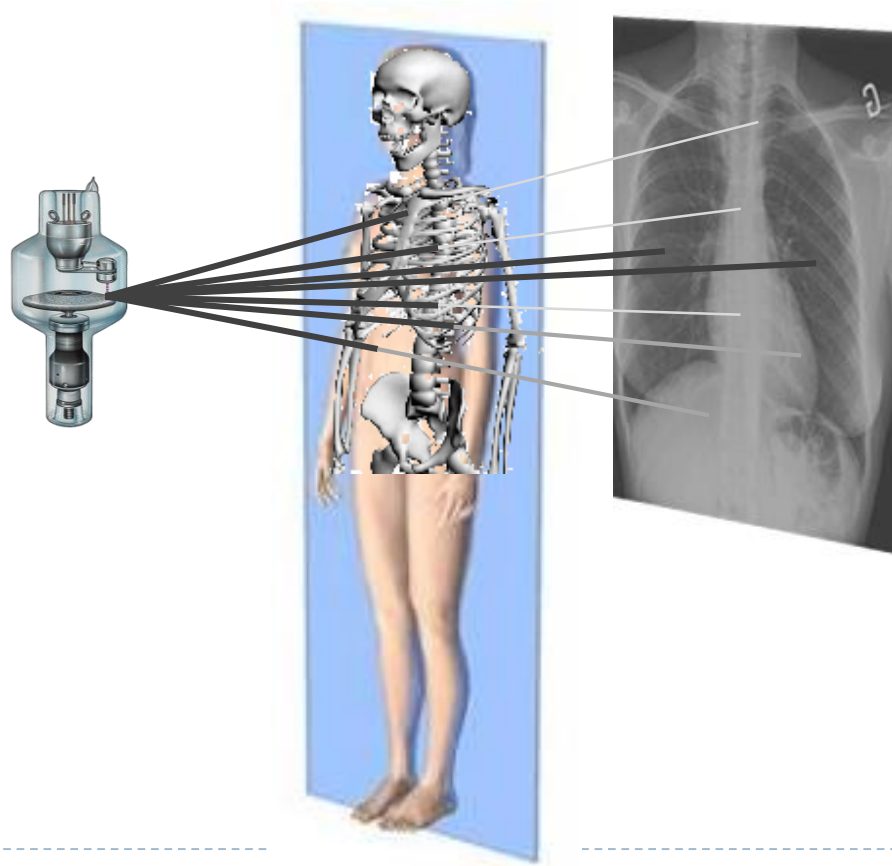
The Nobel Prize in Physiology
Medicine
1979 - [Godfrey N. Hounsfield](#)

The Nobel Peace Prize
1995 - [Joseph Rotblat, Pugwash
Conferences on Science and
World Affairs](#)

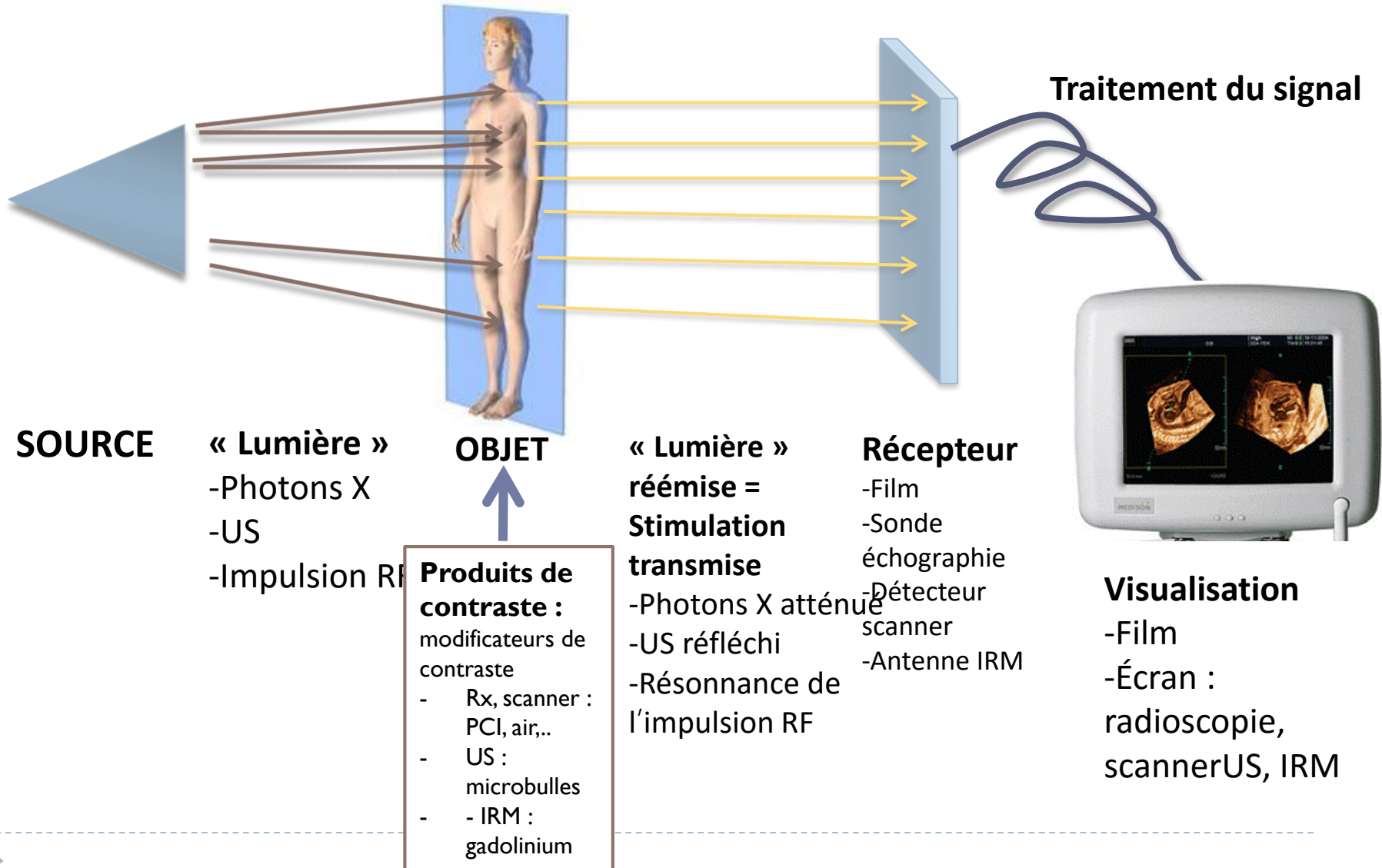
[1992 physique : Charpack](#)

La radiographie : le principe

- ▶ Image en **projection** du volume dont le contraste dépend de la densité des structures radiographiées

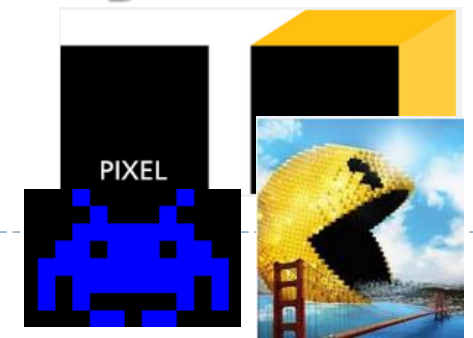
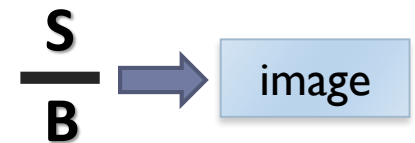
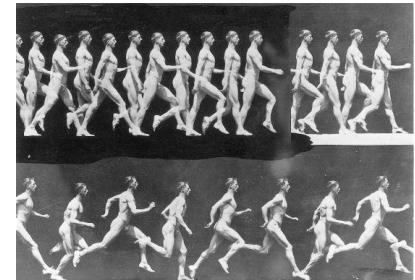
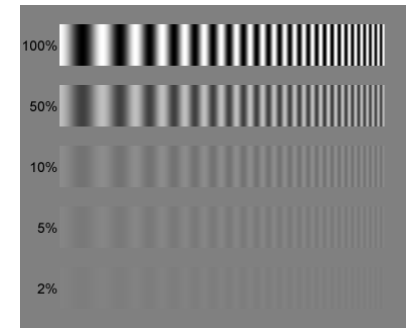
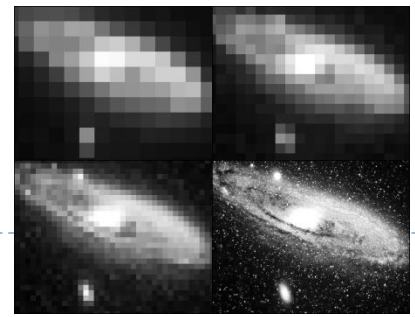


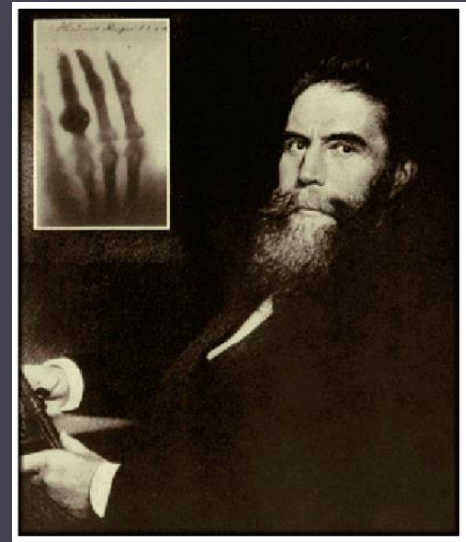
Principes communs de l'imagerie



Lexique

- ▶ **Résolution spatiale** : la plus petite distance distinguable séparant 2 objets
⇒ Taille du pixel
- ▶ **Résolution en contraste** : le plus petit écart de densité distinguable
⇒ niveaux de gris
- ▶ **Résolution temporelle** : intervalle de temps séparant deux images
- ▶ **Rapport signal sur bruit** : notion de compromis en imagerie
- ▶ **Image numérique** : représentation par un nombre fini « d'éléments d'images » : le pixel (picture elements)
 - ▶ image plane : **pixels**
 - ▶ Image 3D : **voxels**





Radiologie « conventionnelle »

: imagerie de transmission

Principe

Limites inhérentes

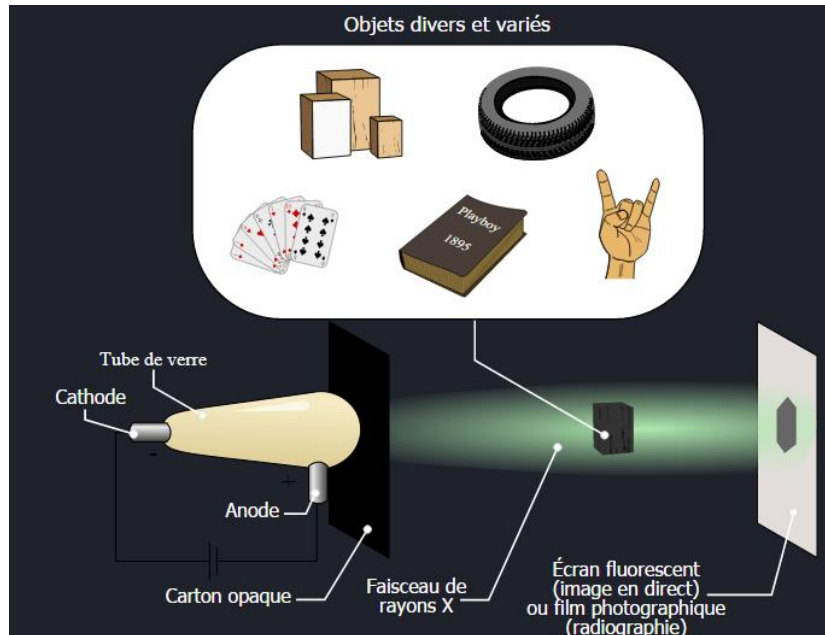
Améliorations récentes : numérique, diminution dose, tomographie, cone beam,

Avenir

Historique

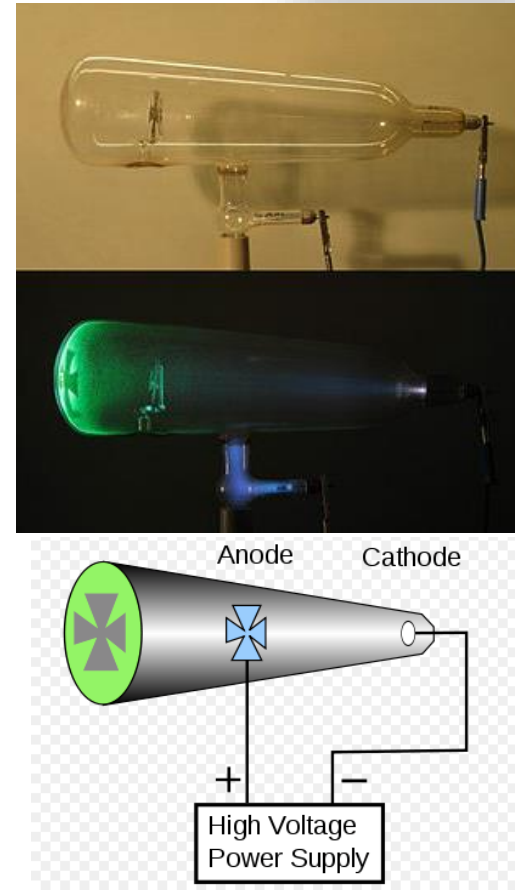
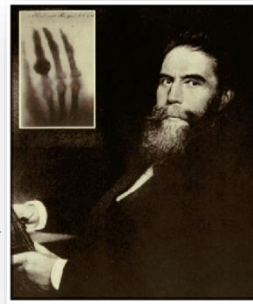
▶ Novembre 1895 :

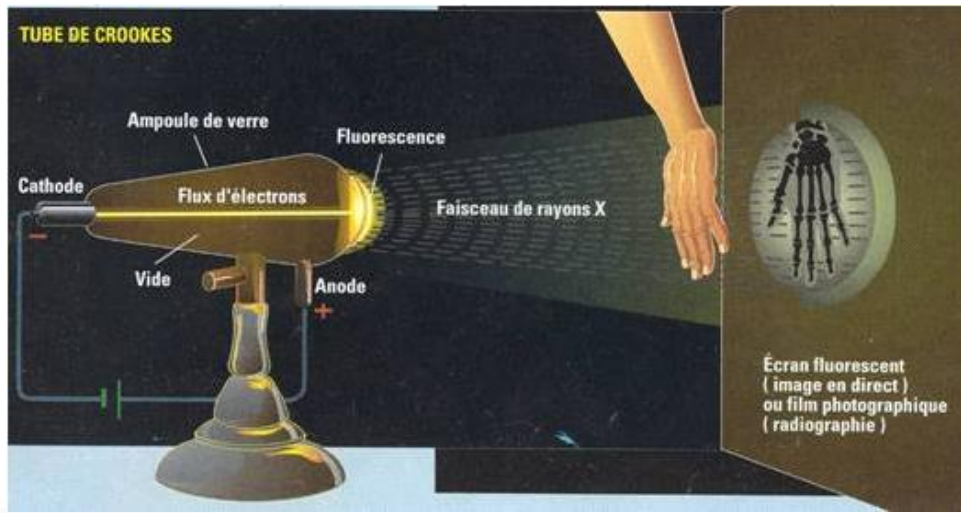
- ▶ Röntgen travaille sur les rayons cathodiques (tube de Crookes)
- ▶ constate une qu'une plaque photographique placée en face du tube
- ▶ place le tube dans un caisson opaque : même résultat
 - ▶ => « il existe un rayonnement invisible et très pénétrant » qu'il nomme **X** (inconnu)
- ▶ Interpose différents objets



Petites curies du net

- ▶ => ryt X traverse la matière d'autant plus facilement que celle-ci est peu dense et peu épaisse





Berta R.

anatomist and physiologist Kölliker

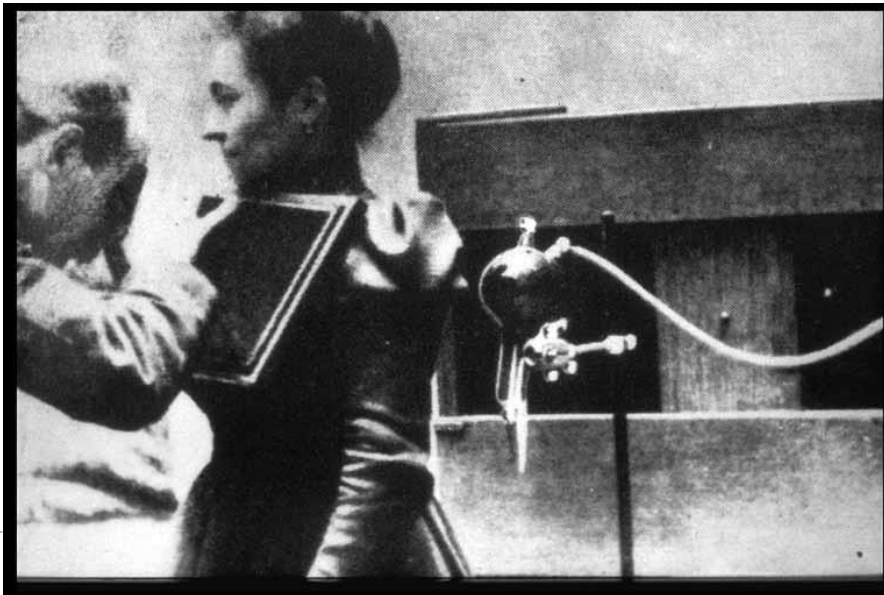
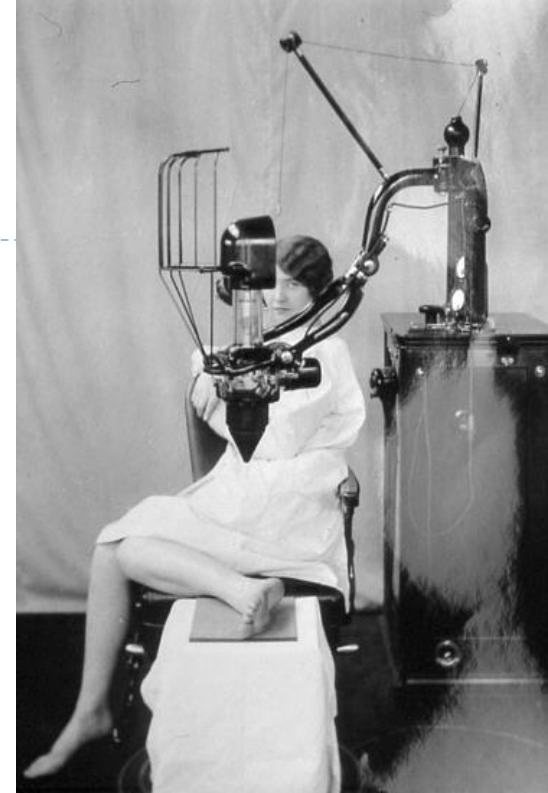
L'essor scientifique et médiatique des rayons X

- ▶ décembre 1895 : publie « *Über eine neue Art von Strahlen* » bulletin de la Société physico-chimique de Wurtzbourg. 4 conclusions :
 - ▶ rayons X sont absorbés par la matière ; absorption est fonction de la masse atomique des atomes absorbants
 - ▶ rayons X sont diffusés par la matière ; c'est le rayonnement de fluorescence
 - ▶ rayons X impressionnent la plaque photographique
 - ▶ rayons X déchargent les corps chargés électriquement
- ▶ « *La possibilité de voir à travers le corps humain donnera au médecin un puissant moyen d'investigation* »
- ▶ => diffusion très rapide : fascination médecins, scientifiques, mais aussi grand public



La radiographie : l'explosion En médecine

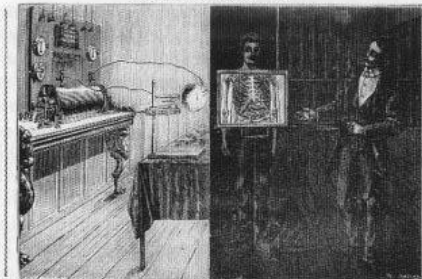
- Le 20 janvier 1896 : premières radiographies médicales françaises (docteurs Toussaint Barthélemy et Paul Oudin)
- En 1897, le docteur Antoine Béclère installe à ses frais, dans son service de l'hôpital Tenon à Paris, un appareil de radioscopie. Antoine Béclère écrira plus tard : « *Cette voie m'apparut comme le chemin de la Terre promise, je m'y engageai.* »



APPAREILS DE LA MAISON RADIGUET

15, BOULEVARD DES FILLES-DU-CALVAIRE, 15
RAYONS X

Un laboratoire spécial est mis gracieusement à la disposition de MM. les Docteurs qui voudraient, au moyen du Radioscope, examiner instantanément l'intérieur du corps humain.



La Maison RADIGUET exécute dans son laboratoire ou à domicile, à des prix modérés, les Radiographies nécessaires à la conduite et à la vérification des opérations chirurgicales.

INSTALLATION de RADIOSCOPIE MÉDICALE

NOS APPAREILS SPÉCIAUX } Ont obtenu une Médaille d'Or et un Diplôme d'Honneur
POUR LES RAYONS X } à l'Exposition de Rouen 1896
Médaille d'Or à l'Exposition Universelle de Bruxelles

La Maison RADIGUET, 15, Boulevard des Filles-du-Calvaire, à Paris, près le Cirque d'Hiver, à l'honneur de vous prier de visiter ses

Nouveaux Magasins d'Exposition et d'Expériences

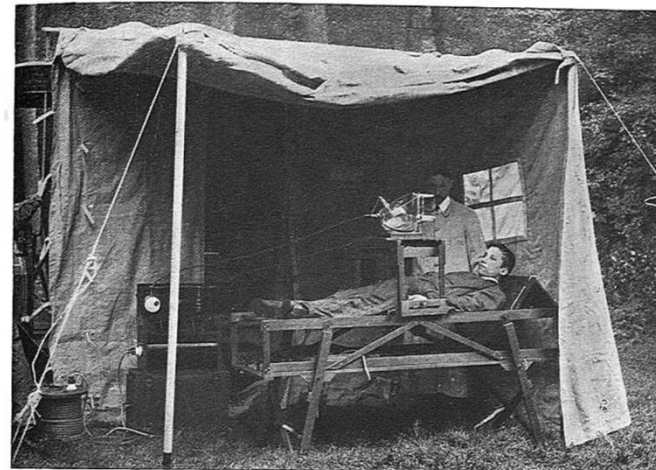
Écrire : 15, Boulevard des Filles-du-Calvaire Pas de Succursale.

La radiographie : l'explosion En médecine de guerre

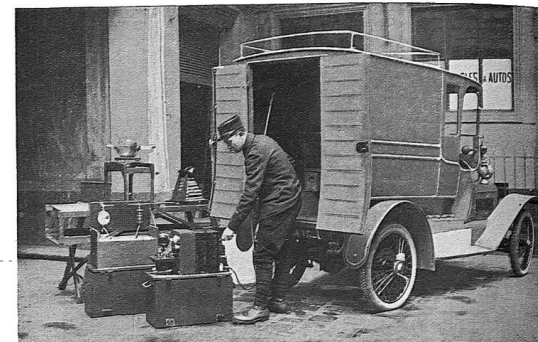
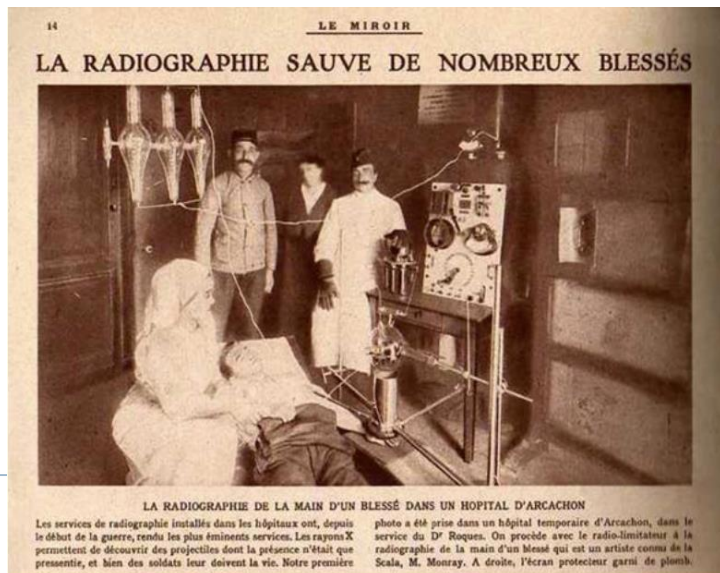
► Guerre 14-18 « les petites curies »

Marie Curie a conçu 18 voitures radiologiques et installé 250 postes fixes de radiologie dans les hôpitaux.

Plus d'un million de blessés ont été secourus grâce à ces installations, dont un millier l'ont été par Marie Curie elle-même



Opération sous la tente pratiquée avec la voiture Massiot.



Un type de voiture radiologique (modèle Massiot).

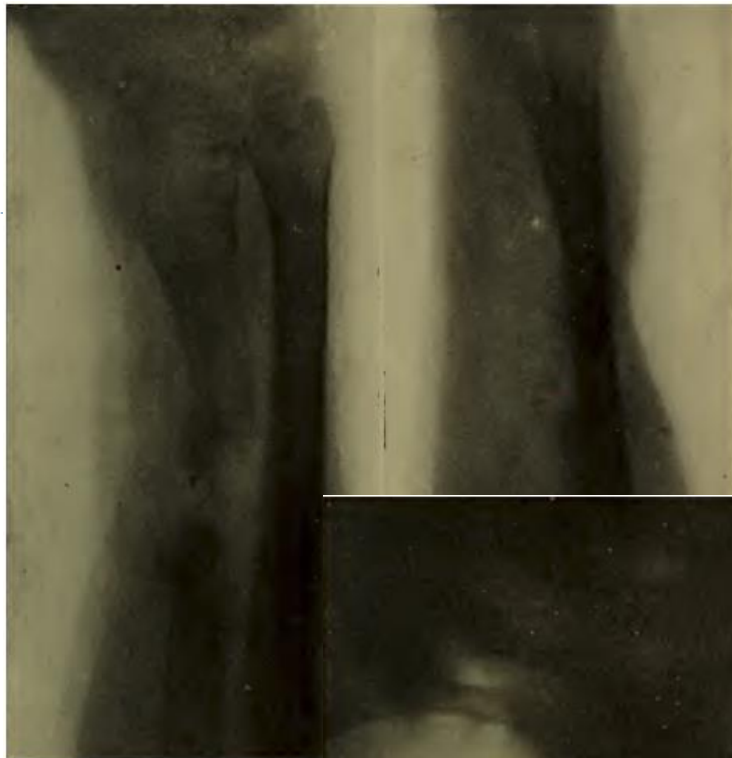


PLANCHE 7. — Radiographie d'un avant
gauche: vue de face. A droite: vue de pro

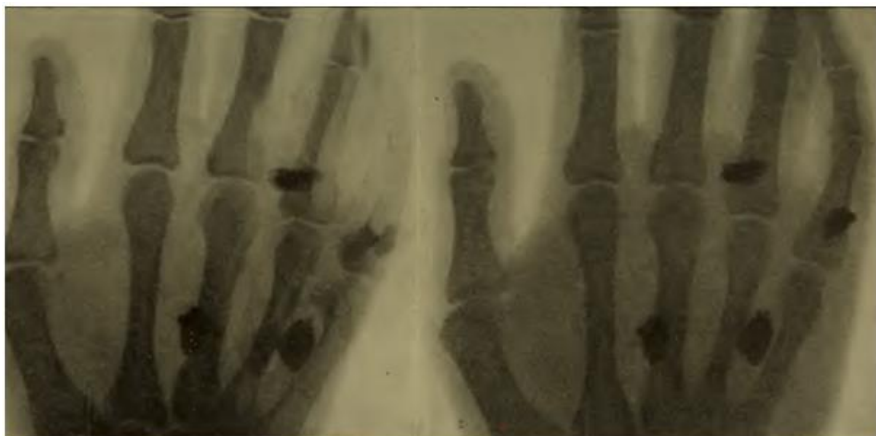


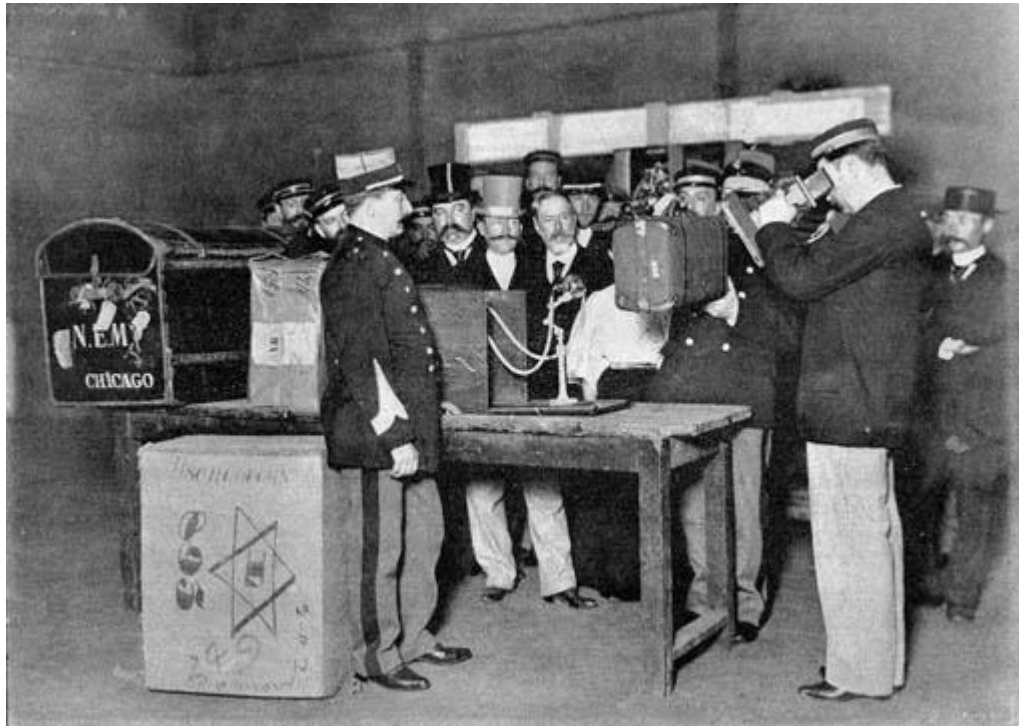
PLANCHE XIII. — (A gauche) Radiographie d'une main contenant 4 éclats d'obus. Fracture d'un métacarpien. — (A droite.) Radiographie de la même main avec déplacement d'ampoule perpendiculairement à la direction des os. La face dorsale de la main repose sur une plaque. D'après le déplacement de l'image des os et de celle des éclats, on peut juger que l'éclat qui se projette entre le 4^e et 5^e métacarpien est palmaire; les autres sont dorsaux. Ces indications ont suffi pour leur extraction.



PLANCHE XII. — Radiographie d'un thorax. Deux poses sur la même plaque avec déplacement latéral de l'ampoule après la première pose. On voit la double image de deux éclats d'obus et d'une croix de plomb servant de repère. On peut mesurer avec précision le déplacement de chaque image. —

La partie de l'image dont l'axe des ordonnées n'a pas été trouvé dans le fichier.

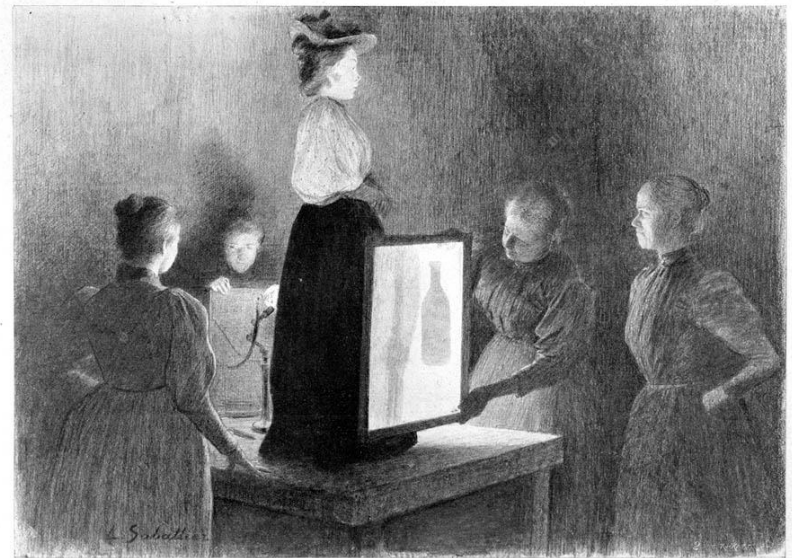
La radiographie : l'explosion les douanes



3 JUILLET 1897

L'ILLUSTRATION

N° 2526 — 7



Fraudeuse dénoncée par les rayons X.



La radiographie : l'explosion ...dans les grands magasins

MEUBLES
LITERIE
Tapisseries
SIÈGES
Rembourcements
de
STYLE
INSTALLATIONS
COMPLÈTES
de
Châteaux, Villas,
Maison,
Cottages, etc.
SERVICES de TABLE
Porcelaines
Cristaux
etc., etc.,
PRIX FIXE
MARQUE
de
CHIFFRES ROMAINS

GRANDS MAGASINS DUFAYEL
Les plus vastes et les plus beaux du Monde dans tous genres
SEULE MAISON DONT L'ORGANISATION PERMET DE VENDRE TOUS LES ARTICLES ENIFORMEMENT BON MARCHÉ



BICYCLETTES
VOITURES
d'ENFANTS
Garnitures anglaises
HARNAIS
Articles d'Écurie
MACHINES
à COUPE
OUTILLAGE
ARTICLES
de Ménage
CHAUFFAGE
ÉCLAIRAGE
Tuyaux
CUIRE ET JAPON
CANNES
PARAPLUIES
ETC.
ENVOI FRANCO
des
Catalogues
ILLUSTRÉS

M. LEBLANC, ANCIEN
M. DUFAYEL, ANCIEN
Voir le magasin de **Rayons**, les carrossiers de **Falgauley**, les statuaires de **Leroux, Baillon, Oge, Charpentier**, les bijoutiers
joailliers de **Tardieu et Bardonnet**, les parumeurs de **Lafont**, les écrivains de la maison **Herbert et de Champsagnolle**, les
parapluies de **Lac Olivier, Merwin**, et les autres Galeries avec Espagnoles parcourez de multiples magasins par ailleurs,
avec les Agences
de l'ingénieur **RADIGUET**
Tous les Jours | **LE CINÉMATOGRAPHE LUMIÈRE, les RAYONS X et leurs applications** | **LE DESSINATEUR GILLO**

RAYONS X X **RAYONS X** X **RAYONS X** X **RAYONS X**

PARIS, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire, PARIS

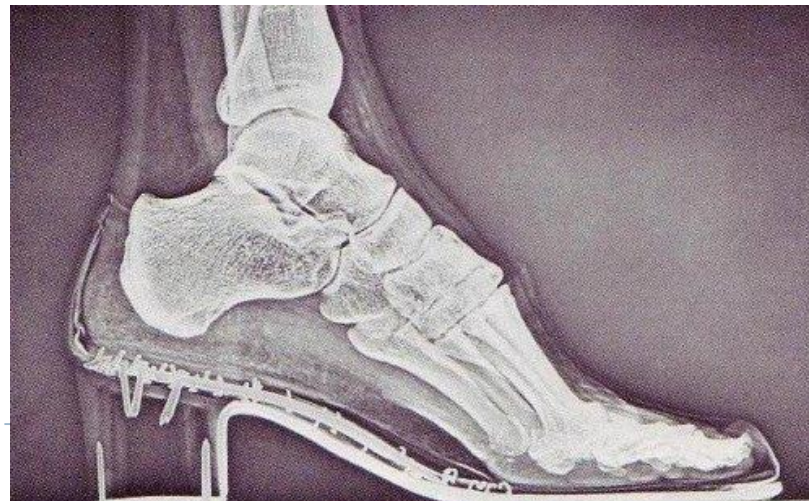


LIVRAISON IMMÉDIATE
Du matériel complet pour
RADIOSCOPIE
ET
RADIOGRAPHIE
appliquées à la
Chirurgie, à la Médecine et à l'Industrie

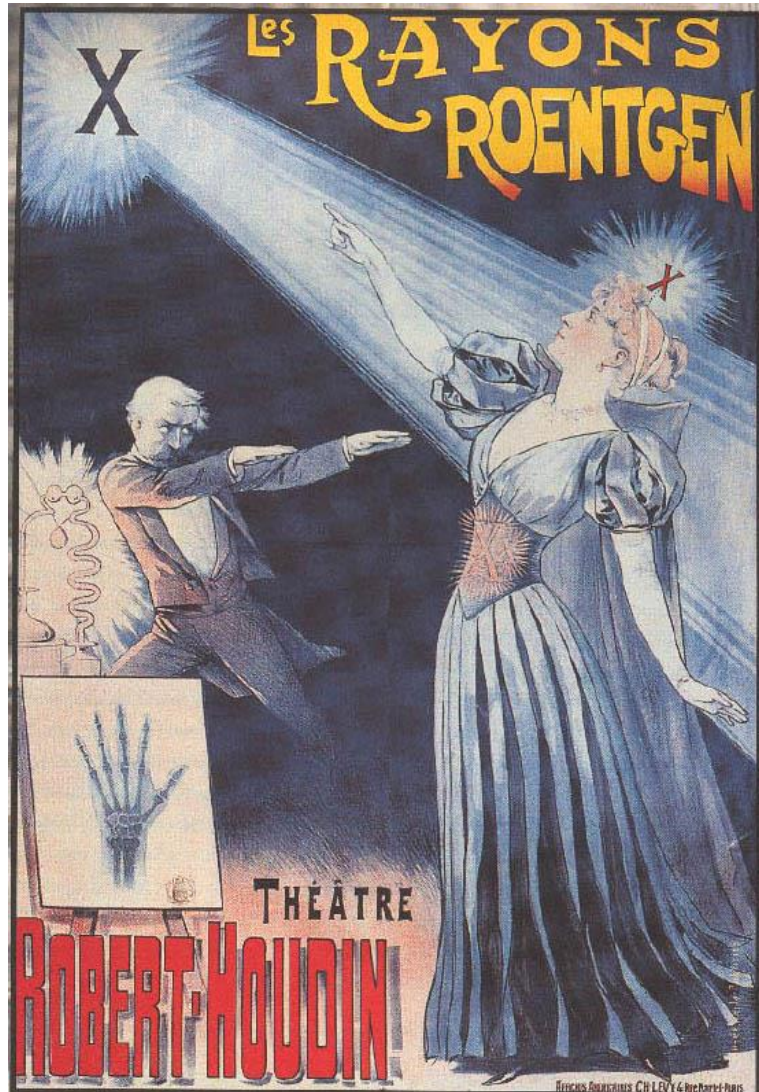
Les bobines Radiguet sont garanties increvables
Nos Trembleurs permettent l'Éclairage de l'Écran sans vibrations

VIENT DE PARAÎTRE : La nouvelle Édition du *Musee Radiographique Radiguet*
contenant la description de 400 sujets **MIS EN VENTE** sur papier et sur verre
pour projection (anatomie, embryologie, pathologie, tératologie, zoologie et industrie).
Cette brochure, illustrée de 12 gravures hors texte, sera envoyée gratuitement à toute
personne nous adressant cette annonce : **15, boulevard des Filles-du-Calvaire, PARIS**

RAYONS X X **RAYONS X** X **RAYONS X** X **RAYONS X**



La radiographie : l'explosion ...ou même comme un spectacle



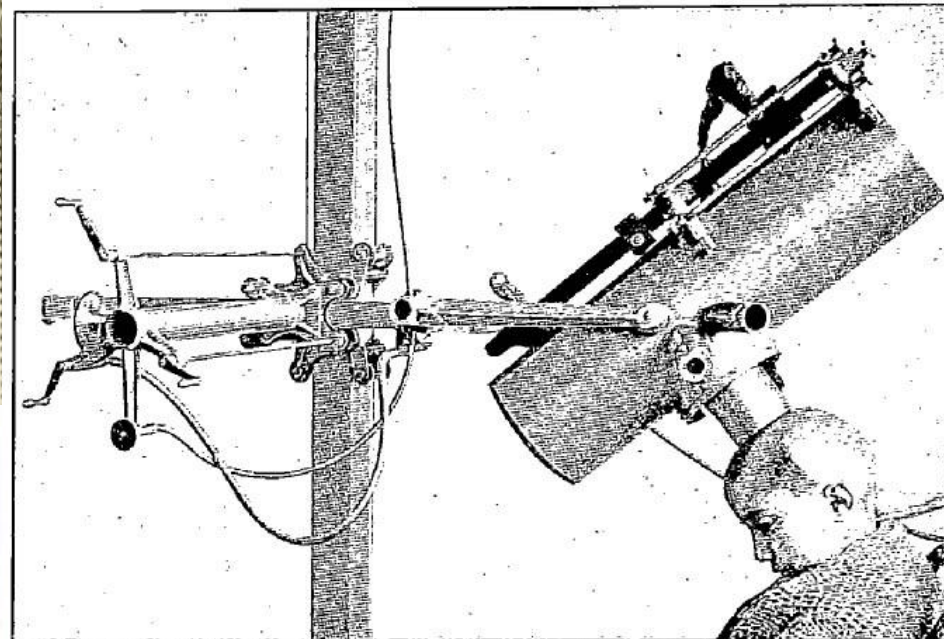
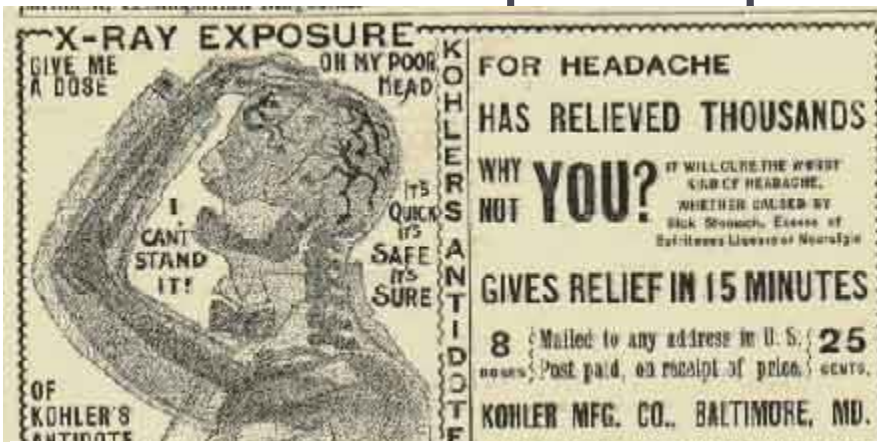
Affiche de spectacle au Théâtre Robert-Houdin
(source : revue *Contrastes* de Guerbet, 1995)

AVIS
 Pour répondre aux nombreuses demandes de notre clientèle, nous venons d'installer
UNE SALLE D'EXPERIENCES
 pour la
Photographie par les Rayons X de Röntgen.
 Répétition des expériences pour tout le monde les mercredis et vendredis de 9 heures à midi. Simple démonstration du phénomène Mk. 2. Photographie de la main Mk. 5. du pied Mk. 10. Toute autre photographie par les rayons X selon le temps de pose.
 Comptoir de Photographie de la pharmacie de l'Ange à Mulhouse.
 Plaques, Papiers, Produits et tous accessoires pour photographie. 2:11
Sool-Bad und Kuranstalt
 Station Längelfingen (Schweiz). **RAMSACH** -Téléphon.
 — ist eröffnet! — 2:16

Salle des Dépêches du **PROGRÈS**
 85, RUE DE LA RÉPUBLIQUE, 85
Le Cinématographe
LUMIÈRE
 Semaine du 12 au 18 Juin 1898
VUES PROJÉTÉES :
 PANORAMA DU CHEMIN DE FER A L'ENTRÉE DU TUNNEL DE PERACHE
 1. Passage dans le tunnel.
 2. Sortie du tunnel.
 3. Les Mages.
 4. Un prêt pour un rendu.
 5. Régates militaires en Autriche (Aber).
 6. — — — (Retour).
 7. Transport d'une locomotive de Lyon à Francheville.
 8. L'Amoureux dans le sac.
LES SÉANCES ONT LIEU
 Tous les Jours et les Dimanches et Fêtes
 de 2 h. à 6 h. 1/2 et de 8 h. 1/2 à 10 h. 1/2.
Prix d'Entrée : 50 centimes.
 A L'ENTRÉE-DES
Rayons X Expériences scientifiques et publiques.
 Tables les jours de 2 h. à 6 h. 1/2 et de 8 h. à 11 h.
 ENTRÉE : 50 CENTIMES
 85 - Rue de la République - Lyon.

La radiographie : l'explosion

Effet thérapeutique



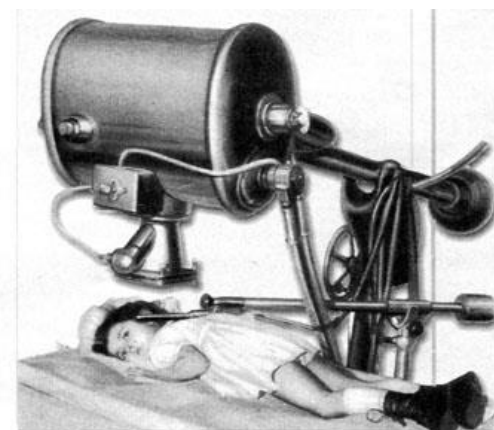
Dispositif pratique d'application de la méthode.



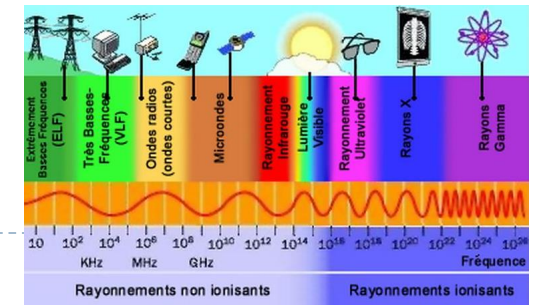
« Le traitement du cancer par les rayons X », autoportrait par Georges Chicotot (1908). Radiothérapeute et peintre, Chicotot se représente en chapeau haute forme, tenant de sa main droite un chalumeau pour chauffer le tube, et de sa main gauche une montre pour surveiller la durée du traitement. Au fond, on aperçoit un meuble du professeur d'Arsonval dans lequel le courant de la ville est transformé avant d'arriver au tube de Crookes, lui-même placé dans une cupule protectrice en verre (cet œuvre est conservée au musée de l'Assistance publique - Hôpitaux de Paris - AP-HP).

LES RAYONS X CONTRE LES VÉGÉTATIONS

La tête de l'enfant est immobilisée au-dessous de l'ampoule à rayons X. Ces derniers sont localisés sur la partie supérieure du pharynx. Un appareil appliqué sur la région traitée permet un dosage minutieux des rayons X.



La radiographie : l'explosion ... des Effets biologiques



Novembre 1896.

Premier article titré : "les méfaits des rayons X". Le témoin a été démonstrateur en rayons X pendant l'été à Londres.



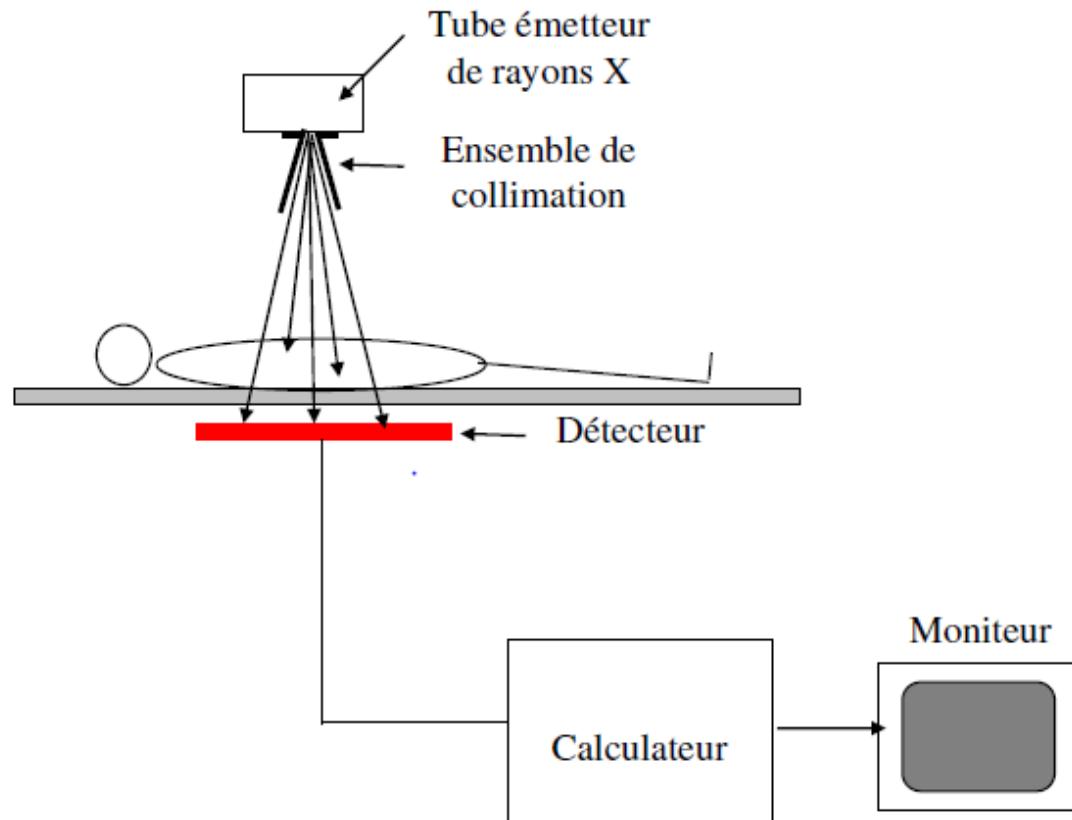
Fig. 310. Hands of X-ray operator after thirty operations.



Scaphandre de protection proposé sur des catalogues en 1915.

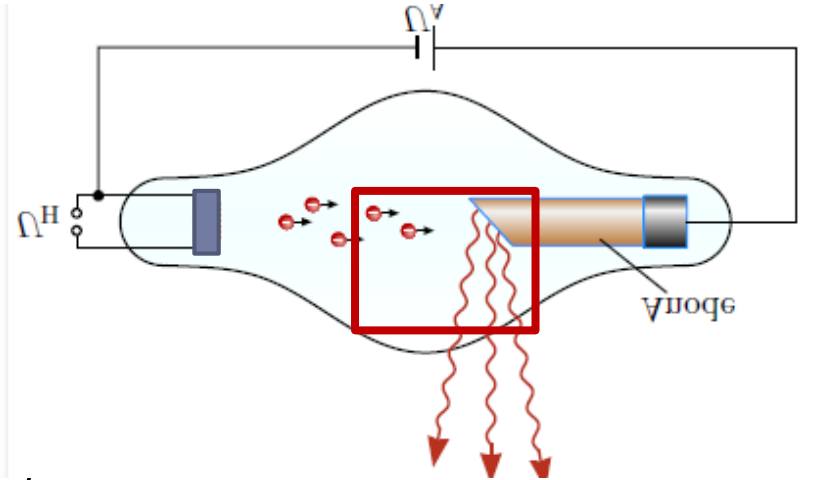
Radiographie : technique

Composantes de la chaine radiologique



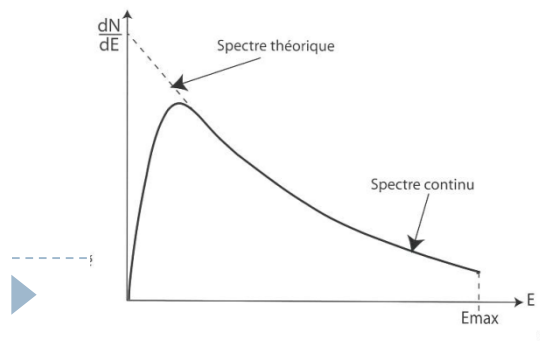
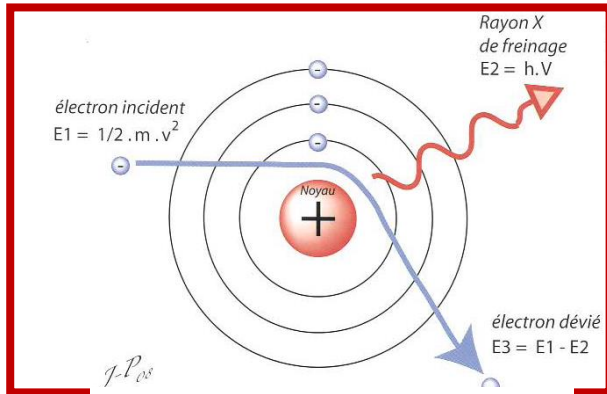
Production RX : tube

▶ Principe du tube à rayons X

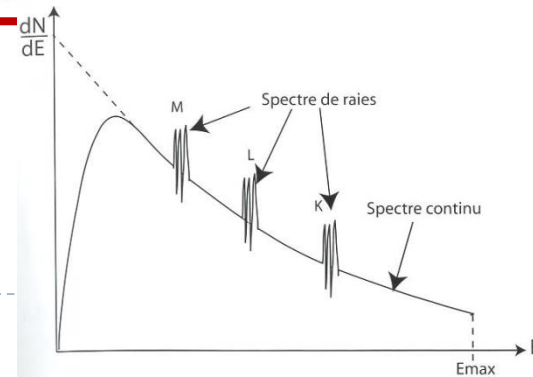
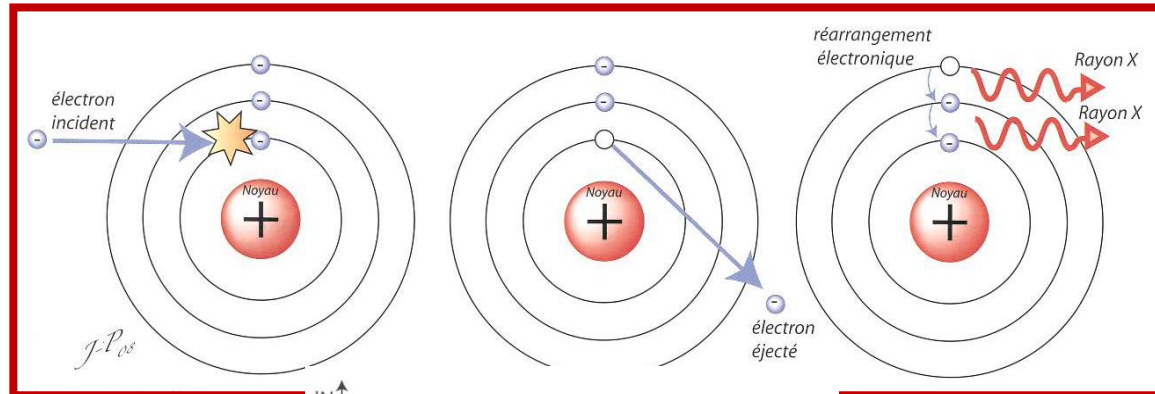


▶ Production des rayons X : interaction e⁻ / atome

Interaction e⁻ - noyau : Bremsstrahlung
= ryt de freinage

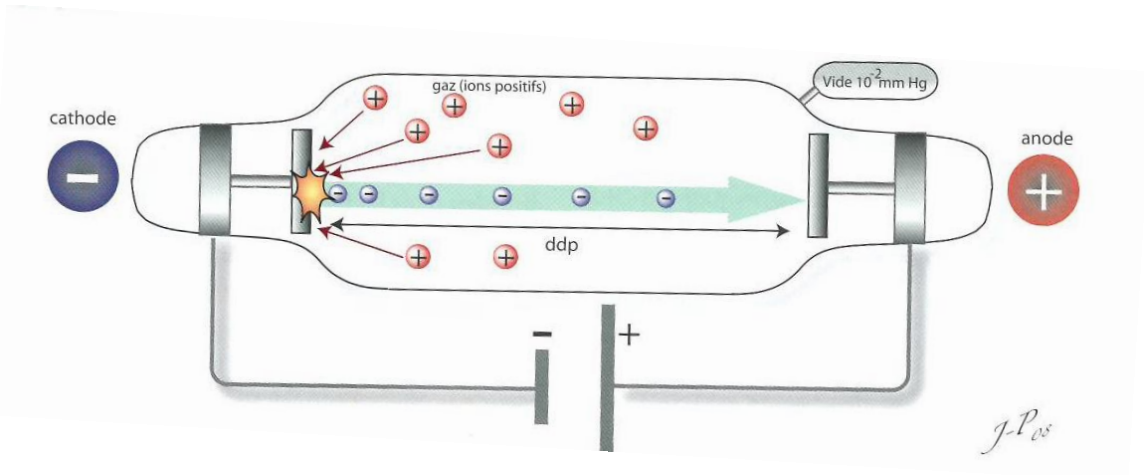


Interaction e⁻ / e⁻

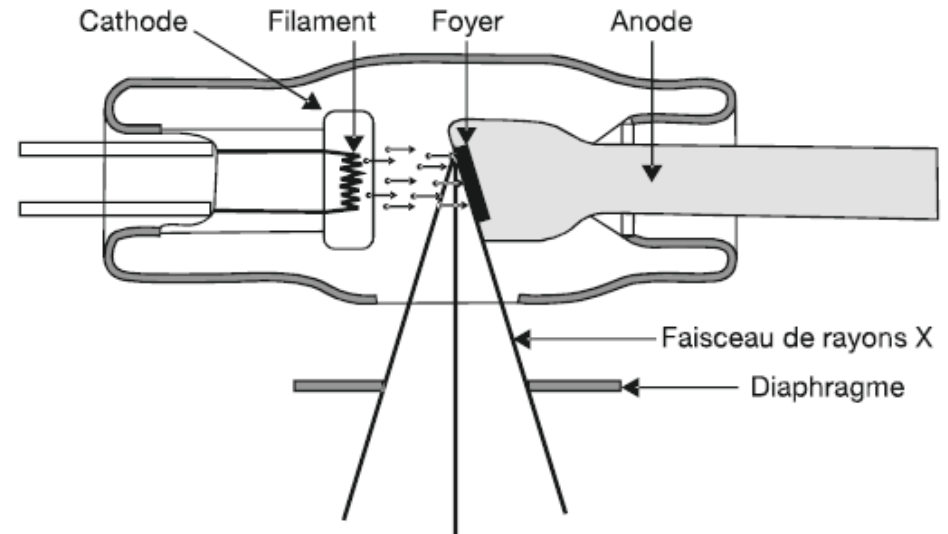
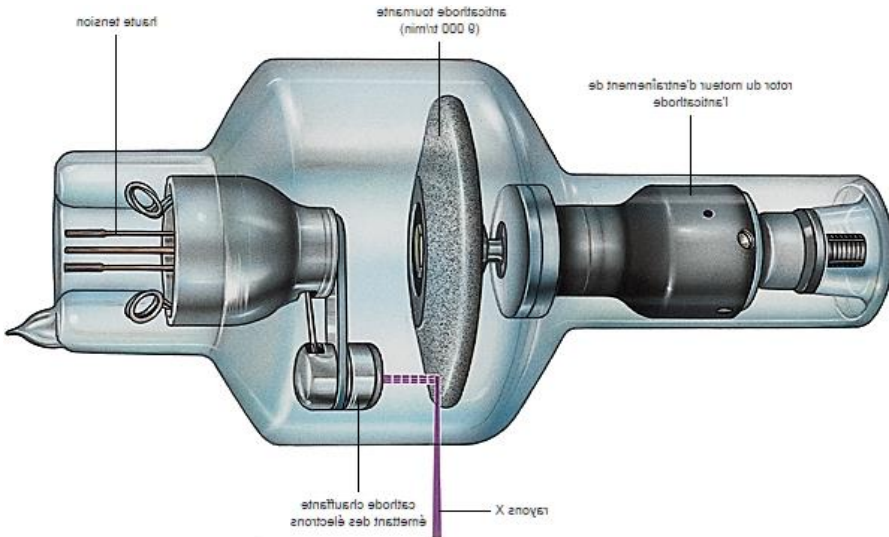


Tubes à rayons X : évolutions

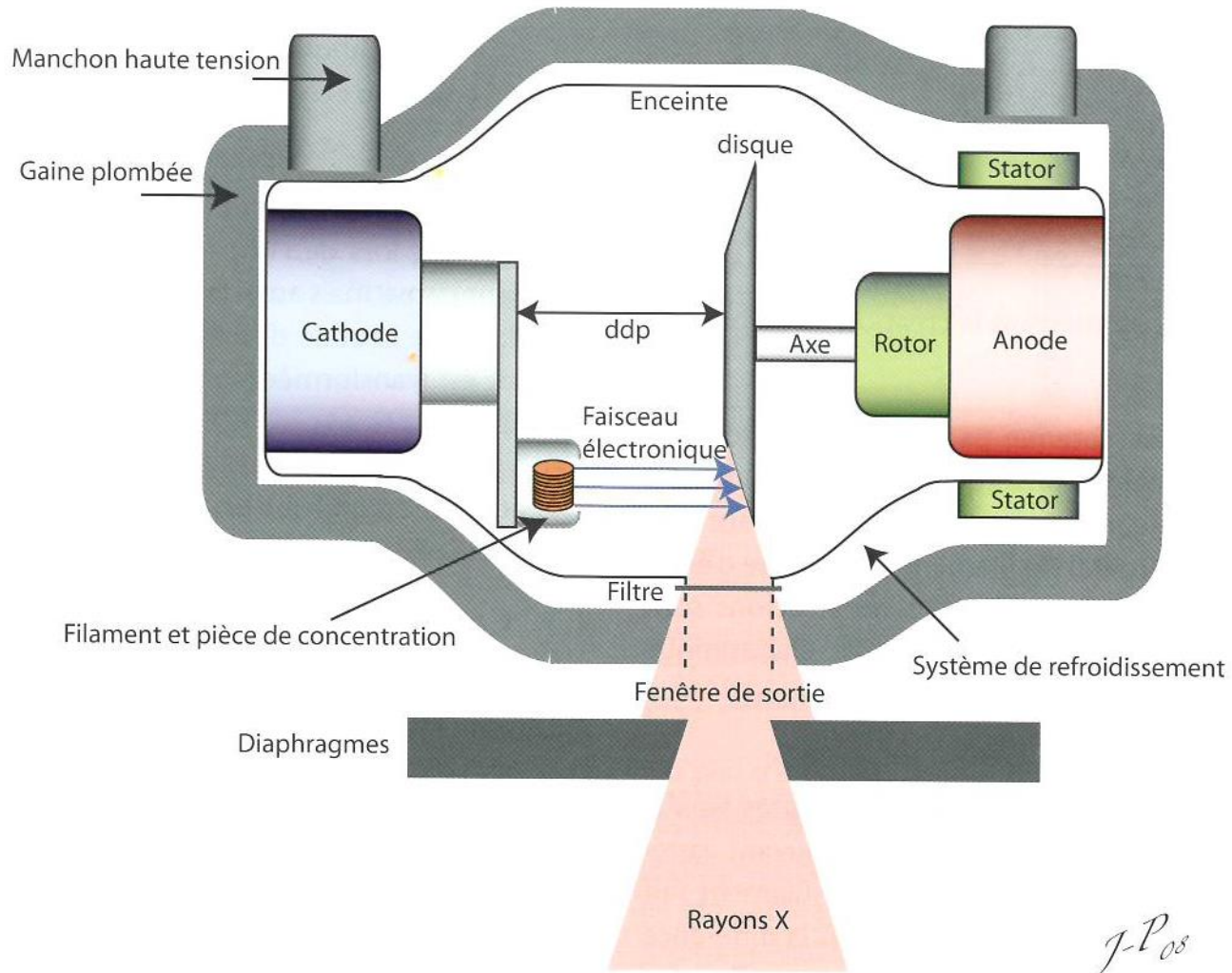
▶ Tube de Crookes



▶ Tube de Coolidge

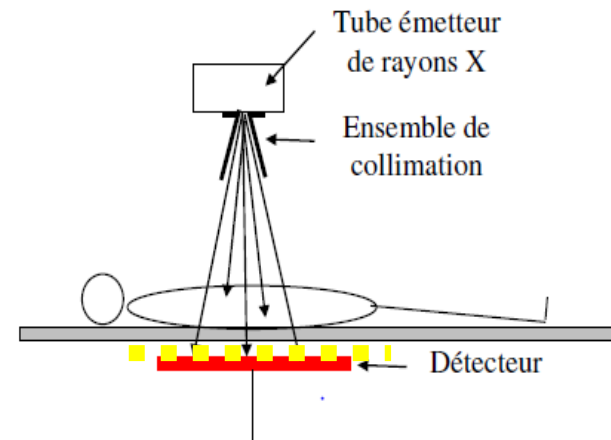


Tubes à rayons X : principe actuel

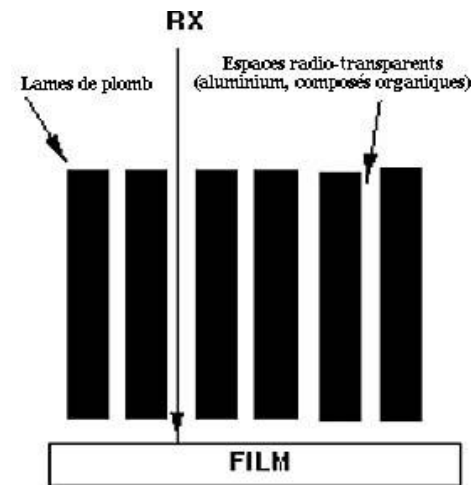
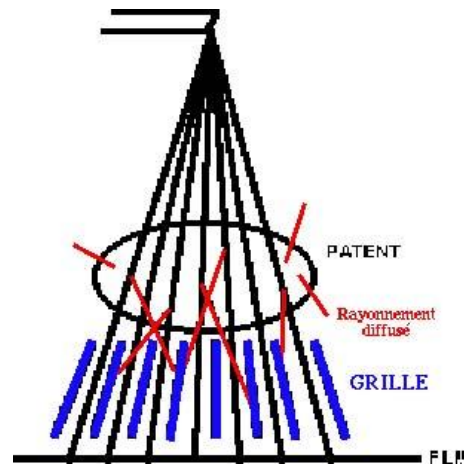


J-P 08

Grille anti-diffusé



- ▶ 1915, amélioration de la qualité d'image par réduction du rayonnement diffusé grâce à une grille (Potter)
 - ▶ => améliore le contraste de l'image



- ▶ Problème : augmentation de la dose patient

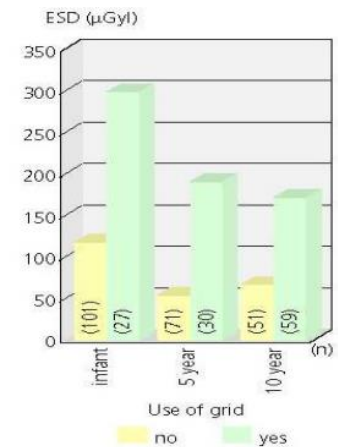
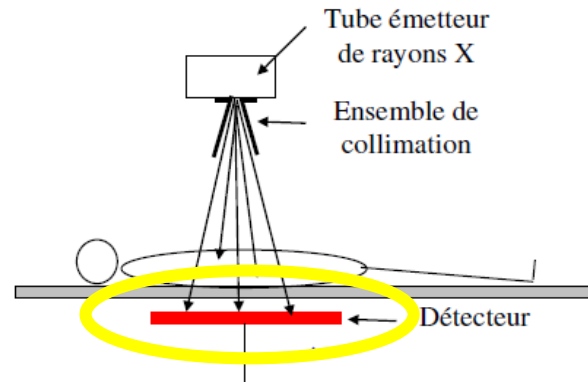


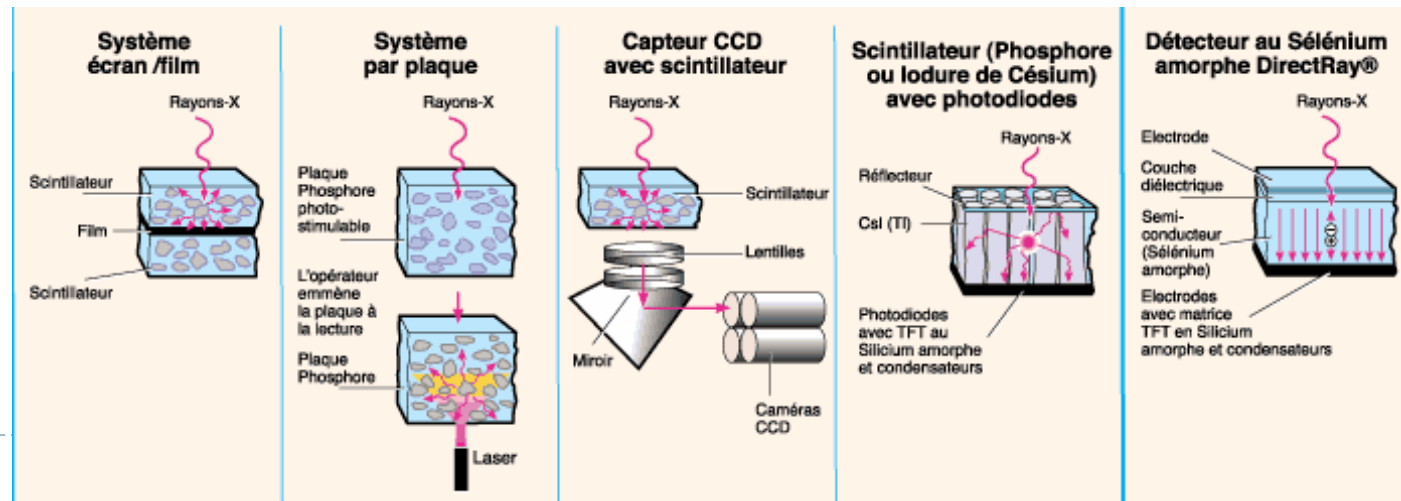
Figure 6 Mean entrance surface dose (ESD) with and without a grid for the chest PA/AP examinations on 10 month infant, 5 year and 10 year old children; n = number of X-ray departments

Radiographie : la grande aventure des détecteurs



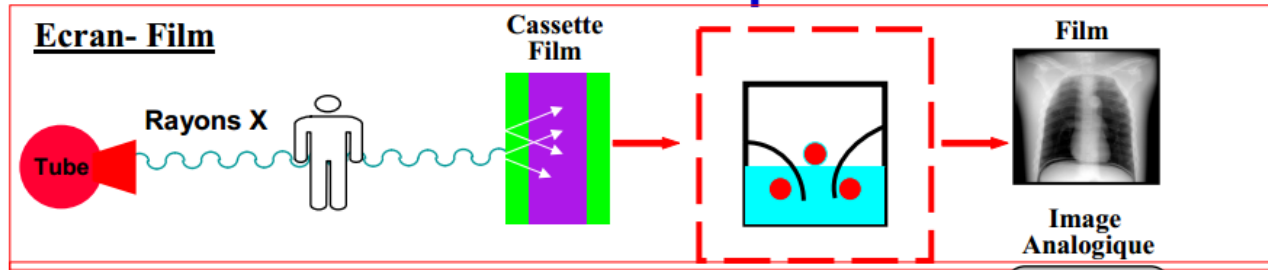
Objectif :

convertir les Photons X arrivant en un point en une image (niveau de gris)

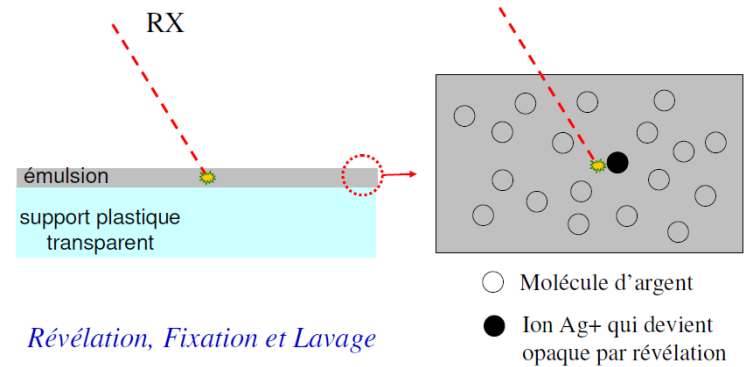


Radiographie : la grande aventure des détecteurs

Film / Ecran

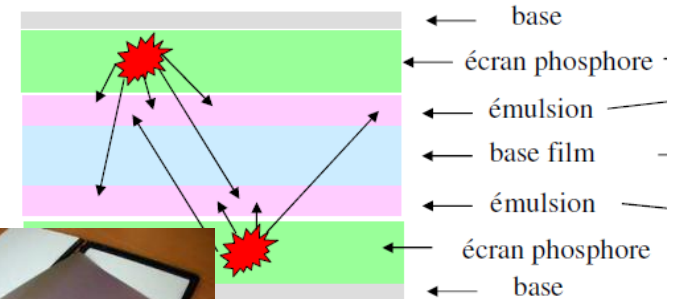


- ▶ Initialement : plaque photographique
- ▶ En 1918, les films argentiques remplacent les plaques photographiques.



Révélation, Fixation et Lavage

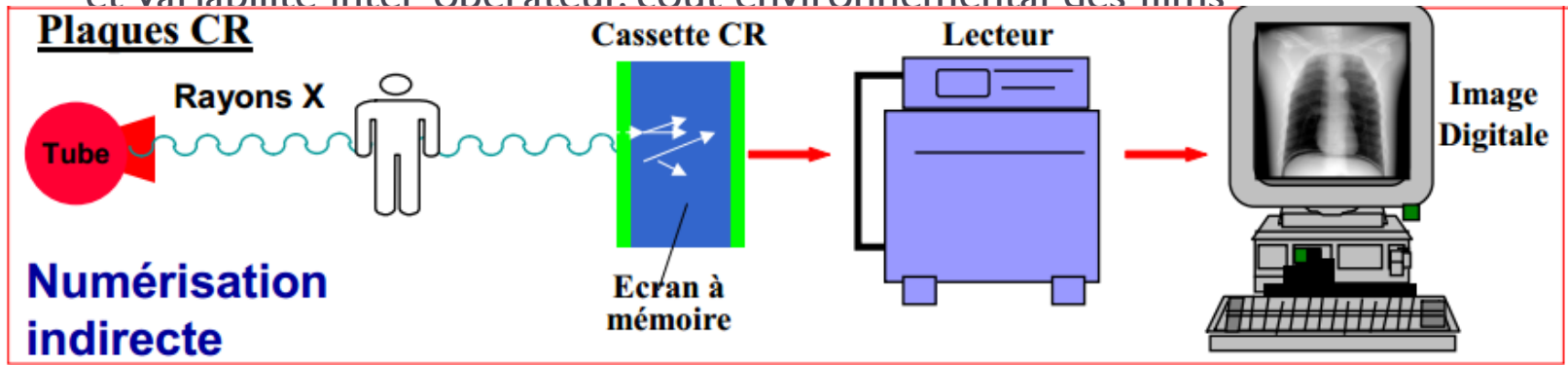
- ▶ Couple film écran : adjonction d'un écran renforcateur
 - ▶ But : utiliser moins de RX pour le même noircissement
 - ▶ Cristaux luminophore (terres rares)
 - ▶ Aux 2 faces du film Rx
 - ▶ Film sensible à la longueur d'onde émise



Radiographie : la grande aventure des détecteurs

Film / Ecran : limites

- ▶ Le développement du film radiographique se déroulait dans une chambre noire, dans laquelle le manipulateur extrayait le film de la cassette, développe le film et recharge la cassette
 - ▶ => cher, chronophage, délicat, source de perte d'information et variabilité inter opérateur, coût environnemental des films

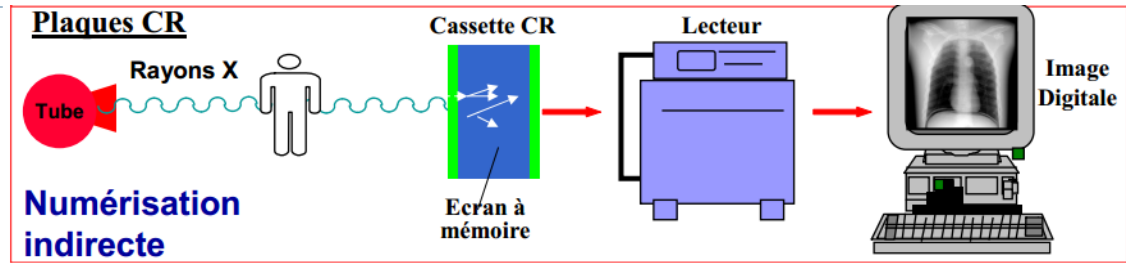


- ▶ la constance de la qualité des images produites

- ▶ => NUMERISATION

Radiographie : la grande aventure des détecteurs

Numérisation : ERLM

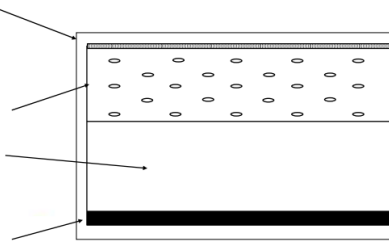


Couche protectrice

Couche active de particules photoluminescentes

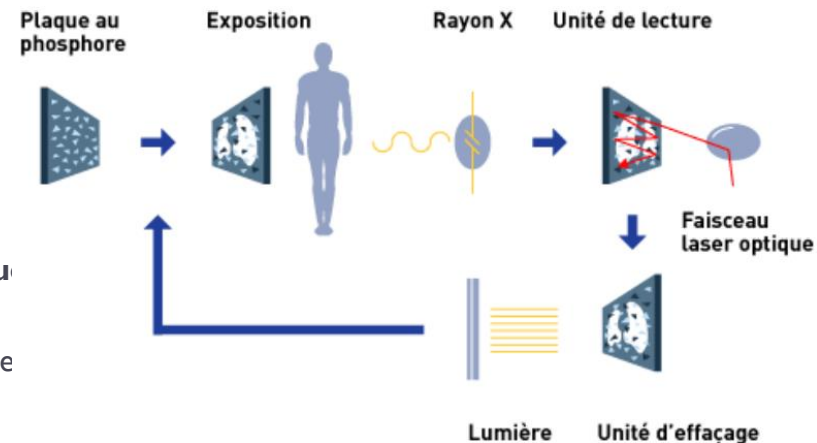
Support Film de polyéthylène

Couche opaque protectrice



Fluoro halogénure de baryum dopé avec des ions d'Europium bivalents

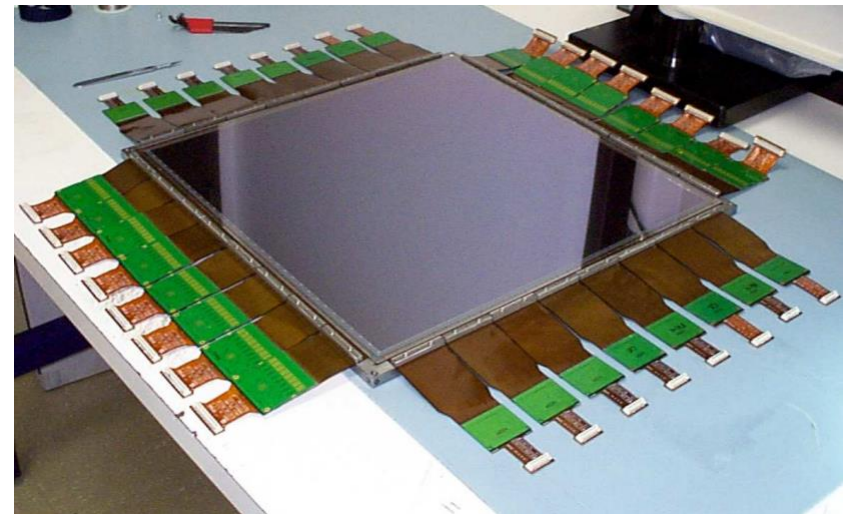
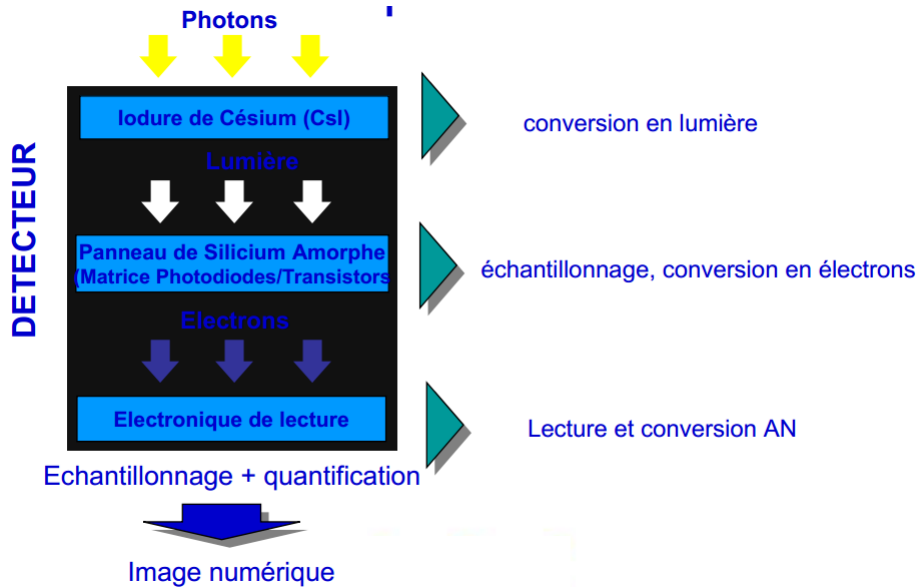
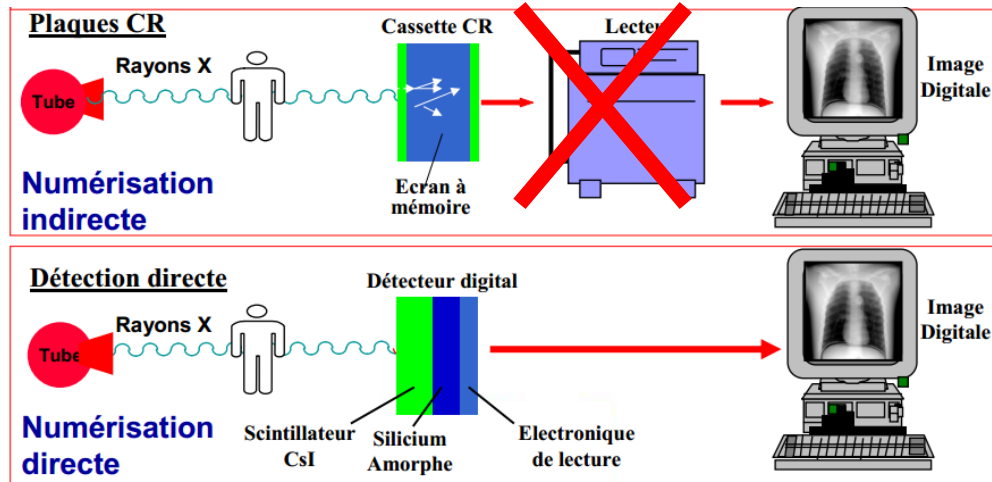
- ▶ capacité à conserver l'énergie photonique accumulée au cours d'une irradiation
 - ▶ Cette énergie accumulée, constitue une *image latente*
 - ▶ restitution de cette énergie lumineuse obtenue par le **balayage d'un faisceau laser**
 - ▶ **L'énergie restituée est, pour chaque point, proportionnelle à celle emmagasinée**
 - ▶ L'énergie lumineuse, ainsi libérée, est transformée en **signal électrique** puis en **signal numérique**.
 - ▶ Le **retour à l'état initial de la plaque** s'effectue après exposition de quelques secondes sous une lumière rouge, permettant ainsi sa réutilisation.



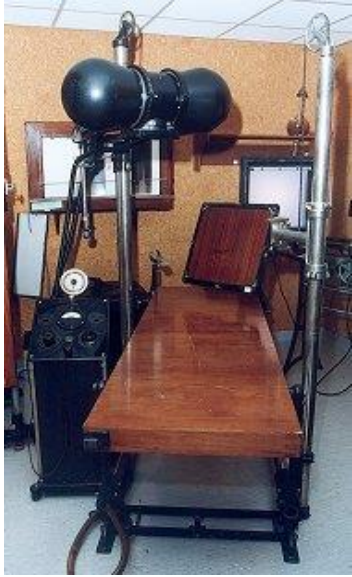
- ▶ => Automatisation du développement, plus rapide, numérisation, réutilisable

Radiographie : la grande aventure des détecteurs

Numérisation totale : capteurs plans



Radiologie : évolution des les appareils



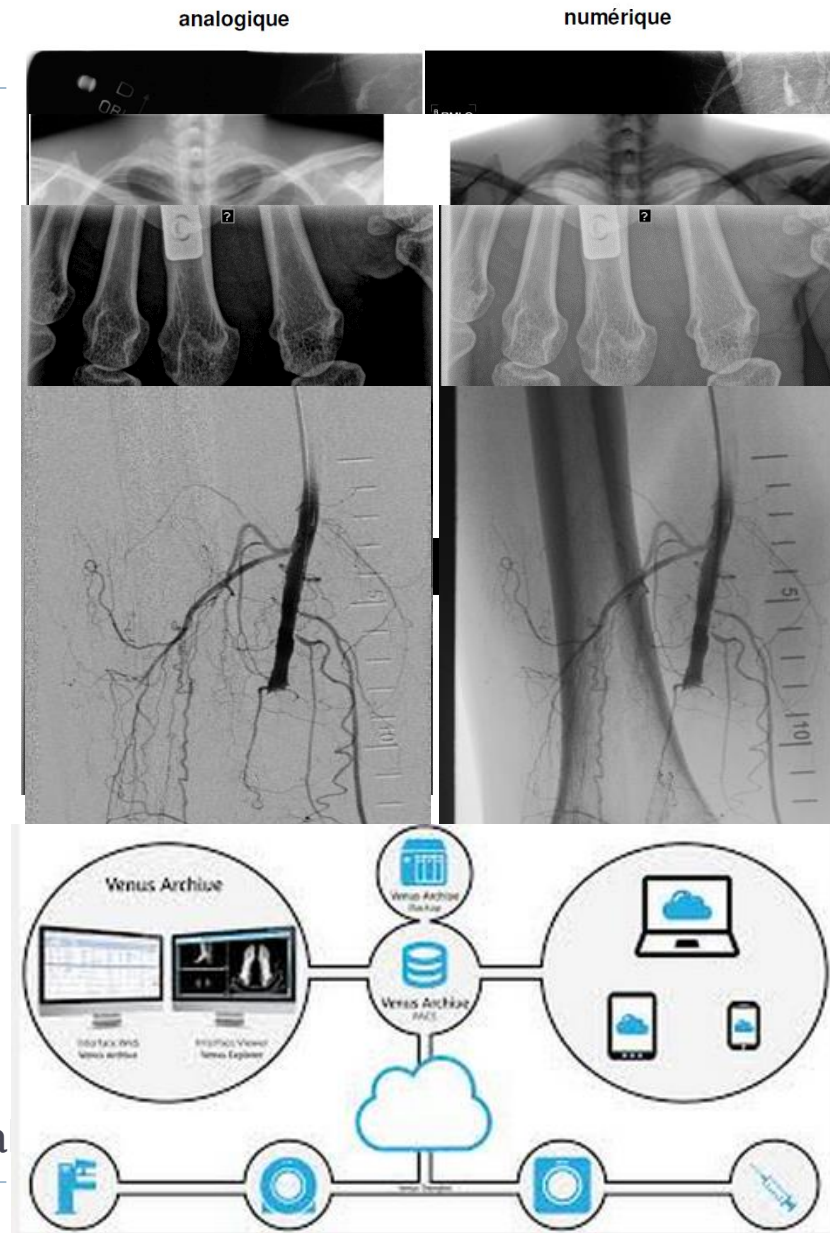
Numérisation de l'image : les enjeux d'une révolution

▶ Médicaux

- ▶ Dosimétrie plus faible
- ▶ Augmentation de la plage dynamique
- ▶ Traitement de l'image : fenêtrage
- ▶ Soustraction permettant d'augmenter le contraste de l'image

▶ Techniques

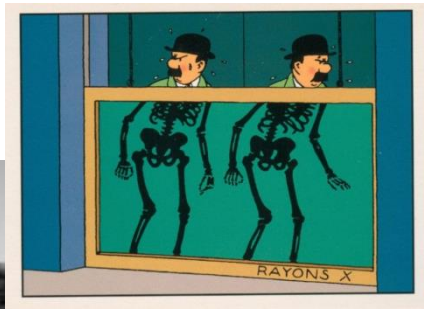
- ▶ Diminution coût post traitement
- ▶ Diminution des clichés ratés
- ▶ Archivage numérisé (PACS, supports numériques), moins cher
- ▶ Format universel : **DICOM**
- ▶ Transmission à distance (téléradiologie)
- ▶ ... Problème de sécurisation de l'info médica



Fluoroscopie : l'image en temps réel

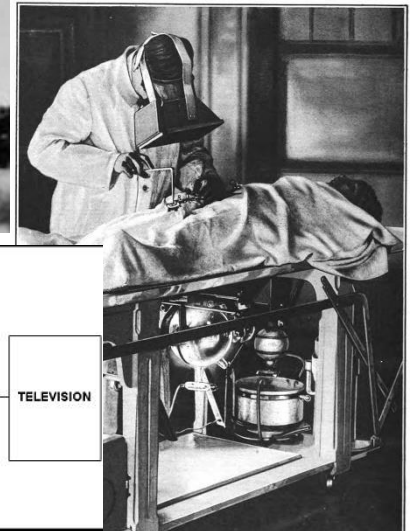
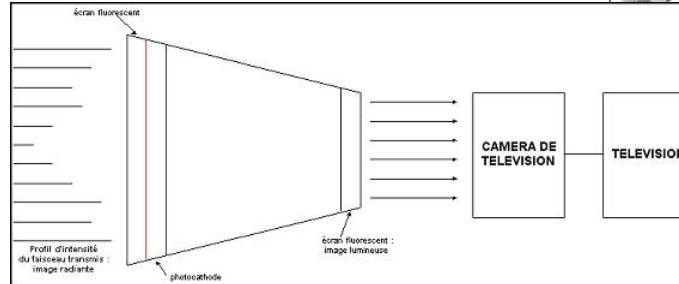
▶ « Pré histoire » : Juin 1896, Edison met au point le fluoroscope qui permet d'observer directement à travers les corps

- ▶ Tube Rx + plaque de platinocyanide de barium
- ▶ Très irradiant pour patient et médecin
- ▶ Faible résolution spatiale et temporelle



▶ Ere analogique : Début '50 : amplificateurs de brillance

- ▶ Diminution irradiation
- ▶ Permet :
 - ▶ orienter au mieux les incidences
 - ▶ guidages pour les gestes interventionnels.

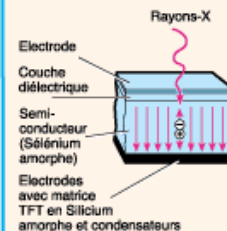


▶ Ere numérique : Début '60

▶ Puis capteurs plans :

- ▶ conversion directe : rayons-X captés par photoconducteur sensible et directement transformés en signal électrique : **Sélénium /TFT**
- ▶ conversion indirecte : rayons-X transformés en lumière par scintillateur qui est à son tour transformée en signal électrique : **Phosphore ou Césium/TFT ou CCD**

Détecteur au Sélénium amorphe DirectRay®



Capteur CCD avec scintillateur



Scintillateur (Phosphore ou Iodure de Césium) avec photodiodes

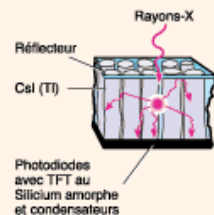


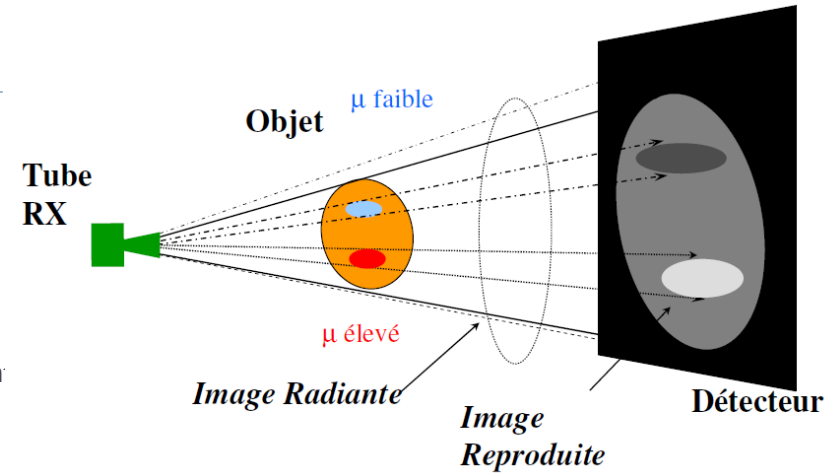
Image radiologique : projection d'une image d'atténuation

▶ Image de l'atténuation d'un faisceau de Rx par le tissu traversé

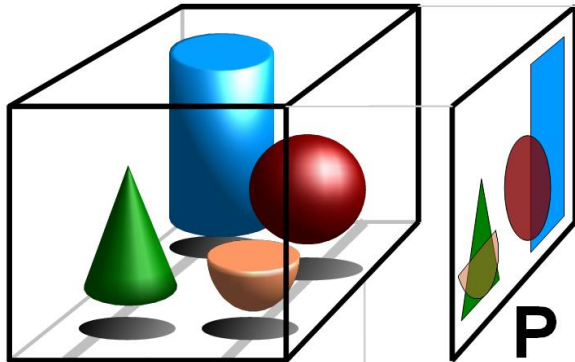
- ▶ Pas l'image de l'objet lui-même
- ▶ Projection sur un plan des valeurs des coefficients d'atténuation de chaque structure traversée par les Rx

=> Le niveau de gris visible dans une zone du film correspond à la somme des atténuations élémentaires engendrée par les corps successivement traversés.

=> Les objets apparaissent ainsi superposés les uns sur les autres.

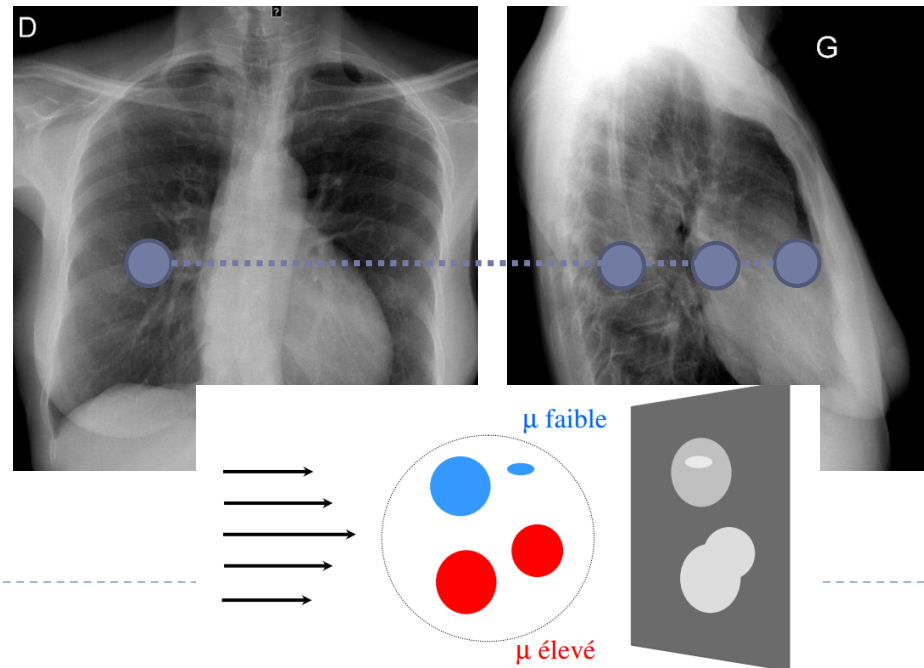


▶ Problème de la topographie des lésions



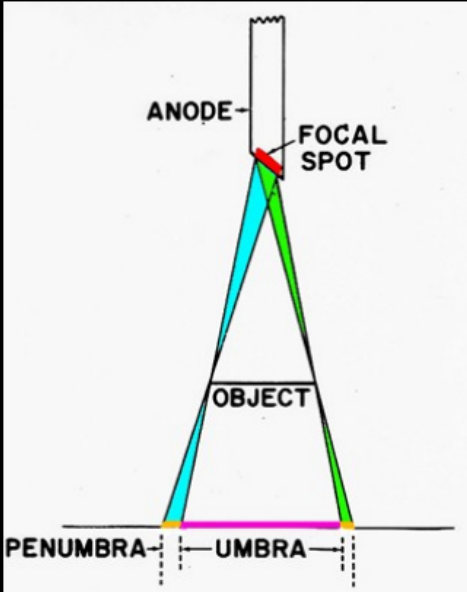
▶ Problème des lésions non visibles: masquées

- ▶ Peu denses
- ▶ Petite taille



... et du (des) flou (s)

Flou géométrique



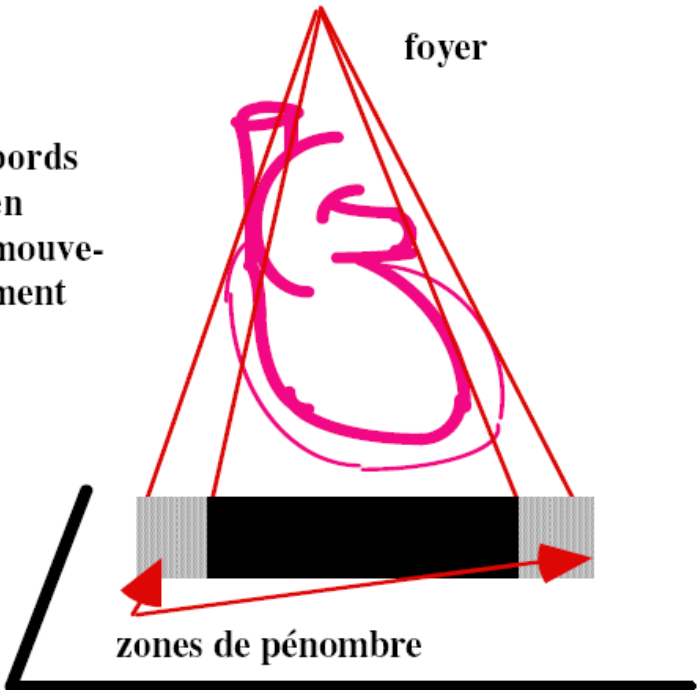
le flou géométrique est lié au caractère non ponctuel du foyer ; il est représenté par la pénombre sur les contours de l'objet mais il affecte tous les contours des composants de l'objet ...

ses 2 déterminants sont :

- la **taille du foyer optique**
- le **rapport d'agrandissement** =
$$\frac{\text{distance foyer-plan de l'objet}}{\text{distance foyer-plan du système de détection}}$$

le flou géométrique est asymétrique ; moins important du côté de l'anode

Flous cinétique



foyer

bords en mouvement

zones de pénombre

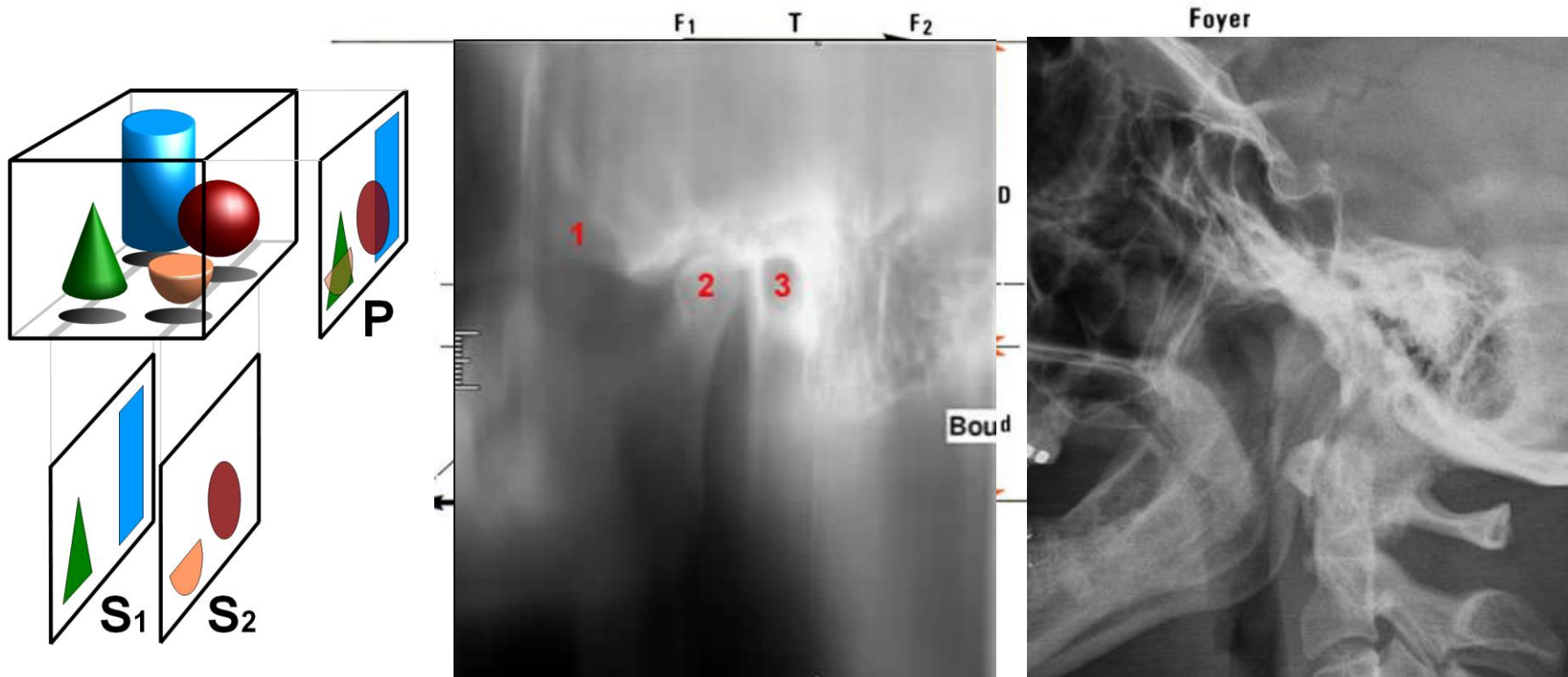
Flou de récepteur

$$\text{Flou total} : \sqrt{f_g^2 + f_c^2 + f_e^2}$$

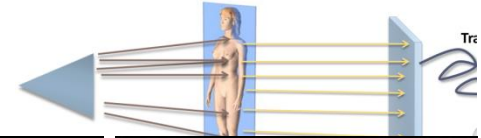
la radiologie déforme les objets et ne reproduit pas fidèlement leurs détails

Tomographies

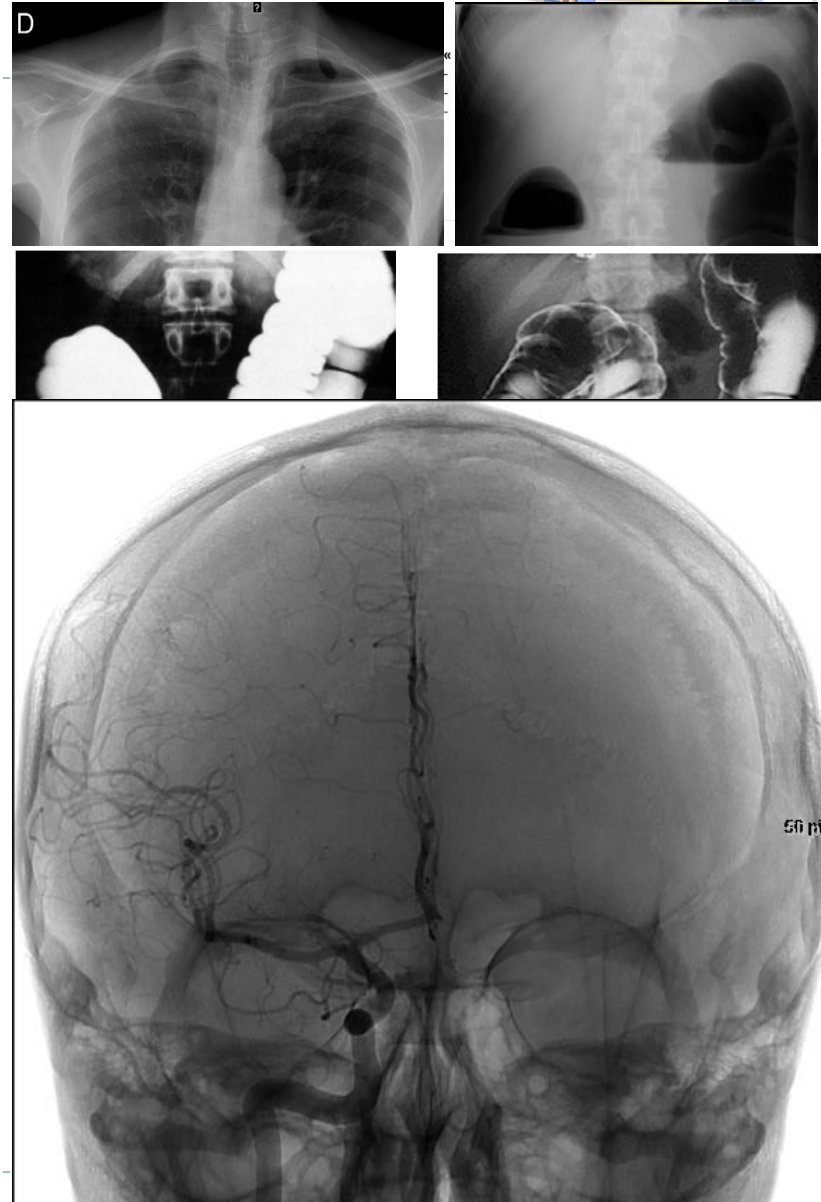
- ▶ Première approche de l'imagerie en coupes qui permet de sélectionner des plans à l'intérieur du volume étudié.
- ▶ **1921** : Apparition de la tomographie conventionnelle.
- ▶ Déplacement continu et conjoint du foyer et du film ds des plans parallèles au plan de coupe P



Modificateurs de contraste



- ▶ Modifie le signal de l'image
- ▶ Diminuer la densité d'un milieu
 - ▶ Air : clichés en inspiration
 - ▶ Gastrobulles
- ▶ Renforcer la densité d'un milieu
 - ▶ **1929** : M. Swick et A. Binz synthétisent le premier produit de contraste iodé permettant l'opacification des voies urinaires.
 - ▶ La même année, W. Forssman réalise sur lui-même le premier cathétérisme cardiaque
 - ▶ Sels de baryum : tube digestif : remplissent une cavité
 - ▶ Composés iodés : vaisseaux : se diluent dans le sang
 - ▶ Repères métalliques : clips et prothèses : implantés
- ▶ Modifier le comportement d'un organe
 - ▶ Diurétiques : urographie intra veineuse
 - ▶ Médicaments cardiovasculaire
 - ▶ Aliments : vider la vésicules biliaire, l'intestin

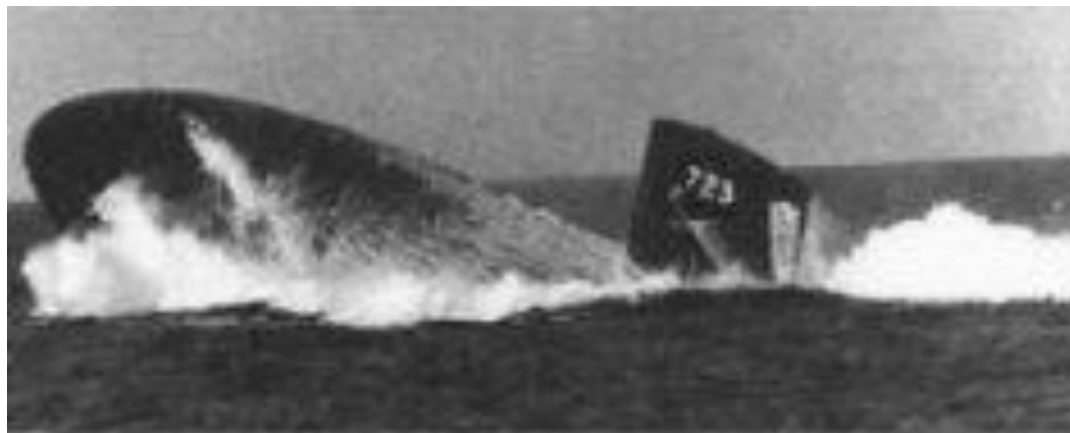




L'échographie

Les ultrasons : la découverte

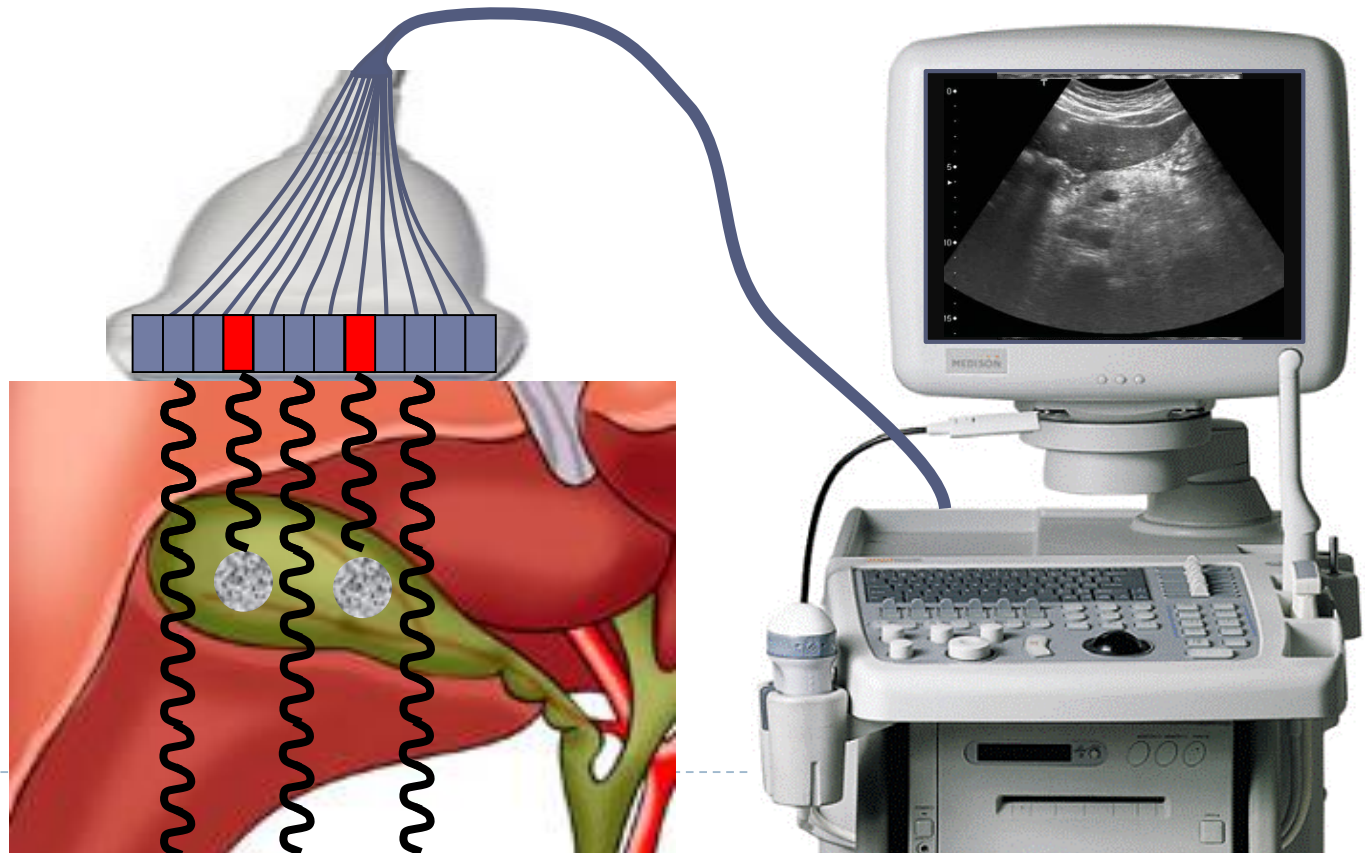
- ▶ **1840** découverte de l'effet Doppler
- ▶ **1880** effet piézoélectrique (déformation d'un cristal soumis à impulsion électrique) par Pierre Curie.
- ▶ **1910** Cette découverte permet à Paul Langevin d'étudier la propagation des ultrasons dans l'eau et leurs réflexions (échos) sur des objets. Ces recherches donnèrent naissance au système de détection anti sous-marins, le SONAR.



Les ultrasons : le principe

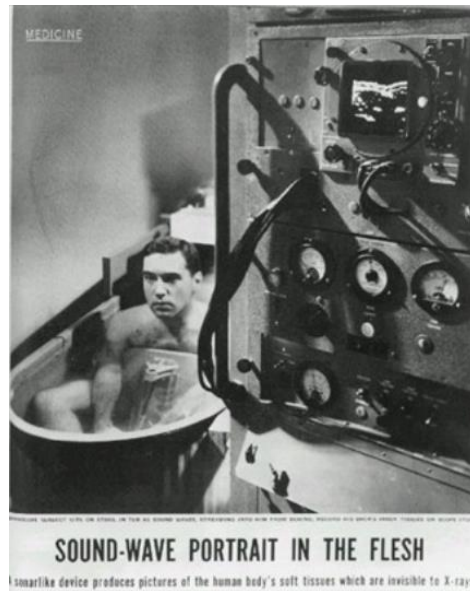
- ▶ Image en **coupe** du volume dont le contraste dépend de l'impédance acoustique des structures échographiées

Les ondes ultrasonores sont générées par cristaux de quartz grâce au phénomène de la **piézo-électricité**. Ce phénomène est réciproque.

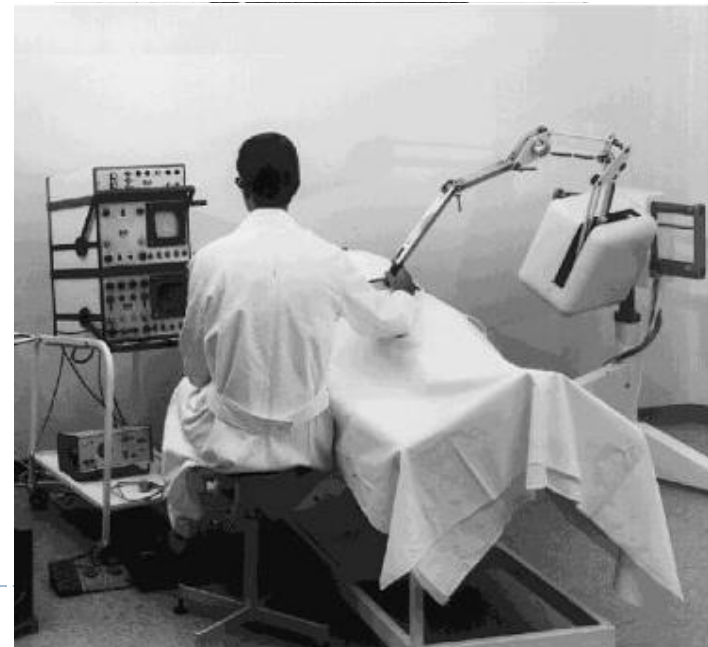


Les ultrasons : les appareils

- ▶ **1953** les premiers examens échographiques ont lieu dans des baignoires....



- ▶ **1963** les appareils à bras articulés permettent maintenant un « examen au sec »



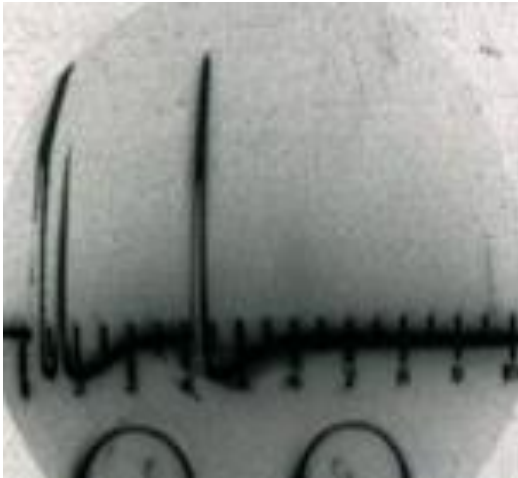
Les ultrasons : les appareils

- ▶ **1972** en Europe, envolée de l'emploi des ultrasons comme outil diagnostique

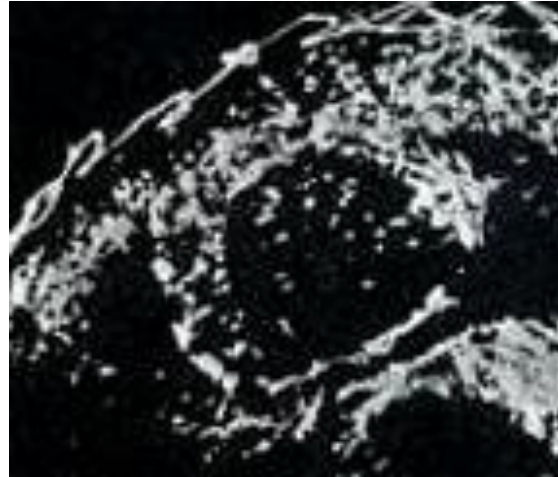


Les ultrasons : l'évolution

Imagerie A



Imagerie B



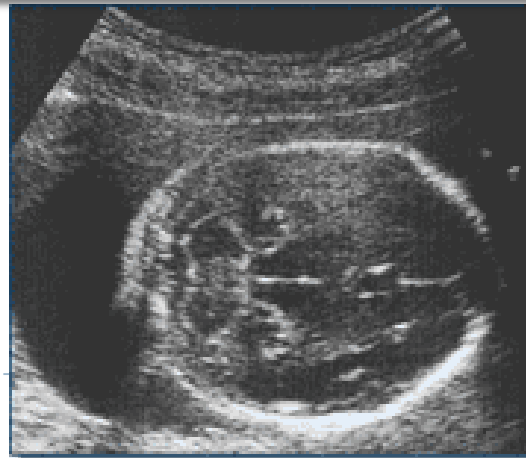
Niveaux de gris



Temps réel



Haute définition



Imagerie 3D



Les ultrasons : nouvelles modalités

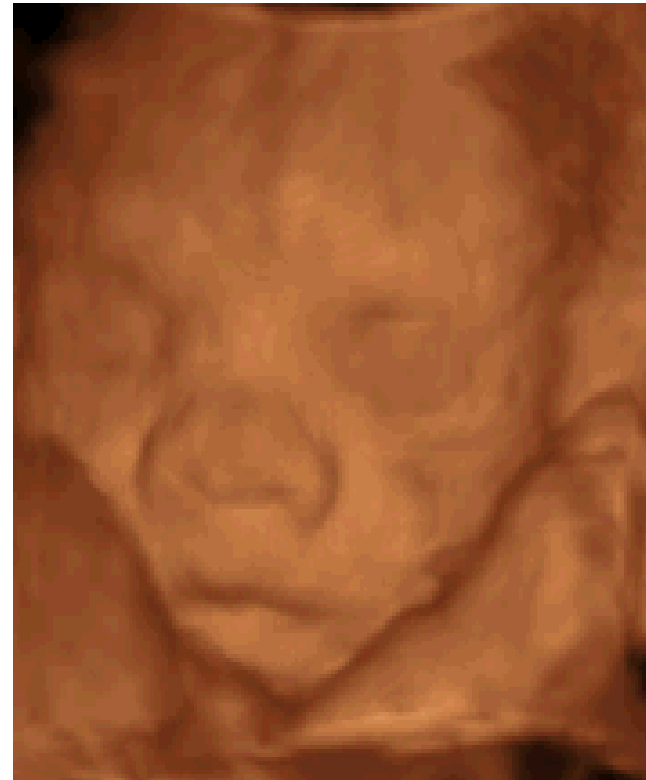
Echo 3D/ 4D : Réalité virtuelle

Des « objets » que l'on peut voir bouger en temps réel

Détection des contours



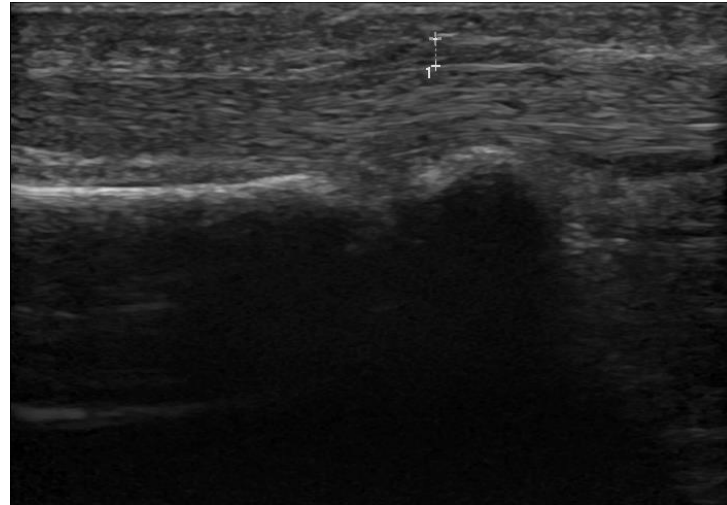
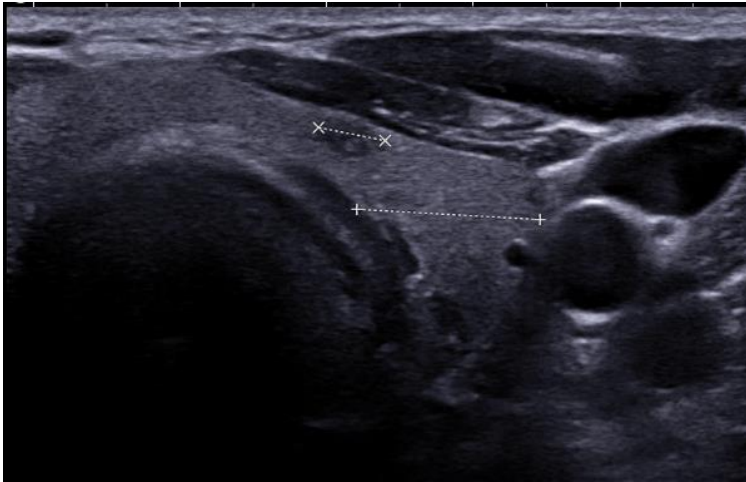
4D



Les ultrasons : nouvelles modalités

Sondes haute fréquence

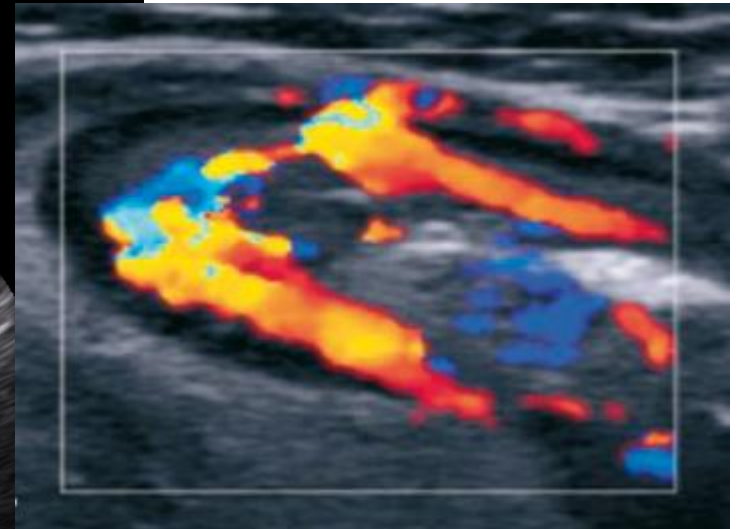
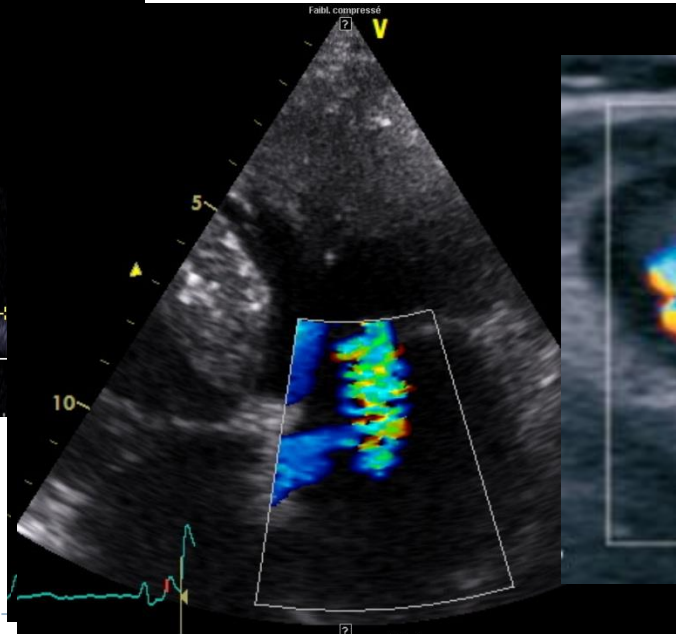
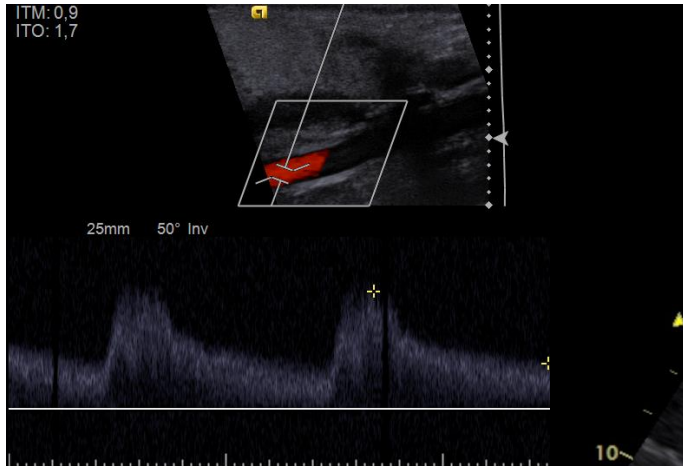
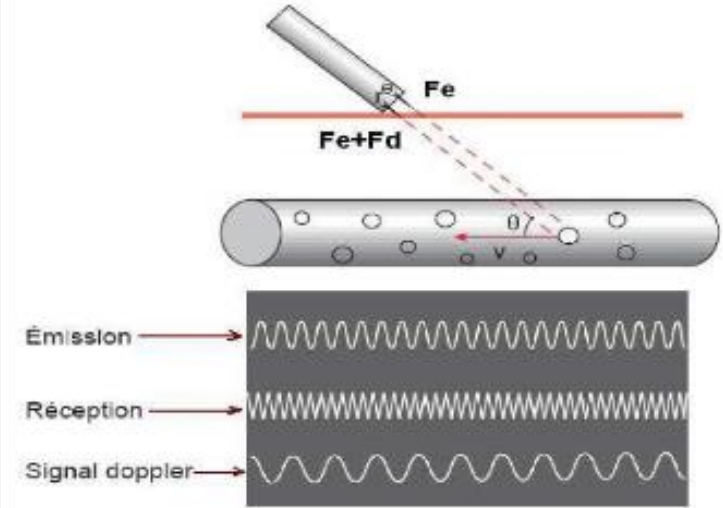
- ▶ Résolution augmente avec la fréquence, mais la profondeur diminue
- => exploration d'organes ou structures superficielles



Les ultrasons : nouvelles modalités

Doppler

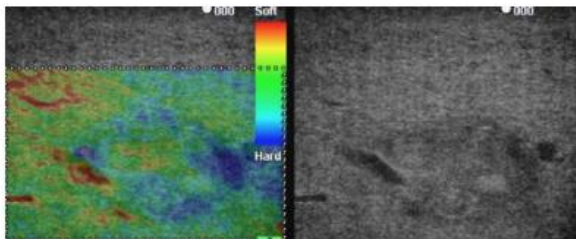
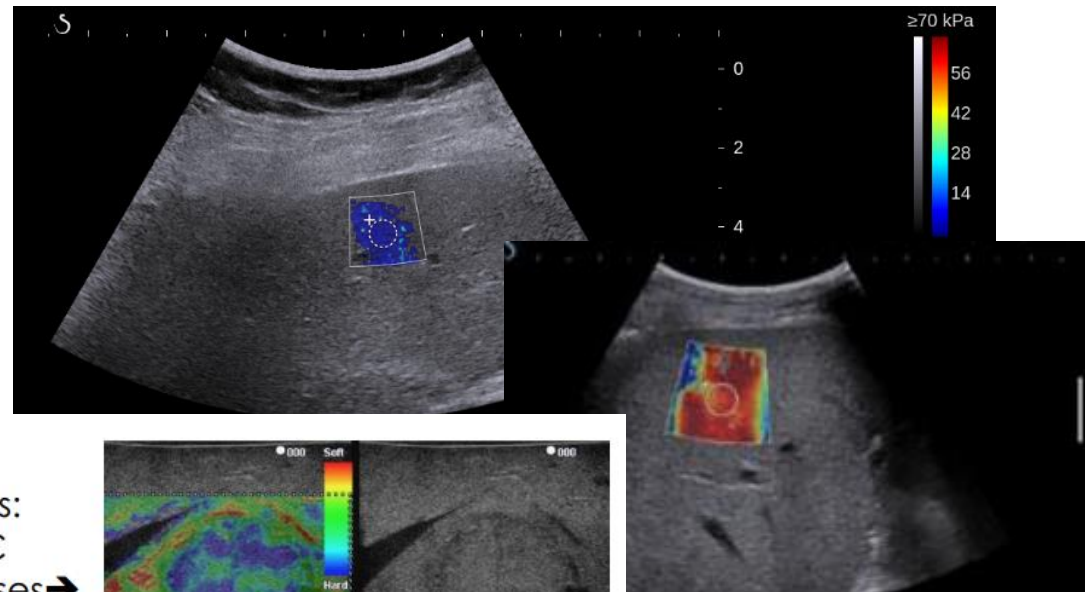
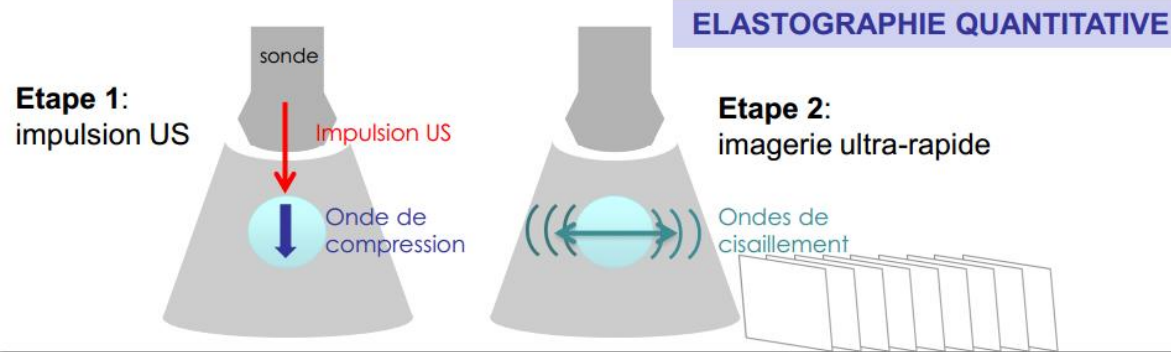
- ▶ Fréquence des ultrasons réfléchis par une particule en mouvement diffère de la fréquence de l'onde émise
- ▶ Fréquence doppler : différence entre F reçue et F émise



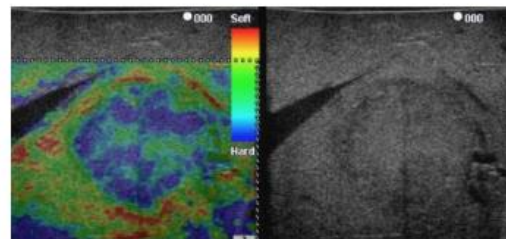
Les ultrasons : nouvelles modalités

Elastographie quantitative

- ▶ Repérage échographique de la zone d'intérêt, place la fenêtre d'étude
- ▶ On applique une onde ultrasonore focalisée à différentes profondeurs.
- ▶ Cette onde est à l'origine d'une onde de compression.
- ▶ La compression du tissu génère des ondes de cisaillement, perpendiculaires à l'onde de compression.
- ▶ Grâce à la technique d'imagerie ultra rapide, la propagation des ondes de cisaillement est mesurée en temps réel.
- ▶ Des cartes paramétriques sont fournies en direct
- ▶ La mesure d'élasticité E en kiloPascals kPa est déduite de la vitesse des ondes de cisaillement selon la formule $E = 3\rho Vc^2$ dans une zone d'étude appelée Qbox



Exemples:
← CHC
métastases →
(Kato et al)



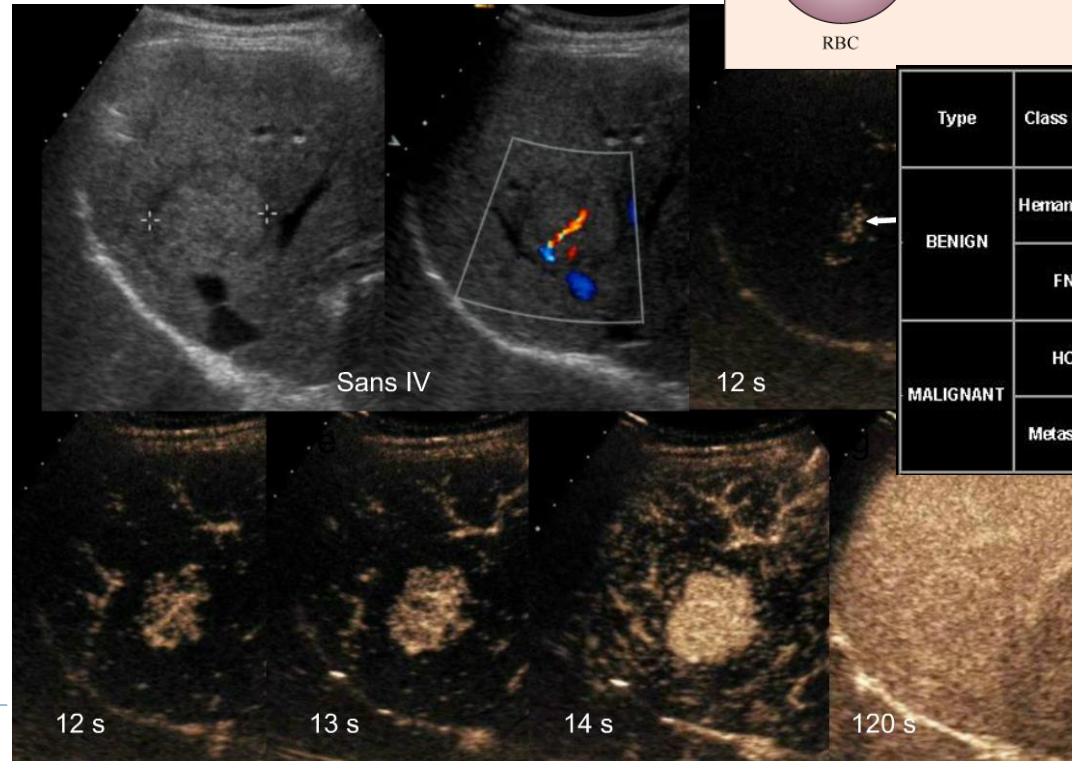
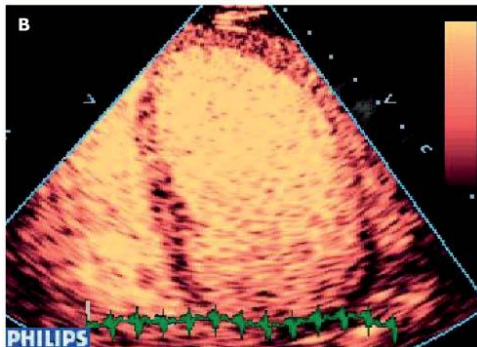
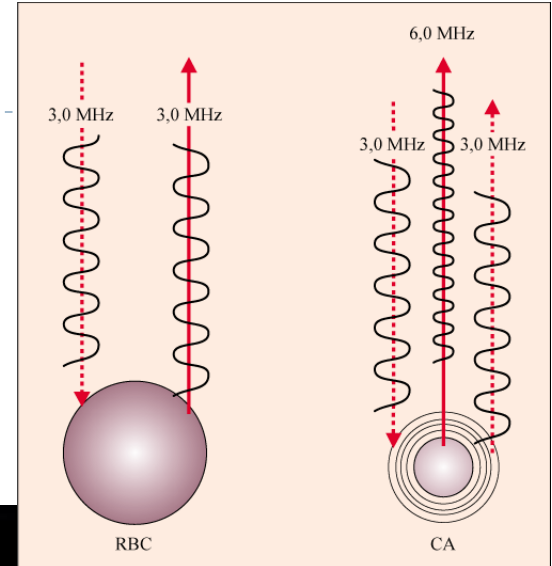
$SWE_{moy} = 33,50$ kPa
e d'anomalie à la biopsie
(Yoon et al)

Les ultrasons : nouvelles modalités

PCUS

Principe :

- ▶ microbulles d'hexafluorure de soufre
- ▶ Stimulation par US de F donnée
- ▶ Réémet à une F harmonique
- ▶ Imagerie harmonique = seulement le contraste



Type	Class Name	Arterial Phase (20-25 s)	Portal Phase (45-90 s)	Late Phase (> 100 s)
BENIGN	Hemangioma			
	FNH			
MALIGNANT	HCC			
	Metastasis			

Le scanner
ou tomодensitométrie (TDM) à Rx

Le scanner : la découverte

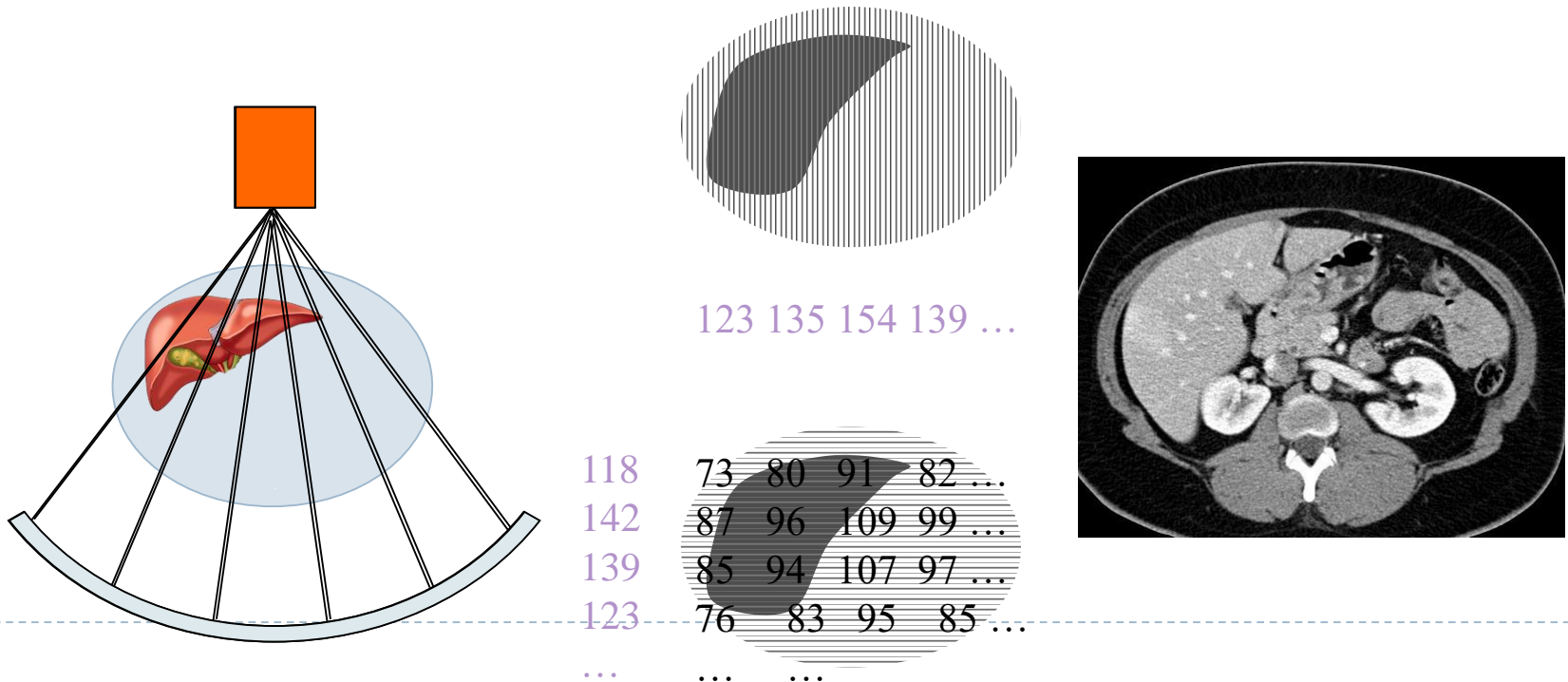


- ▶ Repose sur le théorème de Radon (1917) qui décrit comment il est possible de reconstruire la géométrie bidimensionnelle d'un objet à partir d'une série de projections mesurées tout autour de celui-ci
- ▶ 1972 : Godfrey Hounsfield invente dans les laboratoires de la société EMI le principe du scanner (Computed Axial Tomography)



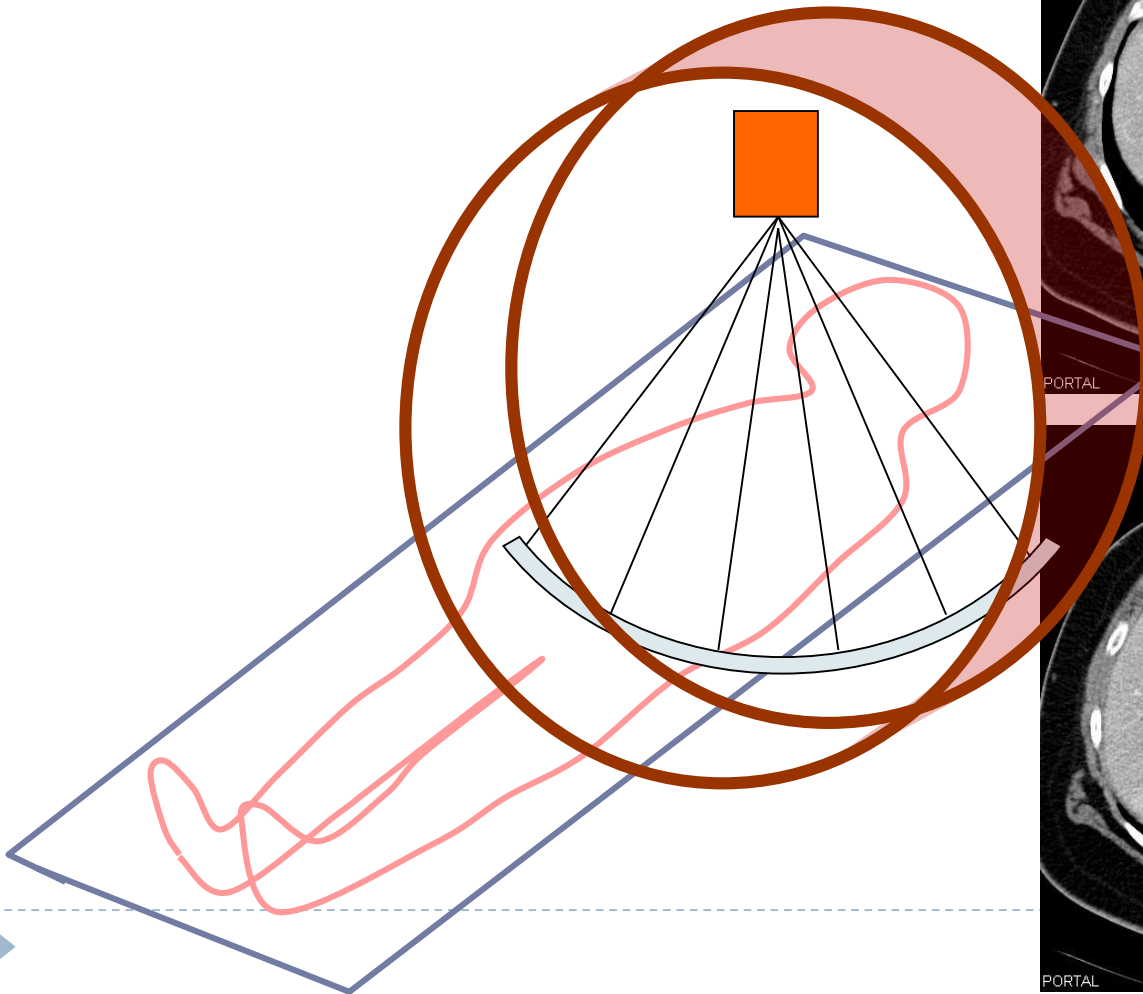
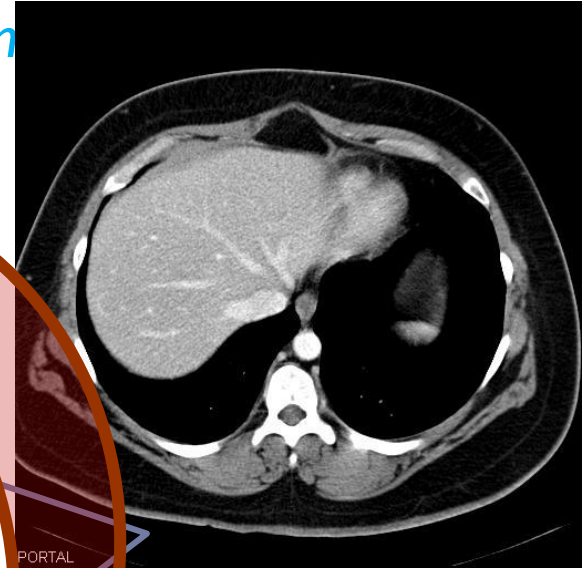
Le scanner ou tomomodensitomètre à Rx : le principe

- ▶ Image en **coupe** du volume dont le contraste dépend de l'atténuation d'un faisceau Rx selon la densité des structures traversées
- ▶ Reconstruction par pixels et représentation des densités par des niveaux de gris



Le scanner : l'acquisition spiralée, évolution majeure

- ▶ *Rotation continue combinée au déplacement*



Le scanner : les appareils

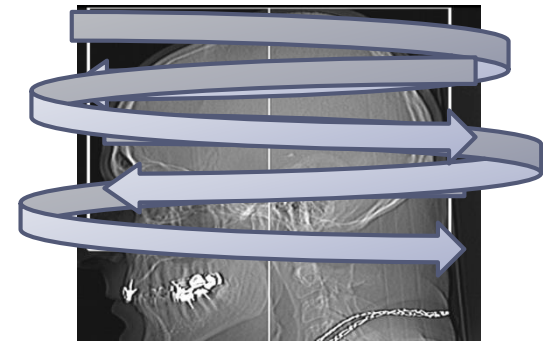
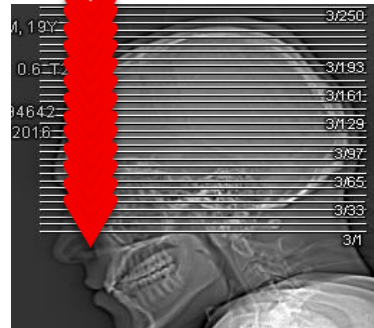
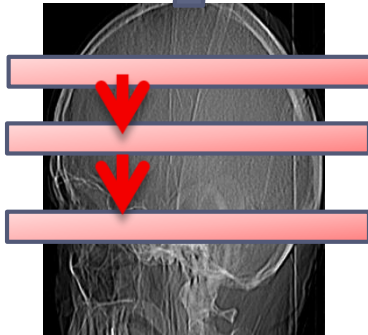
- ▶ 1972 : exploration cérébrale



- ▶ 1976 : exploration corps entier (acquisition séquentielle)



- ▶ Augmentation rapidité et finesse détecteur puis acquisitions spiralées (1990)



- ▶ 2000 : détecteurs multicoupes
(2, 4, 16, 32, 64, 128, 256, ...)

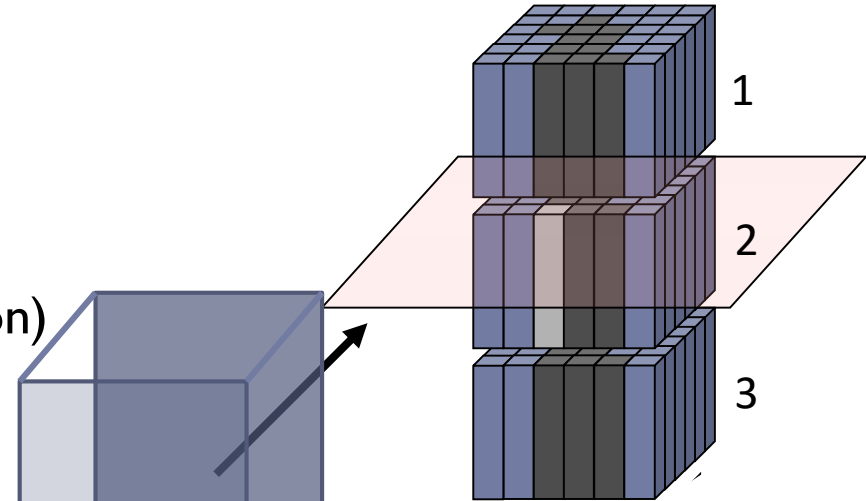


Le scanner : l'évolution

▶ Du pixel ...

1980 : 1 coupe toutes les 20 ss
1 cm d'épaisseur
(abdomen = 20 mn d'acquisition)

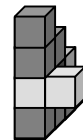
plan axial



▶ ... au voxel « isotropique »

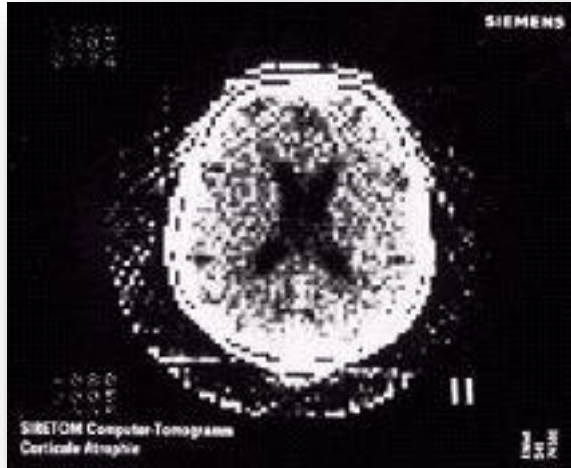
2015 : 128 coupes toutes les 0,3 s
0,5 mm d'épaisseur
(abdomen = 18 s d'acquisition)

accès à l'imagerie 3D



Le scanner : l'évolution

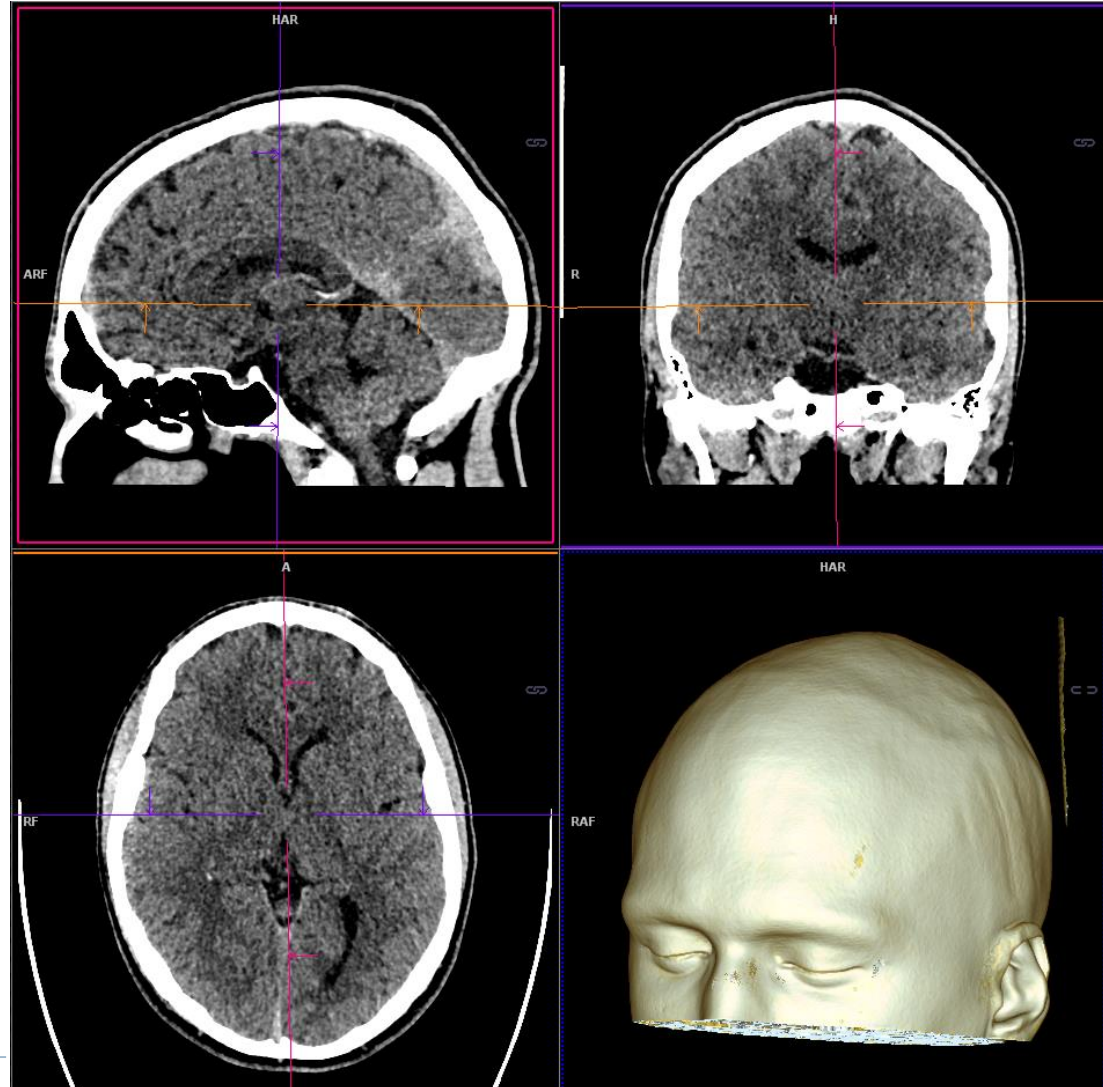
1972



2007



Scanner : imagerie multiplananaire



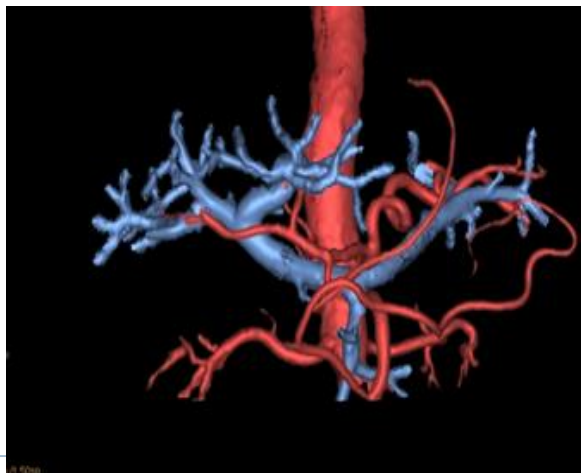
La représentation du volume : 3D

- ▶ *Image reconstruite par informatique selon des techniques de transparence et de segmentation*



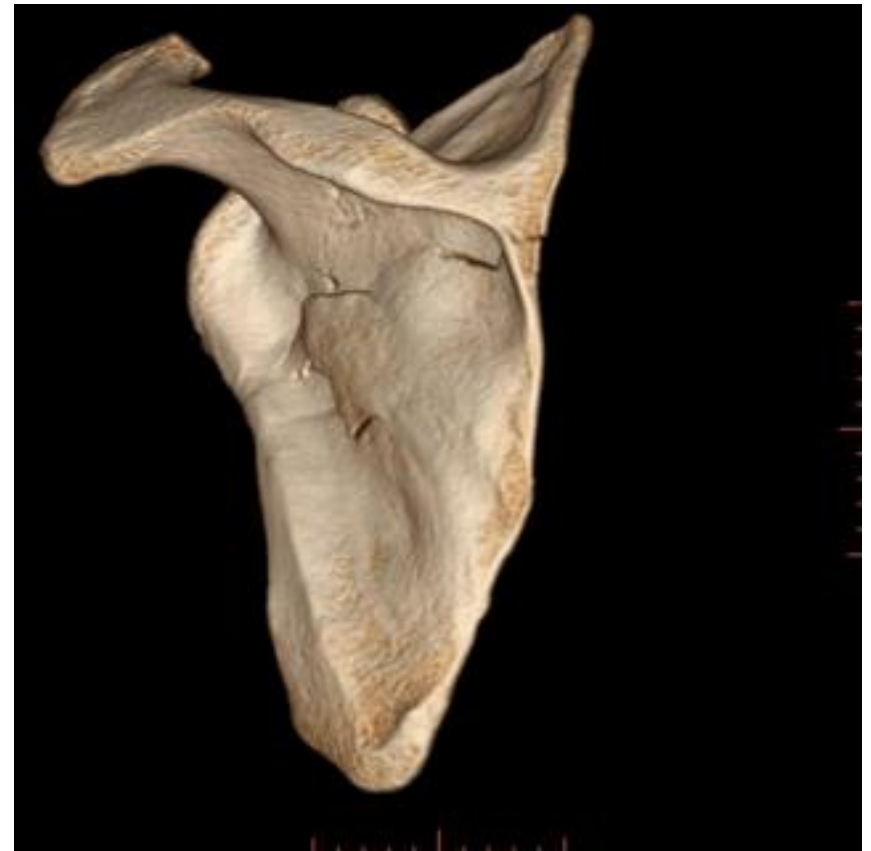
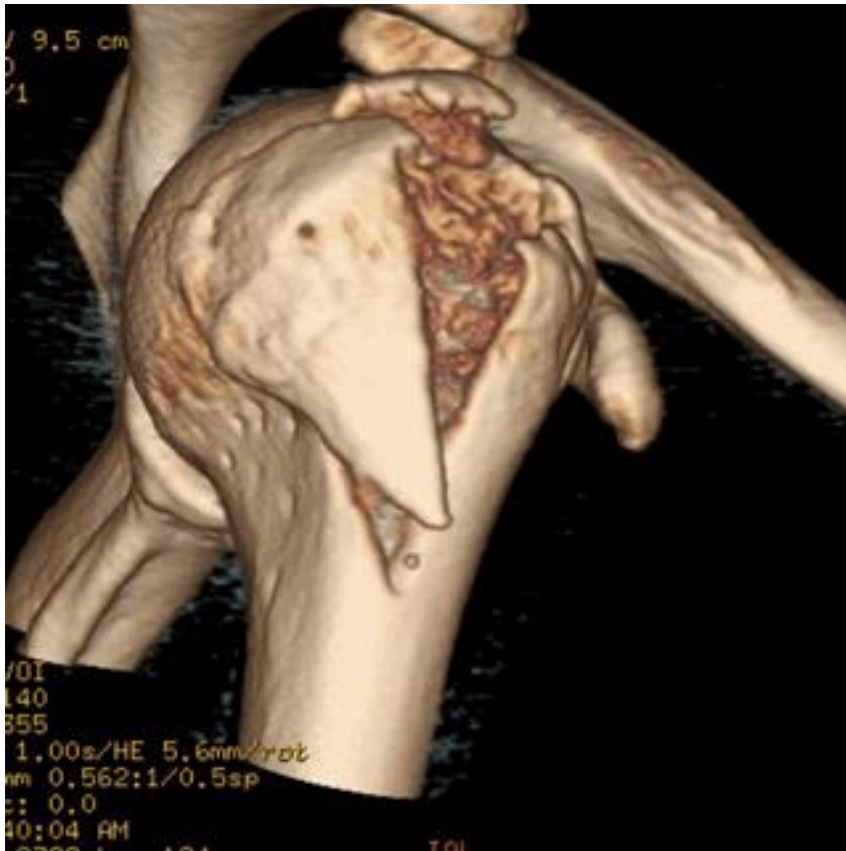
Réalité virtuelle

Des « objets » que l'on peut regarder séparément ou regroupés



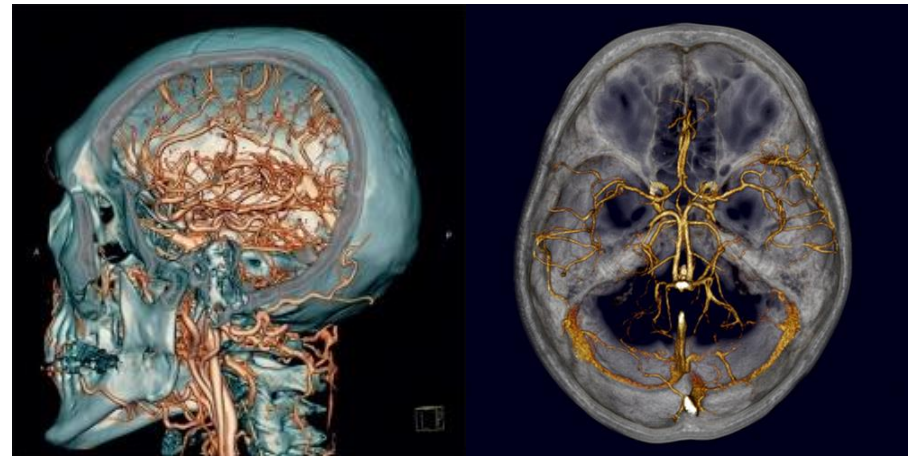
Réalité virtuelle

Des « objets » que l'on peut regarder sous différents angles de vue



Réalité virtuelle

Des « objets » que l'on peut associer ou superposer

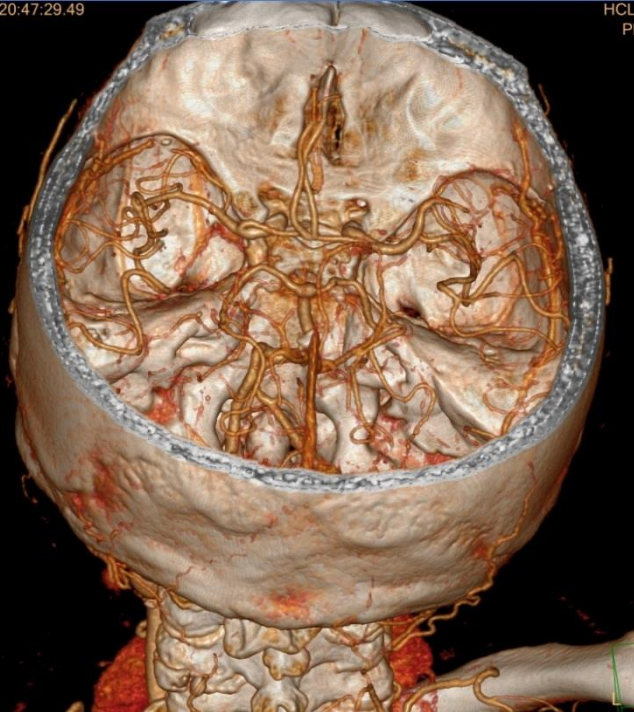




494642

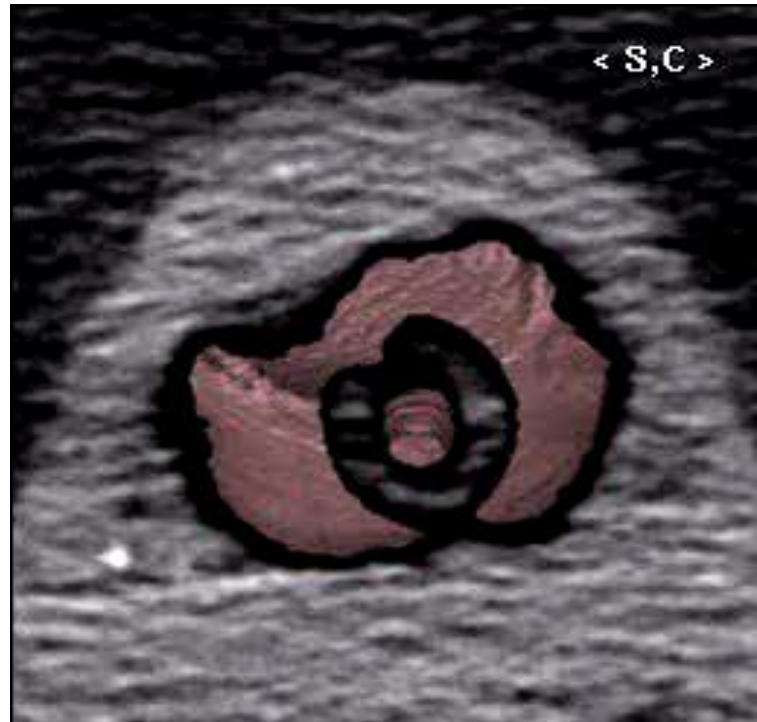
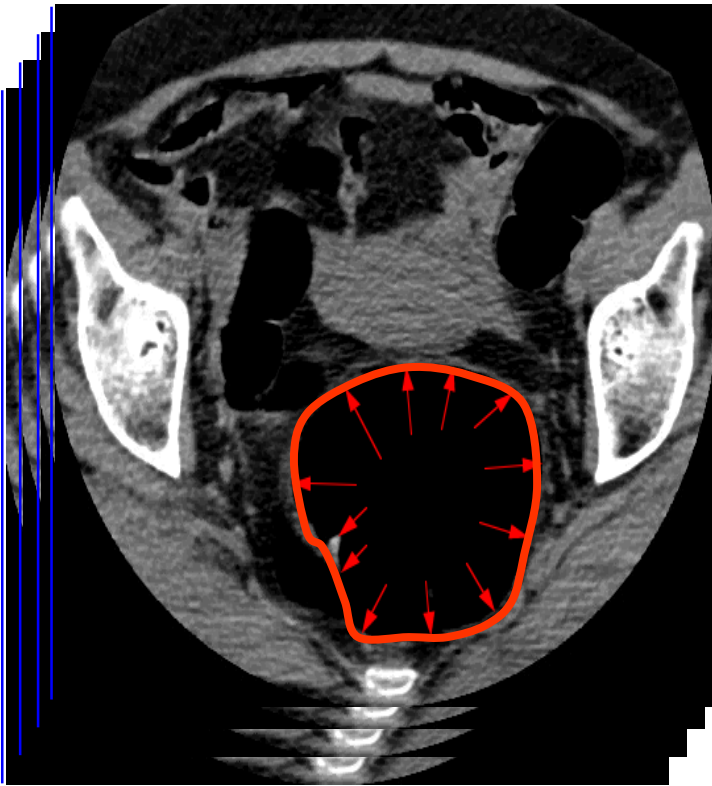
/ 20:47:29.49

HCL
PH



Réalité virtuelle

Des « objets » dans lesquels on peut se déplacer



Coloscopie virtuelle



Réalité virtuelle

Des « objets » dans lesquels on peut se déplacer



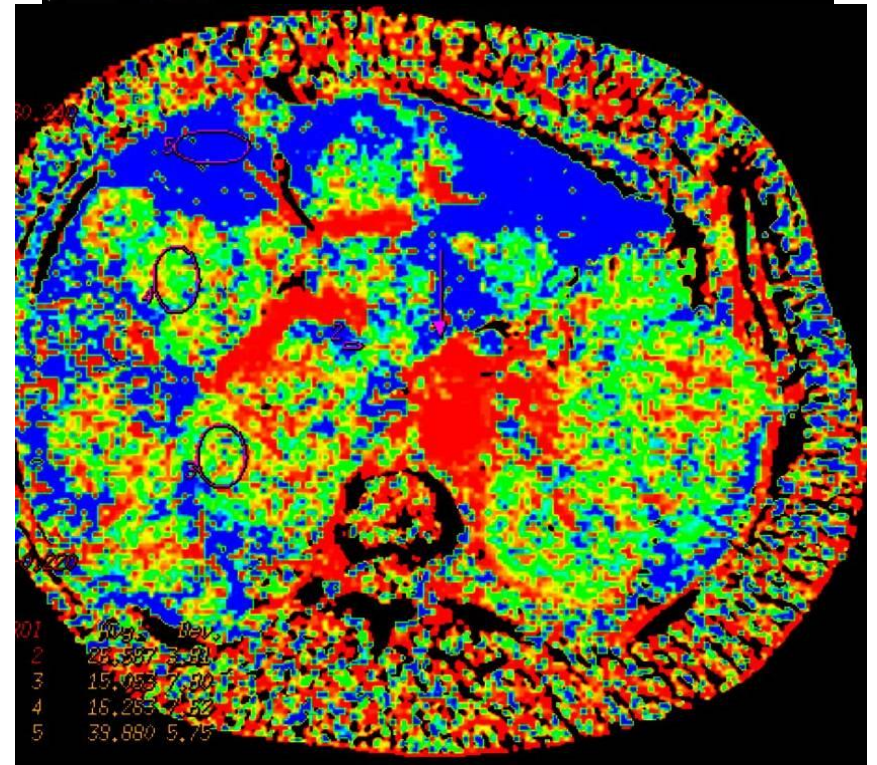
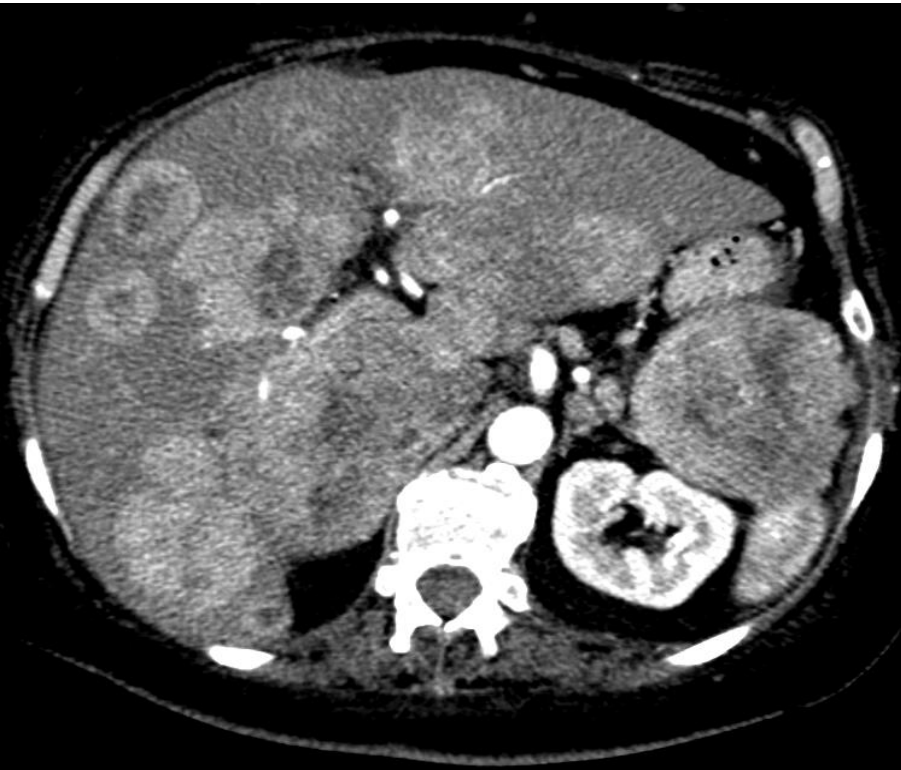
Coronarographie virtuelle



Scanner : évolutions

Perfusion tumorale

Vascularisation, débit sanguin, perméabilité vasculaire des tumeurs



Scanner : évolutions

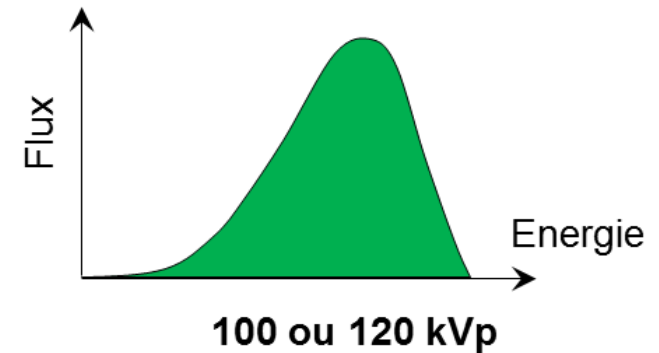
Scanner multi énergie/ spectral

➤ **Le scanner conventionnel**

Acquisition à **100** ou **120 kVp**

Mesure de l'atténuation du spectre de rayons X à travers la matière

Images polychromatiques

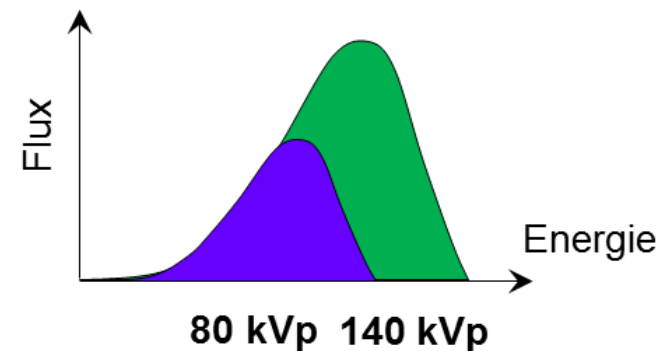


➤ **L'imagerie spectrale**

Acquisition à 2 niveaux d'énergie:

80kVp et **140kVp**

Reconstruction d'images monochromatiques à un niveau d'énergie voulu



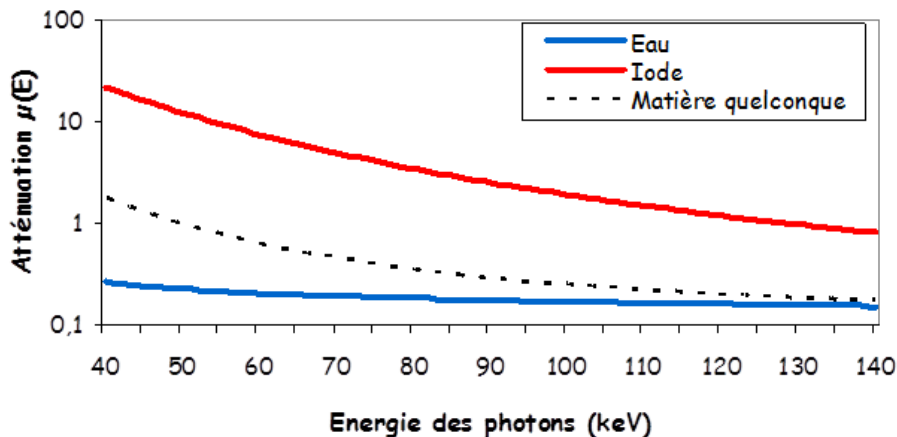
Scanner : évolutions

Scanner multi énergie/ spectral

Les matériaux tels que l'eau et l'iode ont des **caractéristiques physiques** différentes

1 matériau → réponse spécifique selon le niveau d'énergie
→ une courbe spécifique d'atténuation

On connaît les **courbes d'atténuation** de l'eau et de l'iode à une énergie donnée grâce aux techniques de **chromatographie**



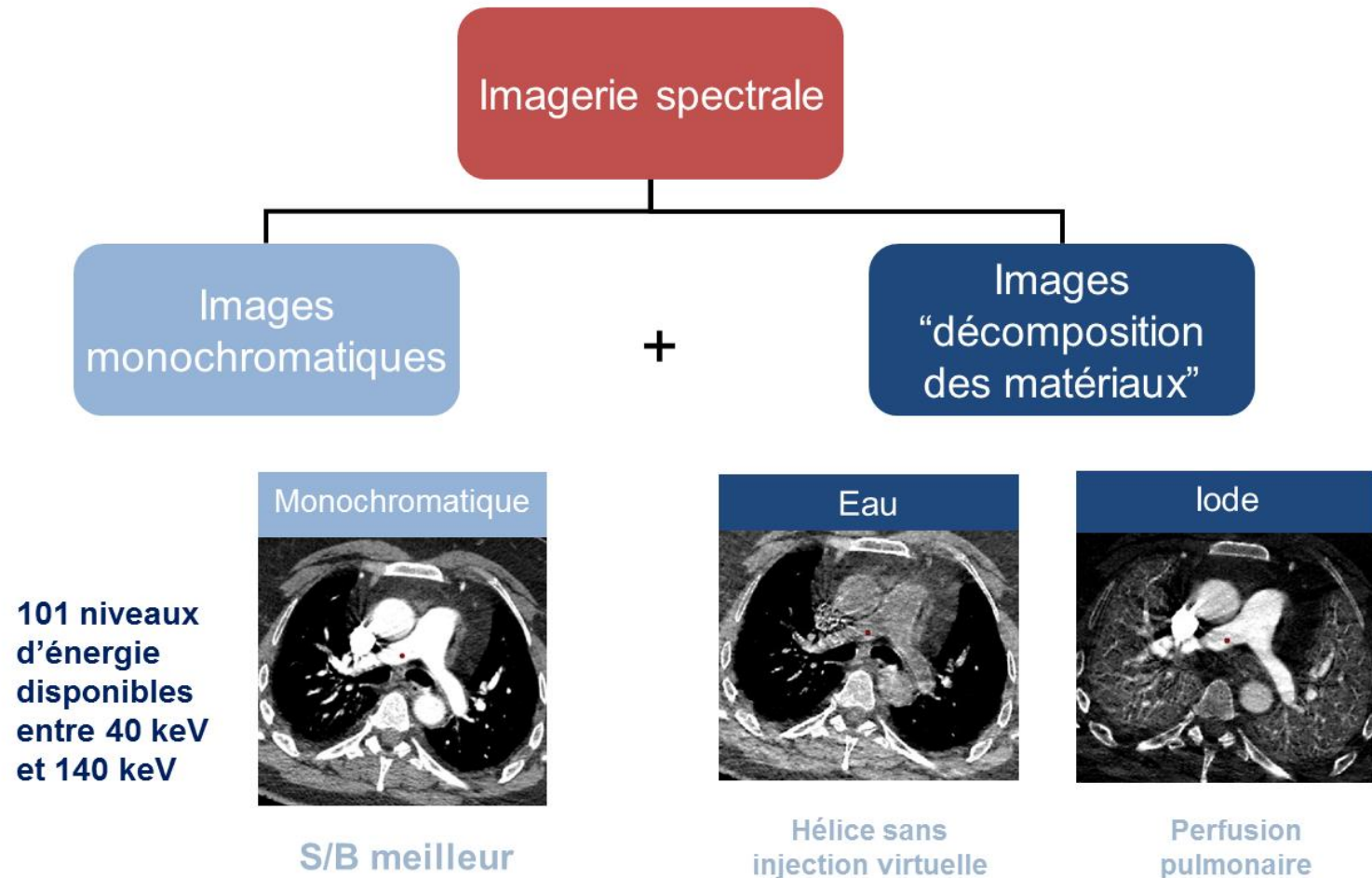
keV: unité de mesure d'énergie

eV=énergie cinétique d'un électron accéléré depuis le repos par une différence de potentiel d'un volt
 $\approx 1,60 \times 10^{-19}$ joule

Scanner : évolutions

Scanner multi énergie/ spectral

- ▶ A partir des courbes d'atténuation et grâce à des algorithmes, on peut obtenir plusieurs types d'images





L'IRM

L'IRM : la découverte

- ▶ 1933 : Stern démontre que le proton possède un moment magnétique
- ▶ 1945 : les premiers spectres de RMN.
- ▶ 1971 : Damadian a l'idée d'utiliser la RMN pour réaliser une image de tissu biologique.
- ▶ 1977 : Lauterbur reprend les principes de calcul des images du scanner pour créer une image médicale à partir du signal RMN des tissus

Le nom d'IRM n'a été donné que plus tard à la RMN car le terme "nucléaire" inquiétait le public.

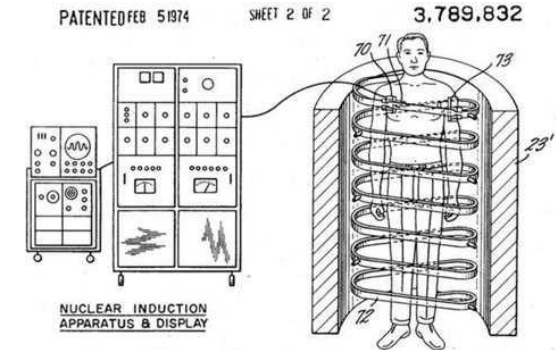


FIG. 2

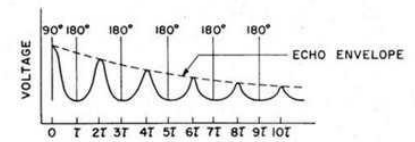


FIG. 3

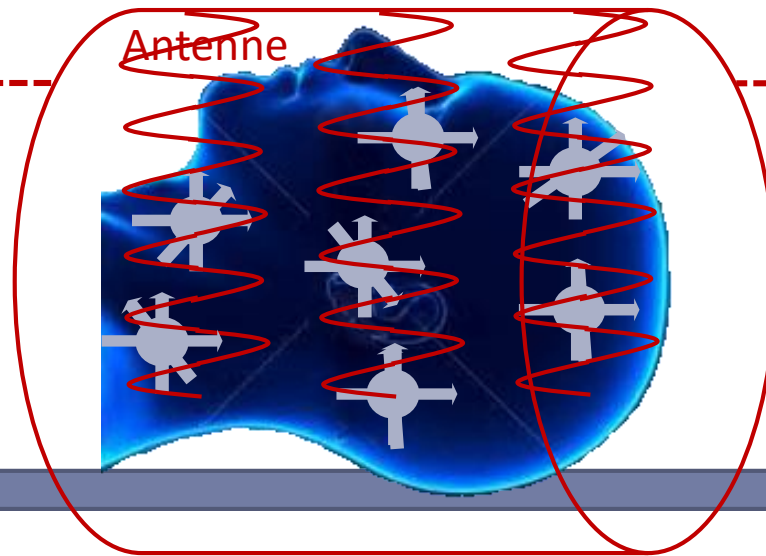
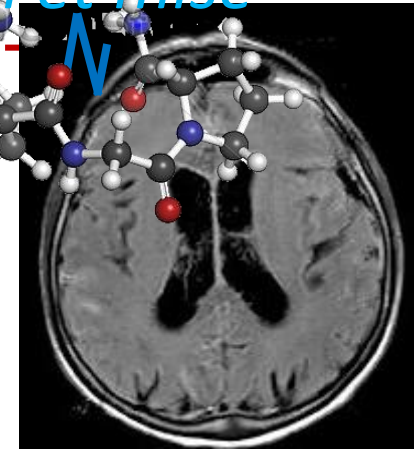
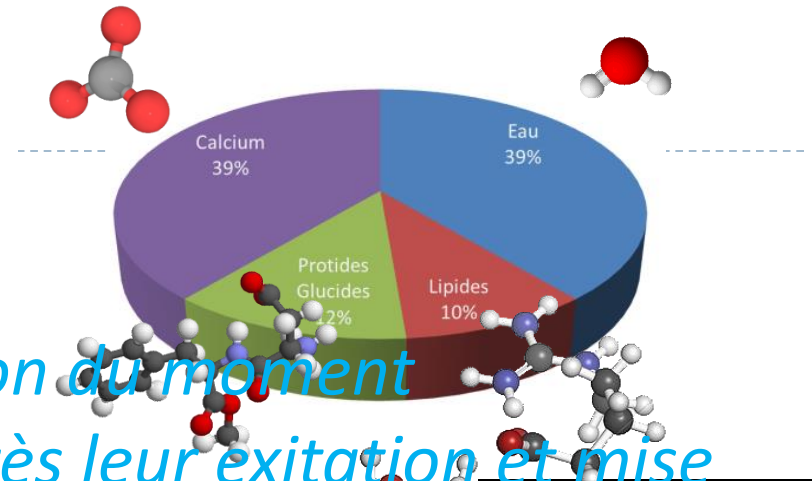


IRM: le principe

Alphonse Allais

« Eh bien, laissez-moi vous dire que l'objet de votre idolâtrie comporte environ quarante

- *Image en coupe par détection du moment magnétique des protons après leur excitation et mise en résonance*

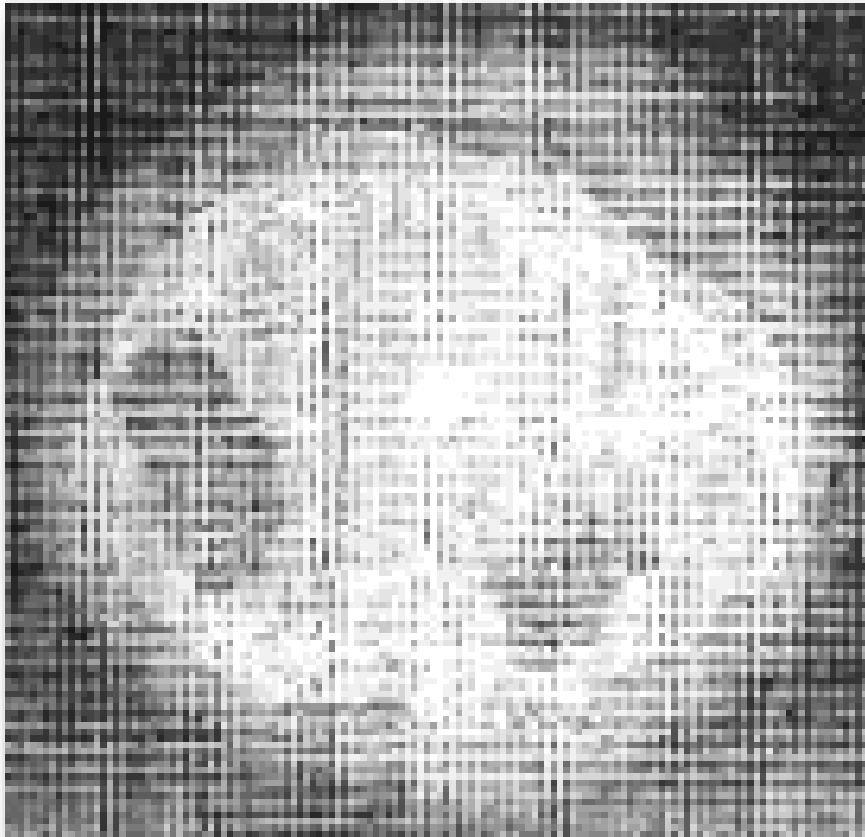


L'IRM : les appareils

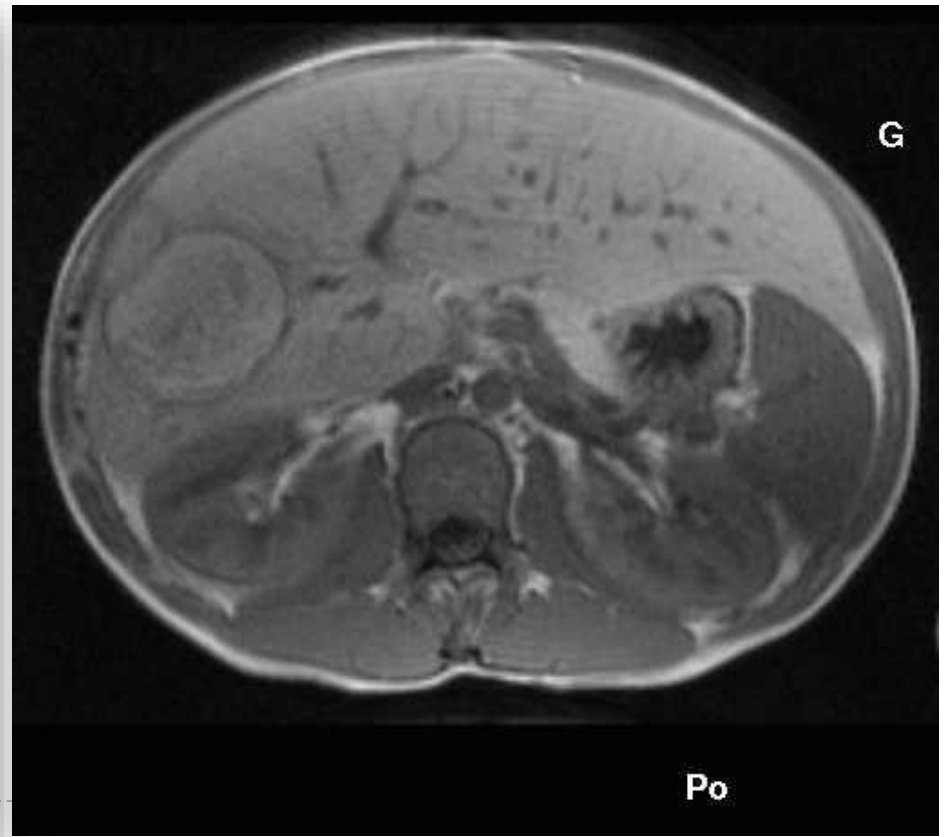


L'IRM : l'évolution

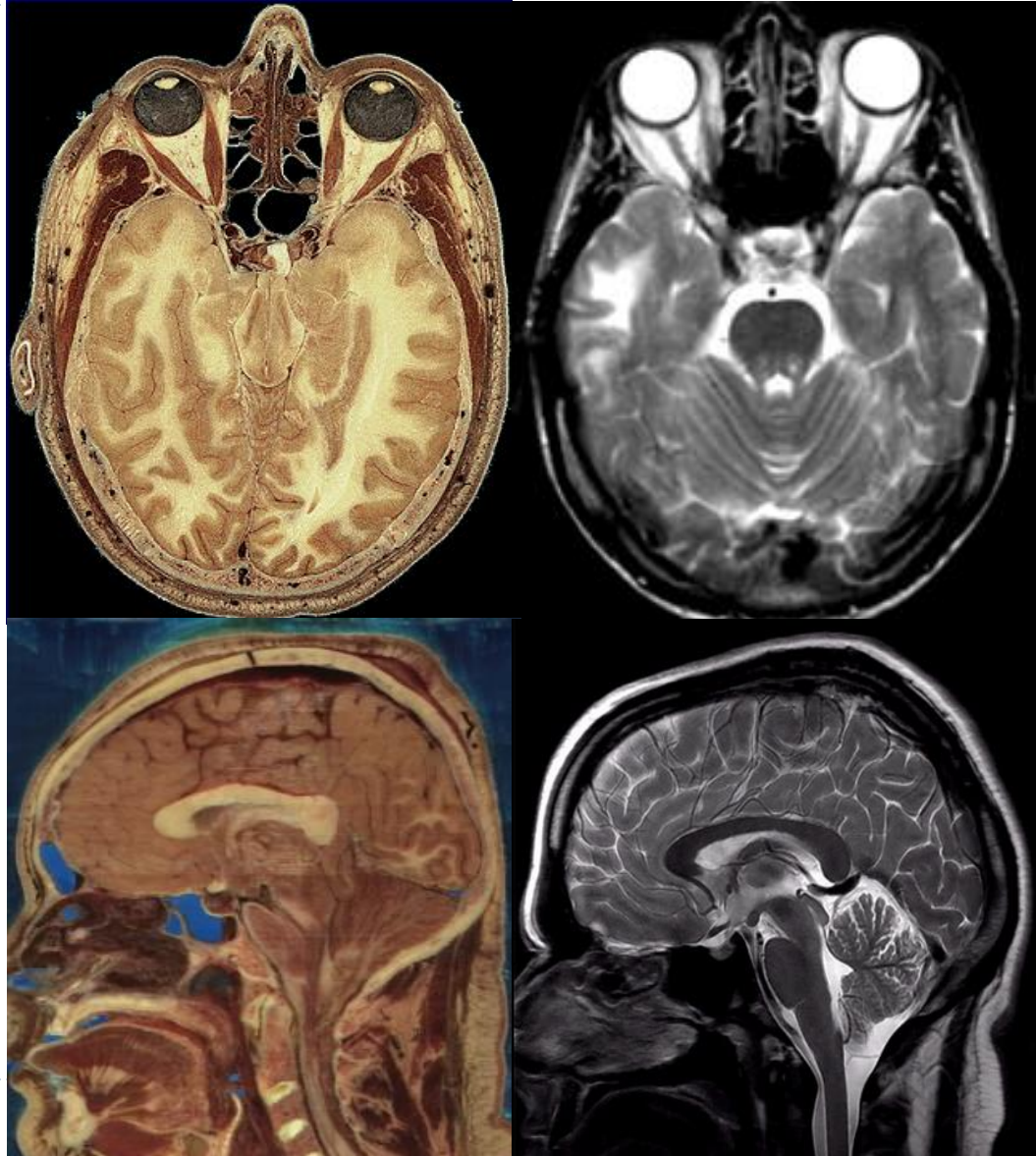
1977



2007



IRM : imagerie en coupes nativement multiplanaire

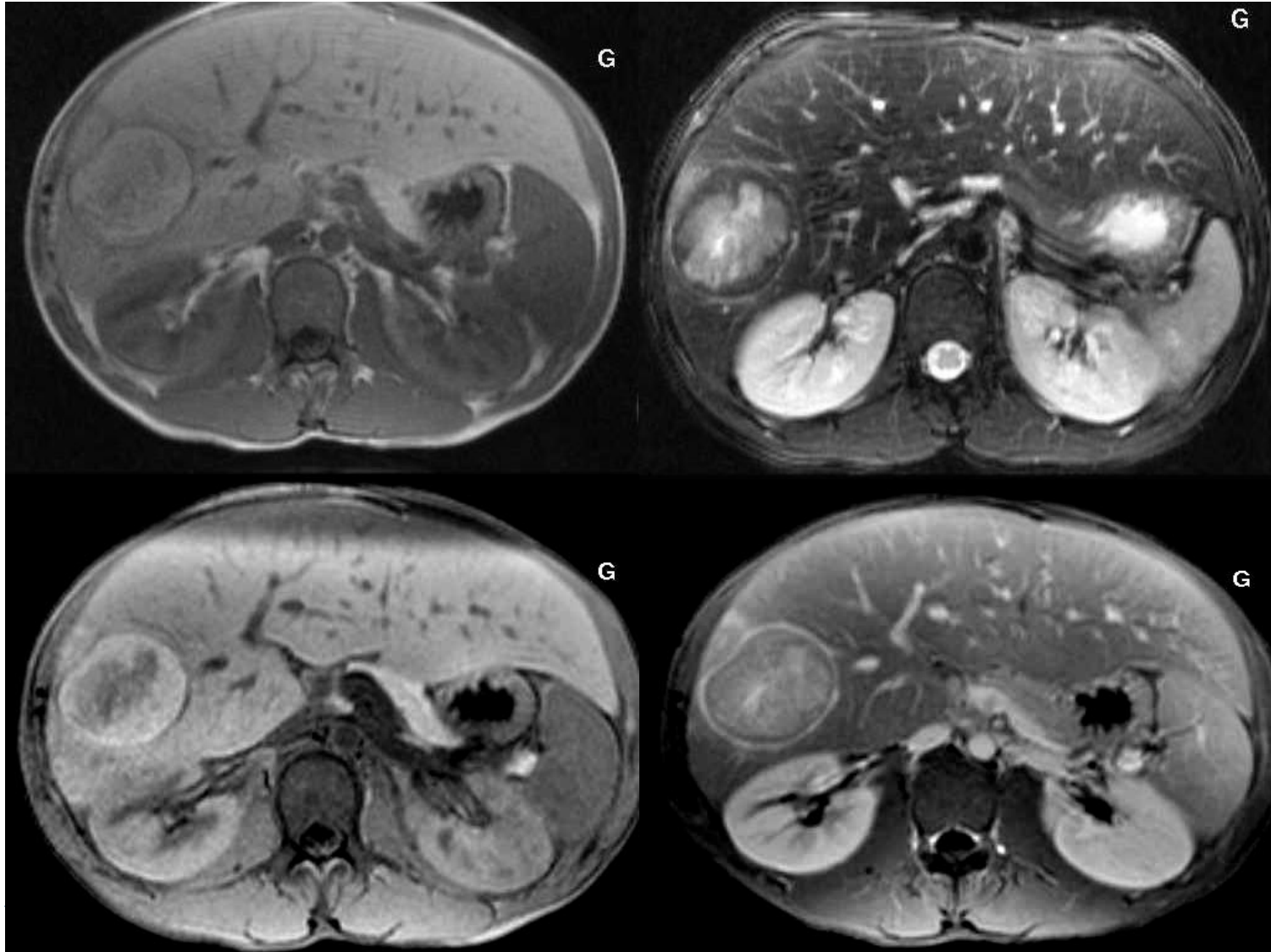


Anatomie

IRM

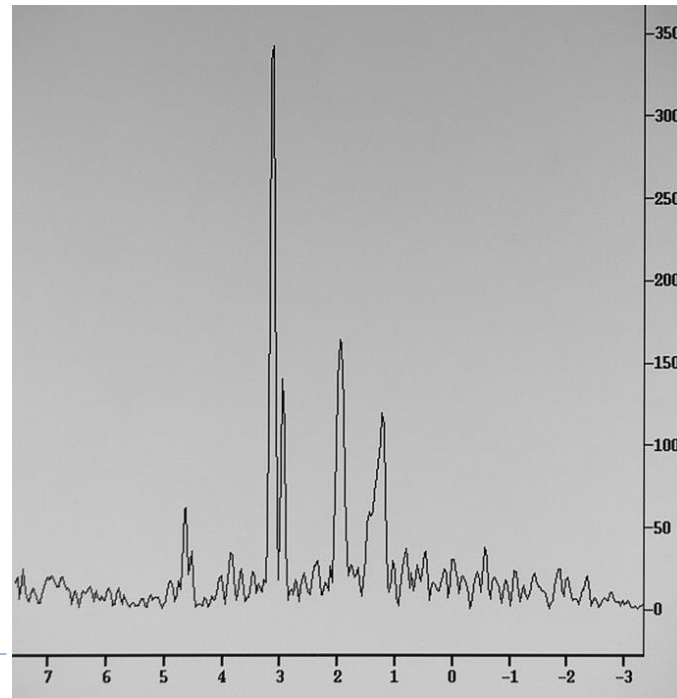
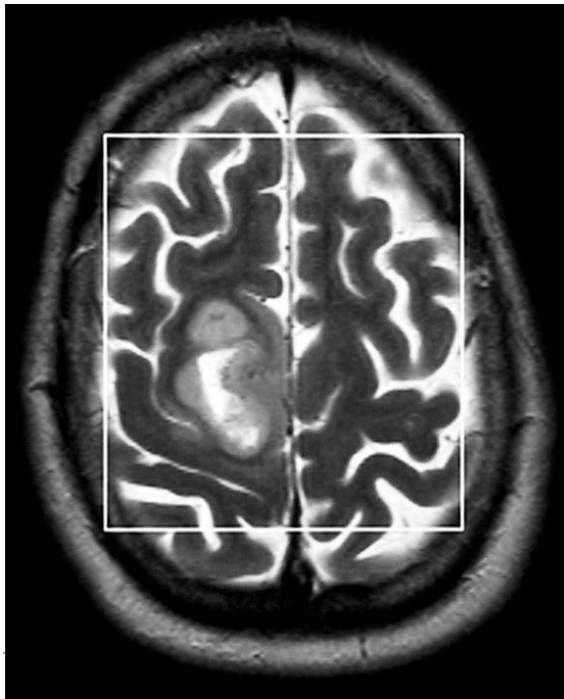


IRM : imagerie multiparamétrique



Spectroscopie IRM

- ▶ Le N-acétyl-asparate (NAA) (molécule présente dans les neurones sains)
- ▶ La créatine/phosphocréatine (Cr) (molécules du métabolisme énergétique)
- ▶ Les composés à choline (Cho) (marqueur de la synthèse et la dégradation des membranes cellulaires)
- ▶ Le myo-inositol (ml) (uniquement retrouvé dans le tissu glial)
- ▶ Le complexe Glutamine-Glutamate-GABA (Glx) (neurotransmetteurs)
- ▶ Le lactate (Lac) (métabolisme anaérobie)
- ▶ Les lipides libres (Lip) : résonance large



IRM : Les évolutions Matériel

▶ Tunnels larges



▶ IRM « ouvertes »

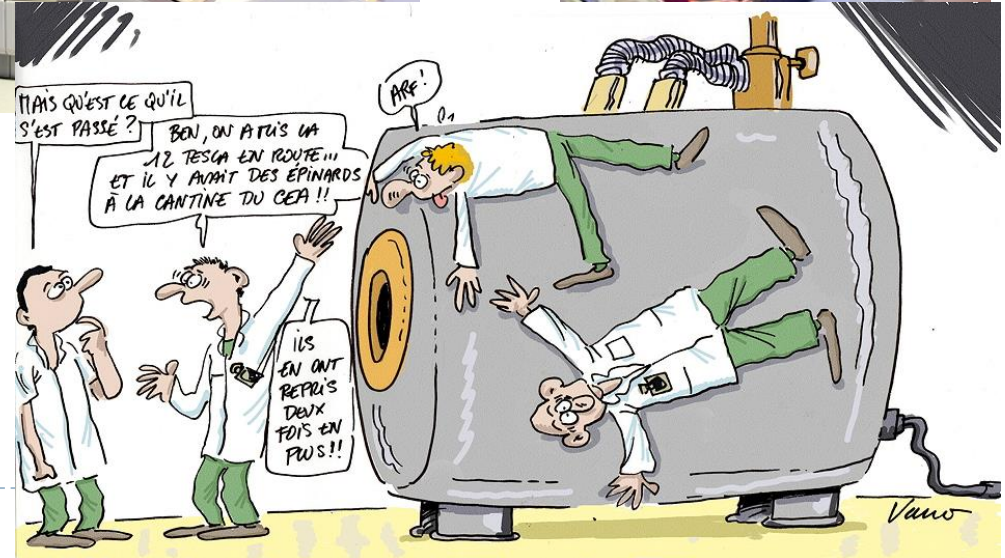


▶ IRM dédiées

▶ Antennes en réseau phasé

▶ Hauts champs

- ▶ Meilleure résolution
- ▶ Plus rapides



IRM : Les évolutions Séquences

► Diffusion

Fig 1. Peu de cellules : diffusion élevée

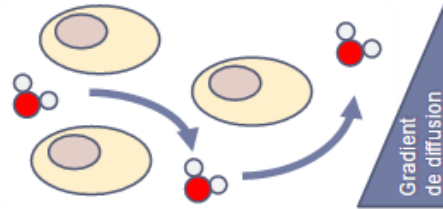


Fig 1. La différence de gradient subit par le proton pendant ses mouvements est responsable d'un déphasage et d'une diminution du signal de diffusion

Fig 2. Beaucoup de cellules : diffusion restreinte

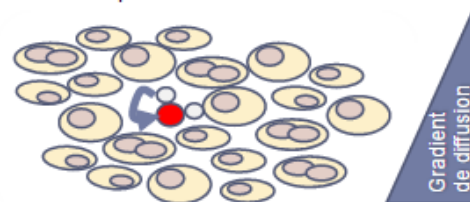
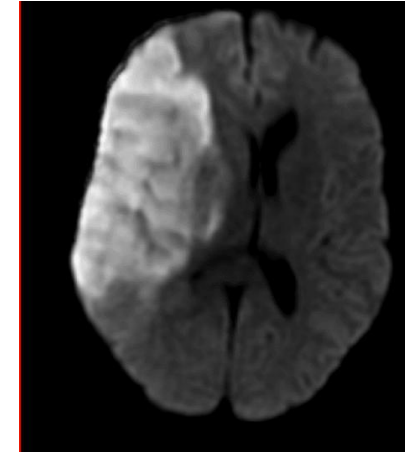
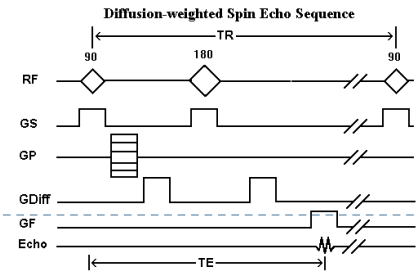
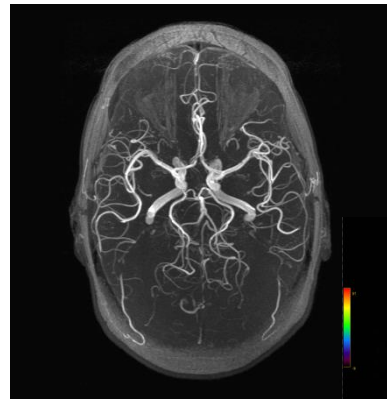


Fig 2. Le proton ne subit aucune différence de gradient puisqu'il est immobile. Il n'est pas déphasé et le signal de diffusion est intact.

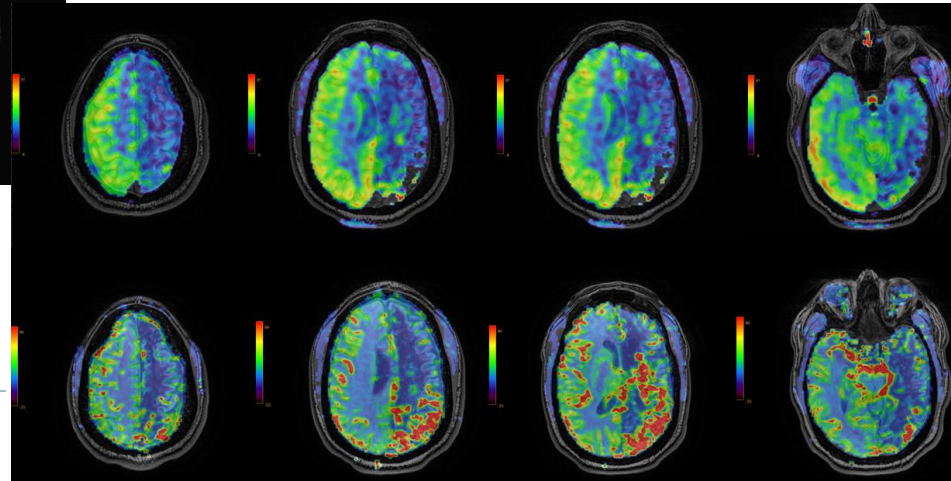


► Angio IRM



► IRM de perfusion

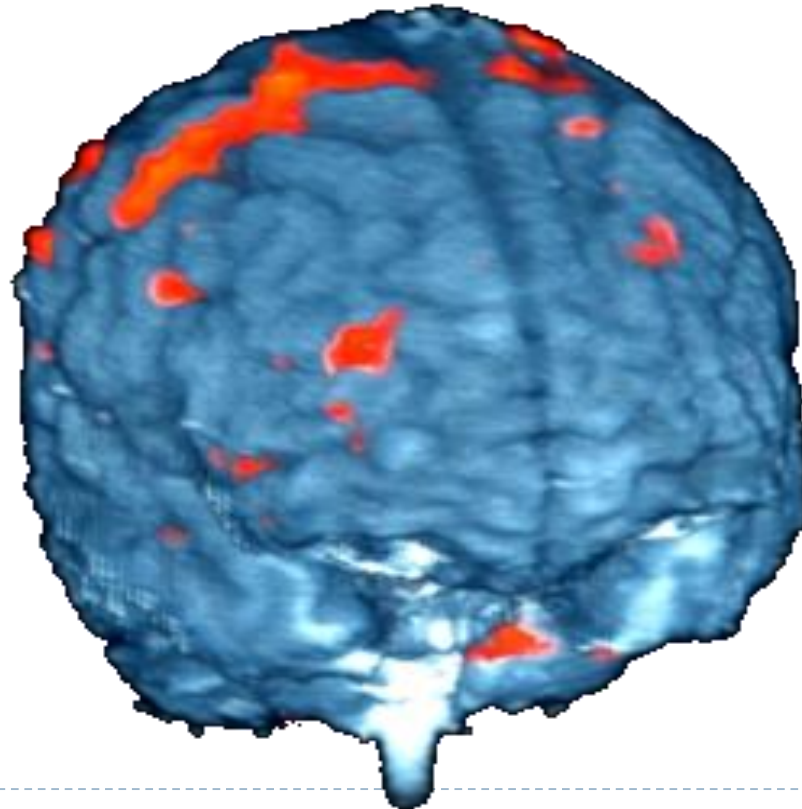
► Cartes paramétriques



IRM : Les évolutions

Séquences : Perfusion tissulaire (IRM fonctionnelle)

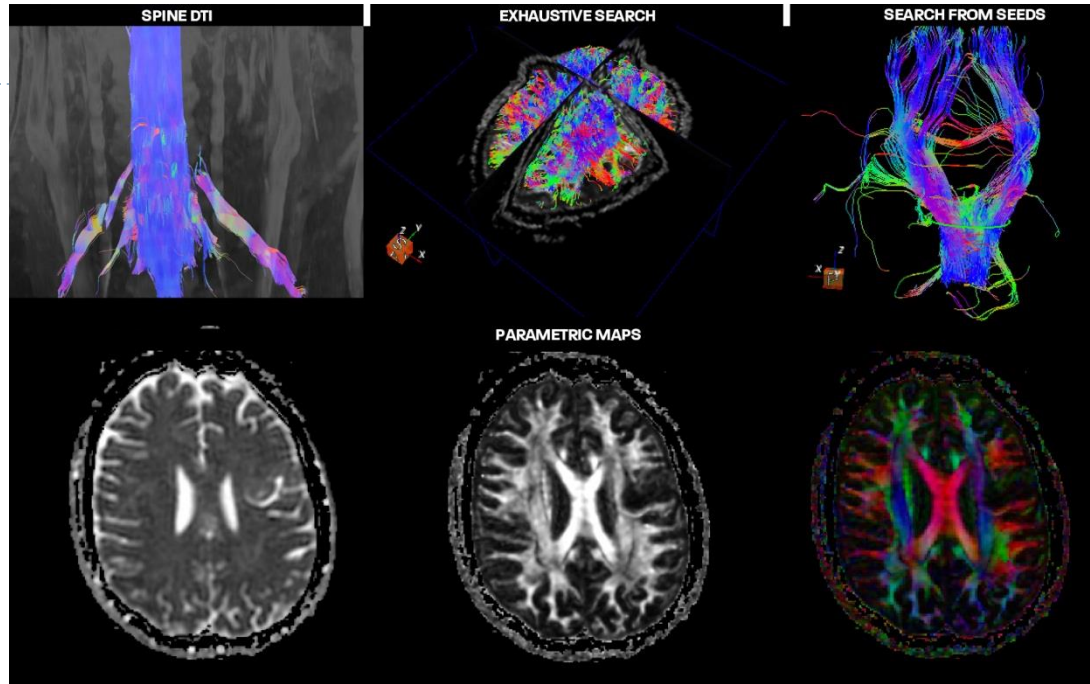
Augmentation du débit sanguin dans les zones actives du cerveau



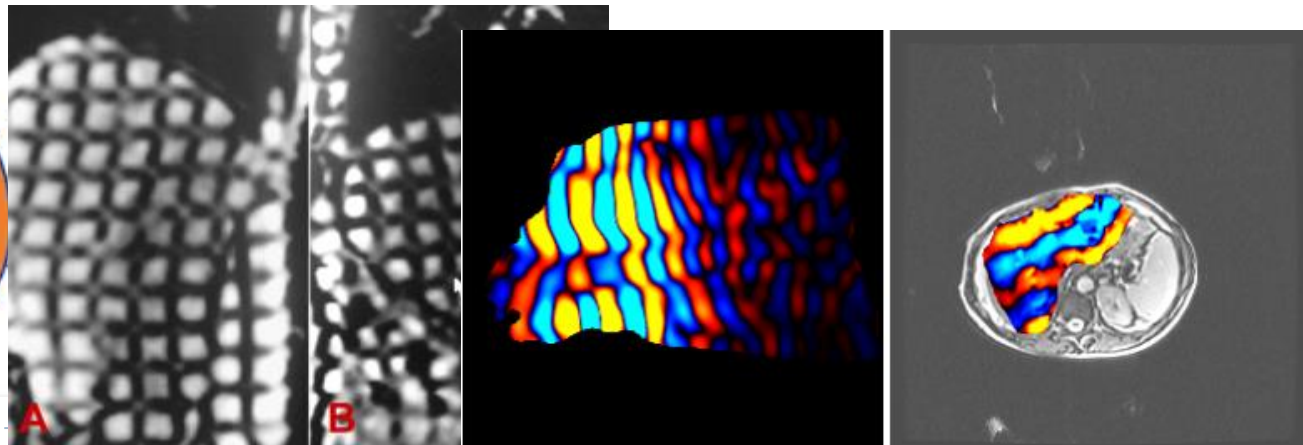
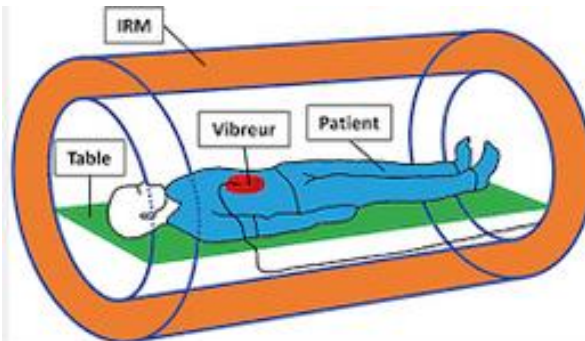
IRM : Les évolutions

Séquences

- ▶ Tractographie (diffusion)
 - ▶ Image du « câblage cérébral »

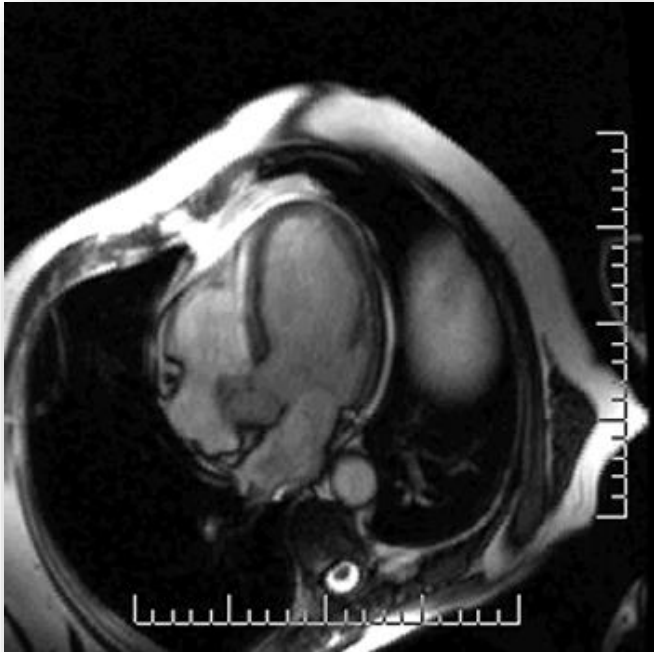


- ▶ Elastographie




IRM : Les évolutions

Séquences rapides : IRM dynamique



Ig Nobel Prize 2000

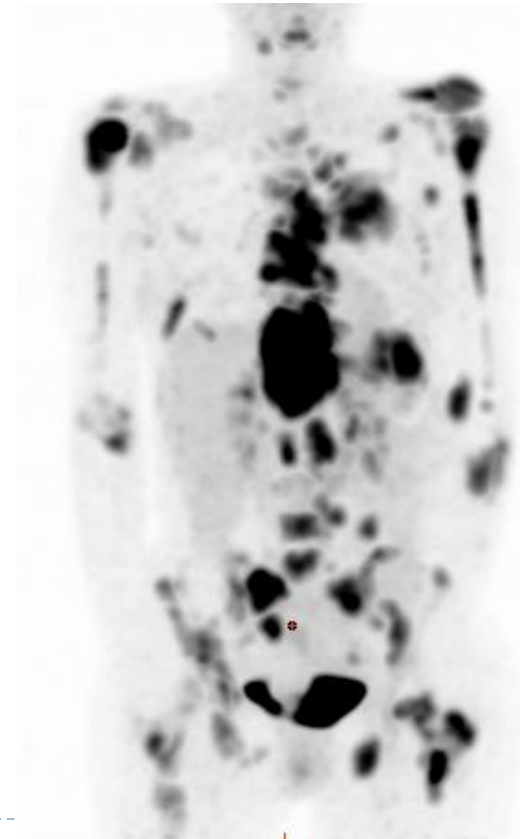
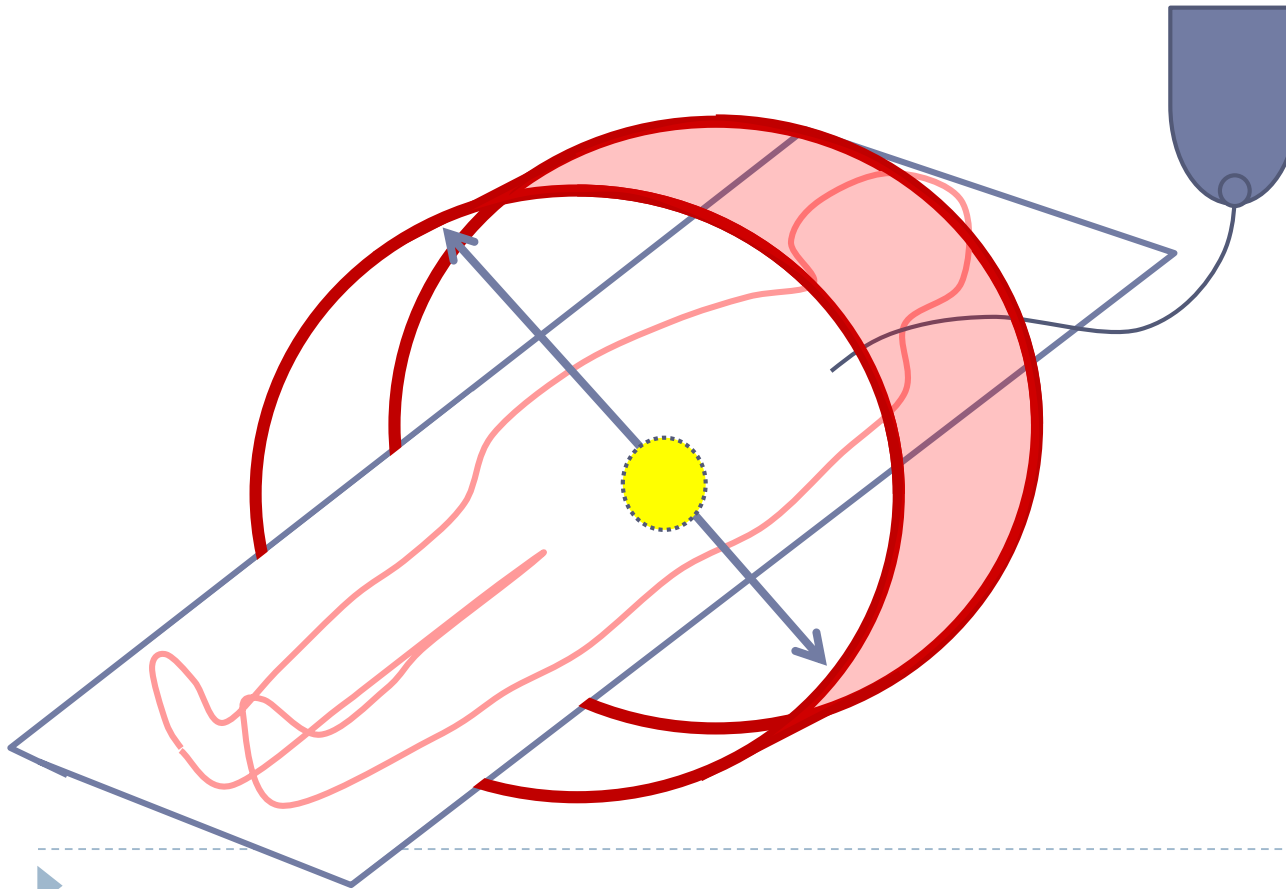




Médecine nucléaire,
scintigraphie, TEP

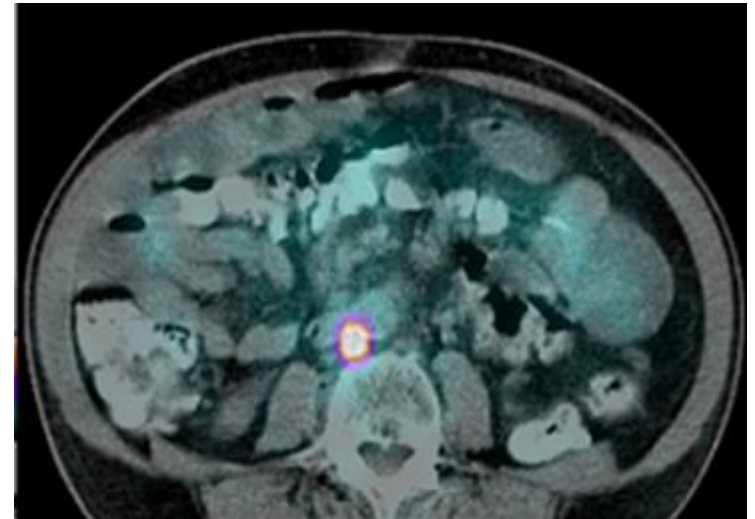
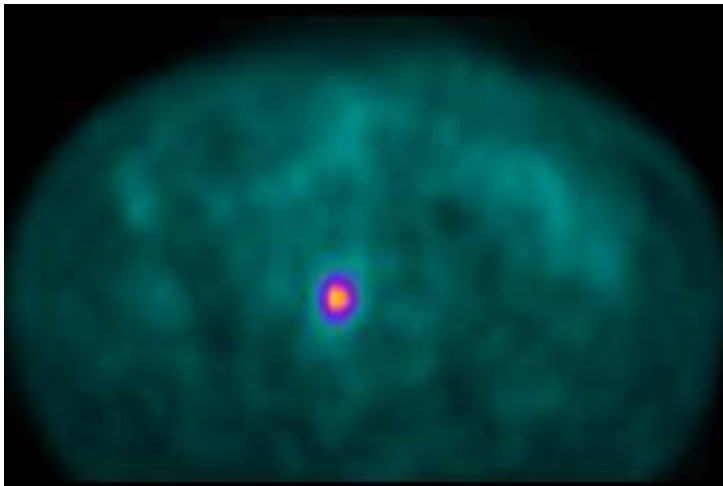
TEP / scintigraphie

- ▶ *Contraste lié à la fixation métabolique par un organe / une tumeur d'un élément radio-actif injectable (traceur)*



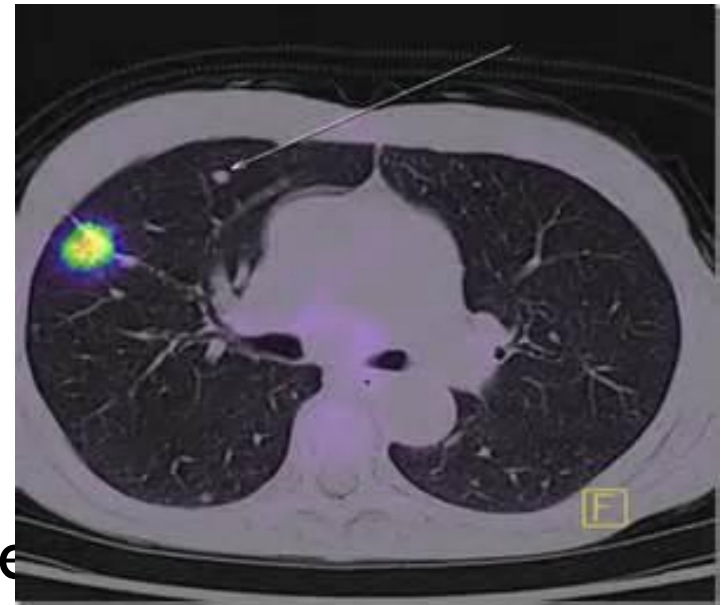
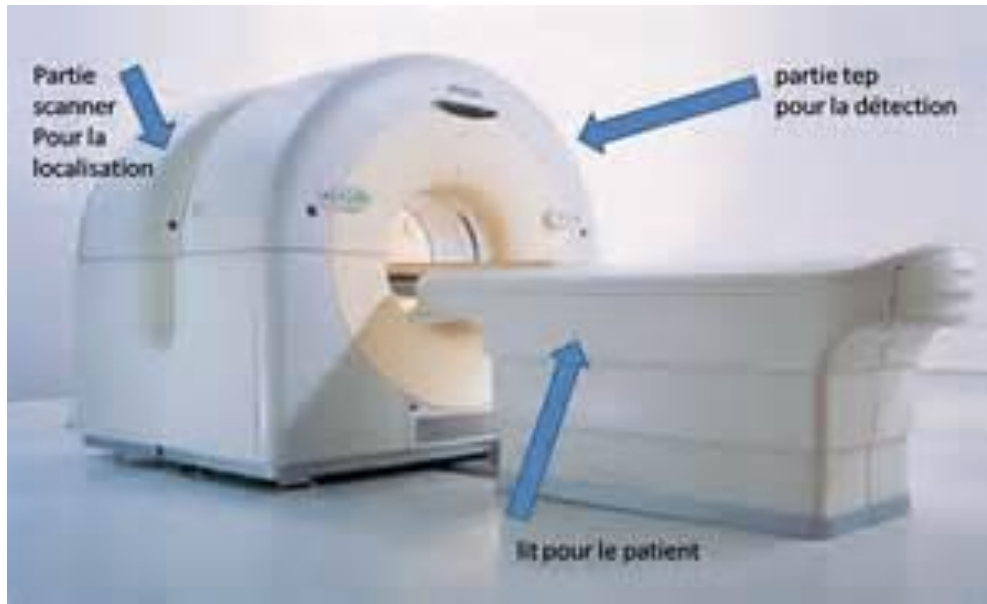
Métabolisme des tissus (TEP)

Consommation de glucose par une tumeur



TEP/scintigraphie : les appareils

Maintenant couplés à un scanner : TEP-scanner



Charlie



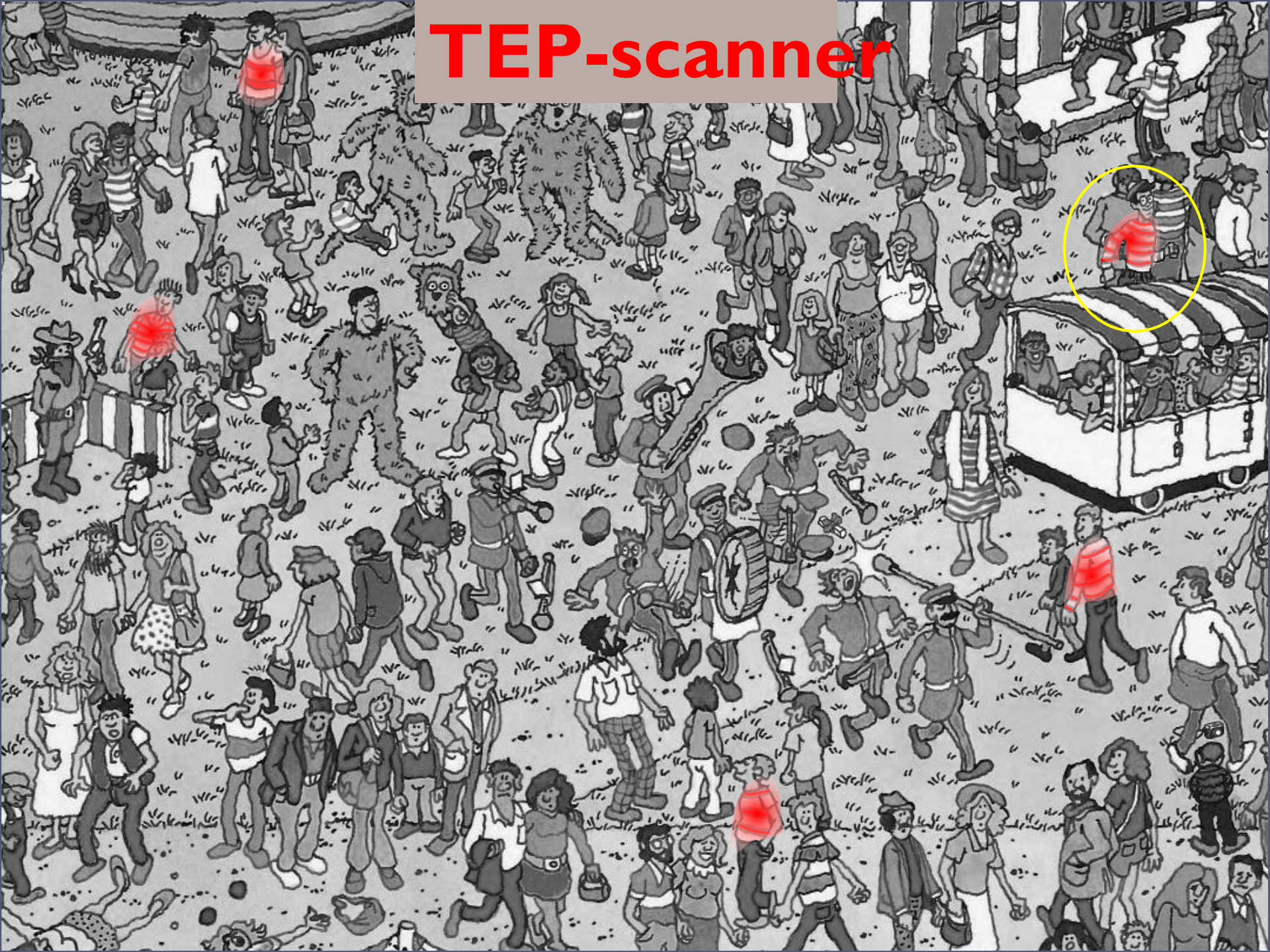
scanner



TEP



TEP-scanner



Avantages et inconvénients respectifs des différentes modalités d'imagerie

Evolution globale de l'imagerie

- ▶ Imagerie morphologique : grossière puis anatomie
- ▶ Imagerie 3D, virtuelle
- ▶ Imagerie fonctionnelle
 - ▶ **Etude de la cinétique des organes** : Imagerie rapide, 4D
 - ▶ **Etude de la perfusion des tumeurs** : Dynamique de la prise de contraste
 - ▶ **Etude de l'activité métabolique des organes ou des tumeurs**
 - ▶ Par l'augmentation locale de la vascularisation (scanner, IRM)
 - ▶ Par l'augmentation locale de la consommation de glucose (TEP)
 - ▶ Par l'identification de certains mécanismes biologiques (scintigraphie)
- ▶ Imagerie histologique
- ▶ Imagerie multimodale



Avantages et inconvénients respectifs des différentes modalités d'imagerie

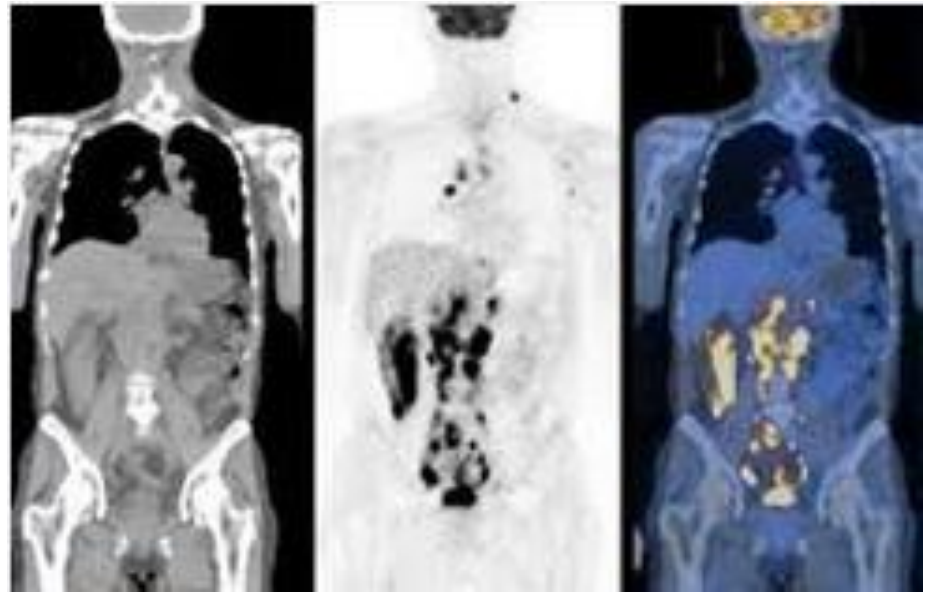
	RX	US	TDM	IRM
+	<ul style="list-style-type: none"> - Accessible - Simple - Rapide - Peu onéreux 	<ul style="list-style-type: none"> - Accessible - non irradiant - rapide et dynamique - résolution spatiale 	<ul style="list-style-type: none"> - imagerie en coupe, - +/- accessible, - résolution spatiale, - pdc, - recon MPR, - exploration exhaustive de l'ensemble du patient, - rapidité acquisition actuelle => moins artefacté par mouvement 	<ul style="list-style-type: none"> - non irradiant - imagerie en coupe, nativement multiplanaire, - résolution en contraste +++, - multimodal (morpho, diff, spectro, irmf) - dynamique
-	<ul style="list-style-type: none"> - Irradiant - imagerie de projection dc peu informatif 	<ul style="list-style-type: none"> - limitée en profondeur - résolution en contraste, - nombreuses zones inexplorable (explo thorax limitée, os, crâne, ...), - variabilité échogénicité patients (tt le monde n'est pas égal devant l'écho), - opérateur dépendant ? (tous le sont) 	<ul style="list-style-type: none"> - irradiant (! Enfants, femmes enceintes, répétition examens : nombres cancers radio induits) - faible résolution en contraste, +/- - imagerie mono modalité (change avec spectral) - pas d'imagerie dynamique (change avec multidecteurs large champ) - risques injection pdc : allergie, diabète, IRC, ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Claustrophobie - Cher - peu accessible - nécessite immobilité malgré progrès séquences rapides, - explo thorax limitée, - contre indications / magnétiques + contraste

=> De plus en plus multimodal

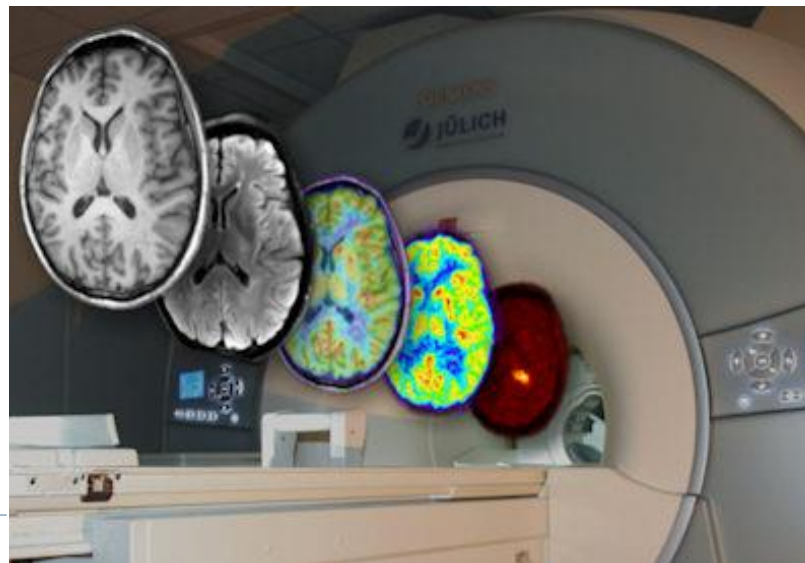
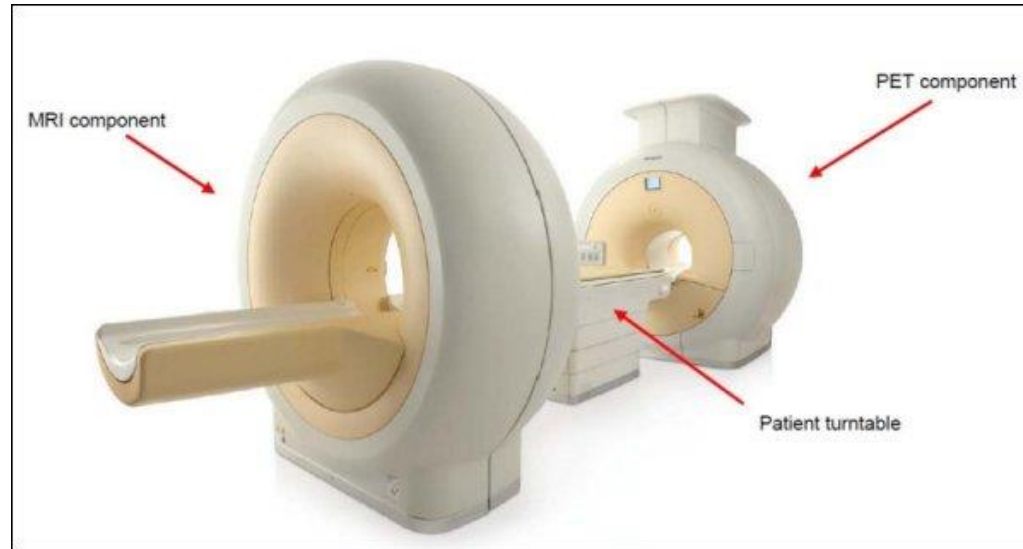


Techniques d'imagerie multimodales

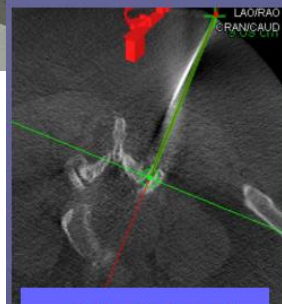
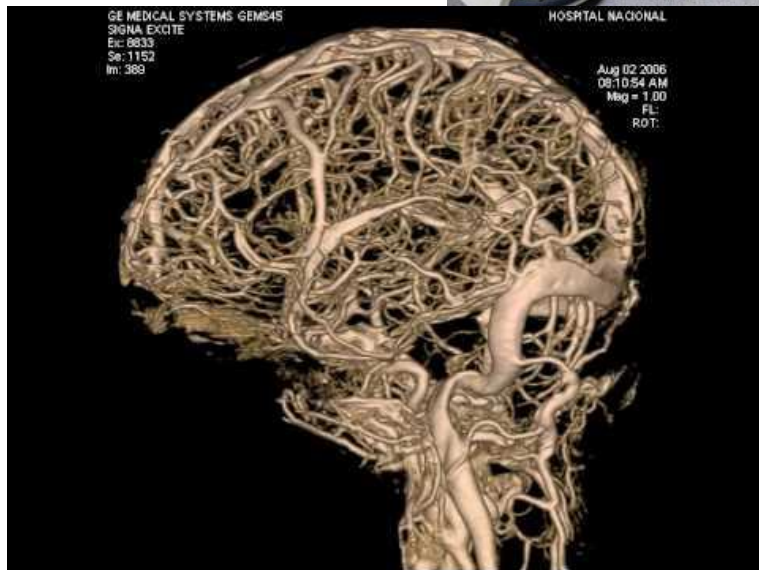
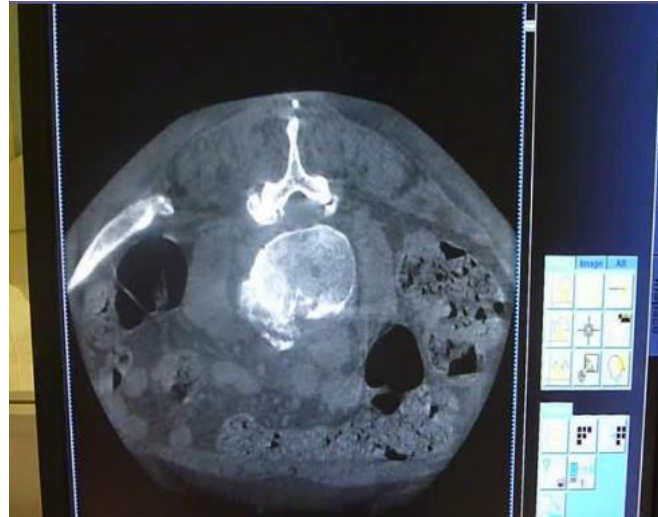
Techniques nativement multimodale : PET scanner



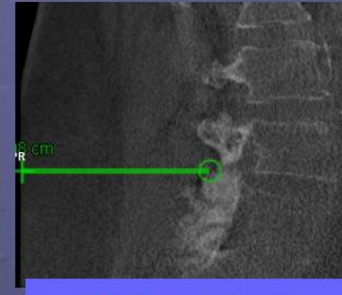
Techniques nativement multimodale : PET - IRM



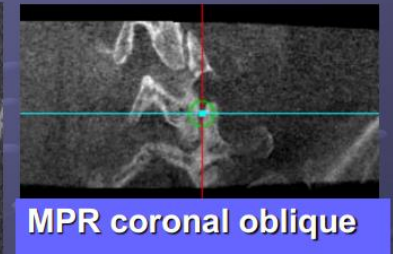
Techniques nativement multimodale : Salle d'artériographie « cone beam ct »



MPR Axial

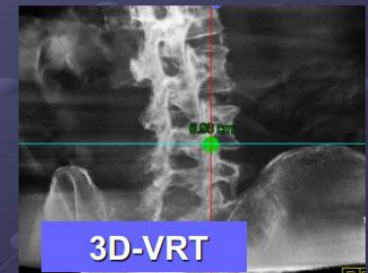


MPR sagittale



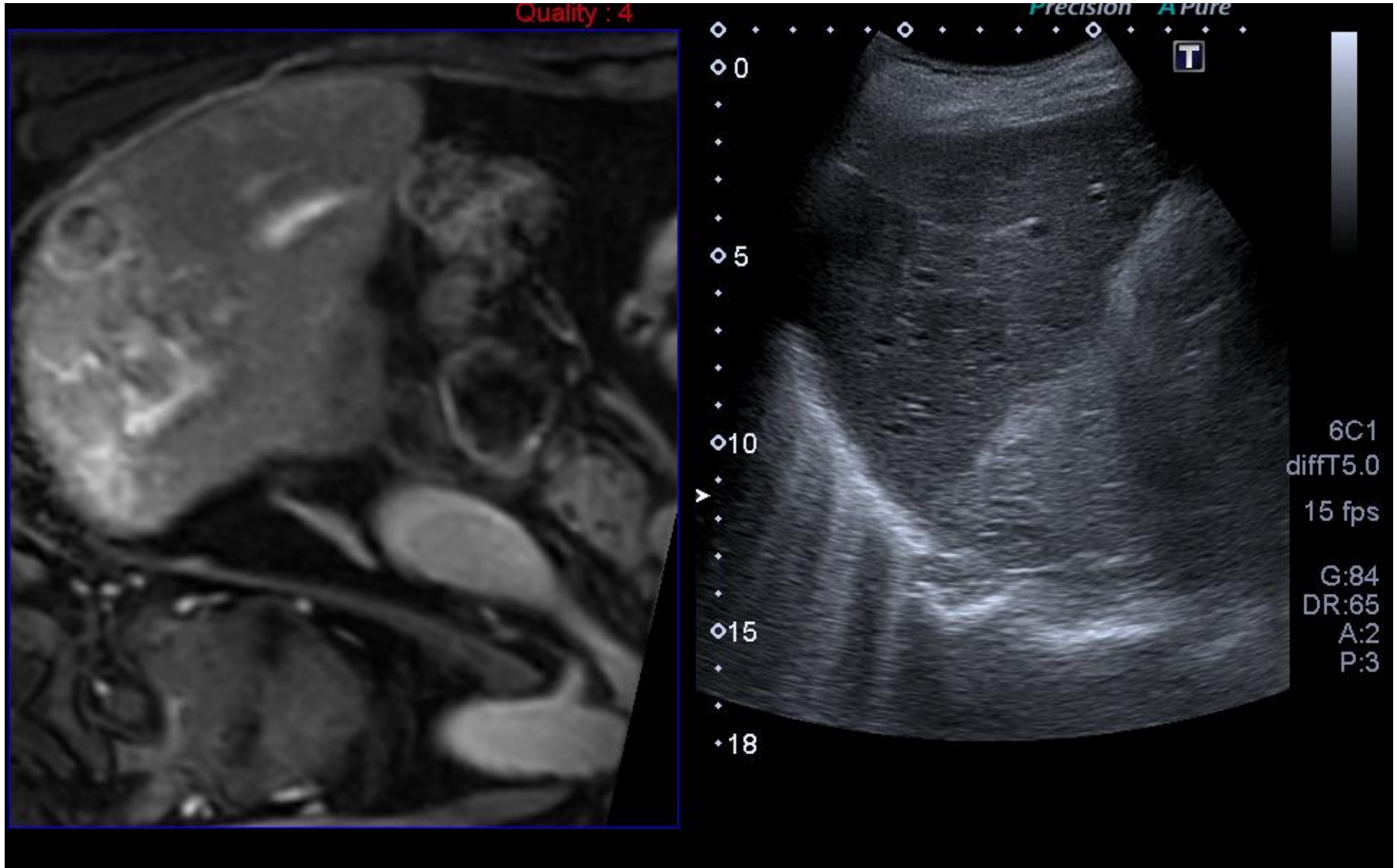
MPR coronal oblique

Planification du trajet de ponction



3D-VRT

Fusion des images en échographie



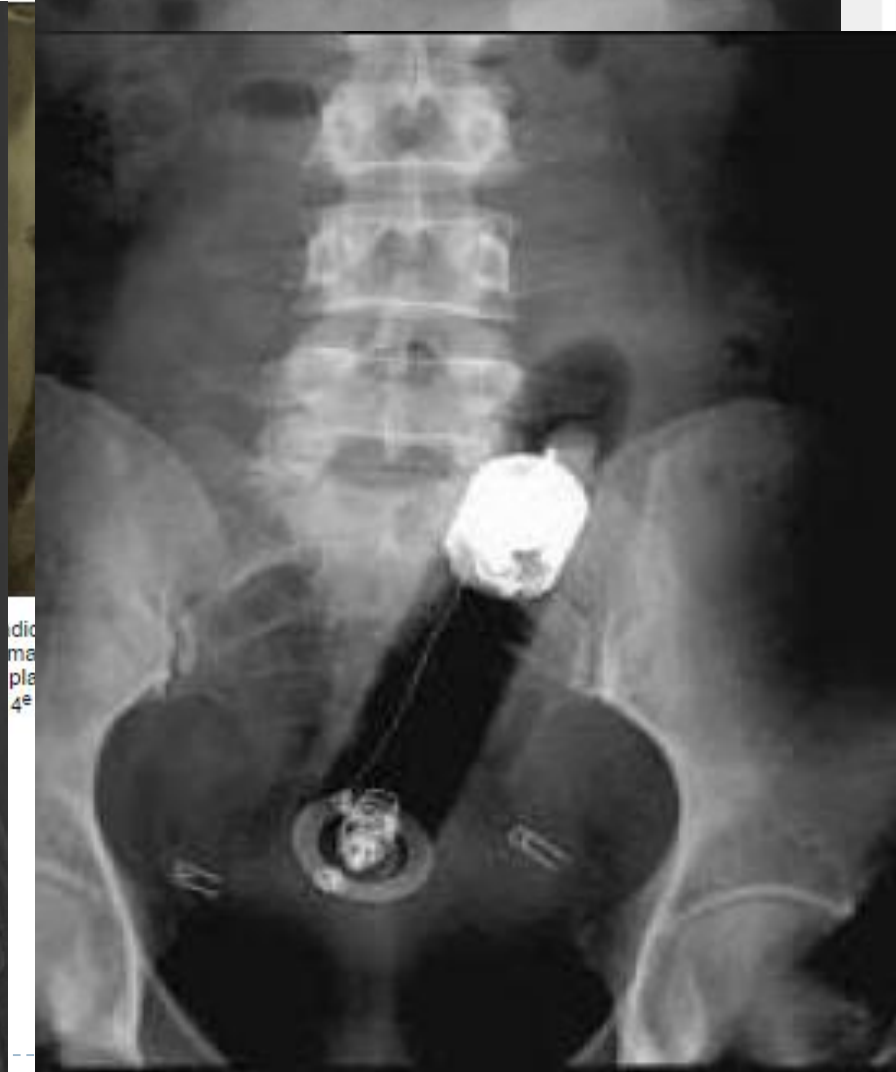
Salles multimodales



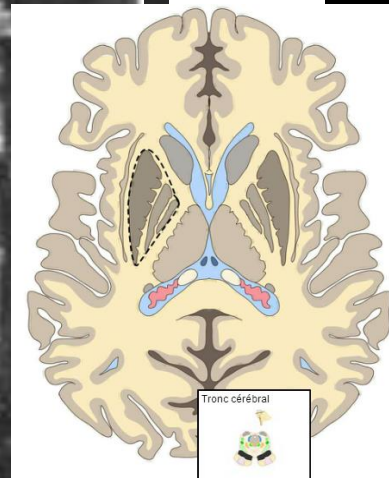
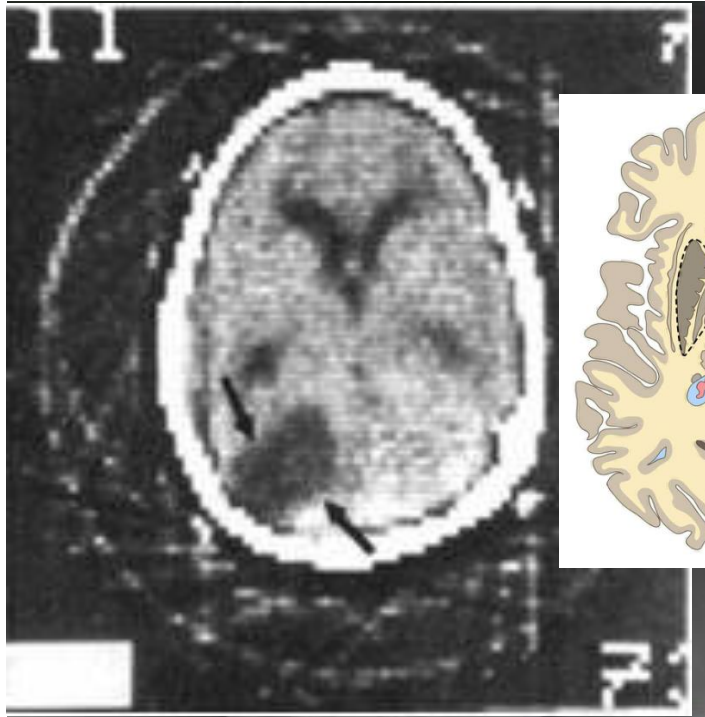
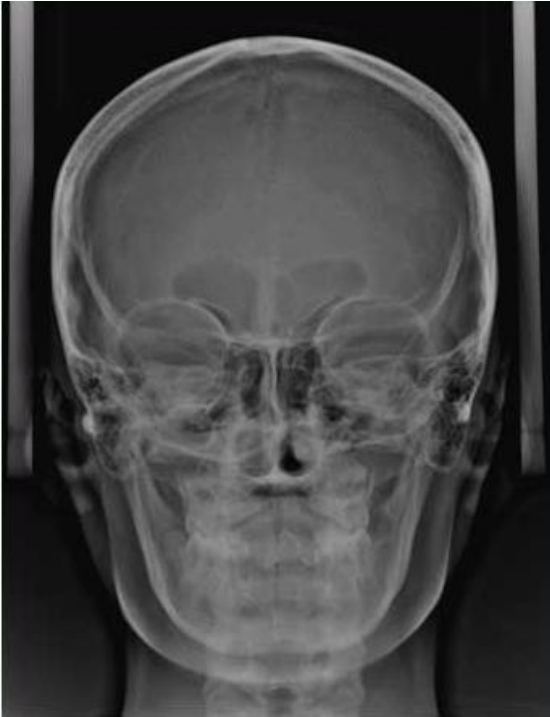
Interêt de l'Imagerie système par
système, indications

L'imagerie ne sert pas qu'à ça

La partie de l'image dont l'axe des ordonnées n'a pas été trouvé dans le fichier.



Neuro : encéphale



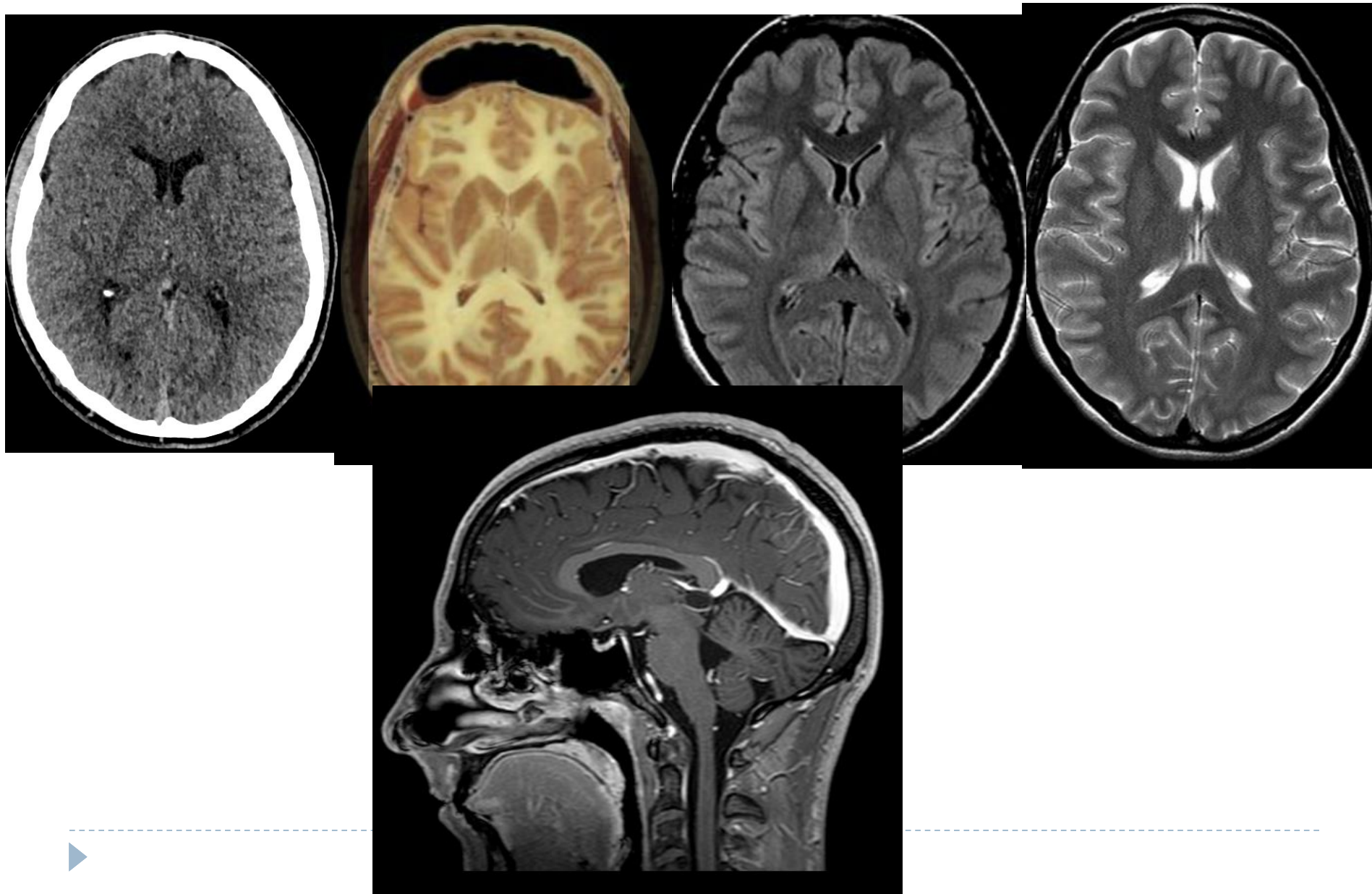
*Scanner de première génération – Baker et Al – CAT in neuro-
ophthalmology - 1974*



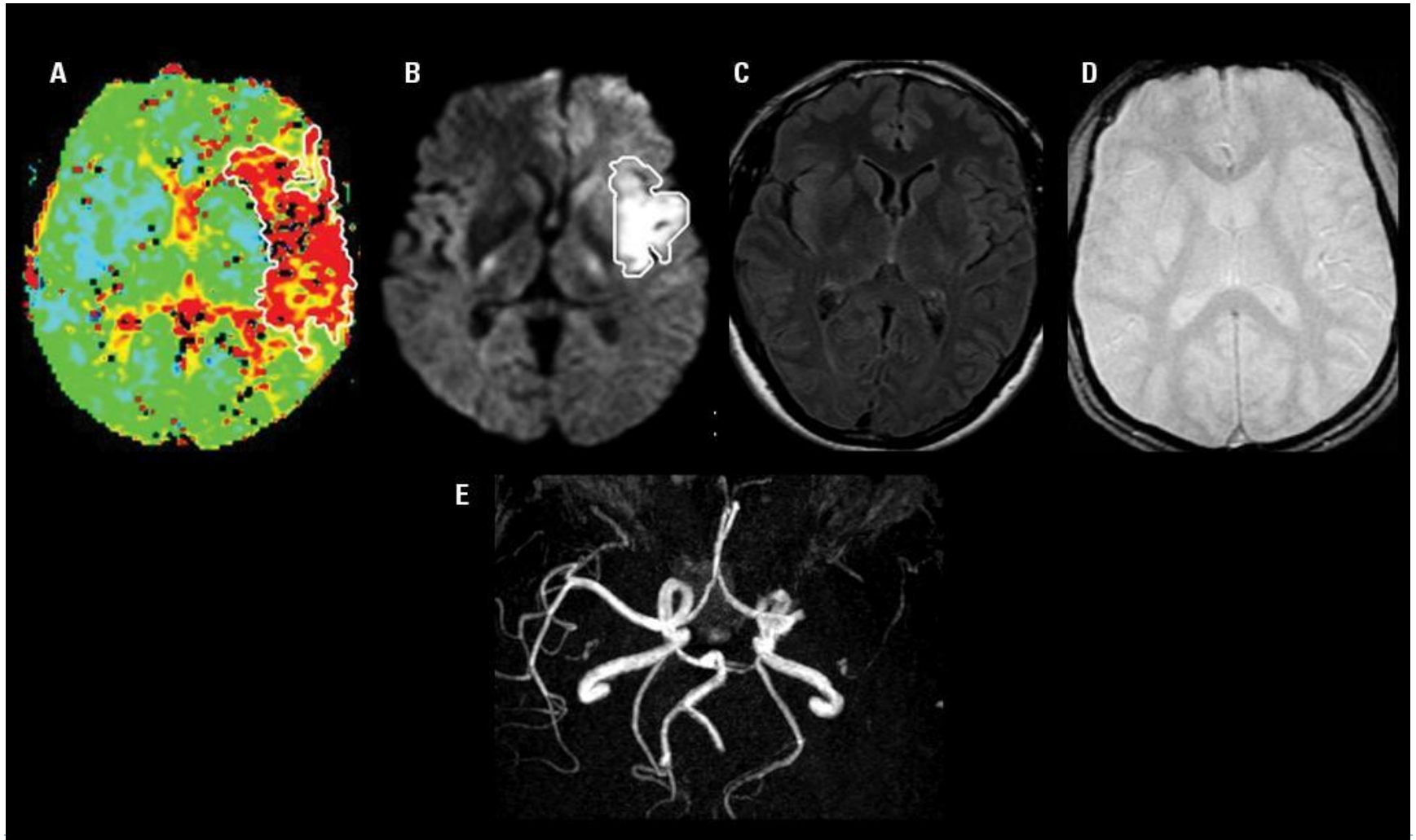
Neuro : encéphale



Neuro : encéphale

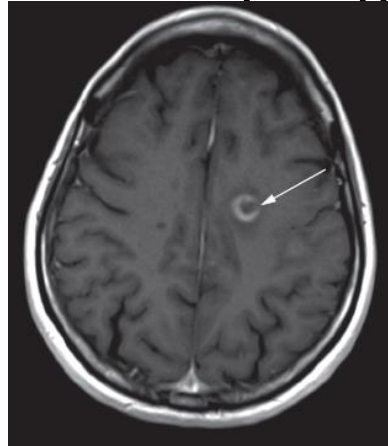


Neuro : l'AVC



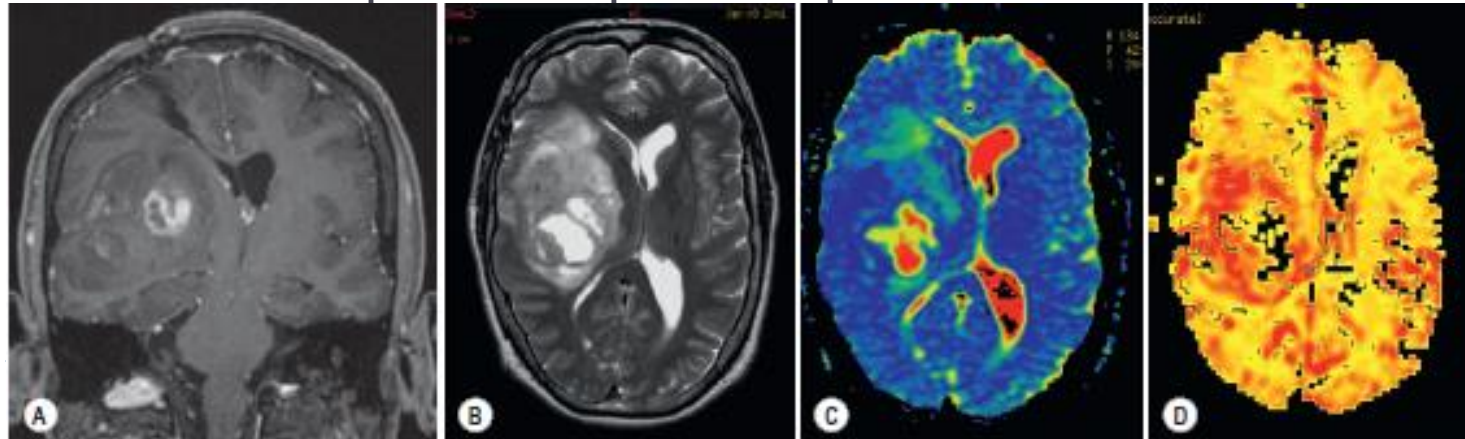
Neuro : dépistage et caractérisation tumeurs

- ▶ Augmentation sensibilité dépistage

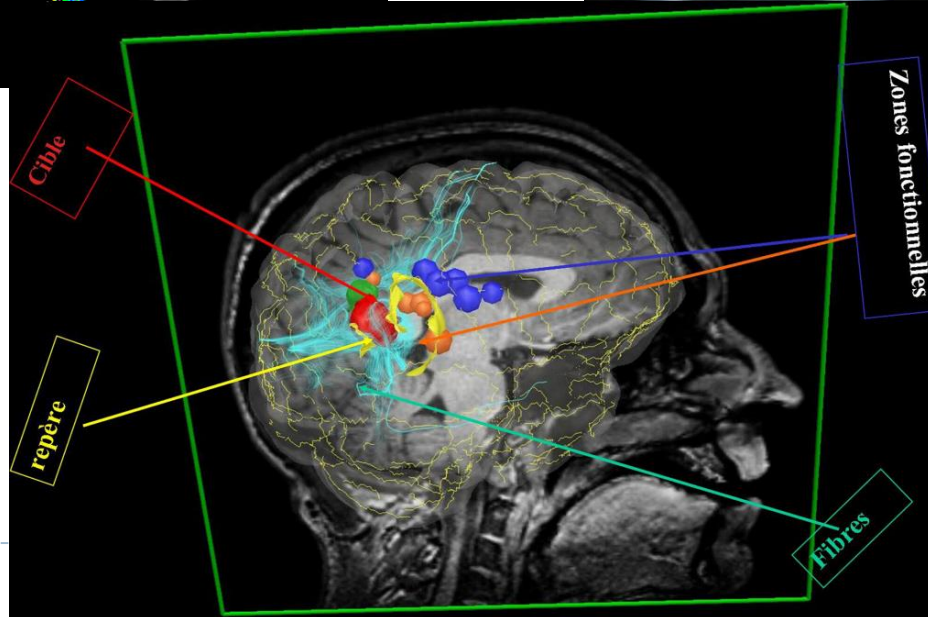
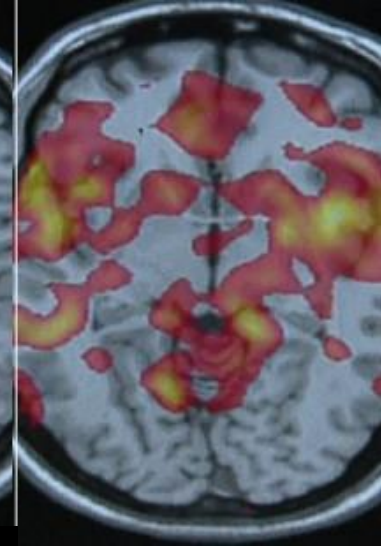
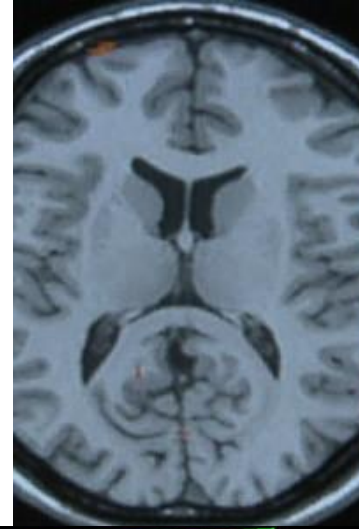
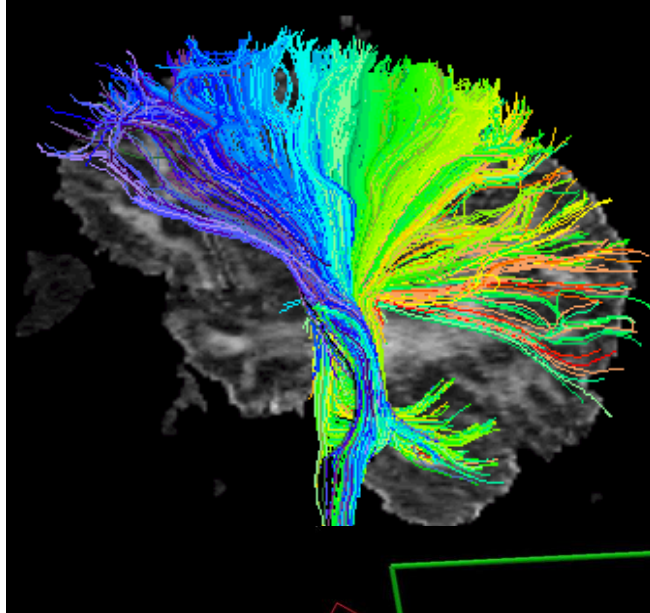


- ▶ Augmentation spécificité

- ▶ Réhaussement, perfusion, spectroscopie



Neuro : bilan préthérapeutique de tumeur : Tracto et IRMf



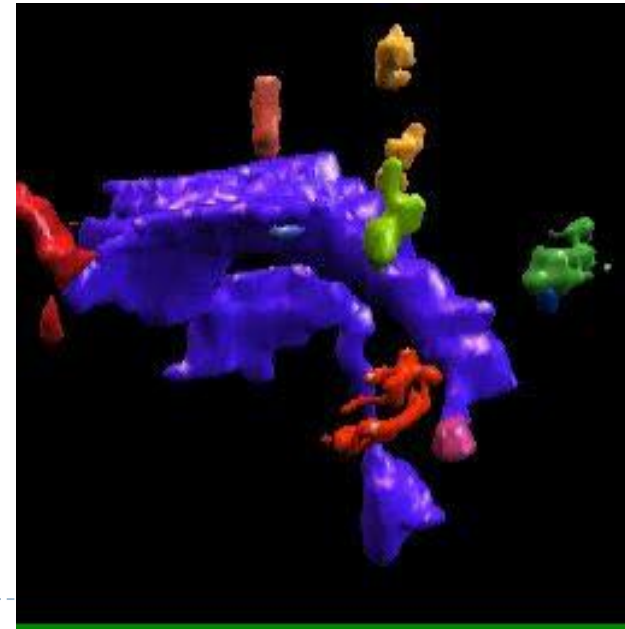
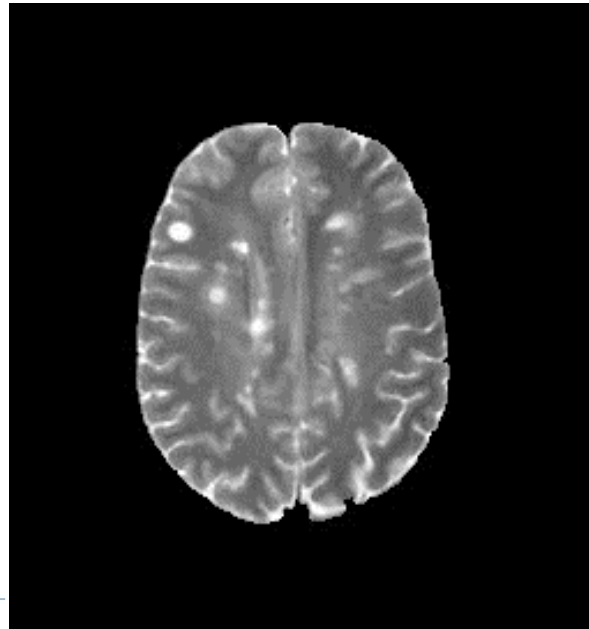
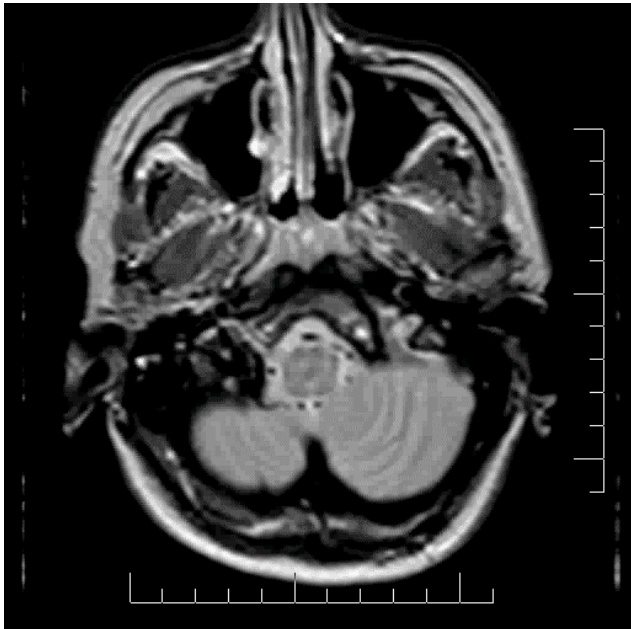
Neuro : Suivi des pathologies

► Sclérose en plaques

Dissémination spatiale

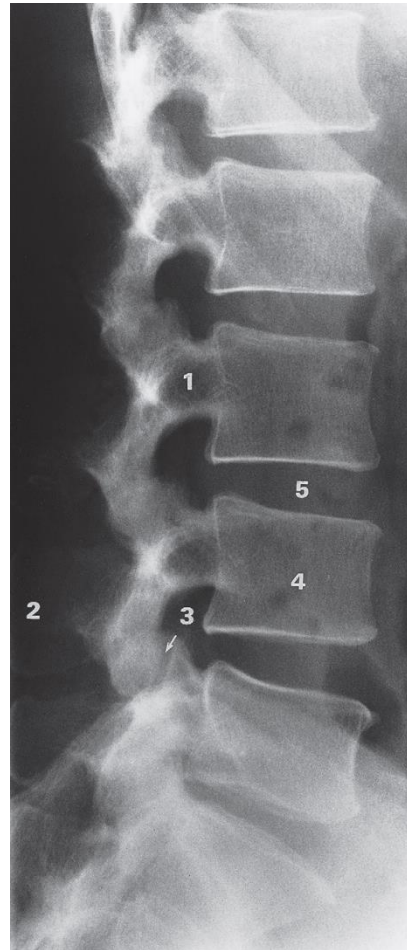
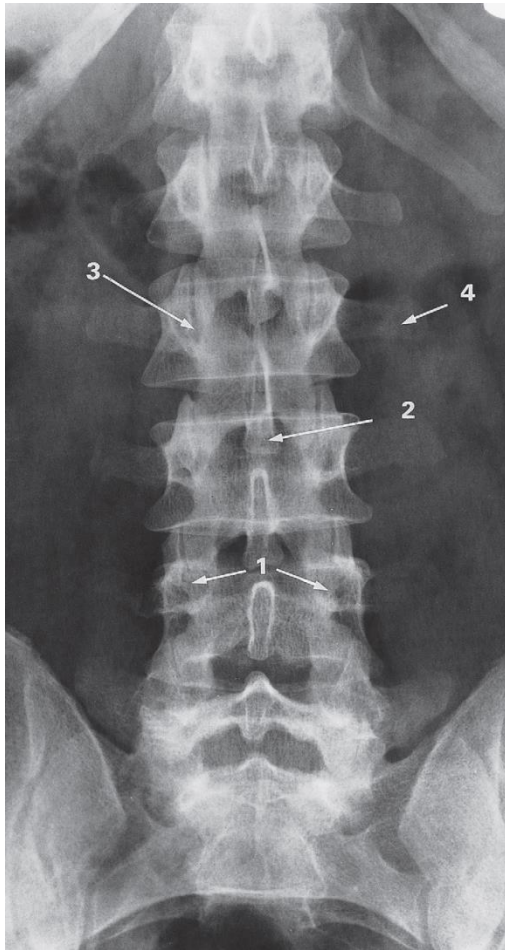
Dissémination temporelle

Recalage quantification

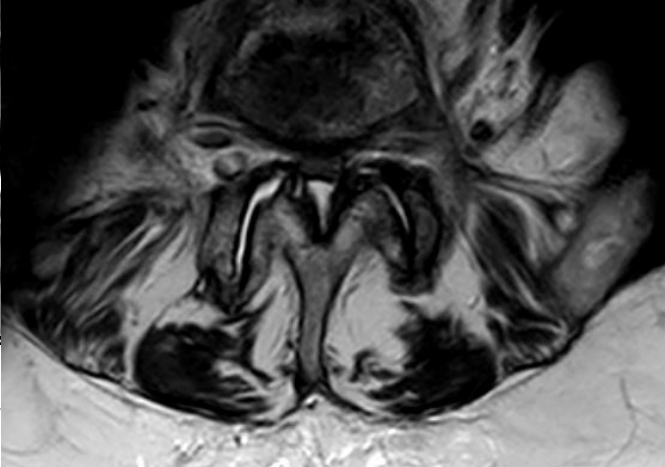
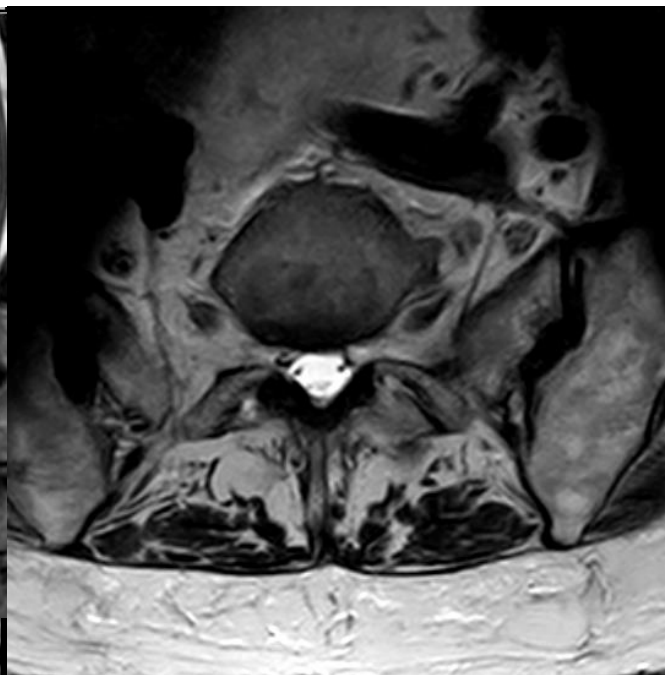
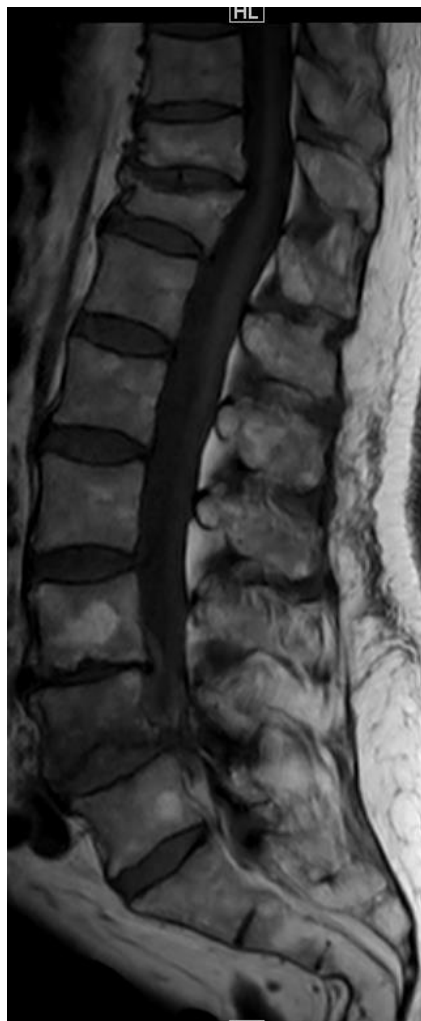


Ostéo articulaire : Rachis

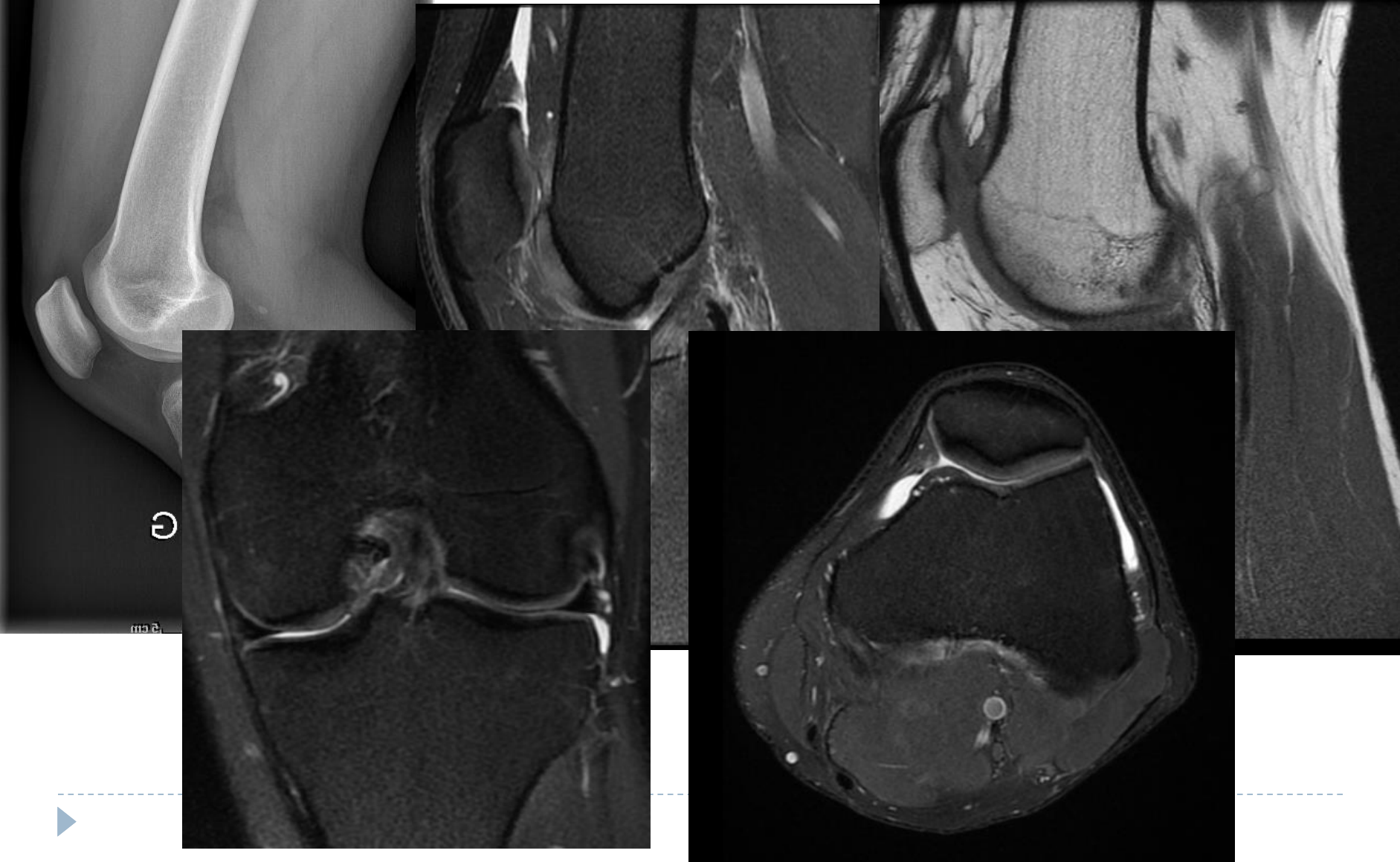
Radiographies standard : conserve une place importante



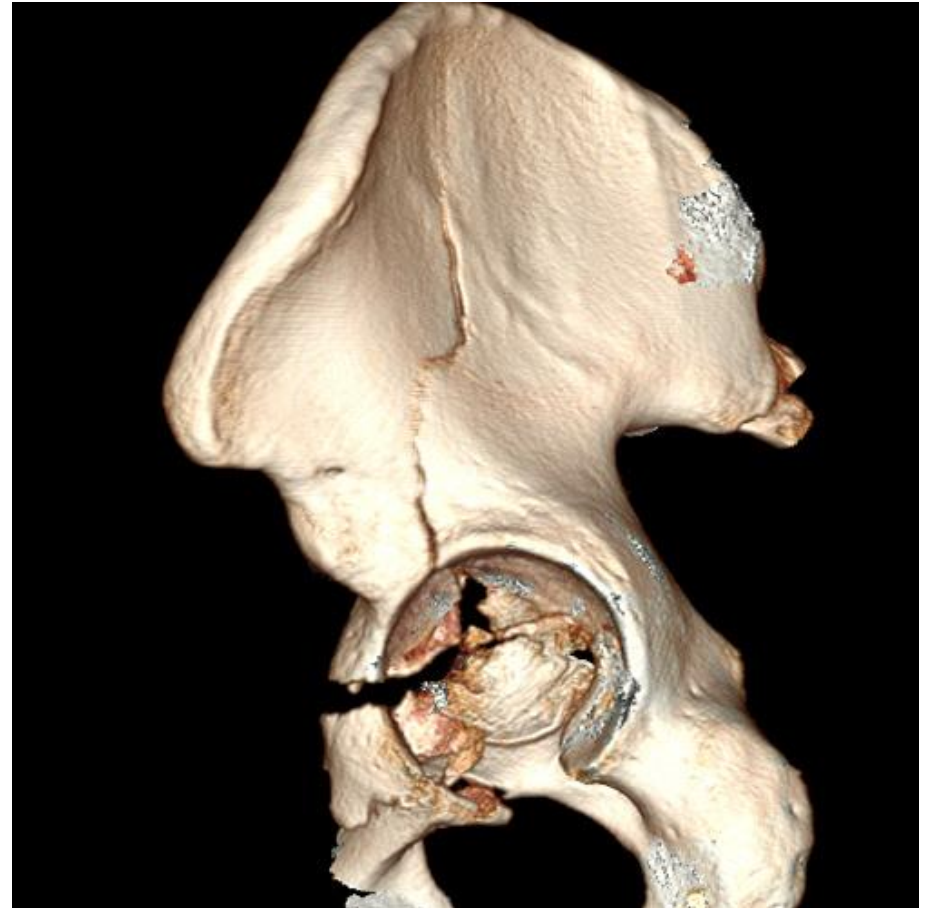
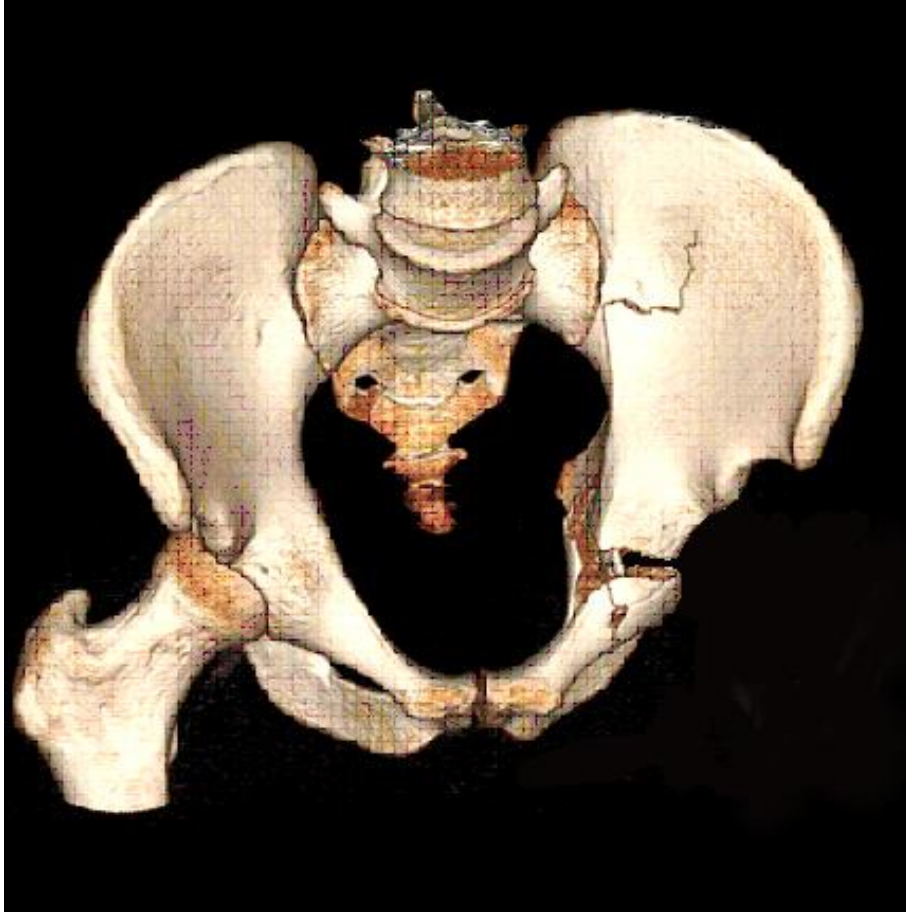
Ostéo articulaire : Rachis



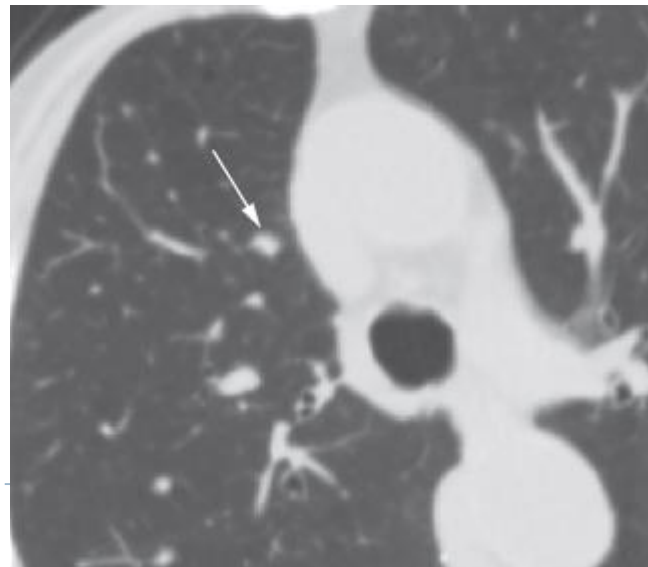
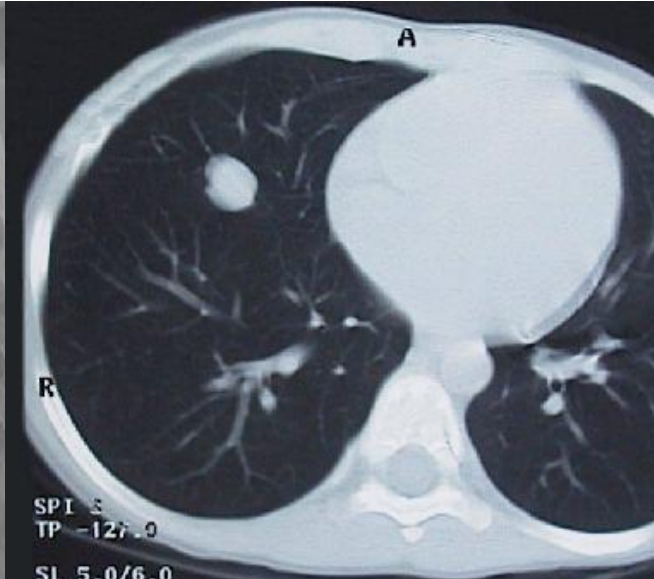
Ostéo – Articulaire : articulations



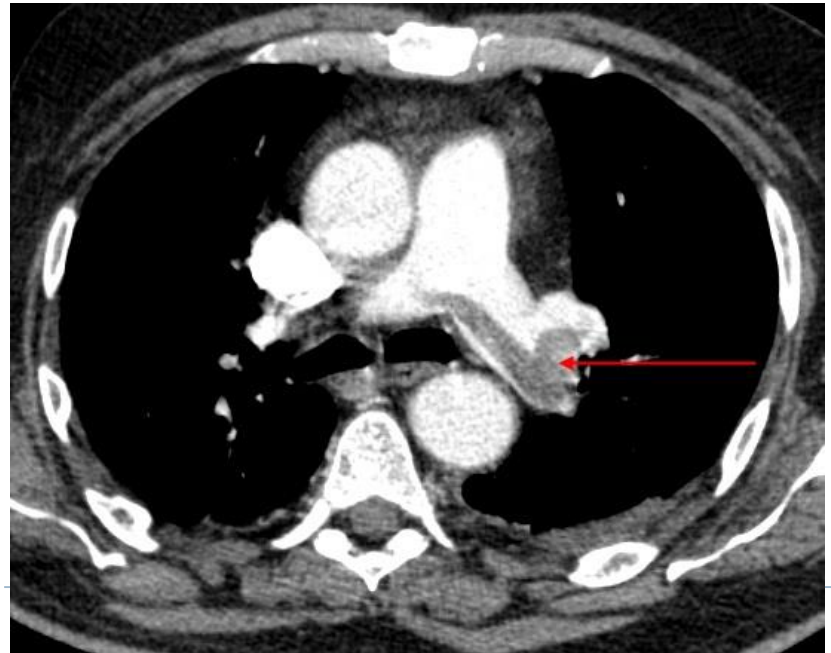
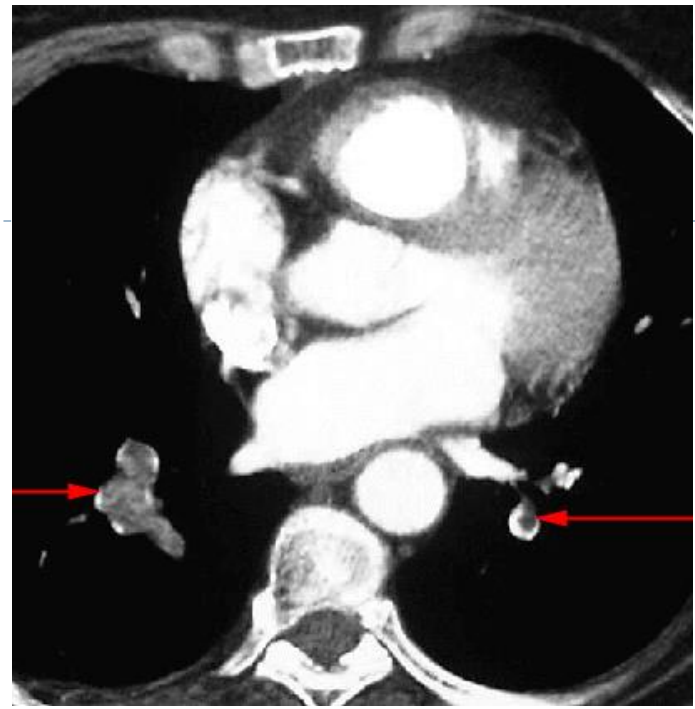
Ostéo – Articulaire : « Chirurgie virtuelle »



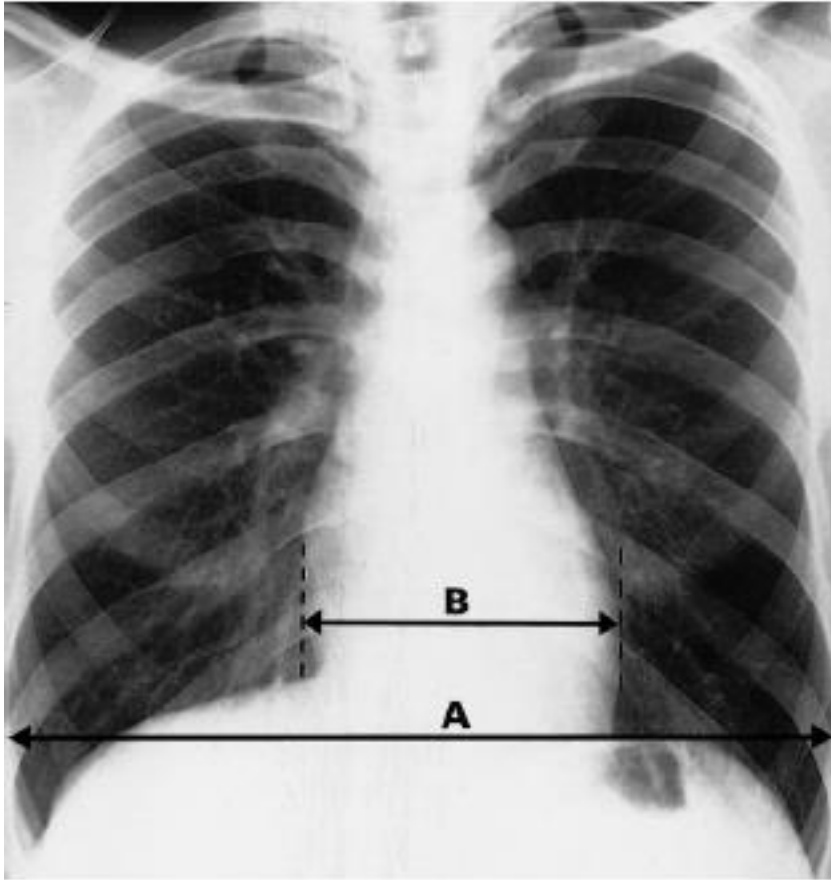
Thorax : masses / nodules



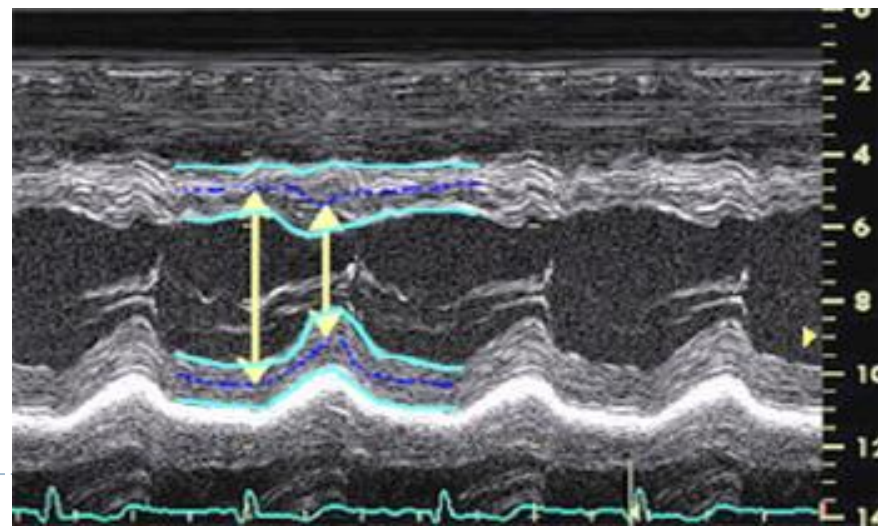
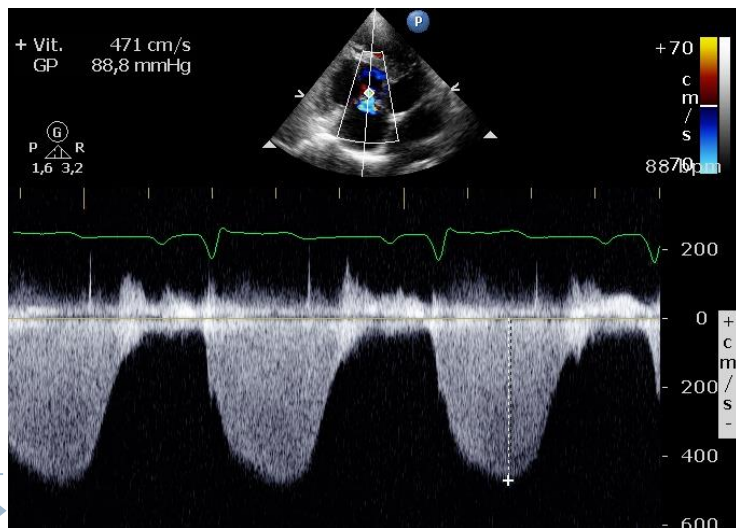
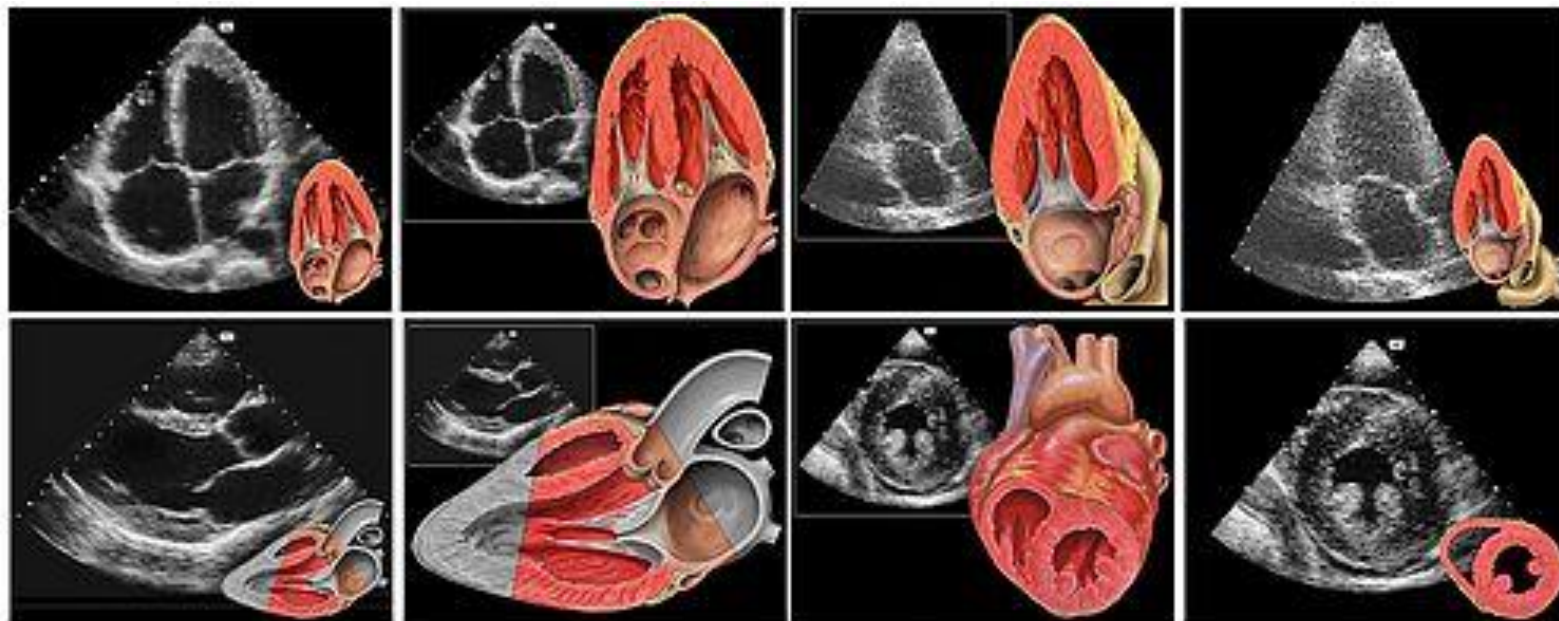
Thorax : embolie pulmonaire



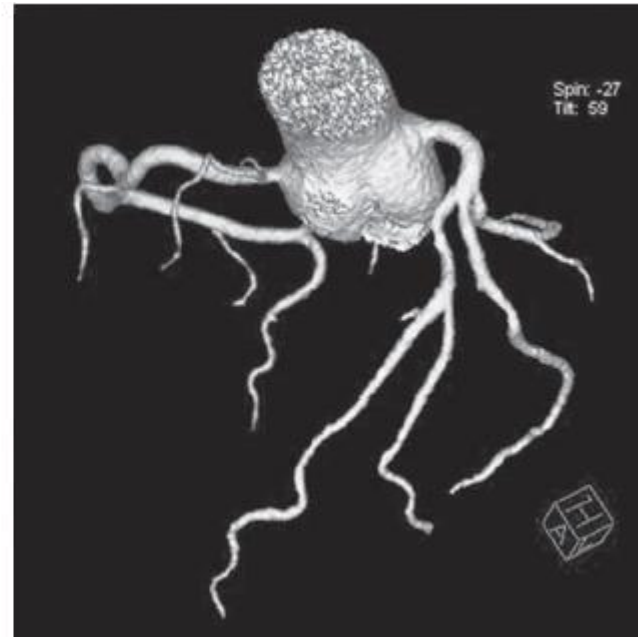
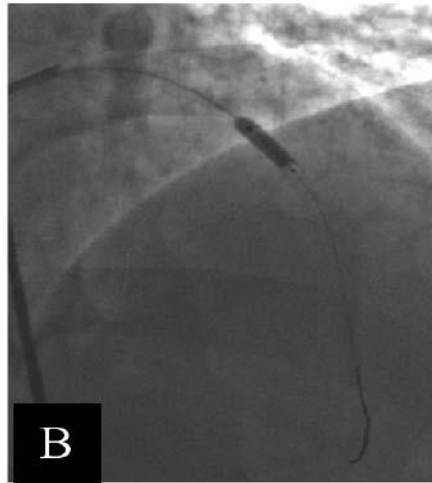
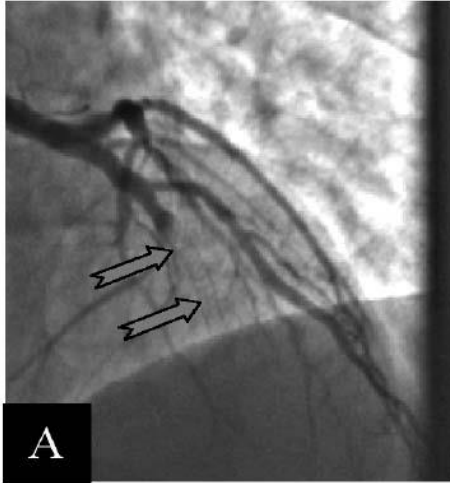
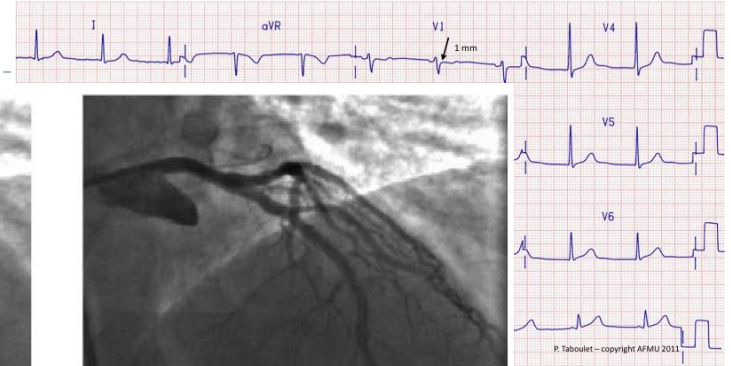
Cardio : les limites de la Rx standard



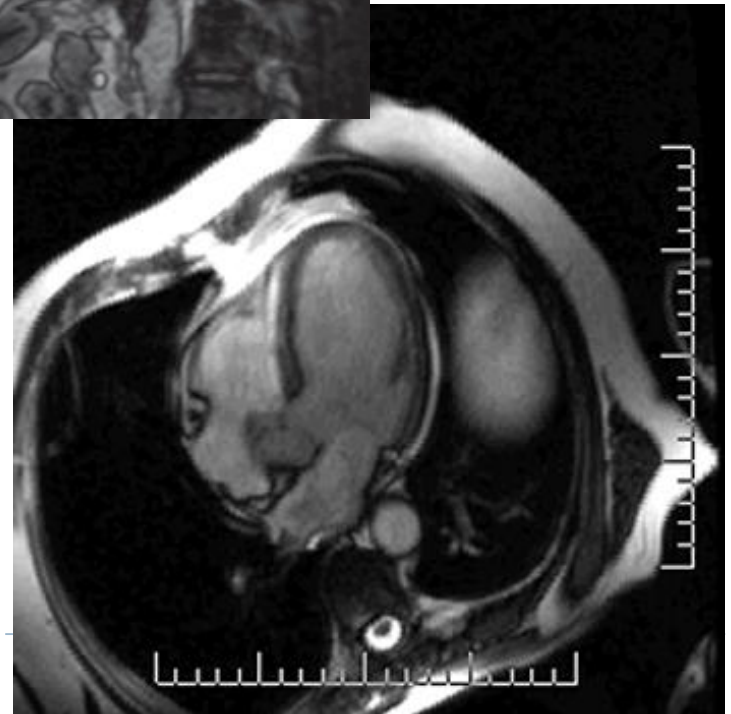
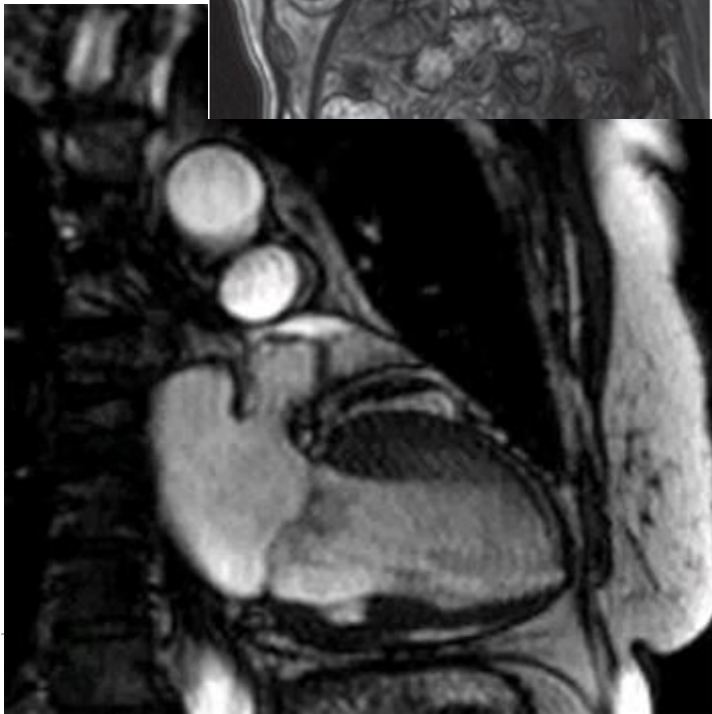
Cardio : echo = examen de 1^{ère} intention



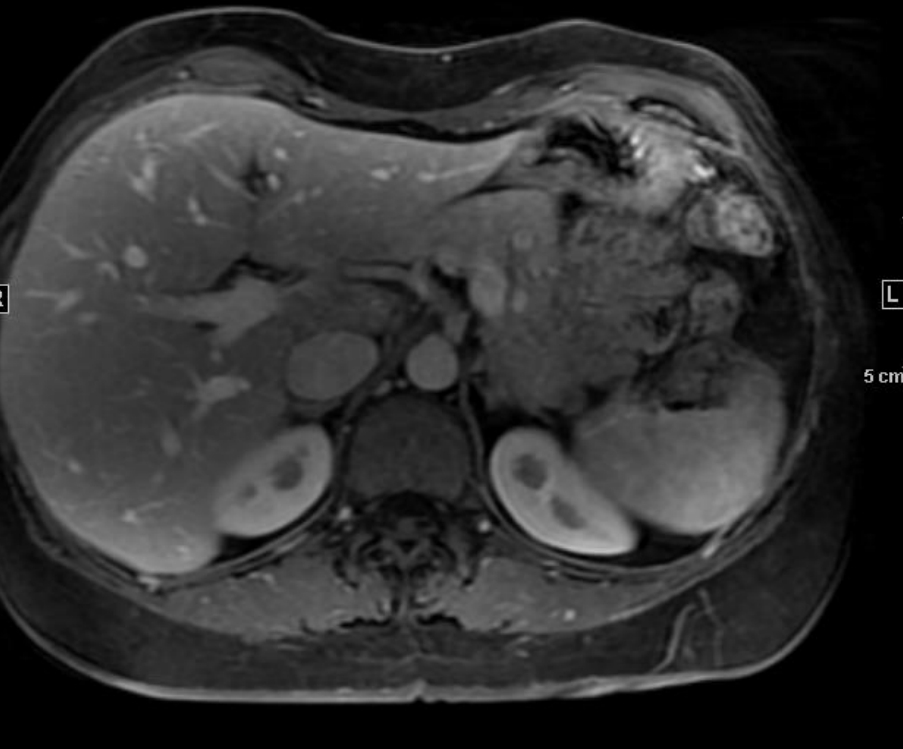
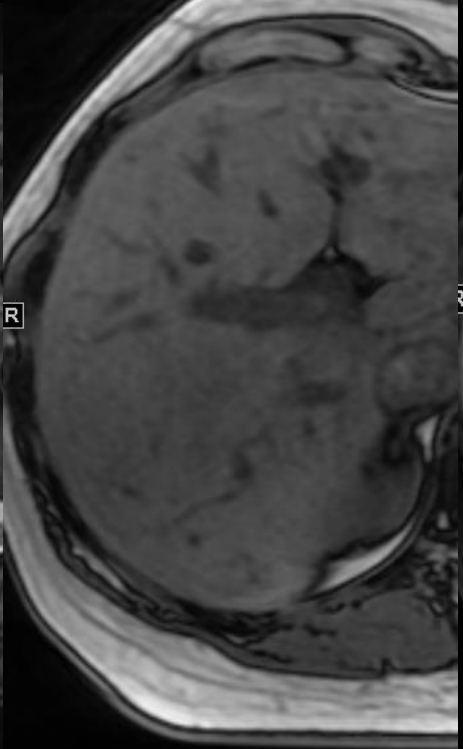
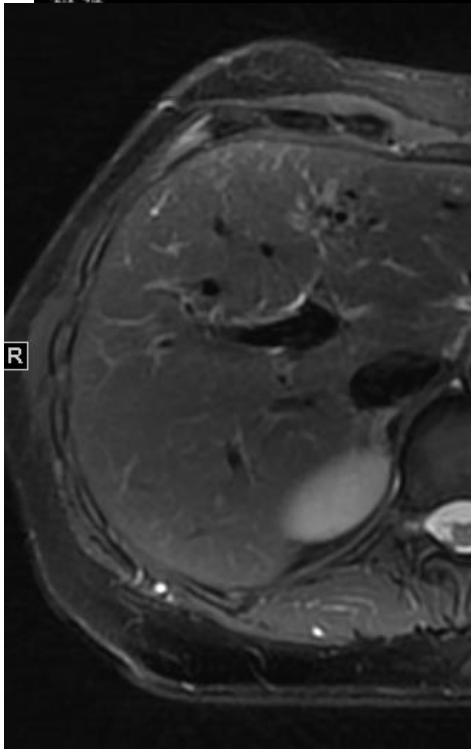
Cardio : infarctus



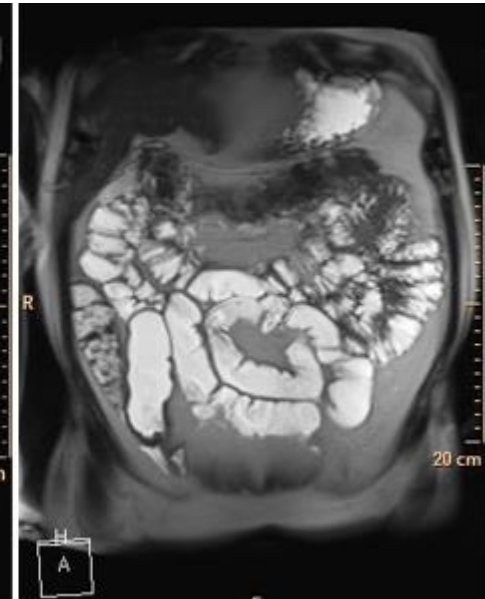
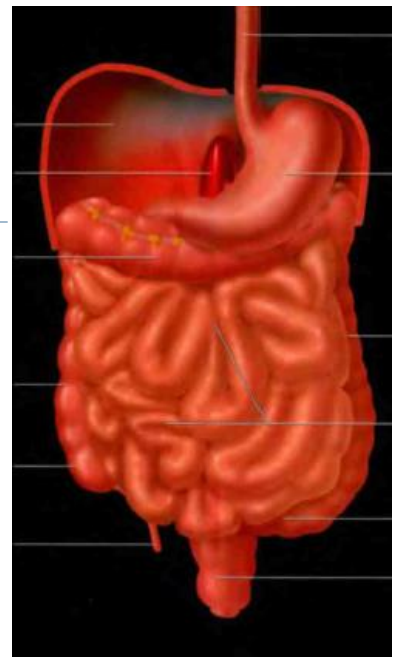
IRM cardiaque



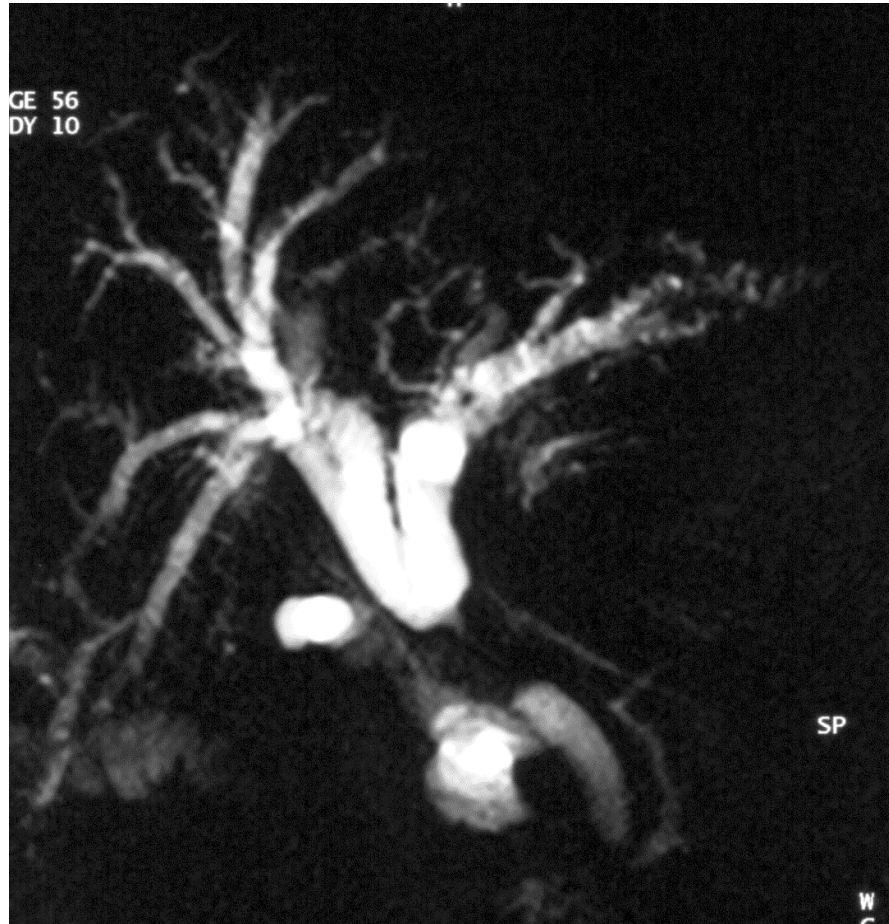
Digestif : foie



Digestif : enteroscanner, entero irm



Digestif : IRM : imagerie canalaire



Obstétrique : Réalité virtuelle

Des « objets » que l'on peut voir bouger en temps réel

Détection des contours

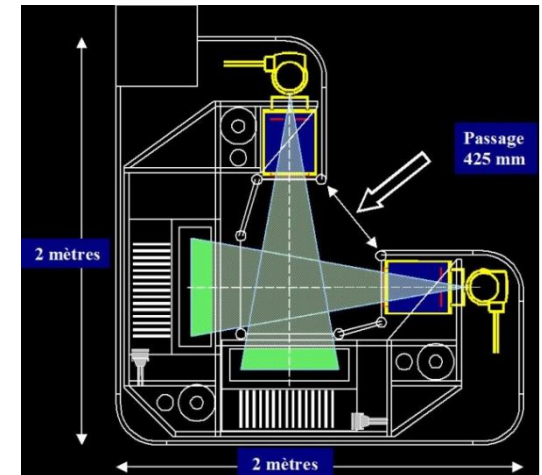
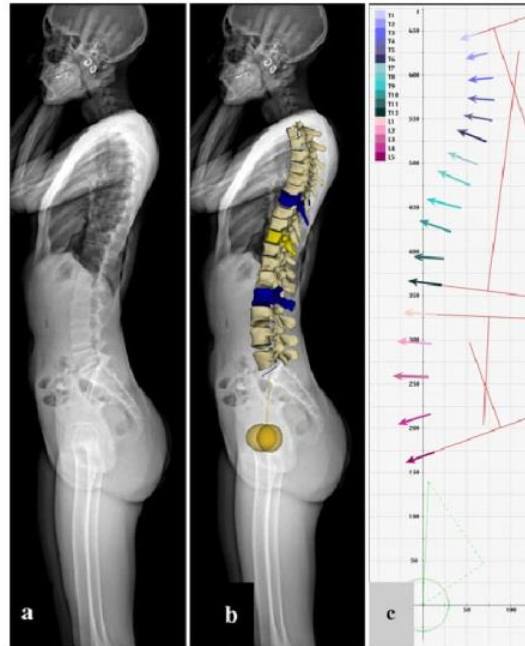
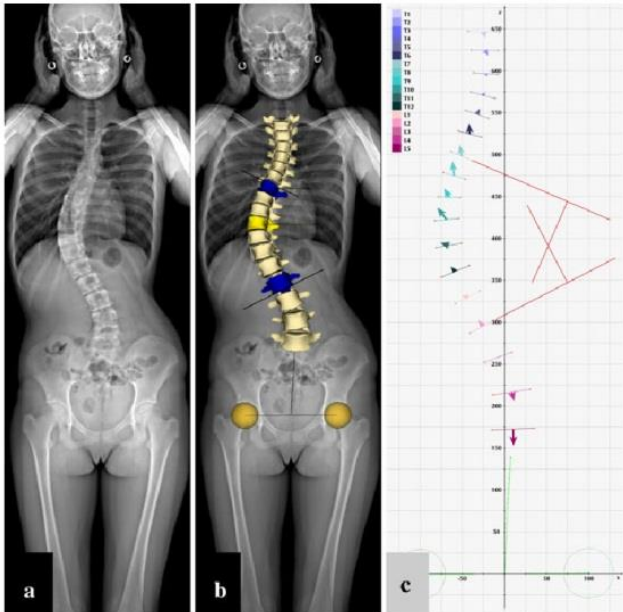


4D



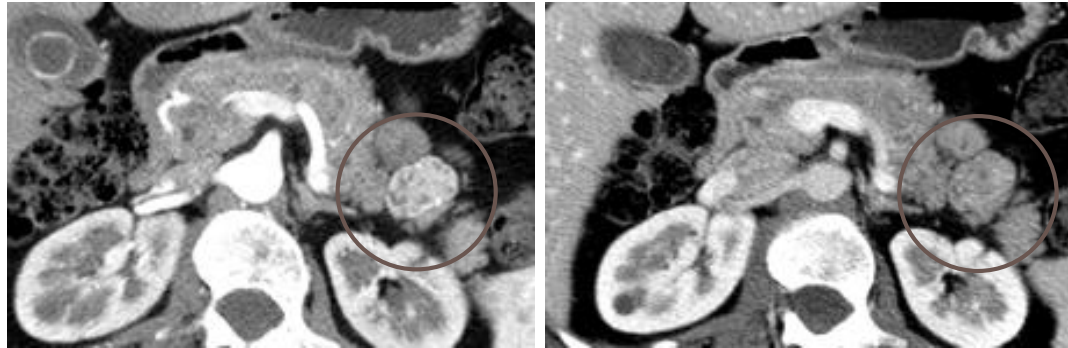
Pédiatrique

- ▶ Privilégier les techniques non irradiantes
- ▶ Echo : tranfontanellaire
- ▶ IRM : pour tout
- ▶ Rx et scan : principe ALARA
- ▶ EOS : ALARA poussé à l'extrême

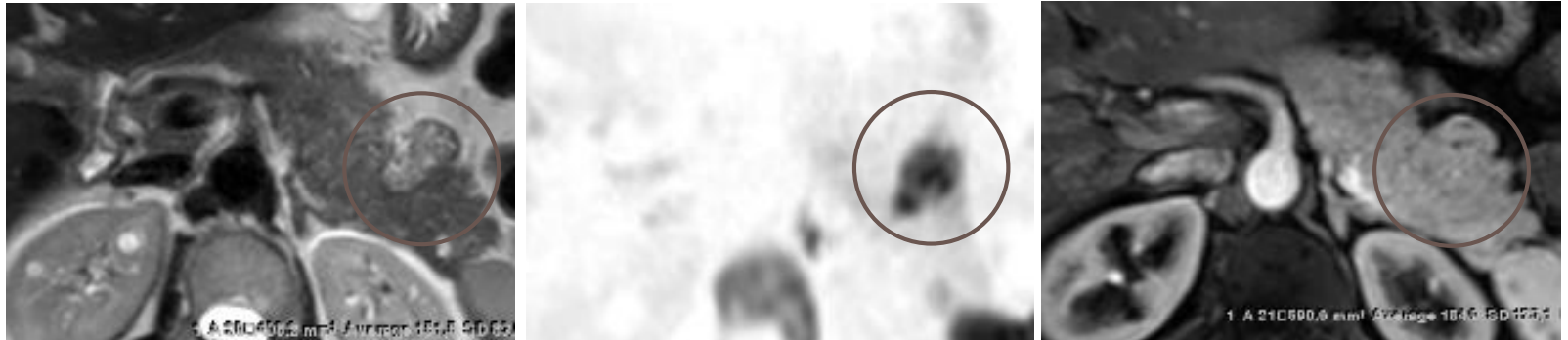


Cancéro : Diagnostic des tumeurs

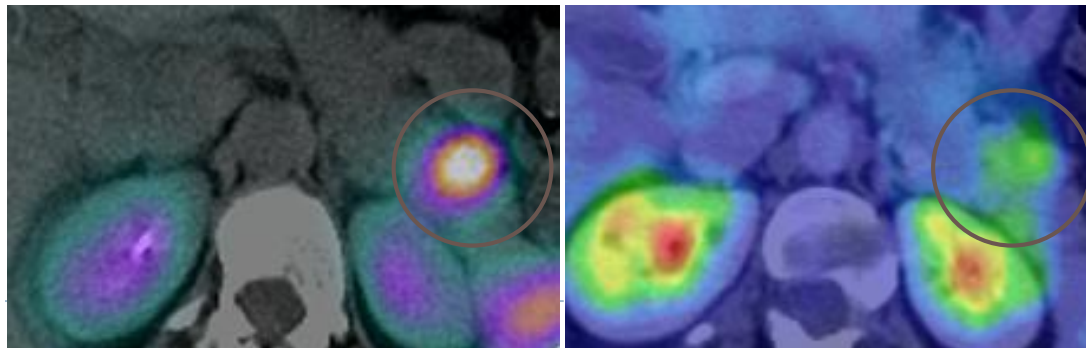
Scanner



IRM



MN

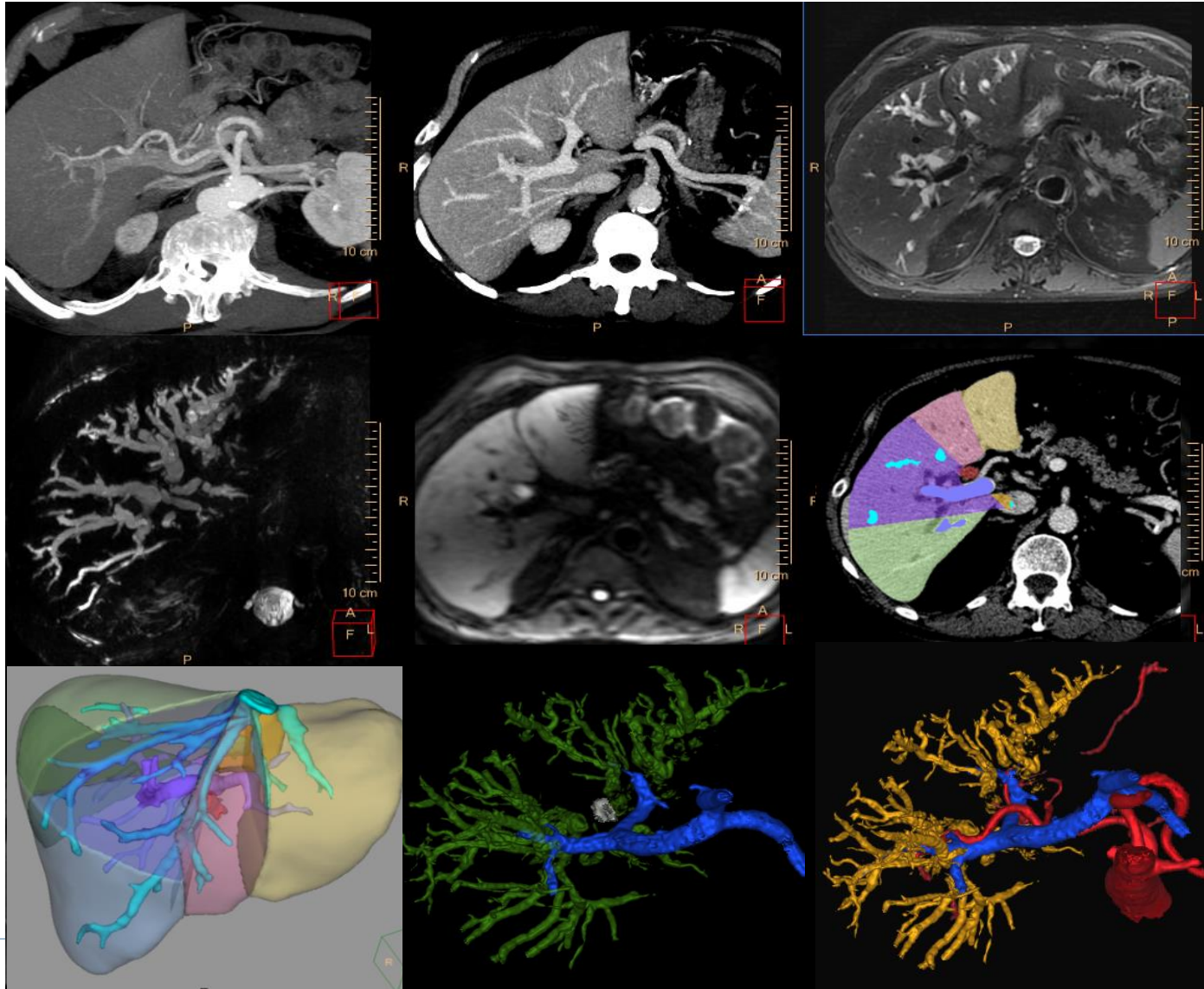


Prélèvements guidés par l'image

- ▶ film

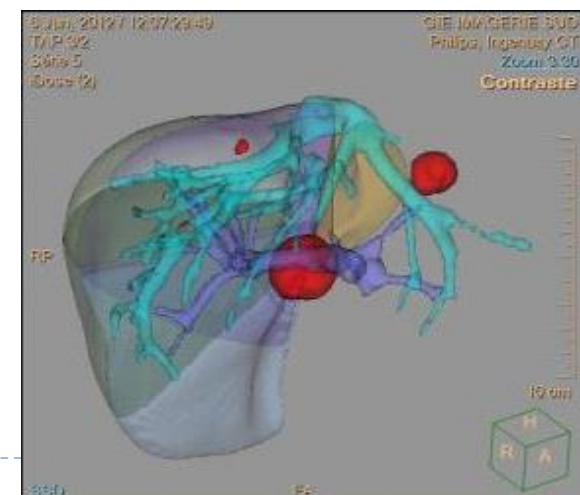
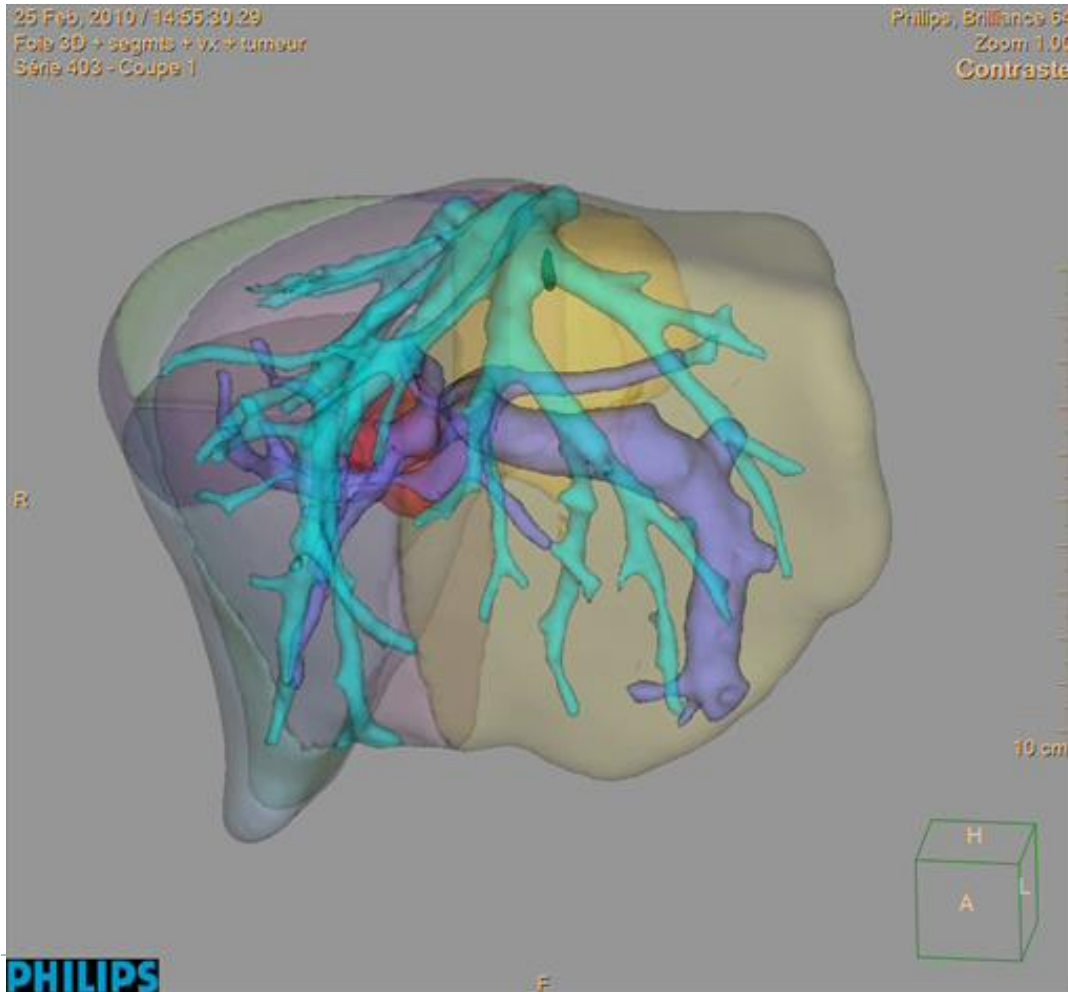


Cancéro : Extension des tumeurs



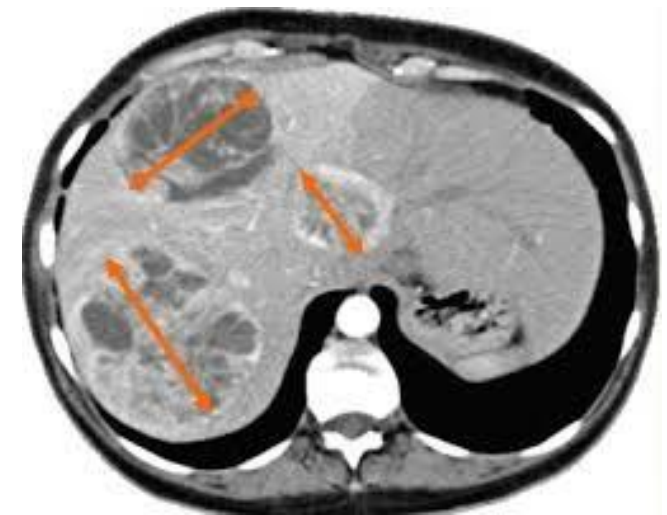
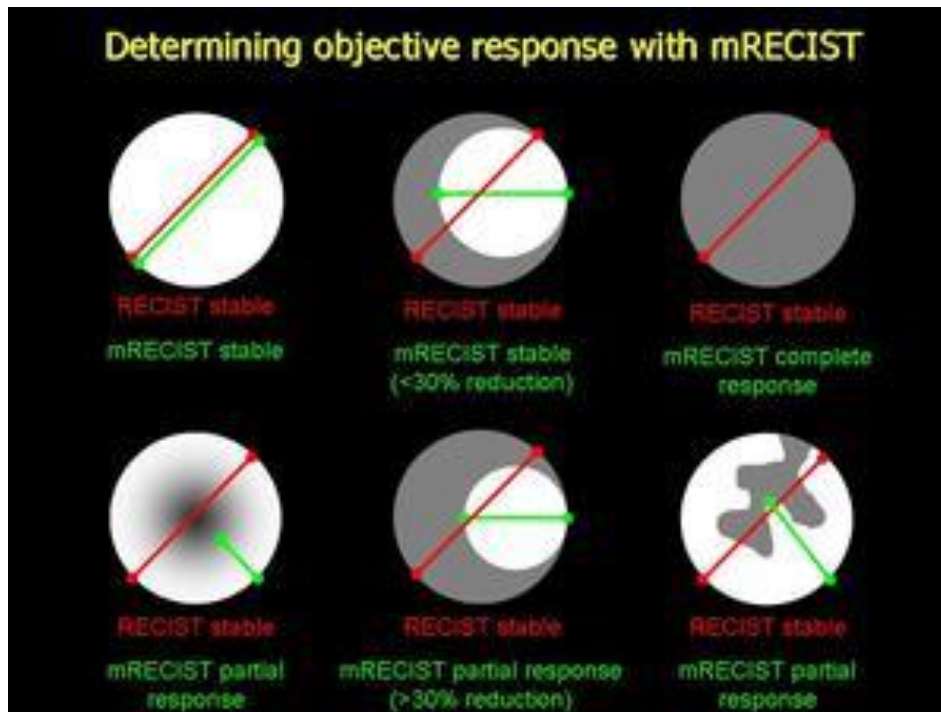
Cancéro : « Chirurgie virtuelle »

► Hépatectomie



Cancéro : suivi

- ▶ Suivi longitudinal : comparaison évolution lésions au cours du temps pour objectiver l'efficacité (ou l'inefficacité d'une chimiothérapie)
 - ▶ Taille critères RECIST
 - ▶ Réhaussement : mRECIST



RECIST 1.1. Overall Response Tables

Target Lesion	Nontarget Lesion	New Lesion	Overall Response
CR	CR	No	CR
CR	Non-CR/non-PD	No	PR
CR	NE	No	PR
PR	Non-PD or NE	No	PR
SD	Non-PD or NE	No	SD
Not all evaluated	Non-PD	No	NE
PD	Any	Yes or No	PD
Any	PD	Yes or No	PD
Any	Any	Yes	PD

CR – complete response

SD – stable disease

NE – non-evaluable

PR – partial response

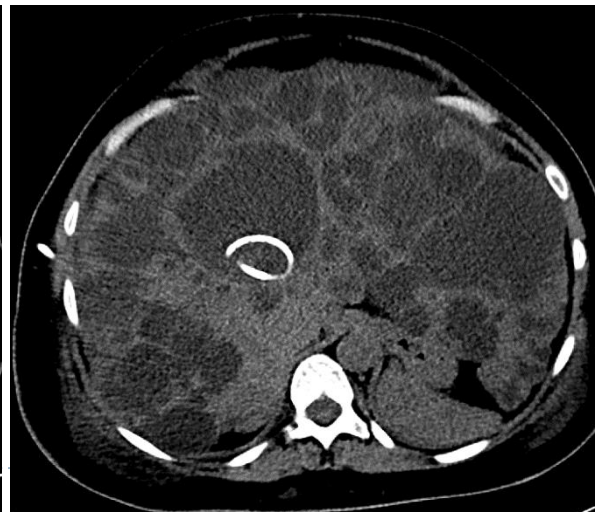
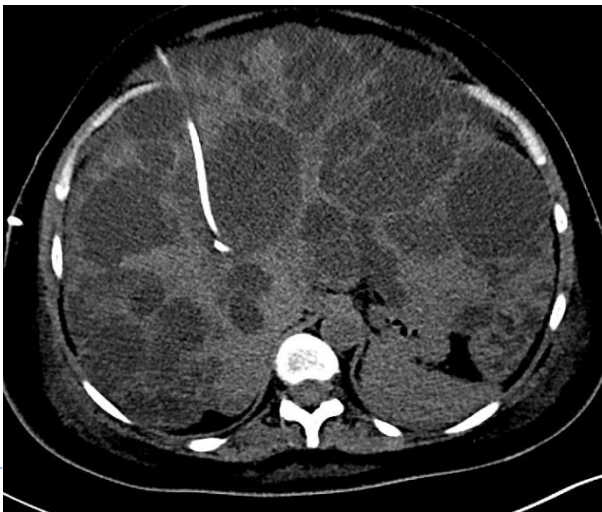
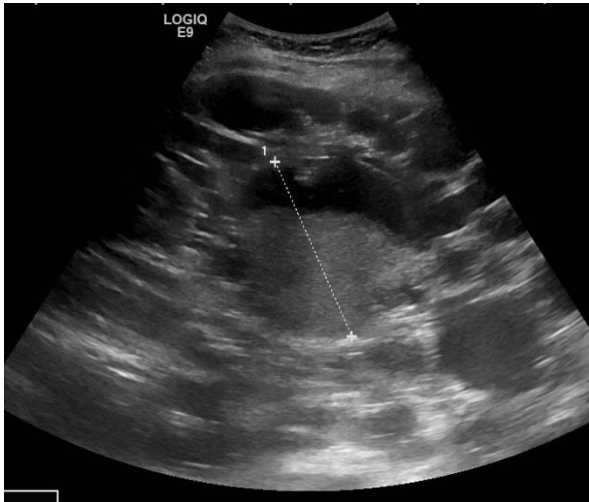
PD – progressive disease

Source: Perceptive Informatics, www.recist.com.

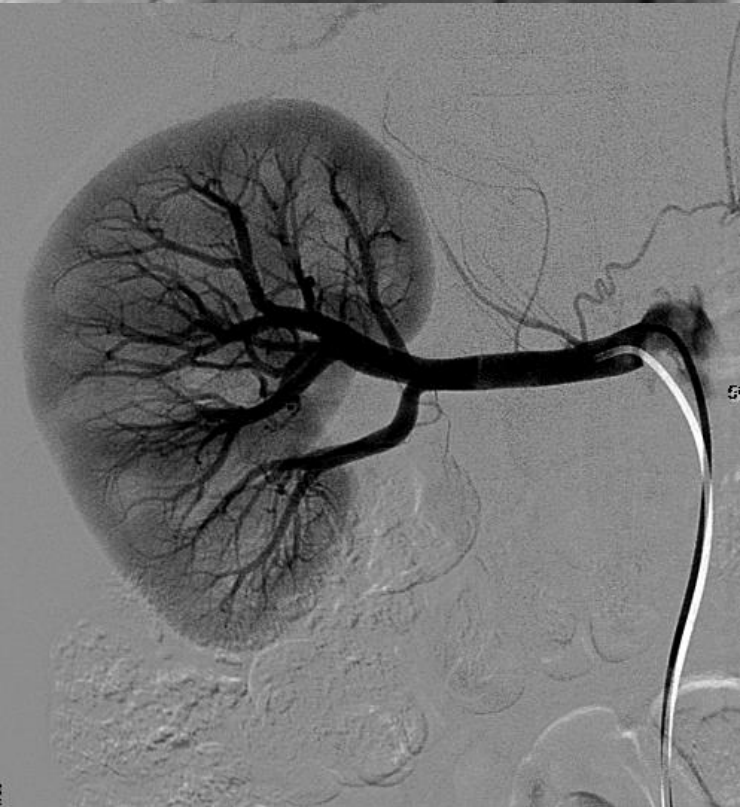
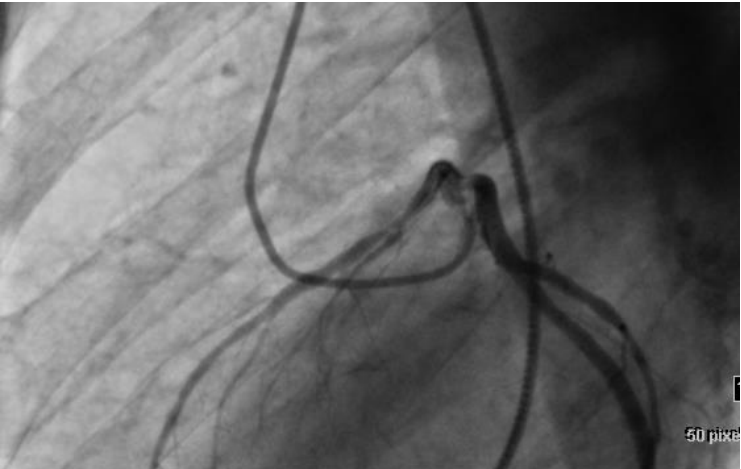
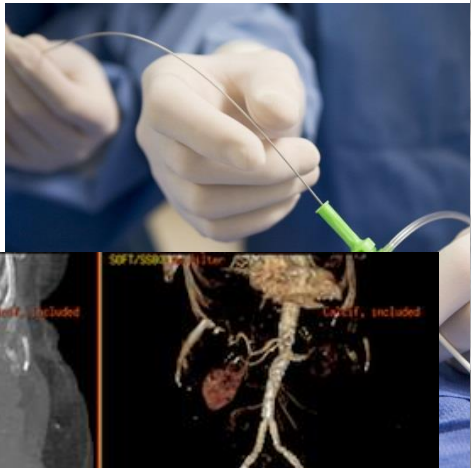
Table 2. A breakdown of how subjects with measurable disease react to treatment of lesions.

Interventions mini invasives guidées par l'image

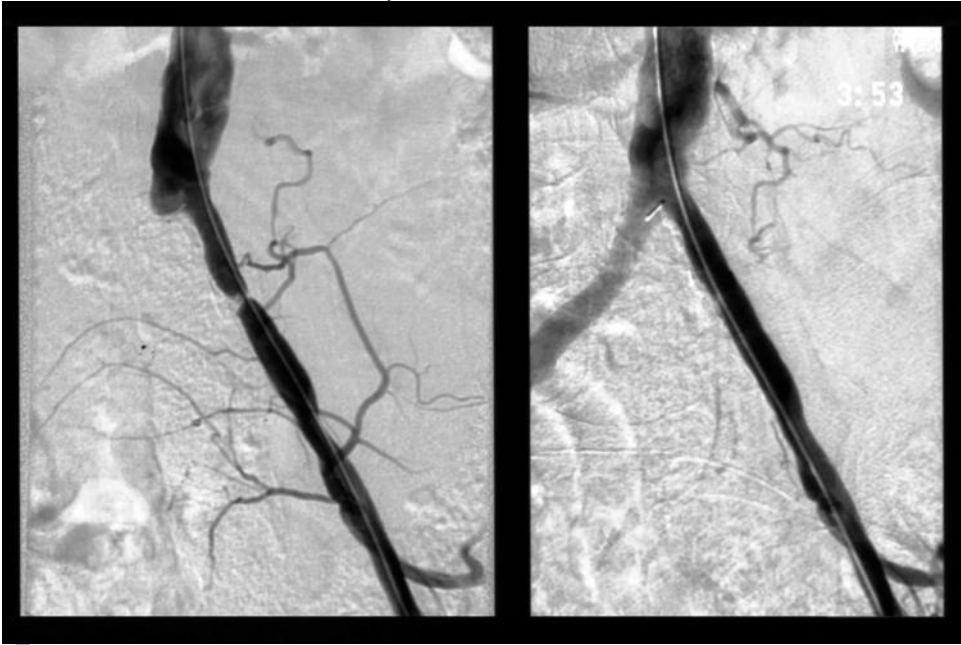
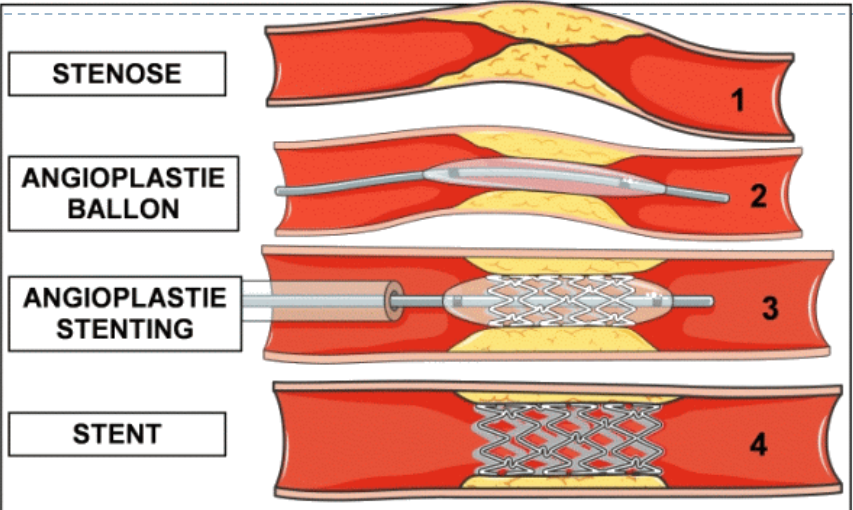
► Drainages de collections



Angiographie diagnostique : souvent remplacée par scanner ou IRM



Angiographie Thérapeutique : angioplastie / stenting



Interventions mini invasives guidées par l'image : Chimio embolisation

▶ **Indications :**

- ▶ non candidats à la chirurgie
- ▶ présence de métastases autres n'est pas une CI
- ▶ métastases plus nombreuses, volumineuses

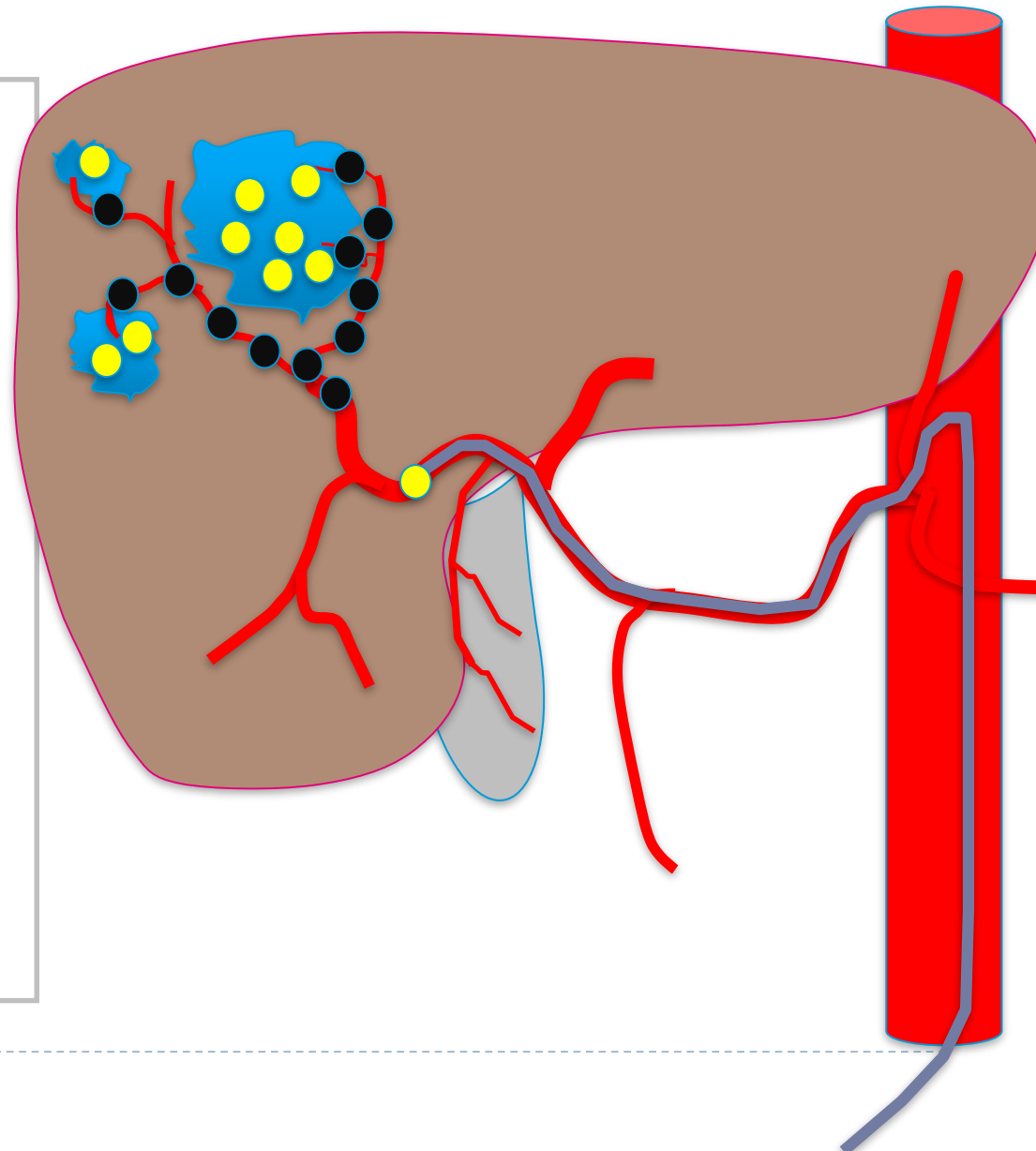
▶ **Rationnel :**

- ▶ Métas TNE hypervasculaires
- ▶ +/- chimiothérapie
- ▶ embolisation => ischémie et nécrose

▶ **Technique simple (en théorie !)** :

- ▶ cathéterisme artériel hépatique sélectif

- ▶ De multiples variantes...



Interventions mini invasives guidées par l'image : Radiofréquence pulmonaire hépatique, rénale



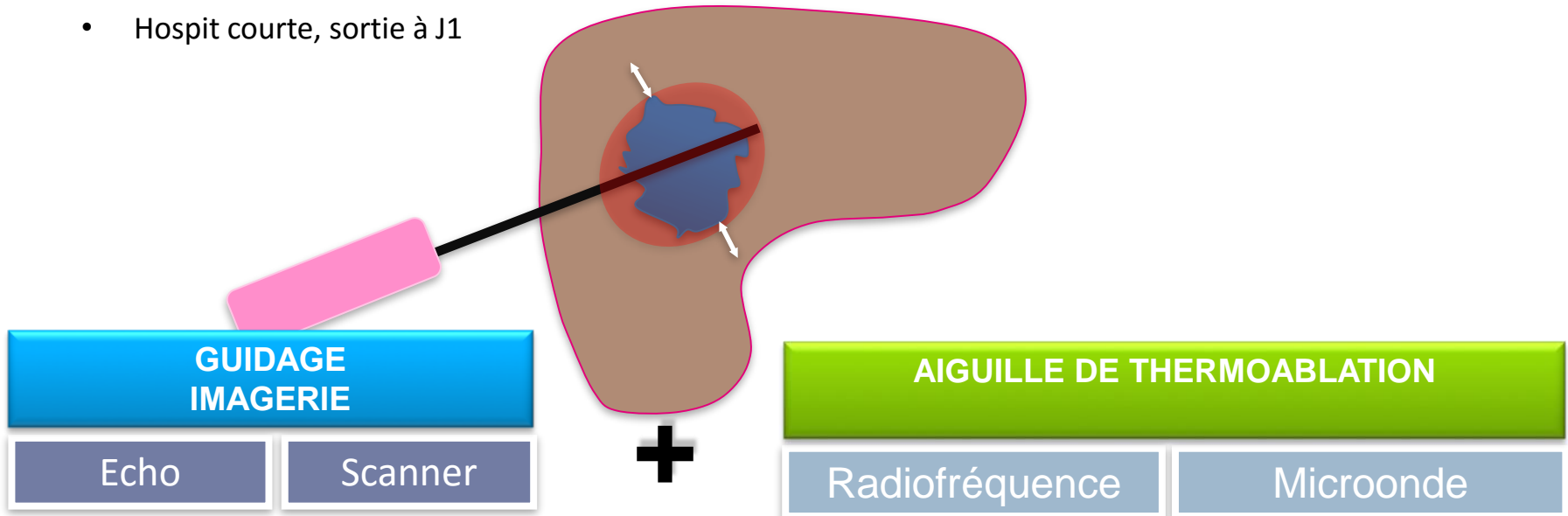
Thermoablation percutanée hépatique : principes

Indications : Intention curative : peu de métas, de petite taille

Seul (percutané)

En association avec chirurgie
per op ou séquentiel

- Sous AG
- Hospit courte, sortie à J1



Autres thermoablations percutanées

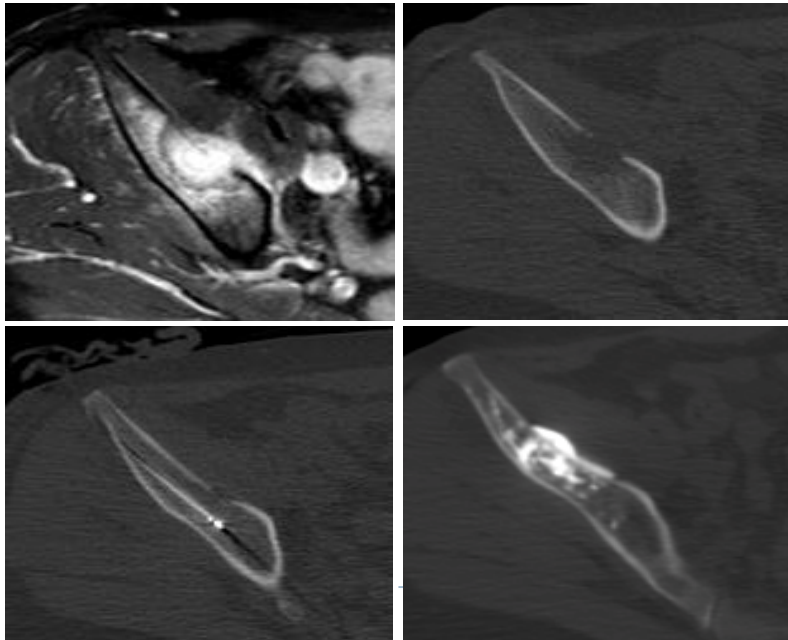
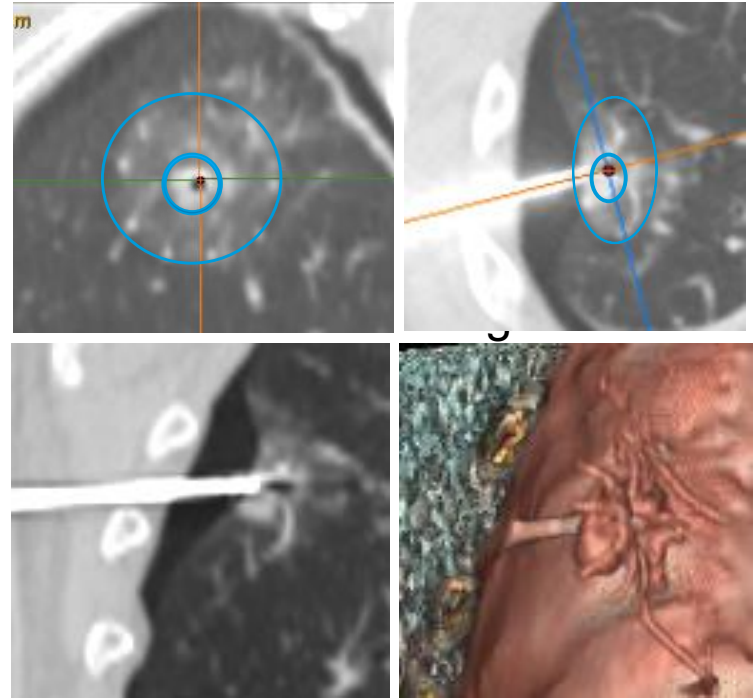
▶ **Poumon**

Indications : <3 lésions, CI chirurgicale

Limites : lésions près des hiles

pas de série dédiée

- ▶ 93 % d'ablation complète, pas de modification de la fonction respi => ttt répétable
- ▶ Complications :
 - ▶ pneumothorax : 54 % (mais slt 9% de drainage)



Os

- ✓ **RFA :**
 - ✓ Indications : carcinologique ou antalgique
 - ✓ Jusqu'à 95% de réponse complète !
- ✓ **Cimentoplastie :**
 - ✓ injection d'un ciment radio opaque
 - ✓ consolidation os fragilisé par lyse
 - ✓ seul ou en complément RFA

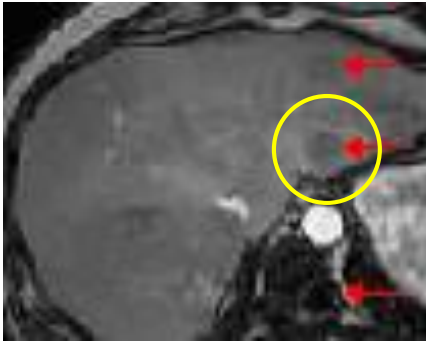
La question de l'interprétation

Lecture ou interprétation ?

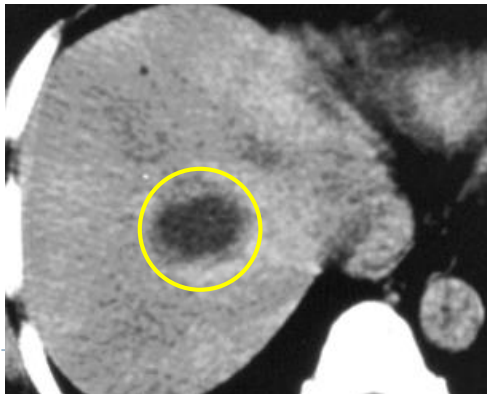


Une « tache » sur le foie : est-ce une tumeur qu'il faut traiter ?

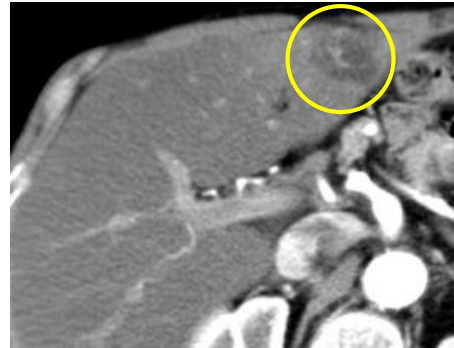
La fausse image
de tumeur (artefact)



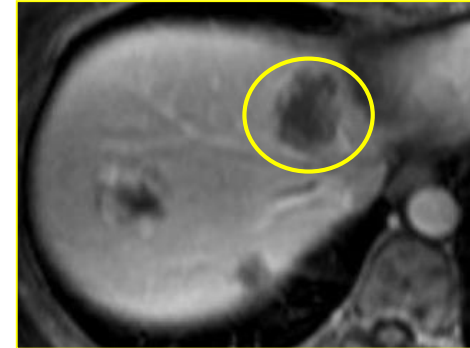
La vraie tumeur maligne,
mais qui ne doit pas être traitée



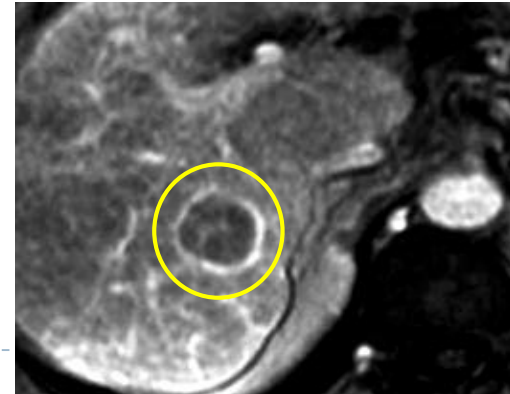
La vraie image
de fausse tumeur



La vraie tumeur
sans valeur pathologique



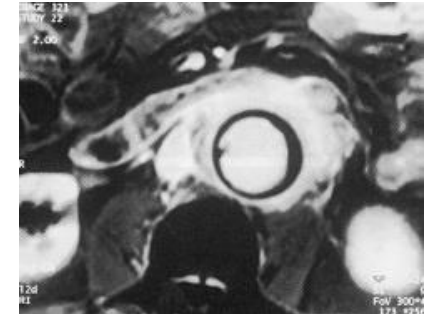
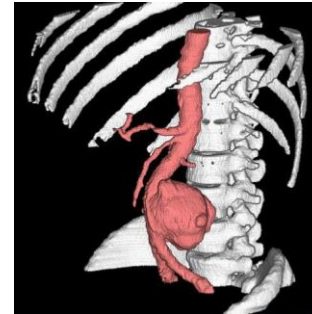
La vraie tumeur maligne
et qu'il faut traiter



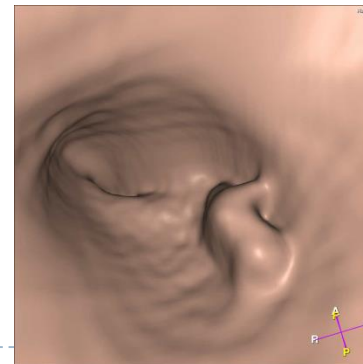
La représentation par l'image et son interprétation

- ▶ La question de l'utilité effective (médicale) des représentations virtuelles

- ▶ Certaine lorsque la vue en coupe montre de manière imparfaite une anomalie

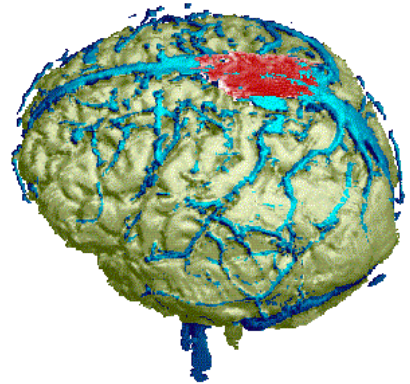


- ▶ Probable, mais difficile à démontrer, pour certaines techniques (coloscopie virtuelle)



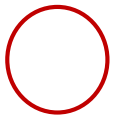
La représentation par l'image et son interprétation

- ▶ La question de l'utilité effective (médicale) des représentations virtuelles



- ▶ Douteuse si seulement « cosmétique »

- ▶ Nulle (voire dangereuse) si mal faite



Coût de l'imagerie médicale

Coût(s) de l'imagerie médicale

▶ **Risque inhérent à chaque technique : balance bénéfique/risque**

- ▶ Toute technique d'imagerie comporte un risque, certaines sont moins risquée que d'autres...a priori
 - ▶ RX : euphorie initiale puis prudence
 - ▶ Scanner : radiation : principes ALARA, Produits de contrastes
 - ▶ Echo : danger Doppler ?
 - ▶ IRM : SAR , Champs magnétique : effet projectile, CE métalliques, Impulsion radiofréquence : brûlures cutanées, échauffement des tissus (SAR),..., Produits de contrastes gadolinés

▶ **Problème médico économique**

- ▶ Cout de chque examen est le resultat de calcul savants intégrant
 - ▶ Prix d'achat de la machine
 - ▶ Cout de l'entretien
 - ▶ Nombre de manipulateurs nécessaires
 - ▶ Durée des examens
 - ▶ Influence des sos spécialités dans les négociation conventionnelles avec la CPAM

▶ **Cout environnemental**

⇒ **tout examen doit être justifié**

⇒ En terme de balance bénéfique/risque quand il existe des EI potentiels (comme toute autre méthode diagnostique ou ttt)

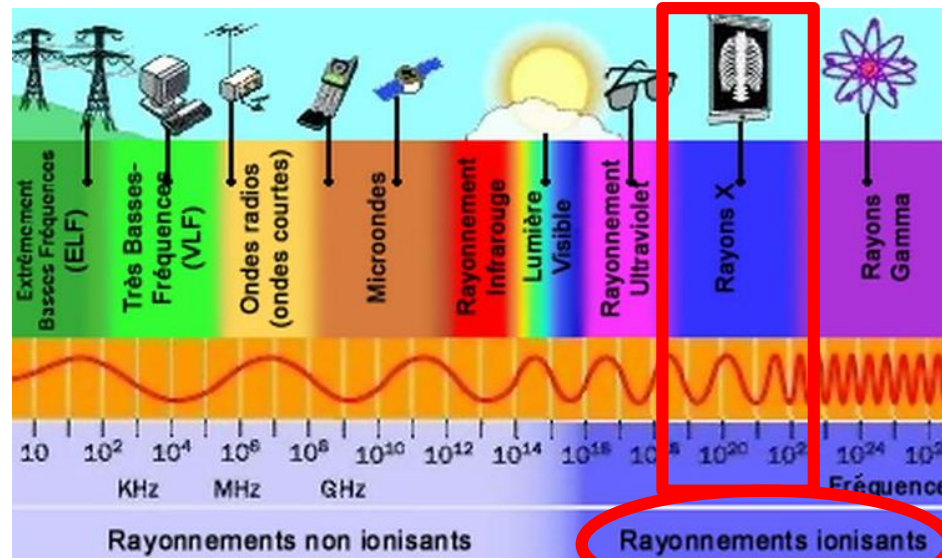
⇒ En terme de logique médico économique

⇒ **Cette justification médicale et économique doit être pensée dès le développement de la technique**

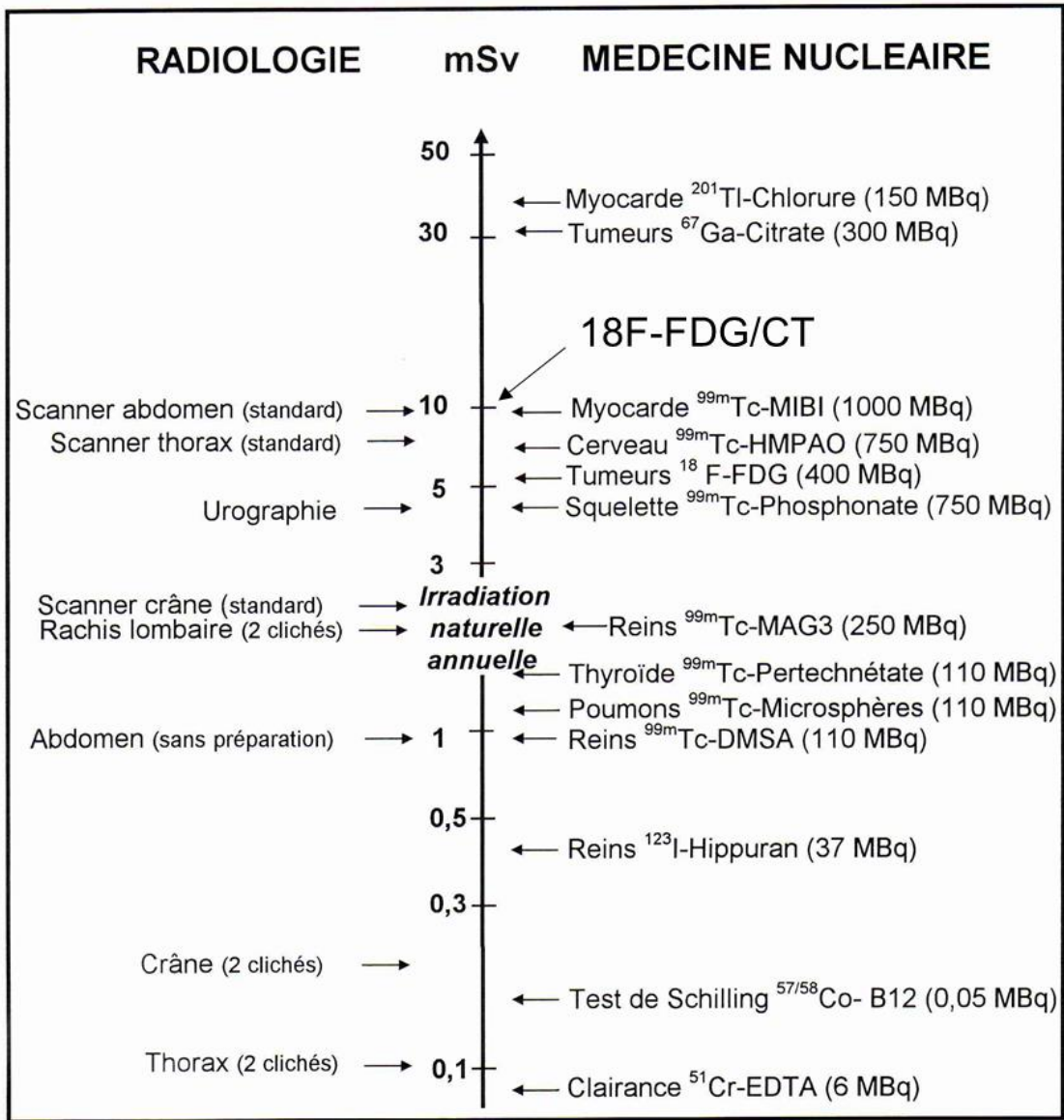


Les rayons x : effets biologiques

- ▶ RX = rayonnement électromagnétique



- ▶ Physiopathologie des effets biologiques des Rx :
 - ▶ Energie variable : qqes Kev à qqes Mev
 - ▶ Pouvoir de pénétration important, mais pouvoir ionisant faible



Radioprotection des patients

Quatres principes fondamentaux.

1. Principe de responsabilité:

- Responsabilité des exploitants pour la sûreté des installations nucléaires,
- Responsabilité des fournisseurs de sources radioactives
- Responsabilité des employeurs,
- Responsabilité du médecin réalisant l'exposition
- Responsabilité des pollueurs

2. Justification de l'exposition:

- Évaluation des risques et des bénéfices attendus
- Prescription médicale motivée obligatoire
- Le médecin spécialiste est le seul responsable de l'exposition du patient et a le droit de refuser de faire l'examen

3. Principe de limitation des doses:

- < au doses réglementaires (sauf exposition médicale)

4. Principe d'optimisation (ALARA): l'exposition doit toujours être la plus faible possible

Radioprotection des travailleurs

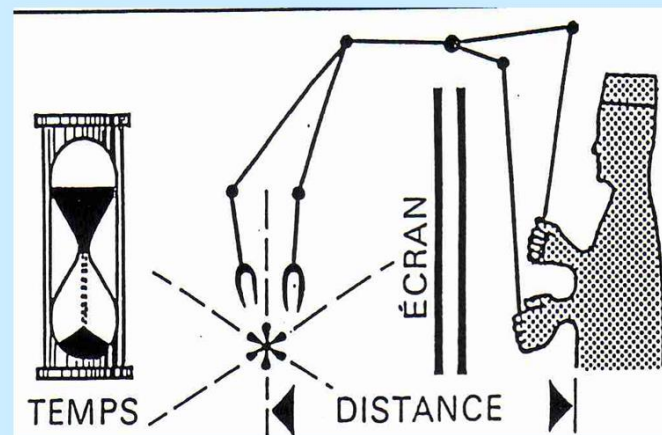
Classement des travailleurs exposés au rayonnements

(Décret 2003-296 du 31 mars 2003)

	1 mSv	6 mSv	20 mSv
Public		Catégorie B	Catégorie A
	Exposition indirecte		Directement affectées à des travaux sous RI
	Personnes de 16-18ans		Dosimètre individuel

Trois moyens fondamentaux pour réduire l'exposition

Distance, Temps, Ecran



Radioprotection des travailleurs

Protection des travailleurs

(Décret 2003-296 du 31 mars 2003)

- **Exposition maximale au cours de 12 mois consécutifs**
 - Dose efficace CE : 20mSv
 - Peau: 500 mSv
 - Cristallin: 150 mSv
 - Femme enceinte: < 1 mSv
- **Limites:**
but = rendre impossible tout effet déterministe
et réduire au maximum le risque d'effet stochastique (mais pas de seuil ???)

Classement des travailleurs exposés au rayonnements

(Décret 2003-296 du 31 mars 2003)

	1 mSv	6 mSv	20 mSv
Public		Catégorie B	Catégorie A
		Exposition indirecte Personnes de 16-18ans	Directement affectées à des travaux sous RI Dosimètre individuel

Définition des Zones

(Décret 2003-296 du 31 mars 2003)

Zone Contrôlée:

- Lieu où l'exposition des travailleurs est susceptible de dépasser les 3/10
- Débit de dose $< 25\mu\text{Sv}/\text{H}$
tolérance si débit $> 25\mu\text{Sv}/\text{H} \Rightarrow$ dose sur 1h $< 25\mu\text{Sv}$

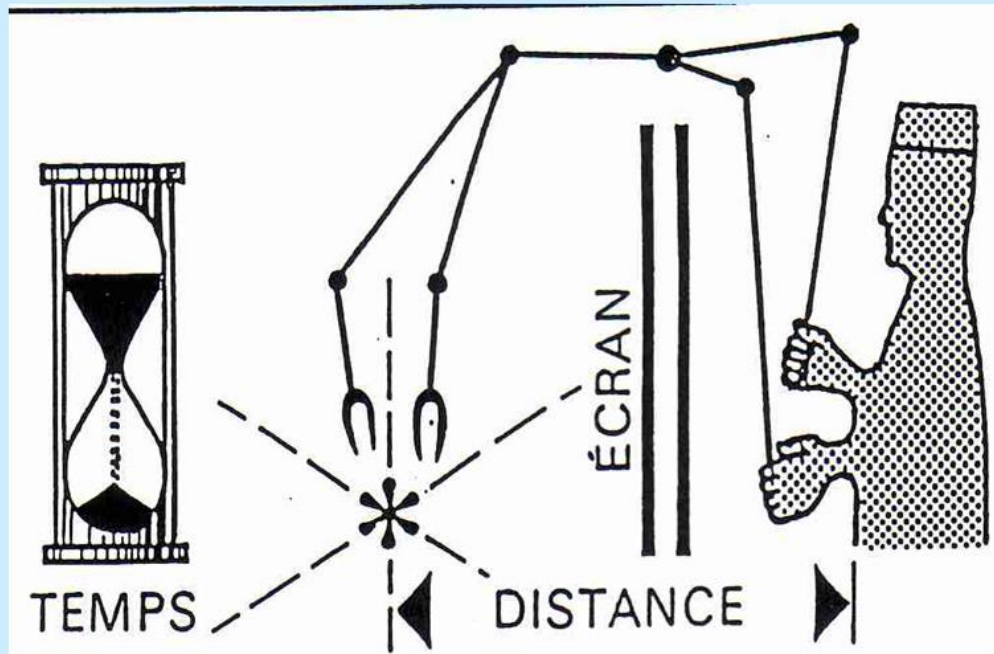
Zone Surveillée:

- Lieu où l'exposition des travailleurs est susceptible de dépasser les 1/10
 - Débit de dose $< 7,5\mu\text{Sv}/\text{H}$
tolérance si débit $> 7,5\mu\text{Sv}/\text{H} \Rightarrow$ dose sur 1h $< 7,5\mu\text{Sv}$
-



Trois moyens fondamentaux pour réduire l'exposition

Distance, Temps, Ecran



Avenir de l'imagerie

L'imagerie médicale de demain

- ▶ **Combiner toutes les techniques d'imagerie**
 - ▶ Morphologique, en projection, en coupe et volumique
 - ▶ Fusion multi-modalités
 - ▶ Dynamique
 - ▶ Fonctionnelle
 - ▶ « Moléculaire »

- ▶ **Appliquer ces techniques à la conduite du traitement**
 - ▶ Imagerie virtuelle, chirurgie virtuelle
 - ▶ « Réalité augmentée »



La réalité « augmentée »

Repérage pré-opératoire
l'image
(projection stéréotaxique)

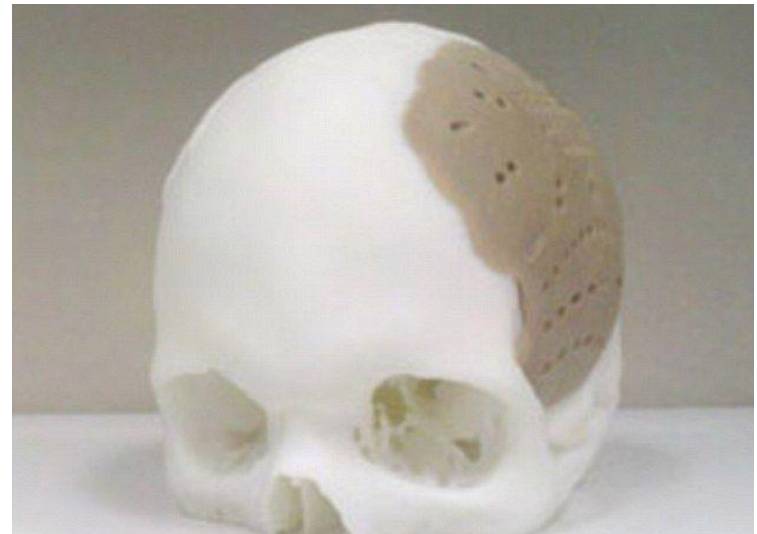


Chirurgie guidée par



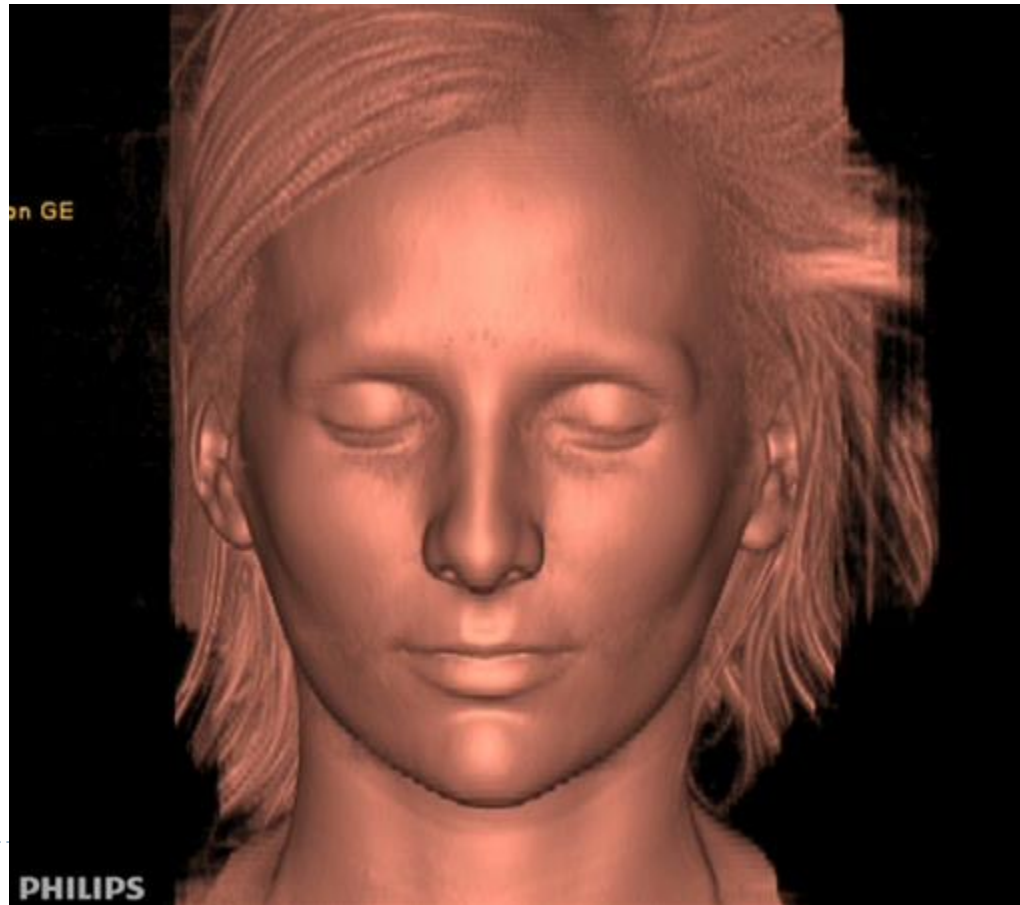
Impression 3D et simulation thérapeutique

- ▶ Apprentissage
- ▶ Simulation
- ▶ Thérapeutique



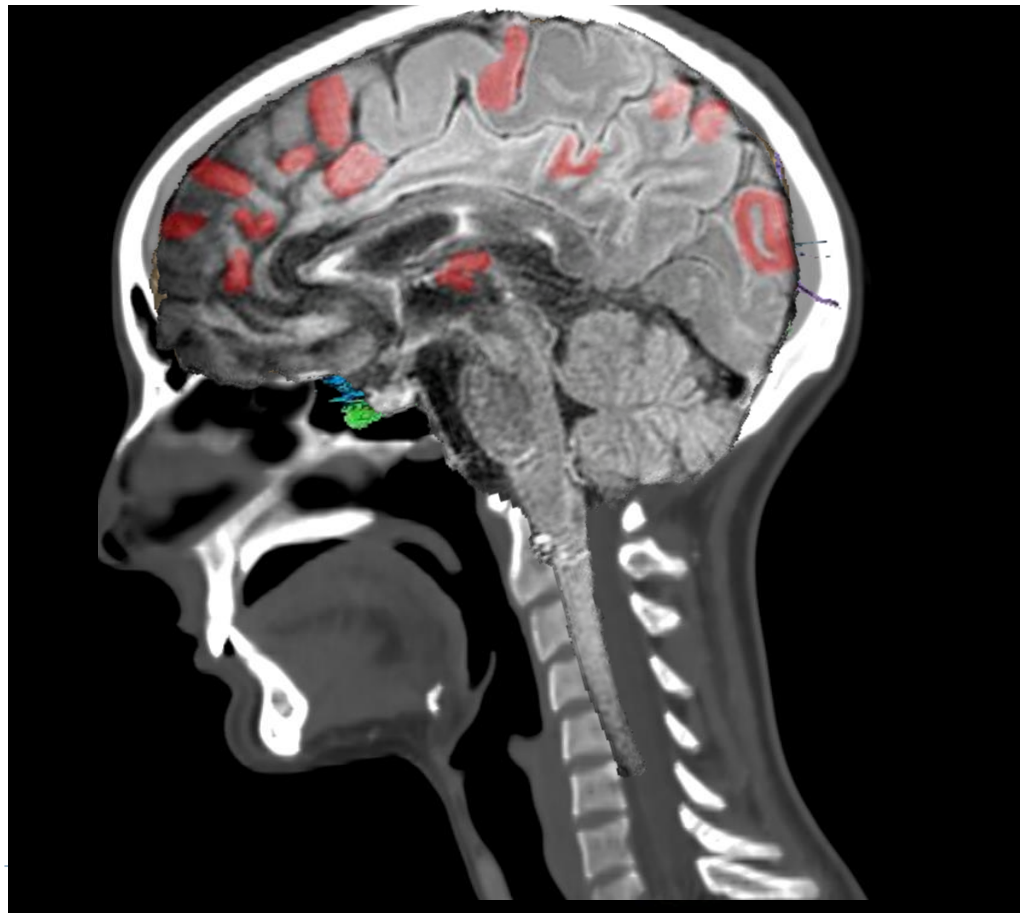
Une relation du sujet à son corps transformée par l'imagerie ?

- D'autant plus troublante que la reconstruction 3D du visage est parfaitement ressemblante



Une relation du sujet à son corps transformée par l'imagerie ?

- D'autant plus troublante que la reconstruction 3D du visage est parfaitement ressemblante



La mercantilisation de l'image médicale

- ▶ Dès le début des rayons X plusieurs fabricants se disputent un marché qui promet d'être juteux.

APPAREILS DE LA MAISON RADIGUET
15, BOULEVARD DES FILLES-DU-CALVAIRE, 15
RAYONS X

Un laboratoire spécial est mis gracieusement à la disposition de MM. les Docteurs qui voudraient, au moyen du Radioscope, examiner instantanément l'intérieur du corps humain.



La Maison RADIGUET exécute dans son laboratoire ou à domicile, à des prix modérés, les Radiographies nécessaires à la conduite et à la vérification des opérations chirurgicales.

INSTALLATION de RADIOSCOPIE MÉDICALE

NOS APPAREILS SPÉCIAUX POUR LES RAYONS X { Ont obtenu une Médaille d'Or et un Diplôme d'Honneur à l'Exposition de Rouen 1896
Médaille d'Or à l'Exposition Universelle de Bruxelles

La Maison RADIGUET, 15, Boulevard des Filles-du-Calvaire, à Paris, près le Cirque d'Hiver, à l'honneur de vous prier de visiter ses

Nouveaux Magasins d'Exposition et d'Expériences
Revue : **15, Boulevard des Filles-du-Calvaire, Pas de Succursale.**

La mercantilisation de l'image médicale



► L'échographie obstétricale comme point de départ de l'album de famille

Home | 4D Ultrasound Prices | FAQs | Calendar | Contact Us

4D Ultrasound Package

Our offer is simple:

\$150 for a complete 4D/3D/2D ultrasound session including a DVD, CD-R and pictures.

If having twins, the complete 4D/3D/2D ultrasound session is \$200.

.....



- We are confident of our ability to obtain beautiful images of your baby between 24 and 34 weeks. If you are not satisfied with your pictures made at this time, you may return for the reduced charge of \$50.
- At your request, we can determine gender after 18 weeks.
- Extra CD-R's are available at additional cost for Grandparents, Aunts and Uncles and Friends.
- **Gift Certificates are available.**

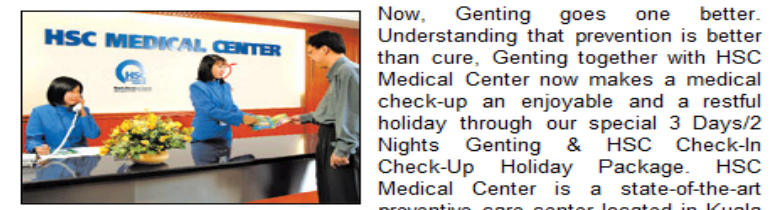
La mercantilisation de l'image médicale

Les forfaits vacances touristiques et bilan scanner (dépistage)



Genting & HSC Check-In Check-Up Holiday Package!

Get into the peak of good health.
 Feel Better. Enjoy peace of mind in 22 seconds.



Now, Genting goes one better. Understanding that prevention is better than cure, Genting together with HSC Medical Center now makes a medical check-up an enjoyable and a restful holiday through our special 3 Days/2 Nights Genting & HSC Check-In Check-Up Holiday Package. HSC Medical Center is a state-of-the-art preventive care center located in Kuala Lumpur. You get new generation medical technology of amazing diagnostic accuracy which you won't find anywhere else in the region. For instance, in 22 seconds you can get your body scanned. Also, the procedures are non-invasive and you will get a full review by an internationally trained team of medical specialists together with a full medical report, all done within a day! All for you to enjoy peace of mind.

:: Check-In :: Check-Up :: A Body of Health Facts
:: Disclaimer :: TERMS AND CONDITIONS



Descriptions of Medical check-ups

Type of Package	P2	P3	P5
Heart	Heart	Heart + Cancer	Comprehensive Heart+stroke+Cancer+ Bone Scan
Examination / Test	-Aged 35 & above -With CVS risk	-Aged 35 & above -With CVS risk or Cancer risk -Osteoporosis	-Aged 50 & above -With CVS, Stroke or Cancer risk -Osteoporosis
Medical Examination	Available	Available	Available
Comprehensive Blood & Urine Test	Available	Available	Available
ECG	Available	Available	Available
Chest X-ray	Available	N/A	N/A
Treadmill (Exercise Stress Test)	Available	Available	Available
Abdominal Ultrasound	Available	N/A	N/A
Hs-CRP	Available	Available	Available
Tumor Markers	N/A	Available	Available
16-Slice MSCT Coronary Calcium Scan	Available	Available	Available
Total Body Scan (Thorax to Pelvis)		Available	Available
Head & Neck Scan			Available
Global Risk Score	Available	Available	
Price (Male)	RM1520.00	RM2100.00	RM2720.00
Female (Additional Pap Smear, Mammogram and Pelvic Ultrasound)	RM1700.00	RM2280.00	RM2900.00





Conclusion

Conclusion

- ▶ **Domaine multidisciplinaire s'il en est**
- ▶ **Resté centré sur l'intérêt pour le patient : innocuité, pragmatisme, simplicité et**
- ▶ **Attention à l'éthique !!**
 - ▶ Il n'y pas de médecine donc d'imagerie médicale et de radiologues (ou d'ingénieurs biomédicaux ;), sans patients



Merci pour votre attention !











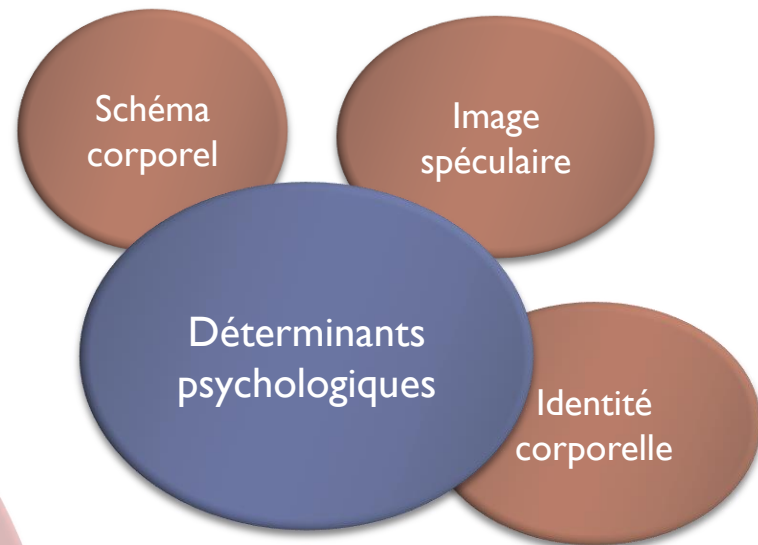
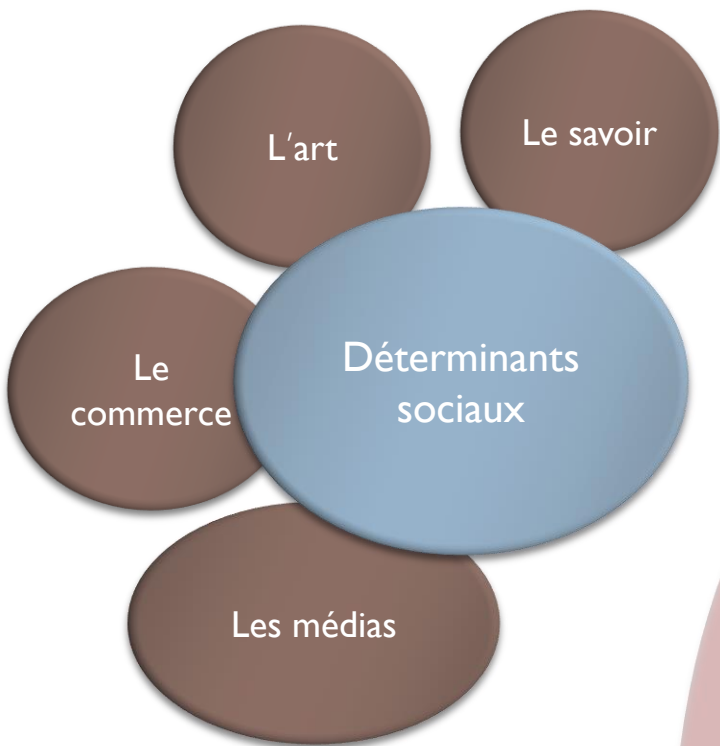
Philosporhie

Déterminants psychologiques

- ▶ La personne vérifie son existence au monde et cherche à valider son image, image de soi participant de la constitution progressive de l'identité de l'individu
- ▶ Le **schéma corporel**, perception de son corps propre (proprioception)
- ▶ **L'image spéculaire** (image du miroir) comme formateur de la fonction du « je » ressemblant mais aussi différent de l'autre : le regard, le visage, ... (Lacan, Dolto, Klein)
- ▶ **L'identité corporelle**, démarche inconsciente (psychanalyse) mettant en jeu la puissance de l'imaginaire et le vécu individuel : narcissisme, ...

Autant de points touchant à la confrontation du patient à l'image d'un corps interne dont l'étrangeté est en partie levée mais qui apparaît aussi morcelé par l'imagerie médicale





La perception par le malade de son corps interne

- ▶ La transformation de l'image du corps par l'imagerie médicale a suscité de nombreuses études et réflexions
 - ▶ De l'image générique à l'image latente
 - ▶ L'élaboration du savoir profane de son corps interne
 - ▶ L'impact de la maladie et sa représentation (gravité, pronostic, conséquences sociales, ...) sur sa représentation de son corps interne
 - ▶ La relation médecin-malade autour de l'image médicale



Construction de l'image personnelle du corps

- ▶ Chacun se crée une représentation de son corps, association d'une représentation générique issue de l'ensemble des influences sociales et d'une représentation issue de ses confrontations personnelles avec son propre corps
- ▶ L'ensemble de ces influences amène ainsi à la construction chez le sujet d'une image latente de l'intérieur de son corps



L'image latente du corps interne

- ▶ La peau (le visage) apparaît comme l'élément où s'inscrit la personnalité de chacun, ses caractéristiques sociales
- ▶ L'ôter fait une sensation « de perte d'identité, de dépersonnalisation », comme une prise de conscience de certaines ressemblances au-delà des différences extérieures.
- ▶ l'intérieur du corps apparaît comme un assemblage d'éléments informels



Elaboration d'un savoir profane sur le corps interne

- **Une connaissance globale de l'intérieur du corps, mais**
 - Qui est modelée au cours et aux détours de ses différentes interactions selon un véritable bricolage intellectuel.
 - Qui est vu comme un patchwork où se côtoient alors à la fois des savoirs scientifiques, des savoirs profanes et des concepts imaginaires dont les liaisons sont quelquefois confuses et périlleuses.
 - Qui porte sur certaines parties précises et assez récurrentes
 - Qui est construite sur une image de son propre corps basée sur ses centres d'intérêt, c'est-à-dire des événements et des circonstances qui vont faire qu'il va plus s'intéresser à une partie de son corps.



Les repères profanes

- ▶ La description du corps intérieur (et de la maladie) passe par un nombre de **métaphores** associant des éléments visibles à ce corps invisible, comme pour matérialiser ce « monde » souvent ignoré.
 - ▶ La description du corps intérieur passe par une mise en jeu des **repères extérieurs** (nez, yeux, ...).
 - ▶ Les organes sont **hiérarchisés**, certains prédominants, d'autres passés sous silence
-
- ▶ ~~Le corps intérieur profane doit être **symétrique**~~
 - ▶ Les **tâches** attirent beaucoup l'attention, des «tâches» noires ou blanches peuvent être suspectes.
-

La relation médecin-malade

- ▶ Une médecine technique

- ▶ Perte des fondamentaux de l'examen clinique, de l'interrogatoire, de la sémiologie
- ▶ Une relation distanciée en raison de l'interface « machine »

- ▶ Une médecine dématérialisée

- ▶ Numérisation, télémédecine

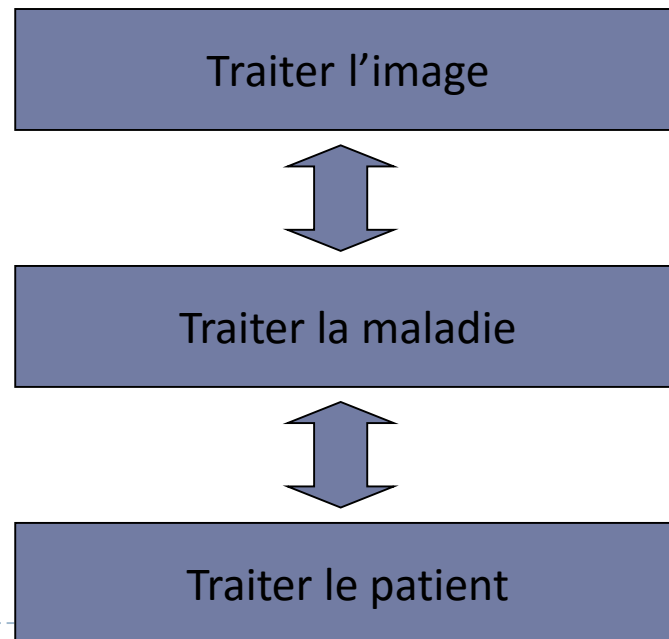
- ▶ Une obligation de résultats (caractère objectif de l'image)

- ▶ *Mais aussi un fantastique moyen de dialoguer avec le malade sur la base d'une iconographie enfin accessible*



L'utilisation de l'image par le corps médical

- ▶ Nécessité d'un protocole technique assurant la reproductibilité de l'image (incidence, paramètres d'acquisition)
- ▶ Nécessité d'un apprentissage de l'interprétation des images médicales
- ▶ Nécessité d'une utilisation appropriée : contexte clinique !



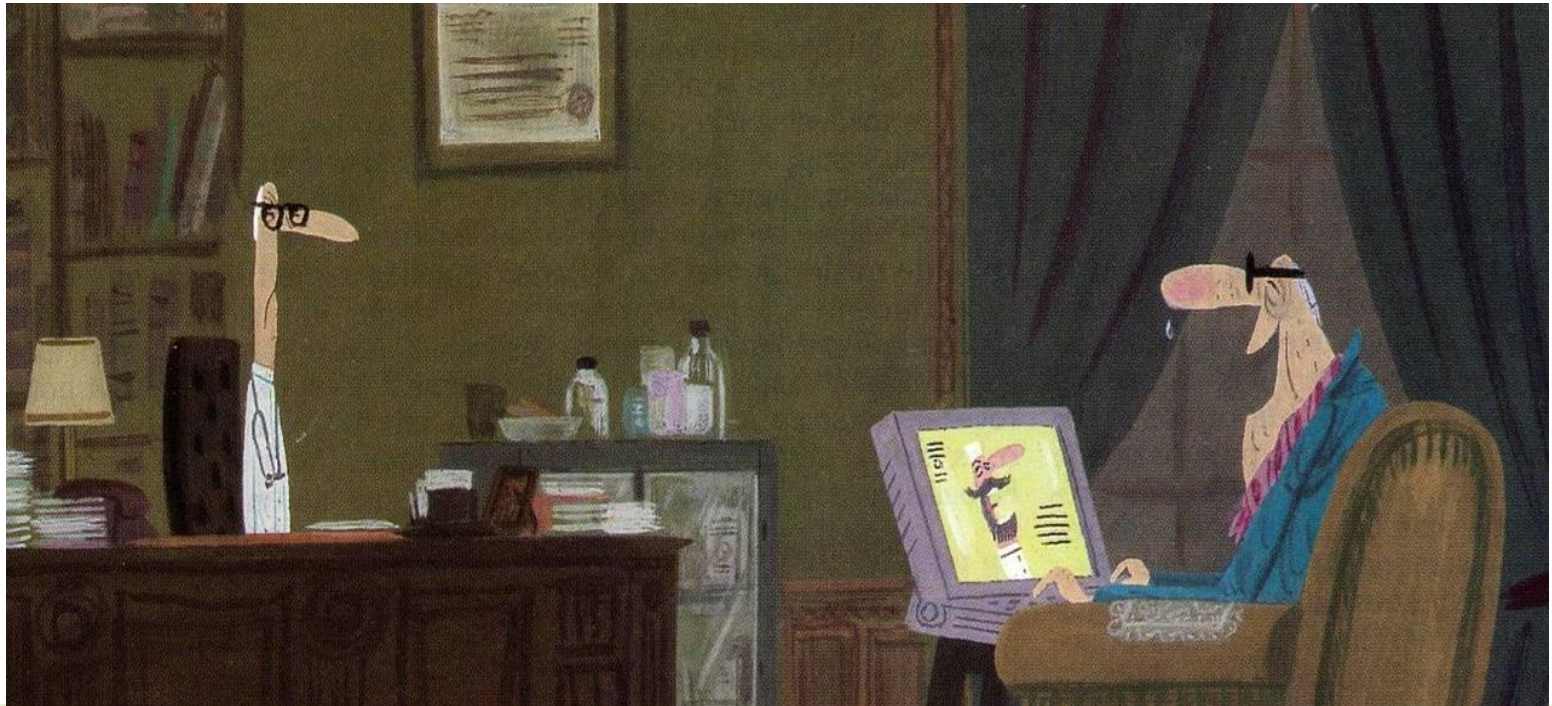
L'utilisation de l'image par le corps médical

- ▶ **L'explication par l'image**
 - ▶ Adaptée à chaque personnalité
 - ▶ Une manière de faire comprendre, de démystifier, ...
- ▶ **Des précautions à prendre**
 - ▶ Que sait le malade ?
 - ▶ La première annonce de la maladie
 - ▶ L'annonce d'un échec du traitement ou de l'aggravation



L'utilisation de l'image par le patient

- ▶ Accès à l'image (CD-ROM)
- ▶ Accès aux banques d'images (internet), à la télé-expertise



- Le professeur A.W. Knoxberger de Seattle, à qui je viens, grâce à Internet, de communiquer votre diagnostic, me charge de vous adresser ses plus vifs remerciements : il dit qu'il n'a pas ri comme ça depuis des années.

Avantages et inconvénients respectifs des différentes modalités d'imagerie

- Rx :
 - + Accessible, simple, rapide
 - - irradiant, imagerie de projection
- Echographie :
 - + accessible, non irradiant, rapide, résolution spatiale
 - - limitée en profondeur, résolution en contraste, nombreuses zones inexploitable (explo thorax limitée, os, crâne, ...), variabilité échogénicité patients (tt le monde n'est pas égal devant l'écho), examen opérateur dépendant ? (tous le sont)
- Scanner :
 - + : imagerie en coupe, +/- accessible, résolution spatiale, pdc, recon MPR, exploration exhaustive de l'ensemble du patient, rapidité acquisition actuelle => moins artefacté par mouvement
 - - : irradiant (! Enfants, femmes enceintes, répétition examens : nombres cancers radio induits), protocoles basse dose, faible résolution en contraste, +/- imagerie mono modalité (change avec spectral) pas d'imagerie dynamique (change avec multidetecteurs large champ, mais prob d'irradiation), risques injection pdc : allergie, diabète, IRC, ...
- IRM :
 - + non irradiant, imagerie en coupe, nativement multiplanaire, résolution en contraste +++, multimodal (morpho, diff, spectro, irmf), dynamique
 - Cher, peu accessible (graph nombre machines France/europe), nécessite immobilité malgré progrès séquences rapides, explo thorax limitée, contre indications / magnétiques + contraste

=> de plus en plus multimodal

L'assimilation de l'image à la réalité
— tout le problème du « phénomène » —

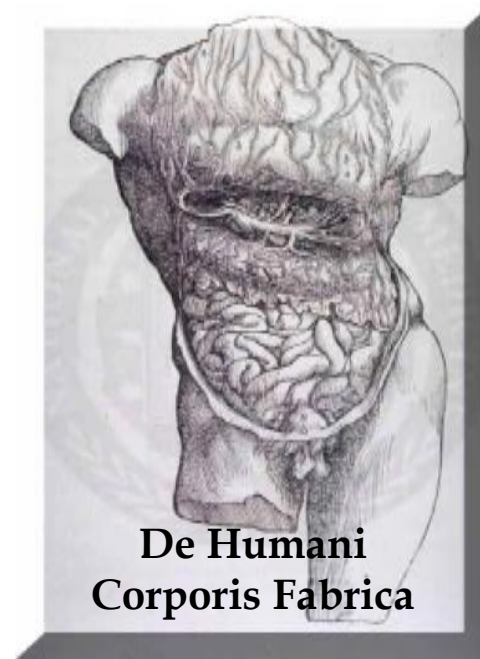


La fascination pour l'anatomie

- ▶ **Le savoir anatomique**

1540 Vésale, les premières dissections

XVIIe, les cabinets de curiosités et les théâtres d'anatomie



- ▶ **L'anatomie sur internet**

1986 NIH, l'anatomie en coupes « *the visible human project* »

