



**IMT Atlantique**  
Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

# Présentation du métier de PHYSICIEN.NE MÉDICAL.E

Alexandra MOIGNIER

IMT – U.E. DEMIN

# Origine de la physique médicale



PHYSIQUE MÉDICALE.



PHYSIQUE MÉDICALE.

Figure 3. Pre- and post-Revolution headings from medical physics sections of *L'Histoire de la société royale de médecine*. Vol. 1, 1779 (top) and Vol.10 1798 (bottom) when the word 'royale' was omitted.

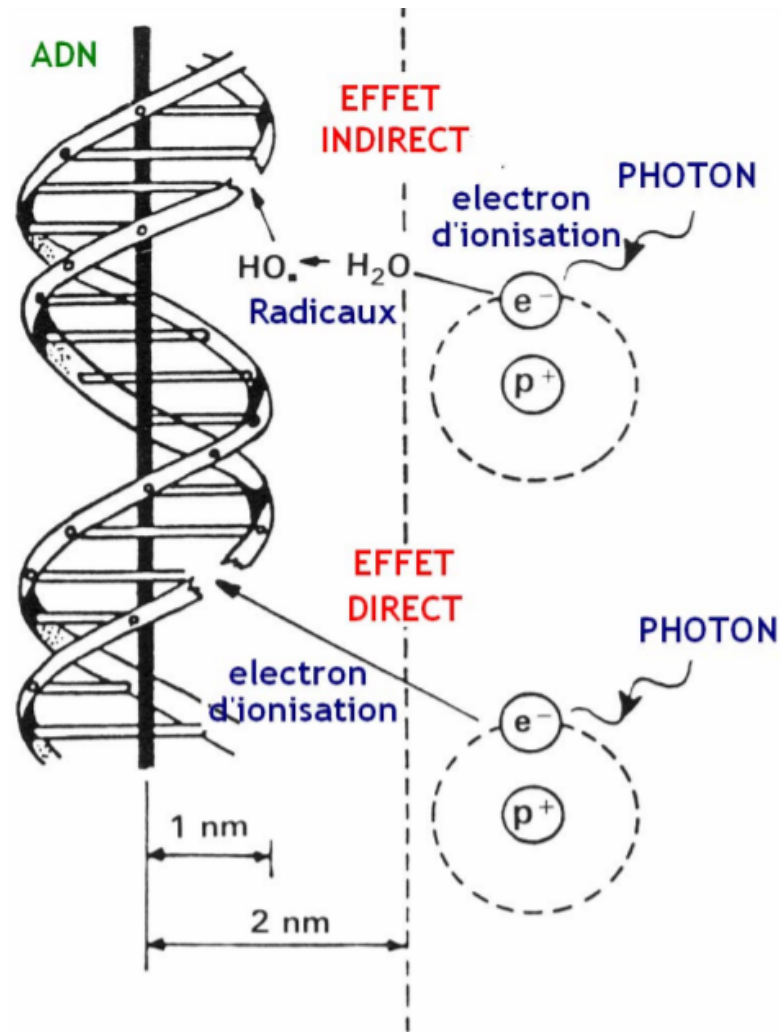
- **1779** – Apparition du terme
- **1895** – Rayons X – W. Röntgen – Première radiographie sur du vivant
- **1896** – Radioactivité naturelle – H. Becquerel
- **1898** – Polonium et Radium – P. et M. Curie
- **1925** – Création de l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements)
- **1932** – Radioactivité artificielle – I. et F. Joliot-Curie
- **Années 1950** – Physiciens médicaux dans les hôpitaux



La main d'Alfred Von Kolliker prise le 23 janvier 1896 et le portrait de Wilhelm Röntgen.

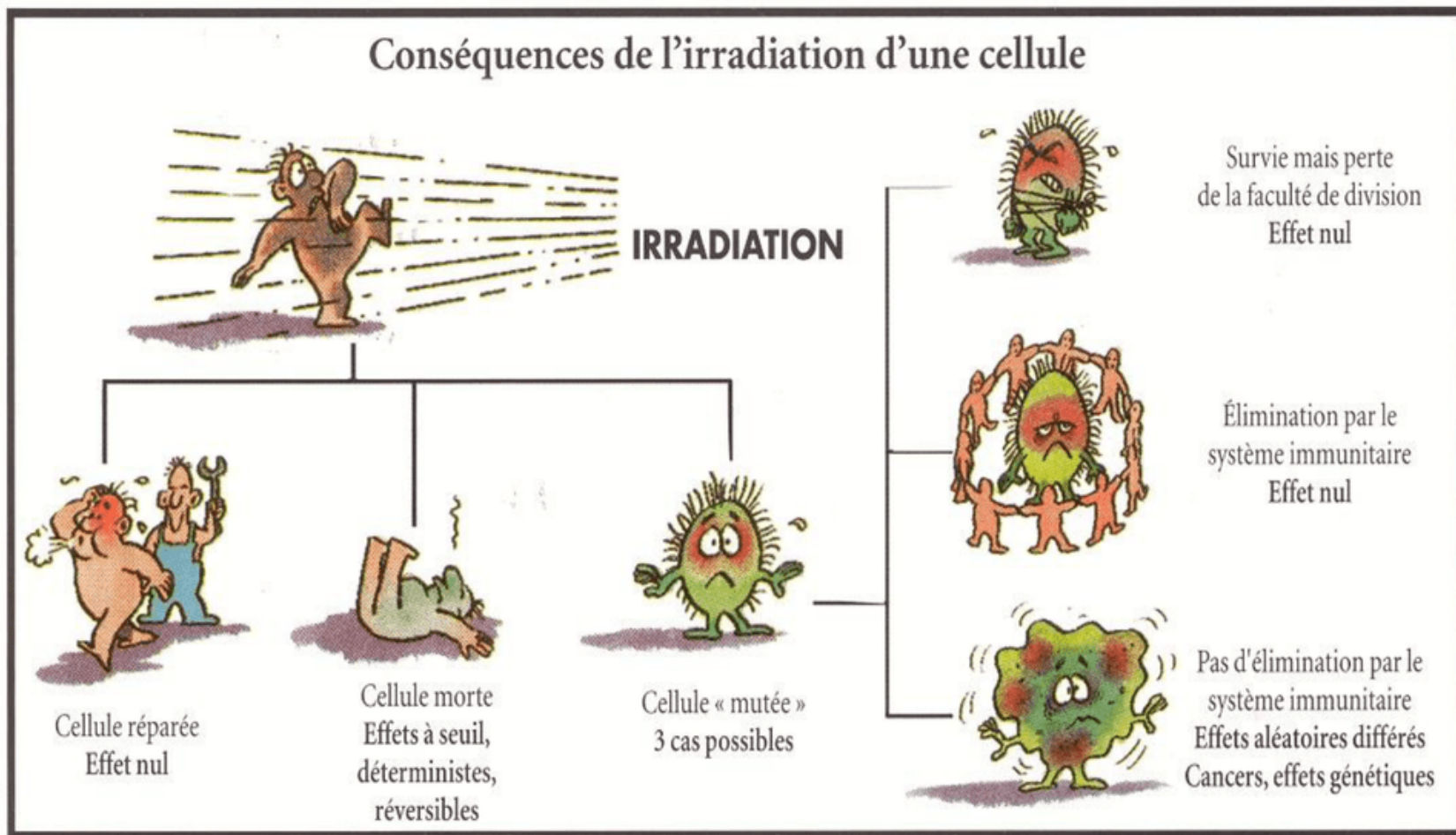
# Raisons d'être

## Effets des rayonnements ionisants sur le vivant



# Raisons d'être

## Effets des rayonnements ionisants sur le vivant



Cellules saines ou cellules cancéreuses : pas le même effet souhaité, comment les discriminer ?



# Raisons d'être

## Evolution de la législation autour de la physique médicale

- **1969** – Obligation de présence d'un physicien médical en **radiothérapie**
- **1984** – Obligation de présence d'un physicien médical en **radiothérapie et médecine nucléaire**
- **2007** – Décret indiquant que la **préparation de chaque traitement** (radiothérapie externe, curiethérapie, médecine nucléaire) **doit être validée conjointement par un médecin spécialiste et par un physicien médical.**



# Raisons d'être

## Evolution de la législation autour de la physique médicale

- **2017 - Reconnu profession de santé** (CSP : livret « Professions de la pharmacie et de la physique médicale »)
  - « Il apporte son **expertise** pour toute question relative à la **physique des rayonnements ou de tout autre agent physique dans les applications médicales** relevant de son champ d'intervention. »
  - « Il est chargé de la **qualité d'image**, de la **dosimétrie** et de **l'exposition aux autres agents physiques**. »
  - « Il s'assure notamment que les **équipements**, les **données** et **procédés de calcul** utilisés pour déterminer et délivrer les doses et les activités des substances radioactives administrées au patient sont **appropriés** et permettent de concourir à une **optimisation de l'exposition aux rayonnements ionisants**. »
  - « Les missions et les conditions d'intervention du physicien médical, en radiothérapie, en médecine nucléaire et en imagerie médicale, notamment les **actes réalisés sur prescription médicale**, sont définies par décret en Conseil d'Etat, pris après avis de l'Académie nationale de médecine. »

# Evolution de la formation en physique médicale

- **1970** – DEA (faculté des sciences de Toulouse et de médecine de Paris)
  - 2 mois de stage pratique
- **1997** – **DQPRM** (diplôme de qualification en physique radiologique et médicale)
  - 8 mois de stage pratique
- **2006** – Concours d'entrée au DQPRM
- **2011** – 12 mois de pratique
- **2014** – 2 ans de pratique
- **2019** – Subdivision des 2 ans de pratique en semestres

# Faits marquants en physique médicale

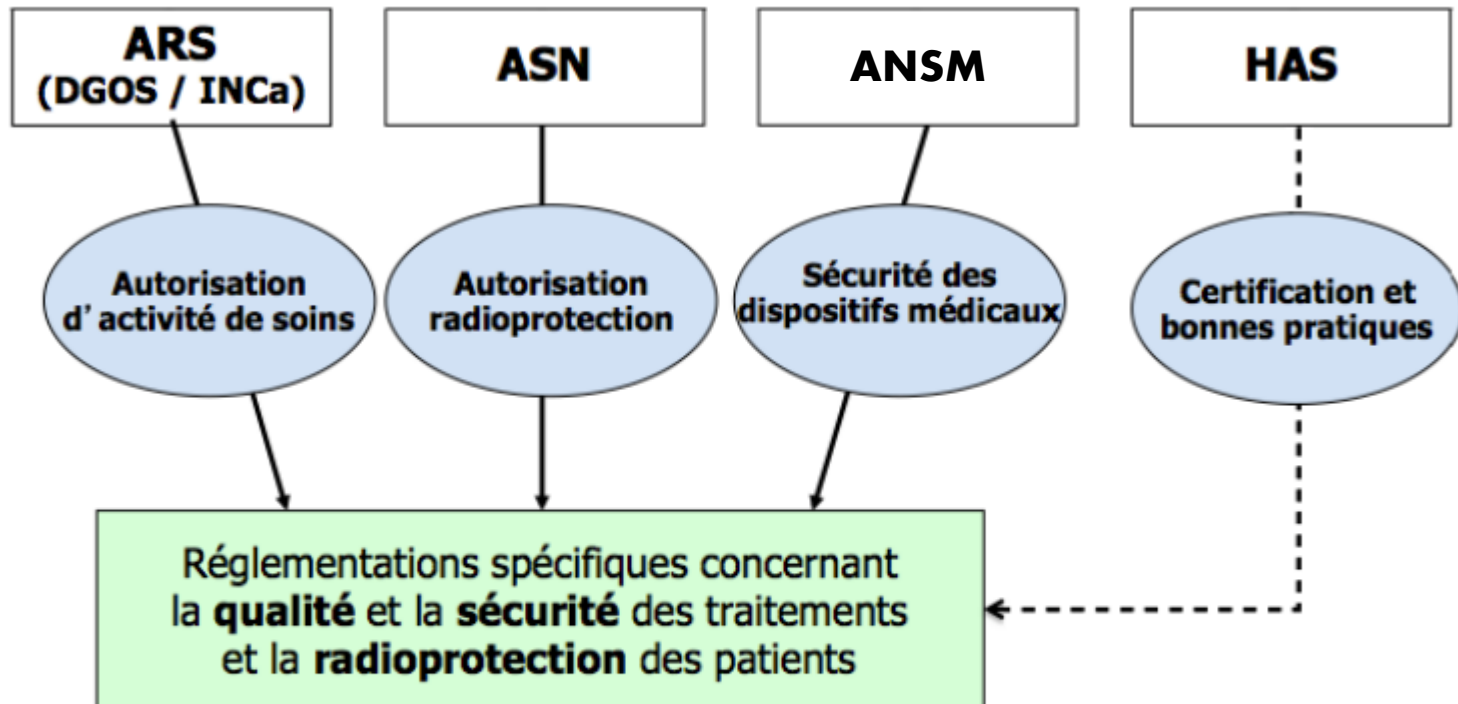
- **2006** – Accidents de radiothérapie à Épinal et à Toulouse
  - Prise de conscience des pouvoirs publics du rôle important des physiciens médicaux et de la nécessité de créer davantage de postes
  - 2001, alerte du syndicat national des physiciens : « *90 % des centres de traitement du cancer par radiothérapie ne travaillent pas dans des conditions sécuritaires pour les traitements de routine* »

Epinal : env. 700 patients surradiés entre 1990 et 2006, en partie en raison d'un problème d'utilisation logiciel

Toulouse : env. 145 patients surradiés à cause d'un instrument de mesure inadapté

# Tutelles administratives

autour de l'utilisation médicale des rayonnements ionisants

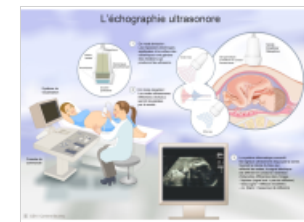
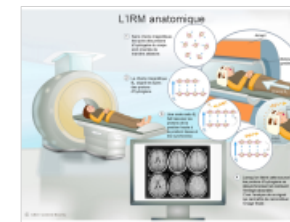
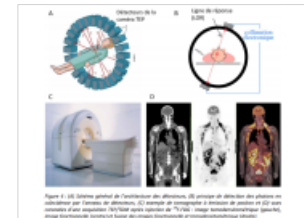
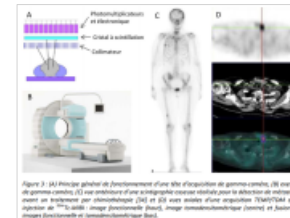
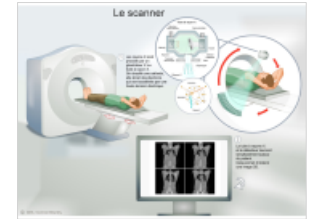
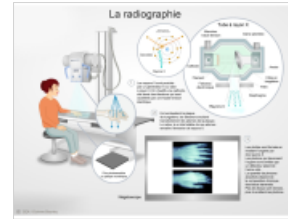


# Champs d'expertise

## Domaines de la physique médicale

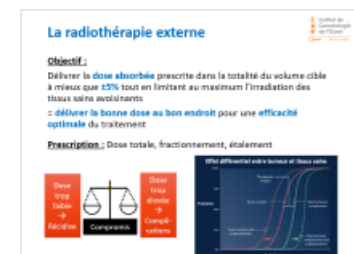
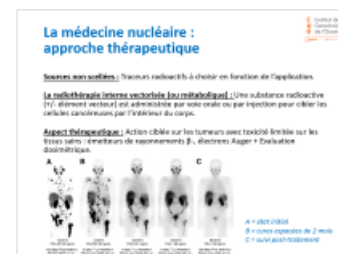
### Imagerie

- Radiologie conventionnelle
- Radiologie interventionnelle
- Mammographie
- Scanographie
- Tomographie par Emission Mono-Photonique (TEMP)
- Tomographie par Emission de Positons (TEP)
- Imagerie par résonance magnétique (IRM)
- Echographie



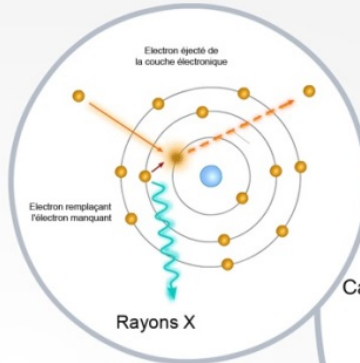
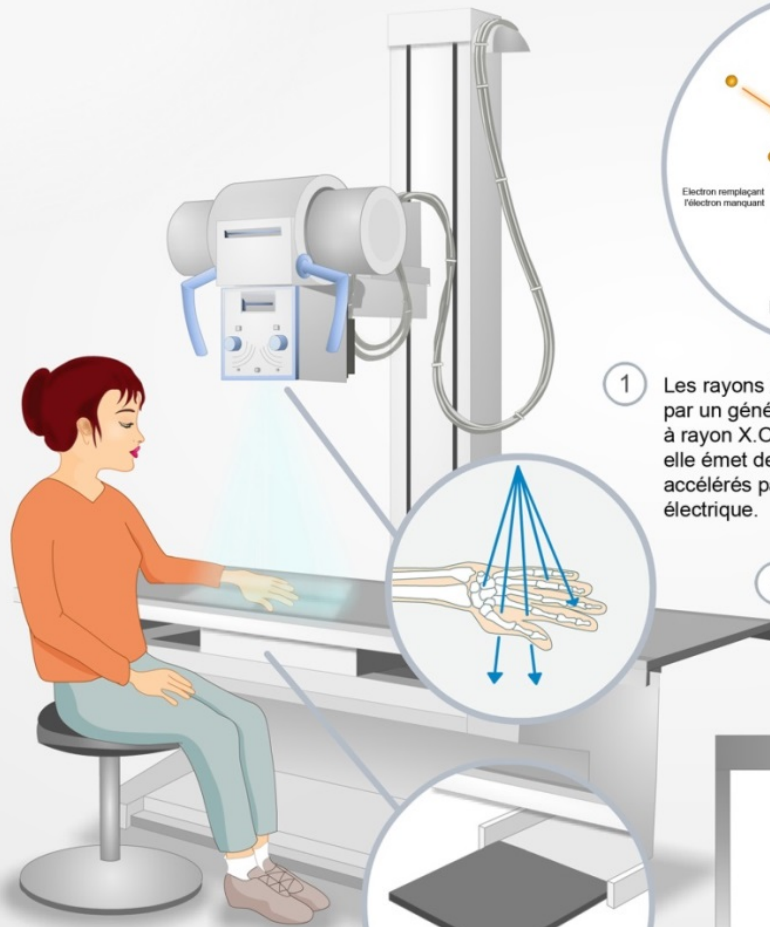
### Radiothérapie

- Curiethérapie
- Source interne
- Source externe

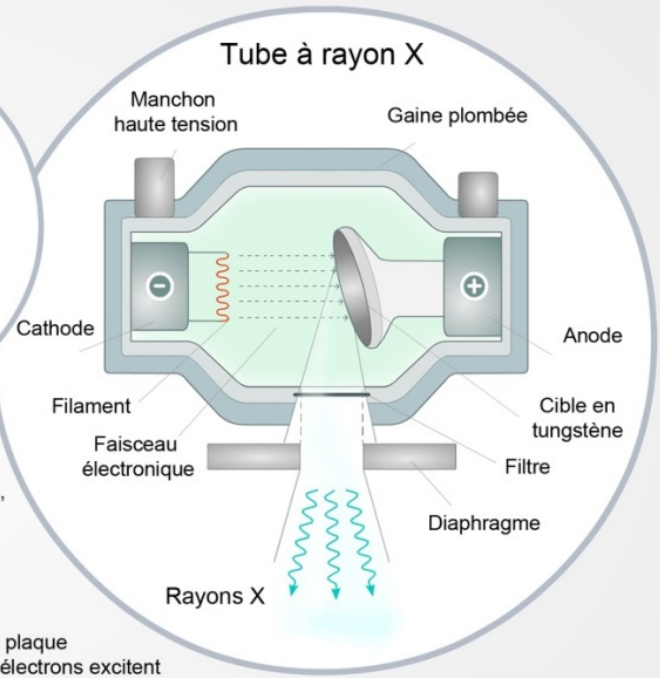




# La radiographie

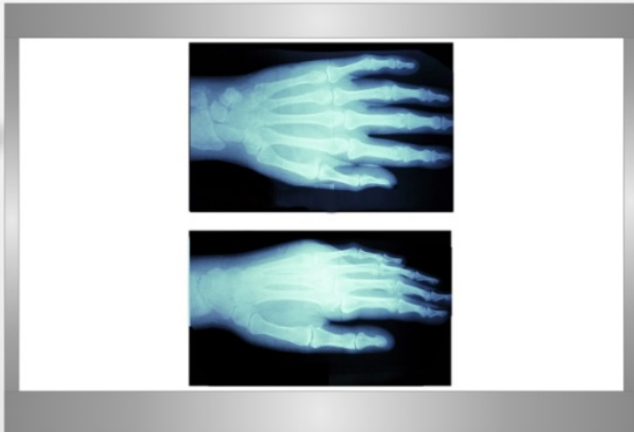


1 Les rayons X sont produits par un générateur X ou tube à rayon X. On chauffe une cathode, elle émet des électrons qui sont accélérés par une haute tension électrique.



2 En bombardant la plaque de tungstène, les électrons excitent transitoirement les atomes de la plaque. Le retour à un état stable de ces atomes entraîne l'émission de rayons X.

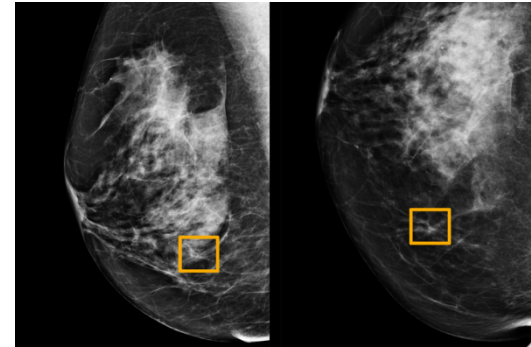
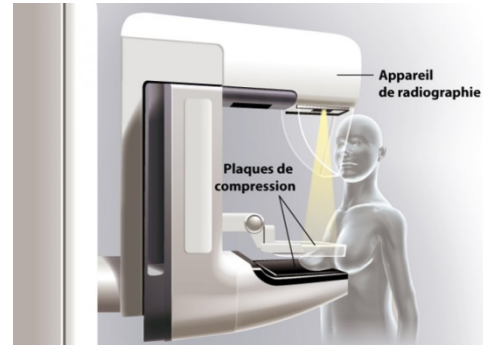
3 Les clichés sont formés en irradiant l'organe par des rayons X. Les photons qui traversent l'organe sont arrêtés par un détecteur placé de l'autre côté. La quantité de photons absorbés dépend de la composition chimique des tissus traversés. Plus les tissus sont denses, plus ils arrêtent les photons.



Négatoscope

# La radiologie : mammographie, dentaire, interventionnelle

## Mammographie



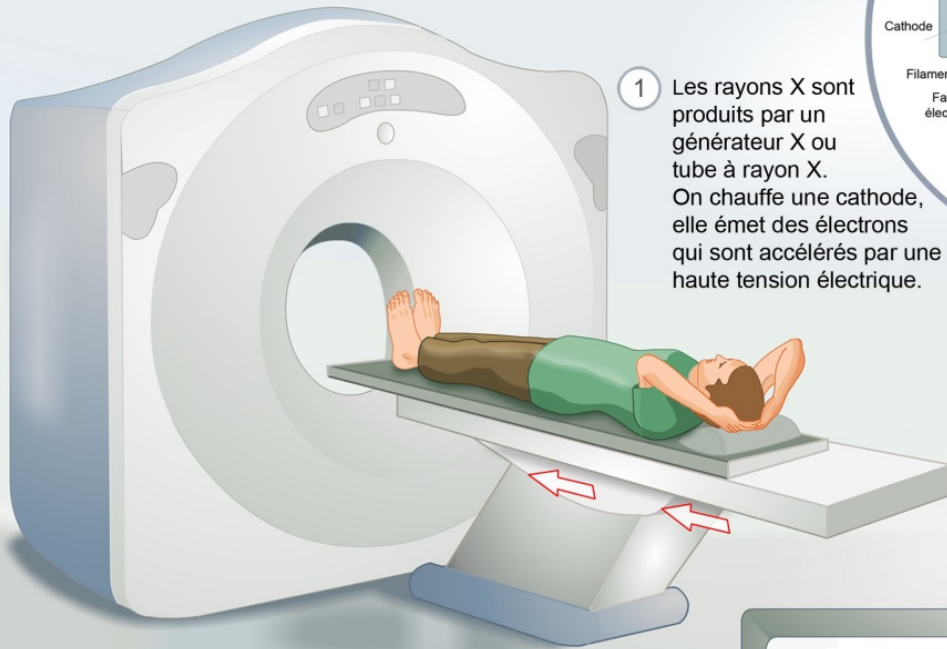
## Dentaire



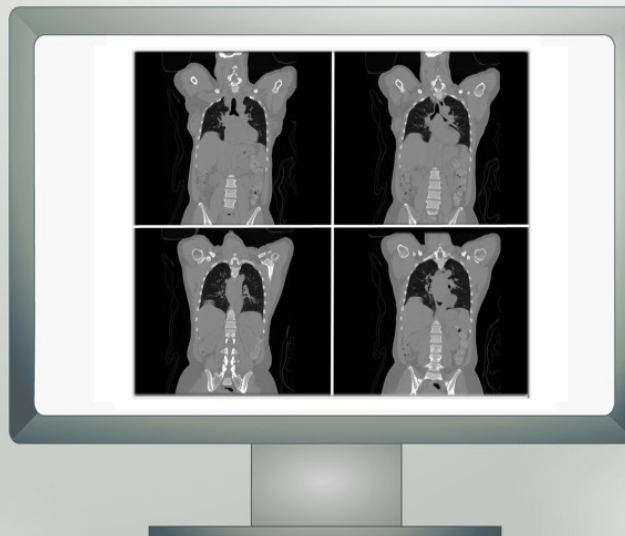
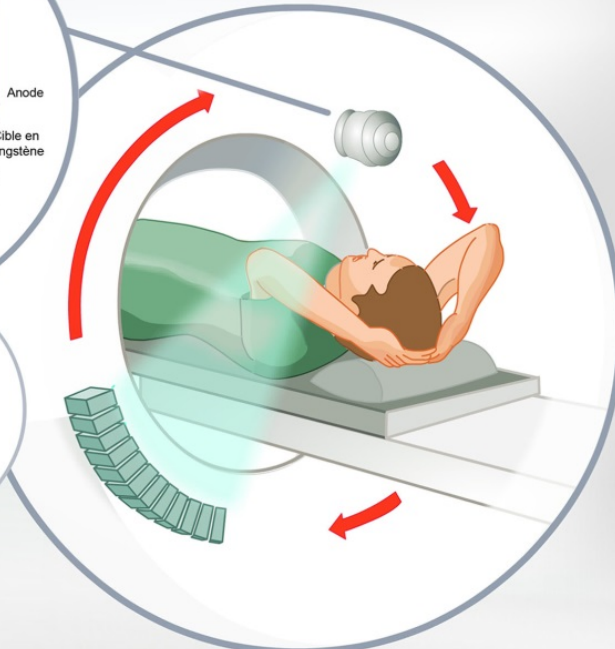
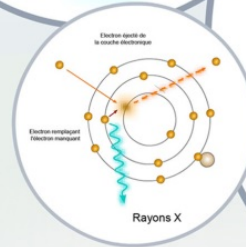
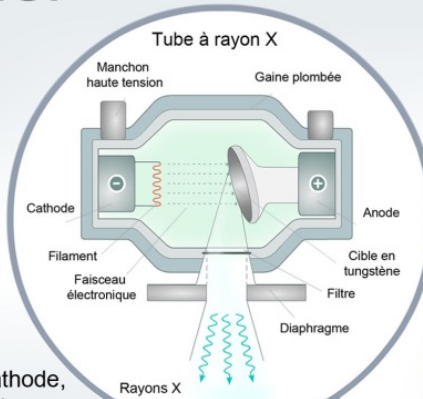
## Interventionnelle



# Le scanner



1 Les rayons X sont produits par un générateur X ou tube à rayon X. On chauffe une cathode, elle émet des électrons qui sont accélérés par une haute tension électrique.



2 Le tube à rayons X et le détecteur tournent simultanément autour du patient. Cela permet d'obtenir une image 3D.





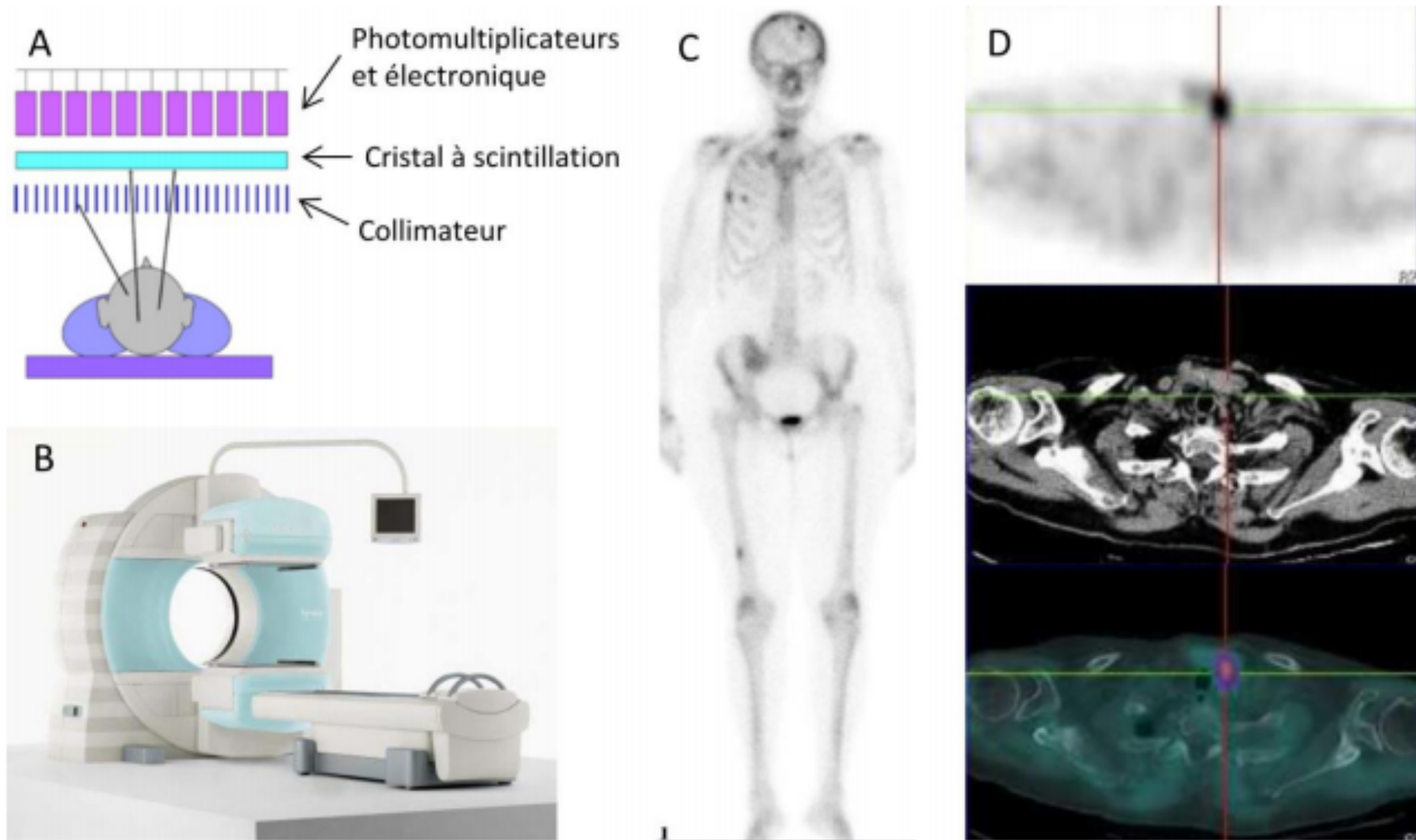


Figure 3 : (A) Principe général de fonctionnement d'une tête d'acquisition de gamma-caméra, (B) exemple de gamma-caméra, (C) vue antérieure d'une scintigraphie osseuse réalisée pour la détection de métastases avant un traitement par chimiothérapie [34] et (D) vues axiales d'une acquisition TEMP/TDM après injection de  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI : image fonctionnelle (haut), image tomodensitométrique (centre) et fusion des images fonctionnelle et tomodensitométrique (bas).

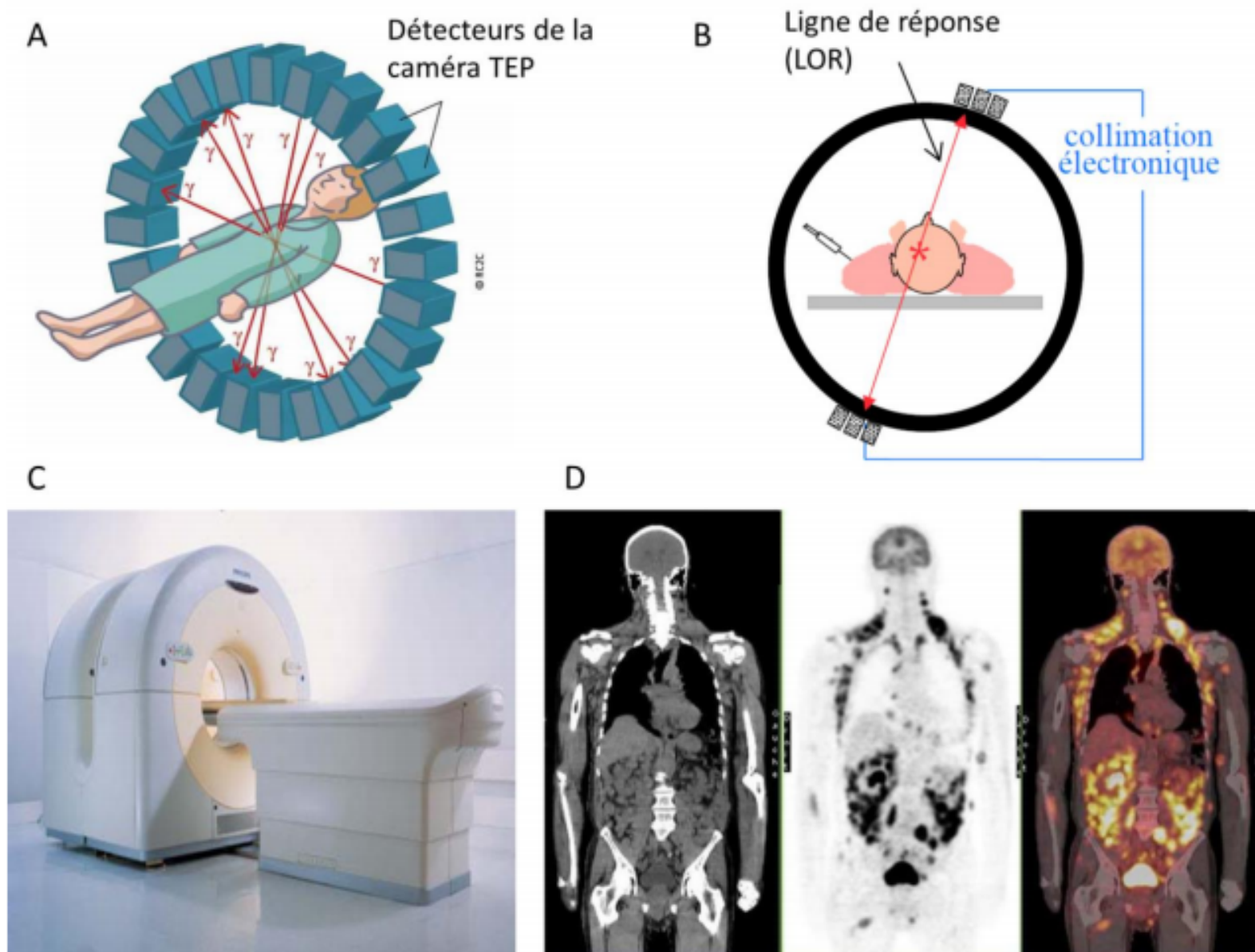
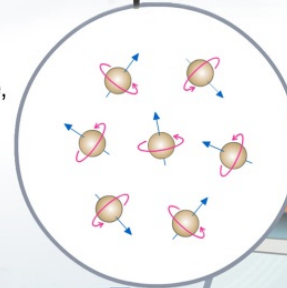


Figure 4 : (A) Schéma général de l'architecture des détecteurs, (B) principe de détection des photons en coïncidence par l'anneau de détecteurs, (C) exemple de tomographe à émission de positon et (D) vues coronales d'une acquisition TEP/TDM après injection de  $^{18}\text{F}$ -FDG : image tomodensitométrique (gauche), image fonctionnelle (centre) et fusion des images fonctionnelle et tomodensitométrique (droite).

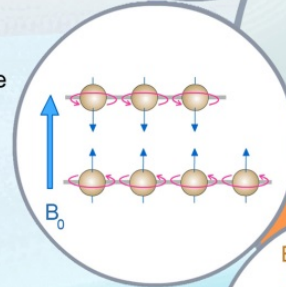


# L'IRM anatomique

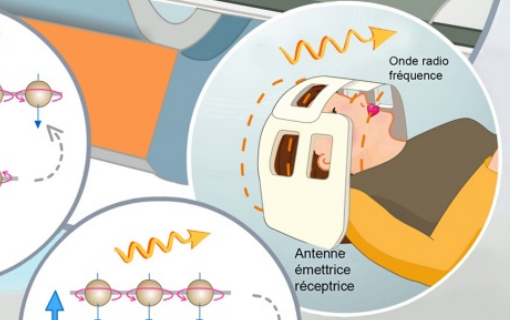
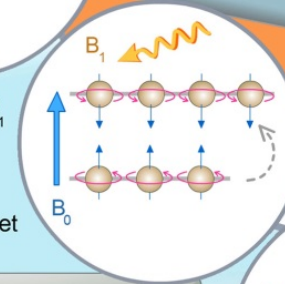
1 Sans champ magnétique, les spins des protons d'hydrogène du corps sont orientés de manière aléatoire.



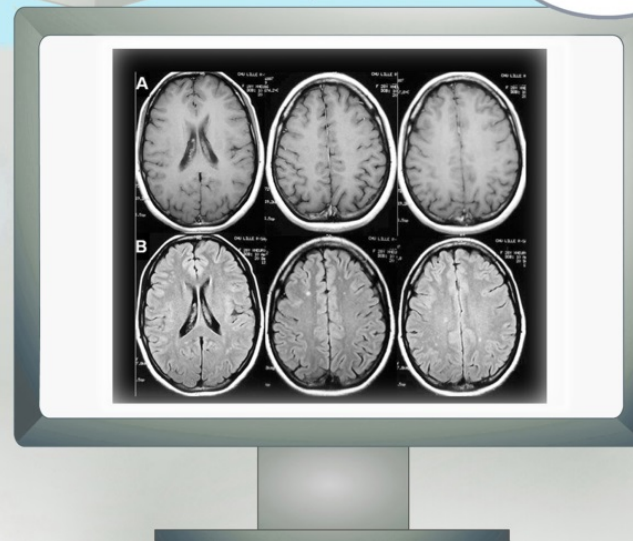
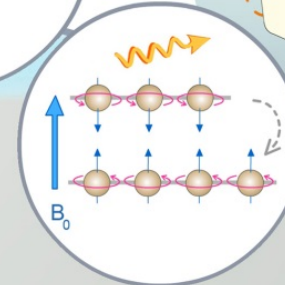
2 Le champ magnétique  $B_0$  aligne les spins des protons d'hydrogène.



3 Une onde radio  $B_1$  fait basculer les protons de la position haute à la position basse et les synchronise.

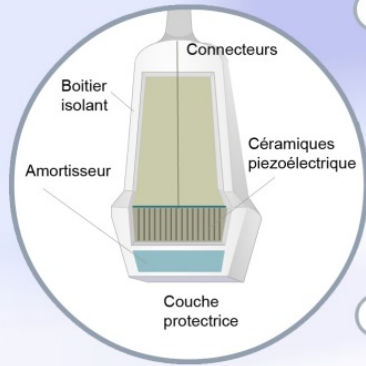


4 Lorsqu'on éteint cette source  $B_1$ , les protons d'hydrogène se désynchronisent et restituent l'énergie absorbée. C'est l'analyse de ce signal qui permettra de reconstituer l'image finale.

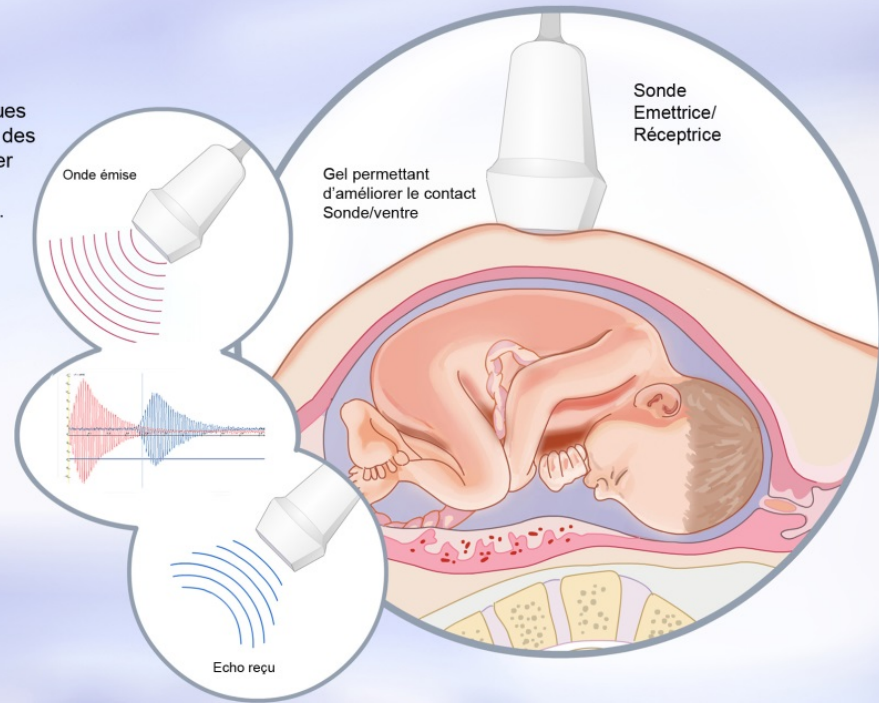




# L'échographie ultrasonore



1 En mode émission :  
Les impulsions électriques appliquées à la surface des céramiques vont générer des vibrations qui produiront les ultrasons.



2 En mode réception :  
Les ondes ultrasonores réfléchies («échos») seront récupérées par la sonde.

Système de visualisation



Console de commande



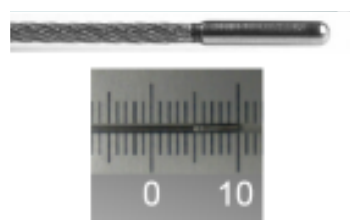
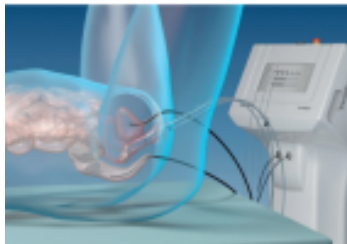
3 Le système informatique convertit les signaux ultrasonores reçus par la sonde. Suivant la nature du tissu qui réfléchit les ondes, le signal électrique est différent et conduit à l'obtention d'intensités différentes dans l'image :

- liquides (signal noir = pas de réflexion)
- tissus (gris = réflexion modérée)
- os (blanc = beaucoup de réflexion)

# La curiethérapie

En curiethérapie, les éléments radioactifs en **sources scellées** sont introduits à l'intérieur ou à proximité immédiate des tumeurs : **iode 125** principalement émetteur  $\gamma$  et X de faible énergie (prostate), **iridium 192** principalement émetteur  $\beta$ - et  $\gamma$  (sein, organes génitaux, peau).

- **La curiethérapie superficielle** : applicateur temporaire en surface.
- **La curiethérapie endocavitaire** : applicateur temporaire dans une cavité naturelle.
- **La curiethérapie interstitielle à chargement différé** : applicateur temporaire à travers les tissus à traiter.
- **La curiethérapie interstitielle avec implants permanents** : implantation permanente de grains d'iode (prostate) qui vont décroître au sein du patient.

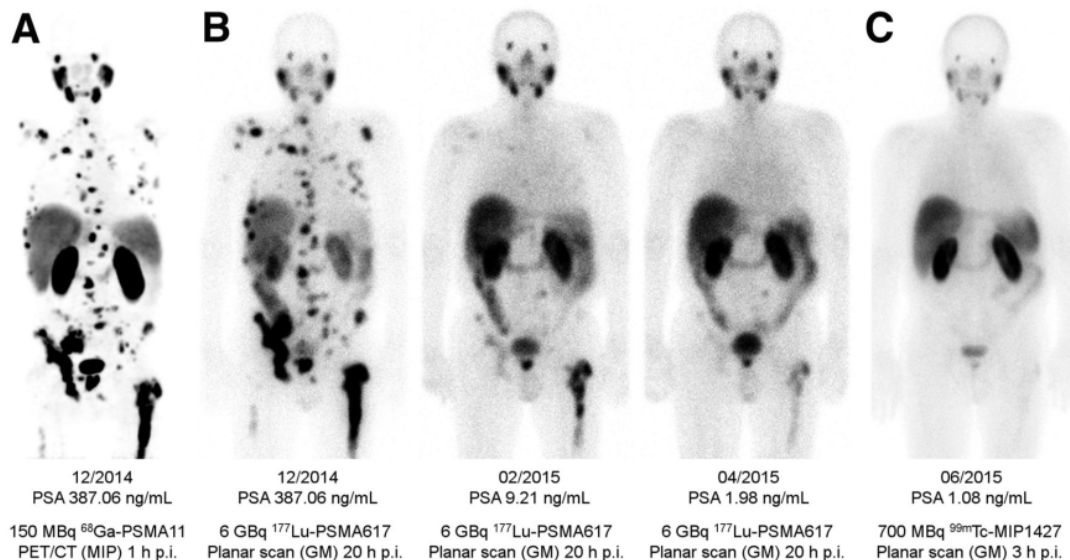


# La médecine nucléaire : approche thérapeutique

**Sources non scellées** : Traceurs radioactifs à choisir en fonction de l'application.

**La radiothérapie interne vectorisée (ou métabolique)** : Une substance radioactive (+/- élément vecteur) est administrée par voie orale ou par injection pour cibler les cellules cancéreuses par l'intérieur du corps.

**Aspect thérapeutique** : Action ciblée sur les tumeurs avec toxicité limitée sur les tissus sains : émetteurs de rayonnements  $\beta^-$ , électrons Auger + Evaluation dosimétrique.



*A = état initial*  
*B = cures espacées de 2 mois*  
*C = suivi post-traitement*

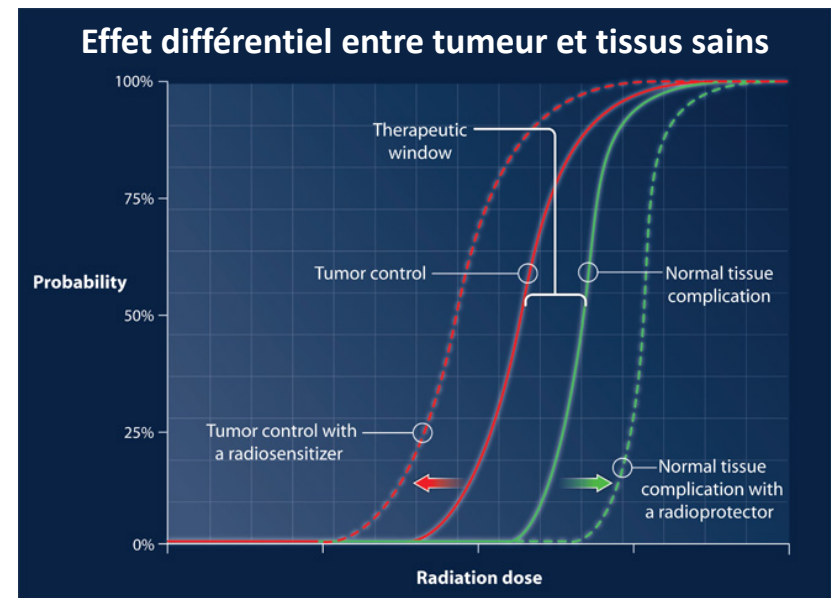
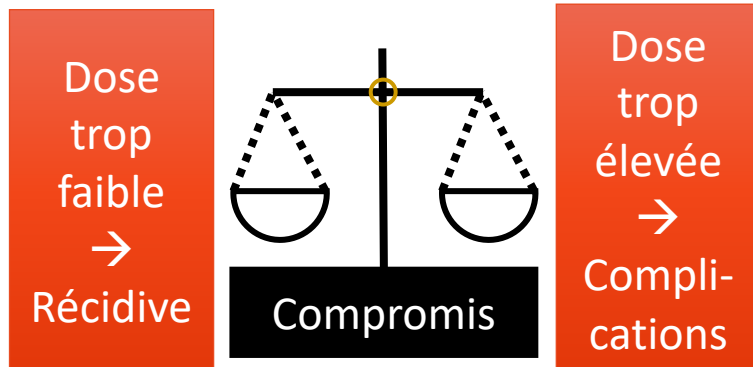
# La radiothérapie externe

## Objectif :

Délivrer la **dose absorbée** prescrite dans la totalité du volume cible à mieux que **±5%** tout en limitant au maximum l'irradiation des tissus sains avoisinants

= **délivrer la bonne dose au bon endroit** pour une **efficacité optimale** du traitement

Prescription : Dose totale, fractionnement, étalement

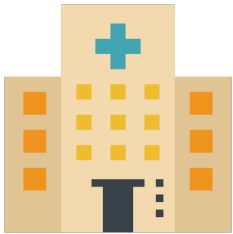


# Champs d'expertise

## Compétences en physique médicale

- Emission / Détection
- Traitement du signal / Reconstructions d'images
- Compromis dose / qualité image
- Dosimétrie
- Mise en service et suivi de machines / logiciels
- Notion de radiobiologie
- Règlementation
- Veille documentaire et technologique
- Radioprotection

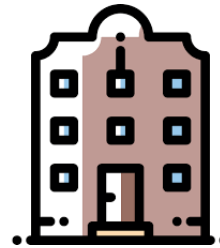
# Lieux d'exercices



Hôpitaux publics  
Cliniques privées  
CLCC (ESPIC)



Structures de  
contrôle/d'expertise  
(ASN/IRSN)



Entreprises (R&D,  
formateurs, technico-  
commerciaux,  
contrôleurs externes)



Recherche  
académique

Particularité de la physique médicale : absence de chaire universitaire





**IMT Atlantique**  
Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

# Présentation du parcours patient

# L'imagerie : *Dépister, confirmer/infirmier ou affiner un diagnostic (exemples)*



## Scanner de diagnostic

- Imagerie anatomique
- +/- produit de contraste iodé



## Mammographie

- Imagerie anatomique
- Forte exigence en contraste et résolution



## TEMP

- Imagerie fonctionnelle



## TEP

- Imagerie fonctionnelle
- Bilan d'extension de la maladie



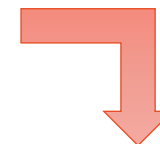
## IRM

- Imagerie anatomique/fonctionnelle
- Meilleur contraste que scanner
- Grande diversité de séquence selon ce qu'on veut observer

**Dépistage  
ou  
Consultation  
médicale « de  
routine »**

**Consultation  
médicale  
spécialisée**

- Localisation
- Stade
- Stratégie thérapeutique



**Stratégie  
thérapeutique**

- Radiothérapie externe
- Radiothérapie interne
- Chirurgie
- Chimiothérapie
- Immunothérapie
- etc



## ÉTAPE 1

POUR CERTAINES INDICATIONS :  
ADMINISTRATION D'UN  
PRODUIT DE CONTRASTE

# L'imagerie : *mammographie*



The video player shows a woman with short blue hair, wearing a purple top with a white collar and black pants, standing with her hands on her hips. To her right, the text reads: **59 000**  
**NOUVEAUX CAS**  
**CHAQUE ANNÉE**

Pause (k)

0:18 / 2:11

Video player controls: play/pause, next, mute, volume, settings, full screen, and share icons.

# L'imagerie : scintigraphie / TEMP





## Un **TEPscan digital** à l'IMF Centre Cardiologique du Nord



# L'imagerie : *IRM*



# La radiothérapie externe :

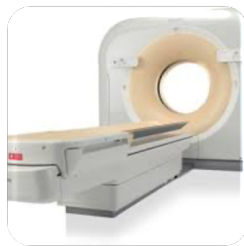
## *La prise en charge du patient et de son dossier*

La physique intervient à de multiples étapes dans la préparation du traitement, mais aussi en amont pour la mise en service des outils et des techniques, le suivi des performances, la veille technologique.



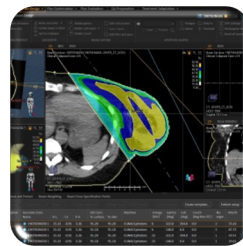
### Consultation médicale

- Localisation
- Stade
- Prescription



### Scanner de simulation

- Position de traitement
- Contentions
- Paramètres
- Produit de contraste ?



### Planification

- Dessins cibles et organes à risque
- Machine de traitement
- Balistique
- Calcul de la dose absorbée



### Vérifications Validations

- Calcul de dose juste
- Traitement réalisable
- Exigences médicales remplies

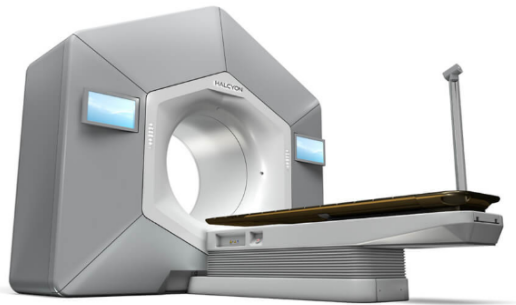


### Traitement

- Vérifications
- Imagerie de positionnement
- Délivrance



# La radiothérapie externe : *Différentes machines complexes*



# Merci pour votre attention !

## Des questions ?

### **Session 1 (3h) : 14h à 17h en salle puis visite des installations**

- Présentation généraliste du métier de physicien médical (études, champs d'expertise, présence dans différentes structures) – 20 min (AM)
- Présentation du parcours patient – 20 min (AM)
- Imagerie RX 1h (MV)
- Médecine nucléaire 1h (NV)

### **Session 2 (3h) : 14h à 17h en salle puis visite des installations**

- Radiothérapie interne - 30min (NV)
- Radiothérapie externe - 1h (SJ)
- R&D - Evolutions technologiques associées (2 à 3 thèmes) - 1h/1h30 (MV, SCH, LF)
- « Evaluation »/Echanges libres sur le temps restant