


# LES RAYONS X

Introduction à l'Imagerie Médicale

Elodie Puybareau





# LES RAYONS X, AMIS OU ENNEMIS DE NOTRE SANTÉ ?



La découverte des  
Rayons X

Les principes de la  
radiographie

Le scanner

La radiothérapie





LA  
DÉCOUVERTE  
DES RAYONS  
X

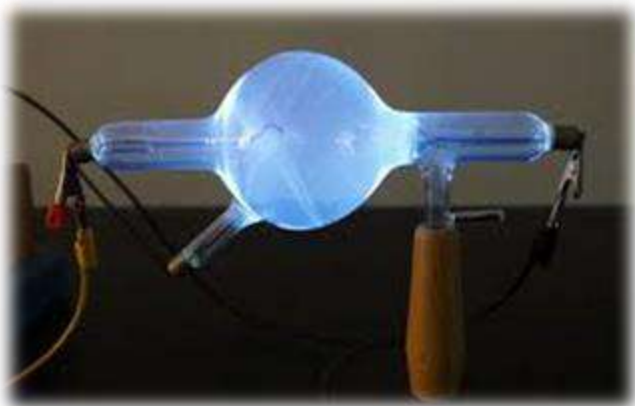




1838 : Faraday s'intéresse aux décharges électriques dans les gaz raréfiés

Appareil de Faraday :  
cathode et anode dans un  
tube en verre. Quand la  
cathode reçoit de la tension,  
cela provoque une étincelle

En diminuant la pression  
dans le gaz, l'étincelle se  
transforme en émanation  
violette.



4e état de la matière nommé "**matière radiante**"





Cette expérience est largement reprise tout au long du XIXe siècle mais reste incomprise.

Plucker : augmenter la pression provoque une fluorescence verte sur les parois en face de la cathode

1869 : les rayons se propagent en ligne droite (découverte par Hittorf grâce à la croix)



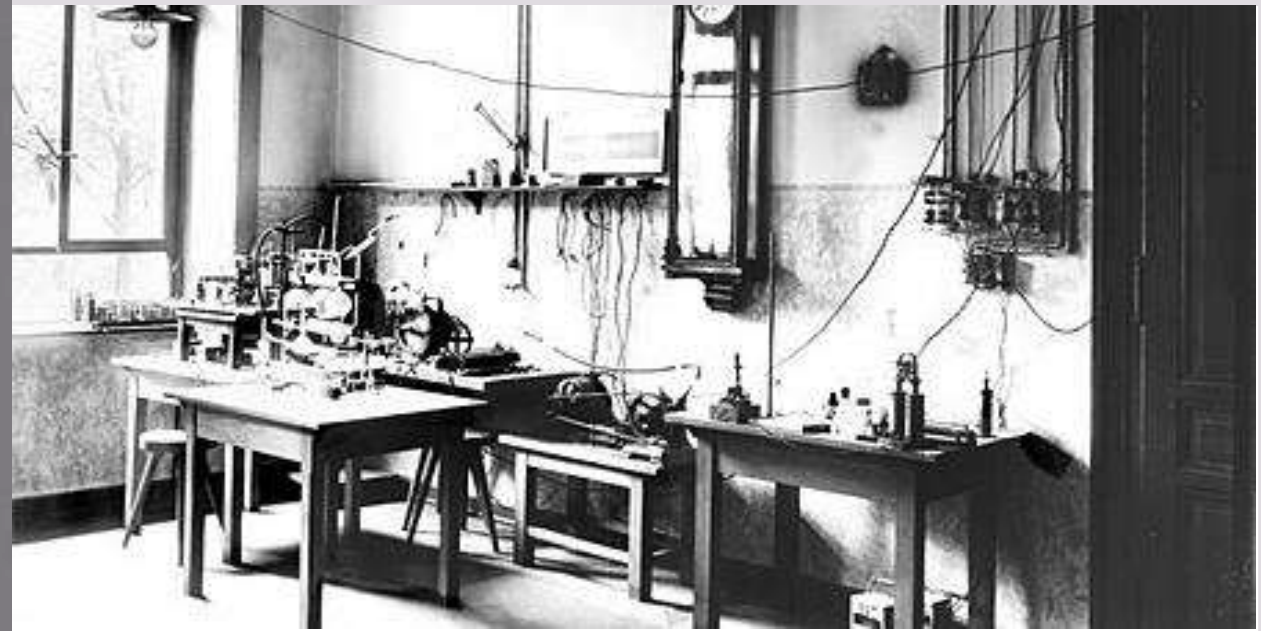
Ces rayons sont appelés "**rayons cathodiques**"



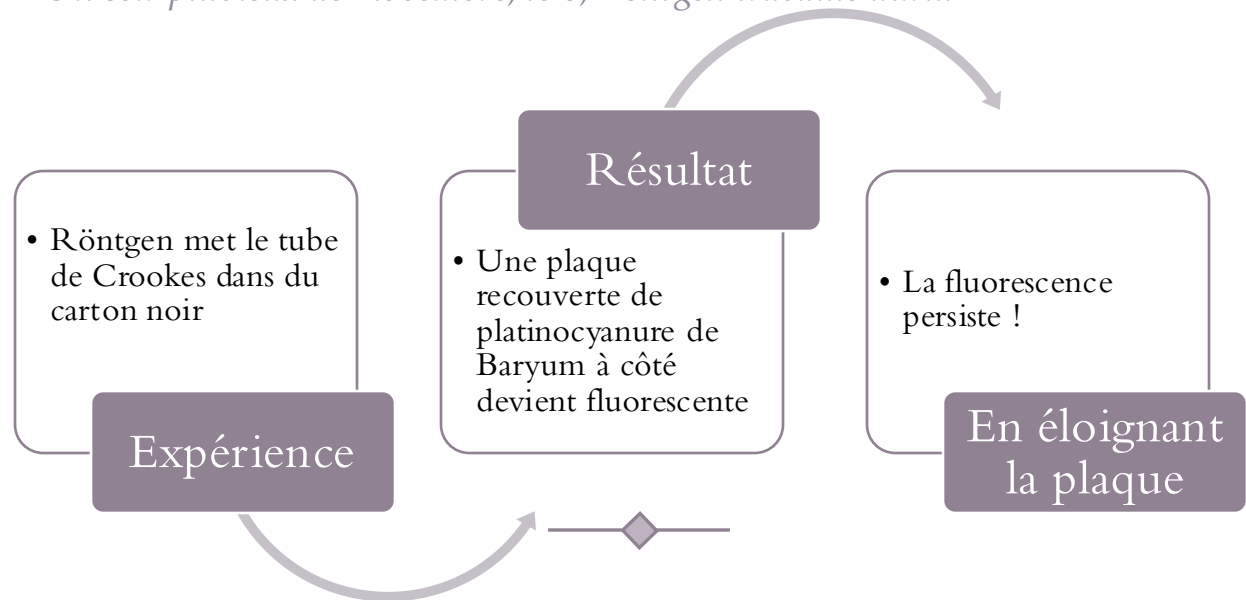
Crookes perfectionne ces tubes : "**tube de Crookes**"

1895, Wilhem Röntgen étudie  
le rayonnement cathodique

Quand le hasard fait  
bien les choses...



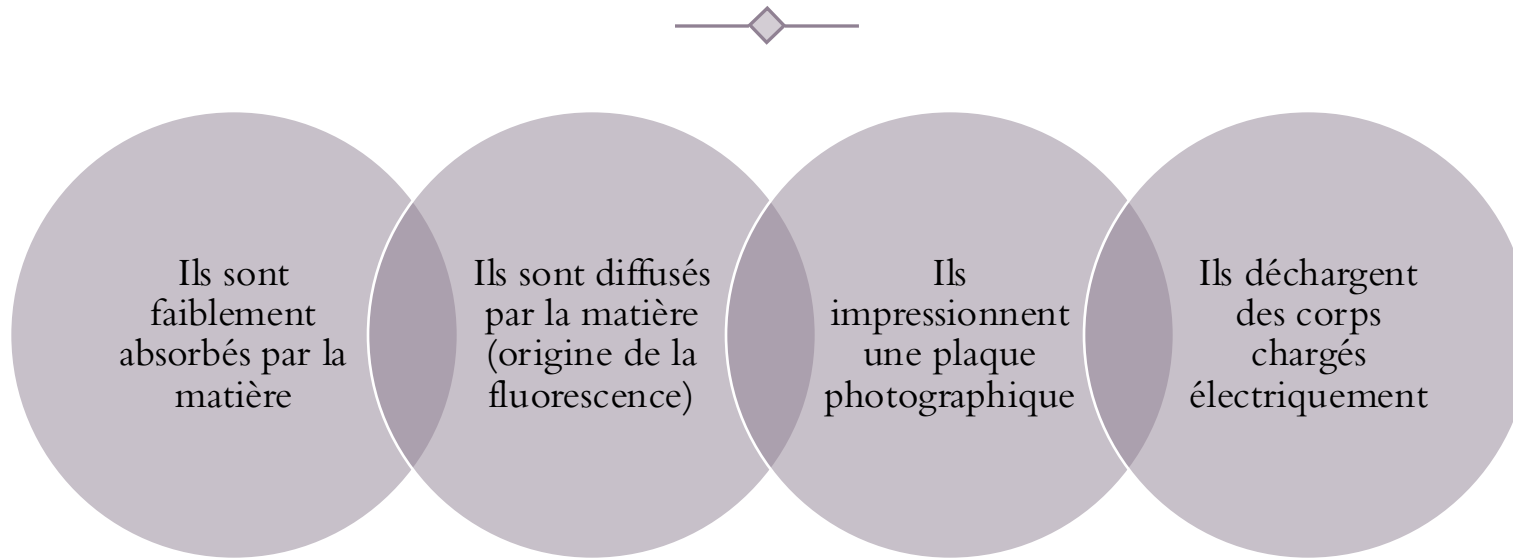
*Un soir pluvieux de Novembre, le 8, Röntgen travaille dur...*





Il intercale des objets entre le tube et la plaque :  
papier, bois, livre de 1000 pages... La fluorescence  
est toujours là !

Il nomme ce rayonnement : "**Rayons X**"



Et, bien sûr, si on intercale la main, on arrive à voir les os  
et les tissus !

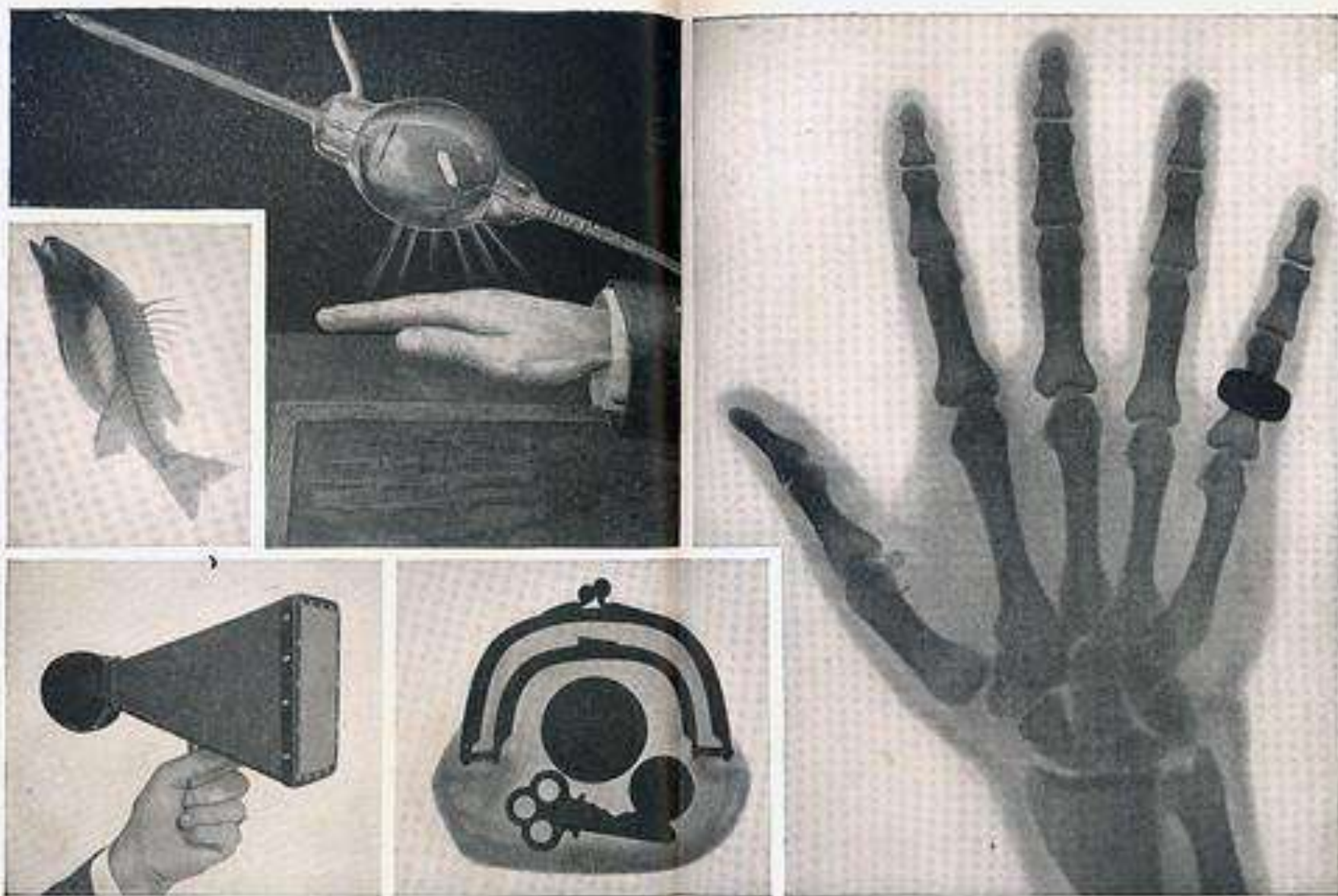
Cette découverte marque le début de l'ère de l'imagerie  
médicale



Prix Nobel en 1901



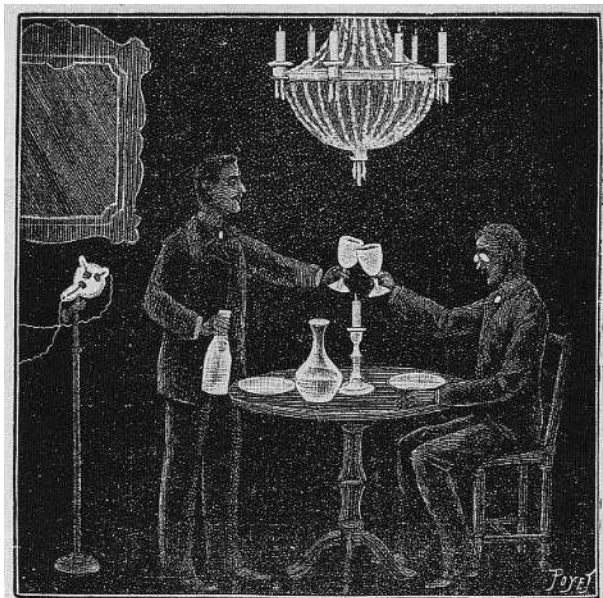




**THE ROENTGEN RAYS,** CHUCKER TUBE (QUEEN & CO.'S PERFECTED FORM) IN OPERATION. [NOTE: THE ROENTGEN RAYS ARE ACTUALLY INVISIBLE, AND THE SHADOWGRAPH CAN BE SEEN ONLY AFTER DEVELOPING THE SENSITIZED PLATE; BUT BOTH ARE INDICATED IN THE ILLUSTRATION FOR THE PURPOSE OF BETTER EXPLANATION. THE SHADOWGRAPH AS SHOWN HERE ON PLATE RESEMBLES THAT SEEN IN THE SKIASCOPE WHEN PROJECTED UPON THE FLUORESCENT SCREEN OF THAT INSTRUMENT.] SHADOWGRAPHS OF A HUMAN HAND, A FISH, AND A JARRE WITH CONTENTS. SKIASCOPE DESIGNED AND MADE BY QUEEN & CO., PHILADELPHIA.



# Pour les séances de néo-occultisme



[Fig. 91]

## LUMINOSITÉ DES SUBSTANCES VITRIFIÉES

Voir Communication à l'Académie des sciences du 25 janvier 1897, à la Société de physique, séances de Pâques 1897.

## ACCESSOIRES POUR SÉANCES DE NÉO-OCULTISME

Voir le journal *La Nature* du 6 mars 1898, 10 avril 1897, *L'Illustration* du 10 avril 1897 et tous les journaux scientifiques et quotidiens de France et de l'Étranger de cette époque.



Mise en scène de l'apparition.

## LE NÉO-OCULTISME

Un mot sur le néo-occultisme. Tout d'abord, c'est un mot qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.



L'apparition.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le néo-occultisme est un mouvement qui a été inventé par un homme qui se nomme Jean Baudouin. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*. C'est un homme qui a écrit un livre intitulé *Le Néo-occultisme*.

Le Néo-occultisme (*L'Illustration*, 10/04/1897)



Salle des Dépêches du PROGRÈS  
95, RUE DE LA RÉPUBLIQUE, 95

# Le Cinématographe LUMIÈRE

Semaine du 12 au 18 Juin 1898

VUES PROJÉTÉES :

PANORAMA DU CHEMIN DE FER A L'ENTRÉE DU TUNNEL DE MERRACHE

1. Passage dans le tunnel.
2. Sortie du tunnel.
3. Les Maçons.
4. Un prêt pour un rendu.
5. Régates militaires en Autriche (Aller).
6. — (Retour).
7. Transport d'une locomotive de Lyon à Franchville.
8. L'Amoureux dans le sac.

LES SEANCES 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-SEUL **Rayons X** Expériences scientifiques et publiques.  
Tables sous les yeux, de 2 h. à 6 h. 1/2 et de 8 h. à 11 h.  
ENTRÉE : 50 CENTIMES

## Pour les spectacles

**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. 3. 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 Malsbouse.

Plaques, Papiers, Produits et tous accessoires pour photographie. 2-11

Sool-Bad und Kuranstalt  
Station Länzelfingen (Schweiz) **RAMSACH** -Téléphon.  
— ist eröffnet! — 2-16

**GRANDS MAGASINS DUFAYEL**

Les plus vastes et les plus beaux du Monde dans leur genre

SEULE MAISON DONT L'ORGANISATION PERMET DE VENDRE TOUS LES ARTICLES UNIFORMEMENT BON MARCHÉ



**MEUBLES**

LITIERIE

Tapisseries

**SIÈGES**

Requadrage

en

**STYLE**

**INSTALLATIONS**

COMPLÈTES

en

Châssis, Villes

Bibliothèques

Chaises, etc.

**SERVICES DE TABLE**

Porcelaines

Cristaux

etc., etc.

**VOITURES**

D'ÉTOFFES

Gilets enlain

MARNAIS

Articles d'Étoffe

**MACHINES**

à coudre

**OUTILLAGE**

ARTICLES

de Ménage

CHAUFFAGE

ÉCLAIRAGE

Voyages

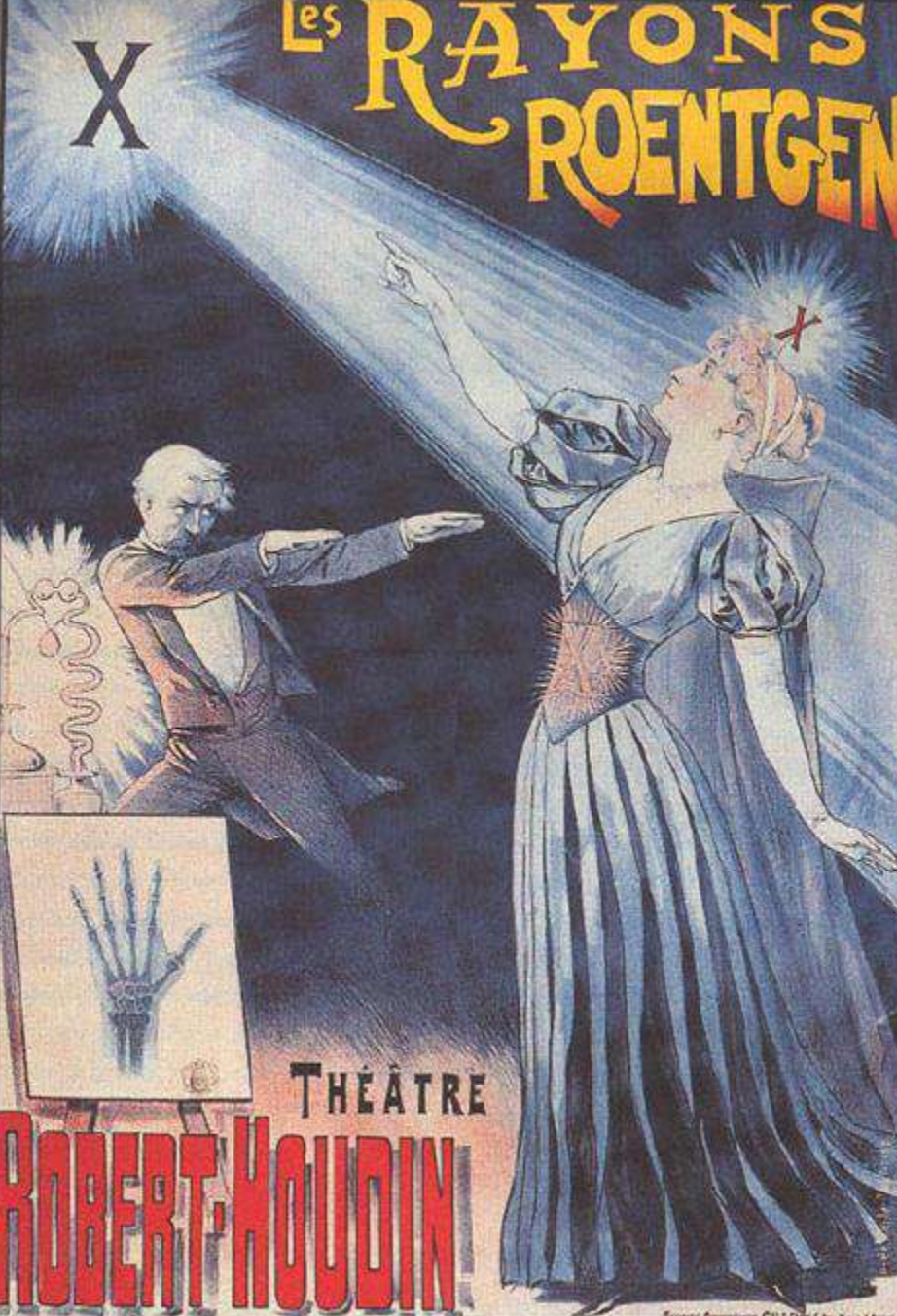
CHÈRE ET JAPON

GANNES

PARRAIRES

Tous les Jours } **LE CINÉMATOGRAPHE LUMIÈRE, les RAYONS X et leurs applications** avec les Appareils de l'Ingénieur RADIGUET  
**LE DESSINATEUR GILL'O**

**X** **Les RAYONS ROENTGEN**



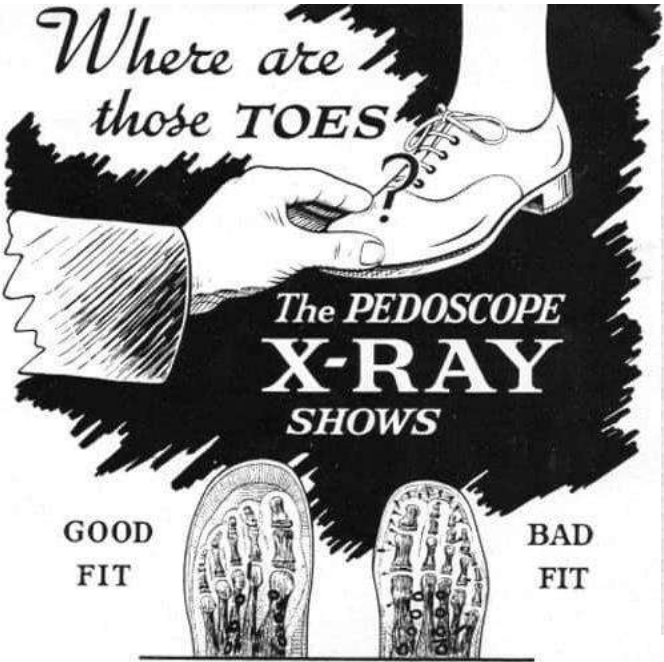
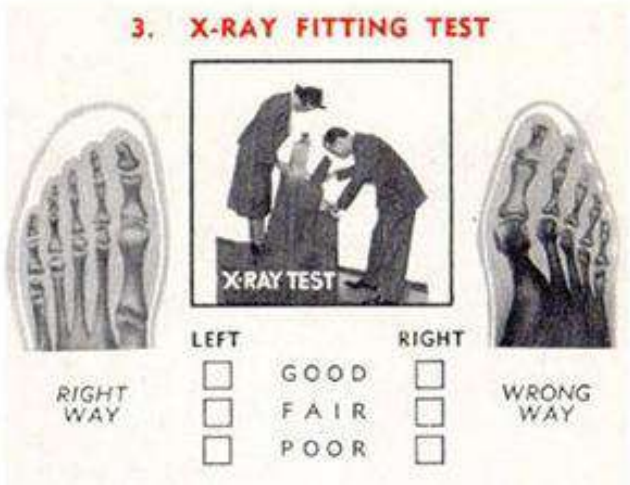
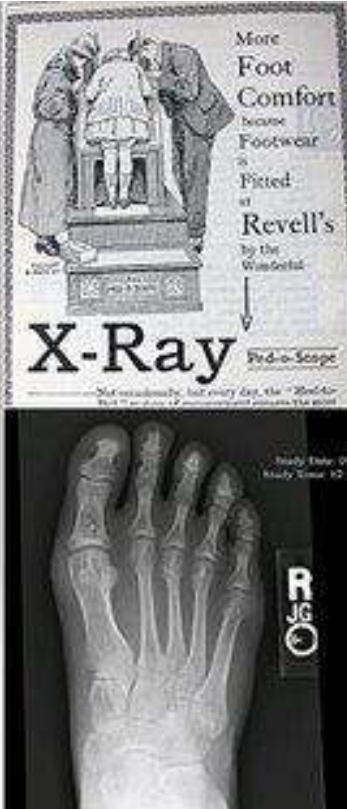
**THÉÂTRE ROBERT HOUDIN**

FRANCIS BOURGEOIS, CH. LÉVY & Cie Paris-Pont

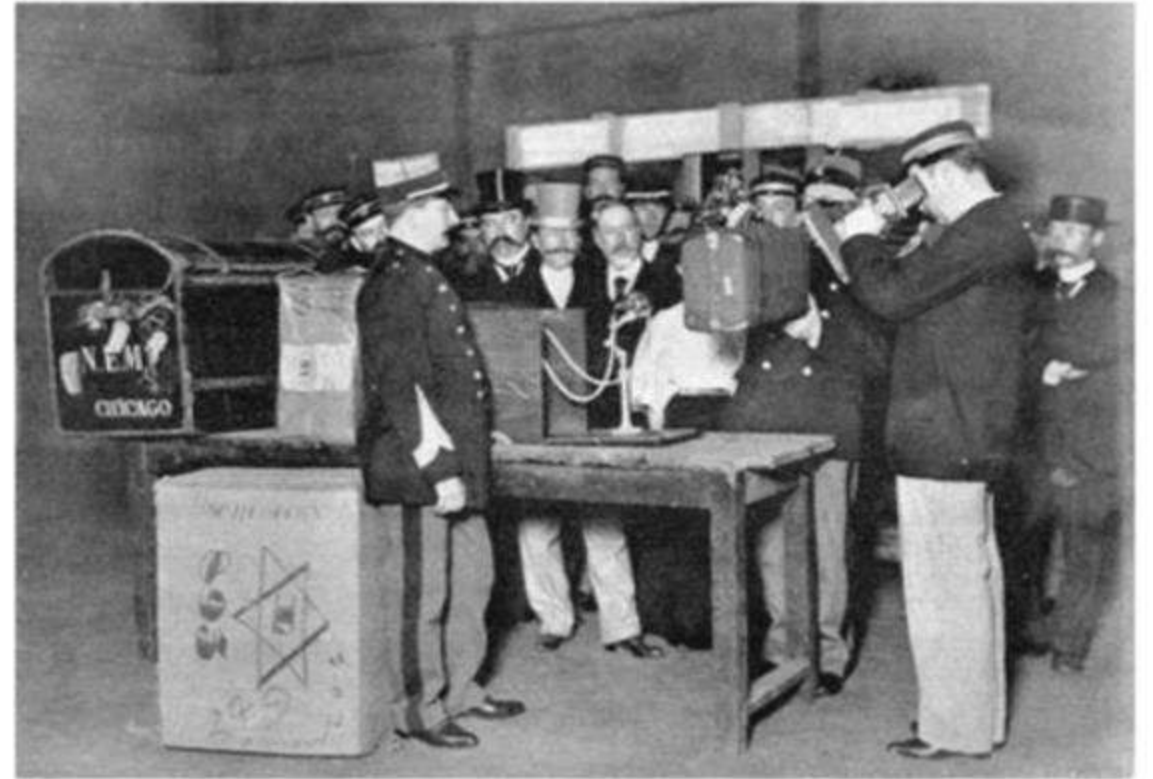
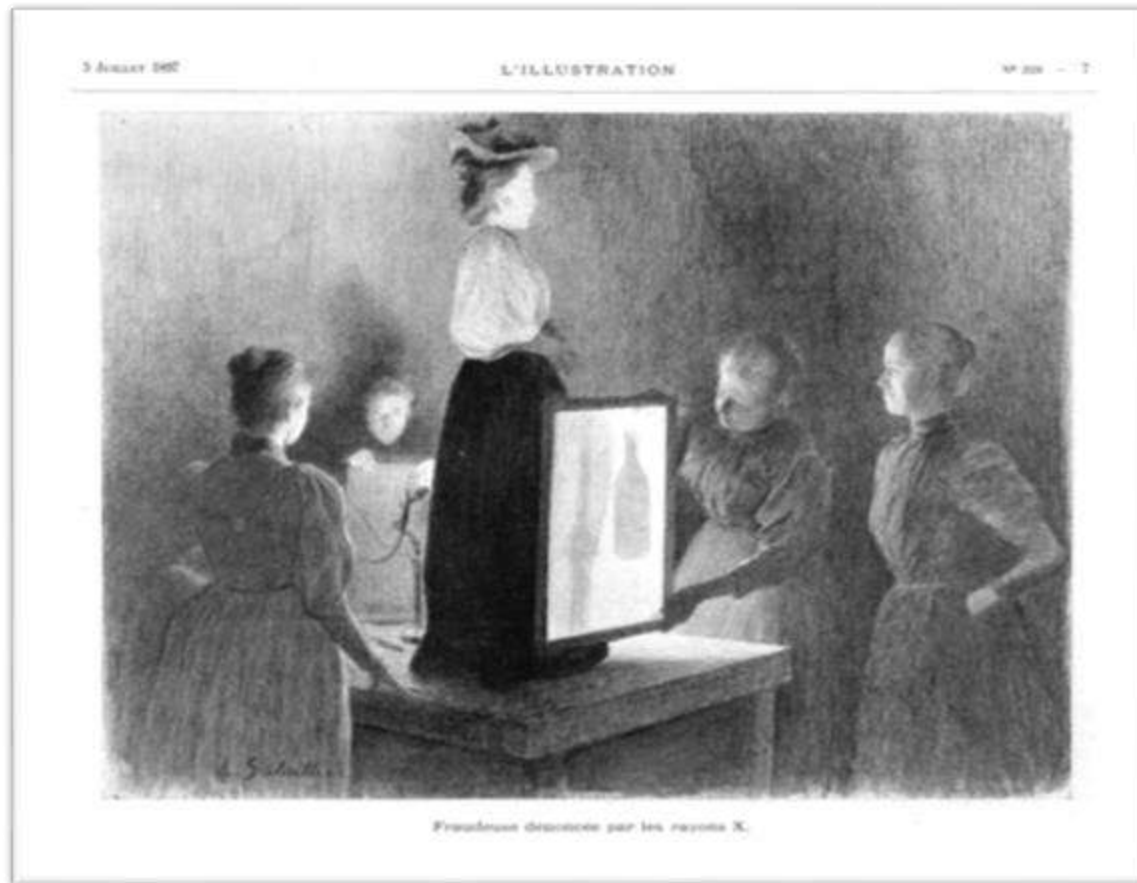
Affiche de spectacle au Théâtre Robert-Houdin (source : revue Contrastes de Guerbet, 1995)



# Pour vendre des chaussures : le podoscope !



# La radiographie contre la fraude





# La lorgnette humaine



Lorgnette « humaine »  
de Seguy (1897) pour  
la radioscopie.



« Bonnette-éclipse de  
Dessane » en position de  
fonctionnement.



Fig. 1. — Le Fluoroscope d'Edison.  
Les premières expériences dans le laboratoire de l'inventeur.



Fig. 2. — Le Fluoroscope d'Edison et l'indicateur de vide  
des tubes de Crookes.

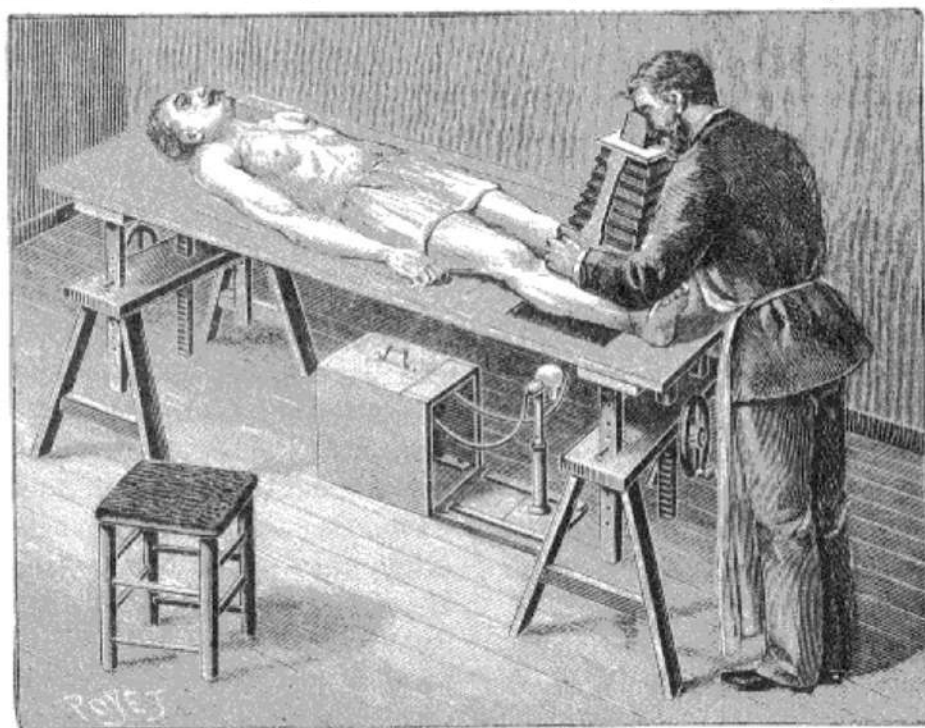
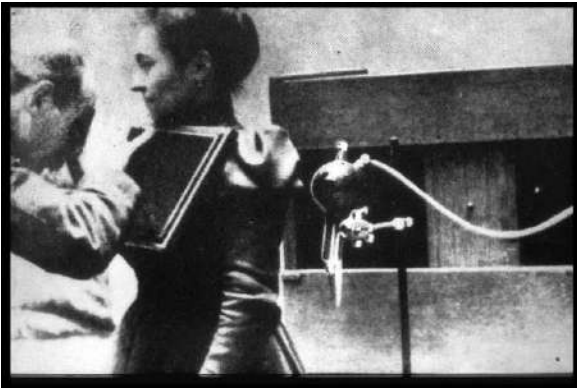


Fig. 2. — Table d'opération de M. G. Segny et dispositif général  
pour l'examen radioscopique.







# L'EXPLOSION DE LA RADIOGRAPHIE EN IMAGERIE MÉDICALE



1897, Antoine Béclère installe à ses frais le premier appareil de radioscopie. Il déclarera 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 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**  
Revoir : 15, Boulevard des Filles-du-Calvaire, l'as de Succursale.



On a aussi la  
toute première  
radio dentaire !



*Erste Zahnaufnahme vom Lebenden  
angefertigt 14 Tage nach der Verfüllung des  
Königens im December 1895 auf einer zu-  
geschnittene photographischen Glasplatte  
von Dr. Wilhelm Zahnarzt in Frankfurt a. M.*

*25min de temps de pause, sans bouger, avec une plaque photo  
entourée par une feuille de caoutchouc dans la bouche...*



# L'explosion de la radiographie en médecine de guerre

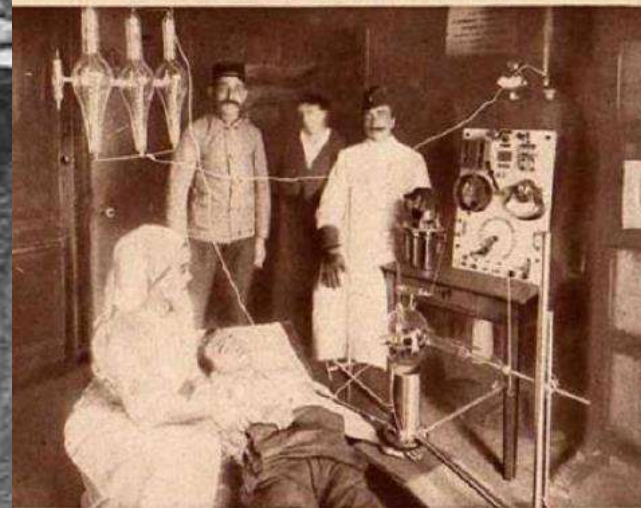


Marie Curie a conçu 18 "**petites Curies**", des voitures radiologiques toutes équipées pour aller sur le front. Elle a également installé 250 postes de radio dans les hôpitaux.

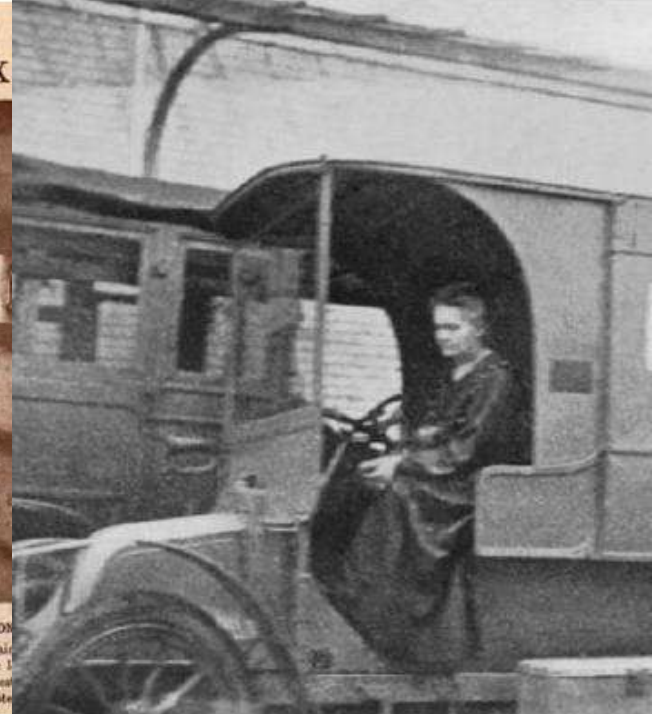
Elle examinera elle-même plus de 1000 blessés...

Opération sous la tente pratiquée avec la voiture Massiot.

LE MIROIR  
RADIOGRAPHIE SAUVE DE NOMBREUX



LA RADIOGRAPHIE DE LA MAIN D'UN BLESSÉ DANS UN HOPITAL D'ARCACHON  
Les rayons de radiographie installés dans les hôpitaux ont, depuis de la guerre, rendu les plus éminents services. Les rayons X ont de découvrir des projectiles dont la présence n'était que tie, et bien des soldats leur doivent la vie. Notre première photo a été prise dans un hôpital temporaire service du D<sup>r</sup> Roques. On procède avec la radiographie de la main d'un blessé qui est Scala, M. Monray. A droite, l'écran protège



Un type de voiture radiologique (modèle Massiot).



# Anatomie d'une petite Curie

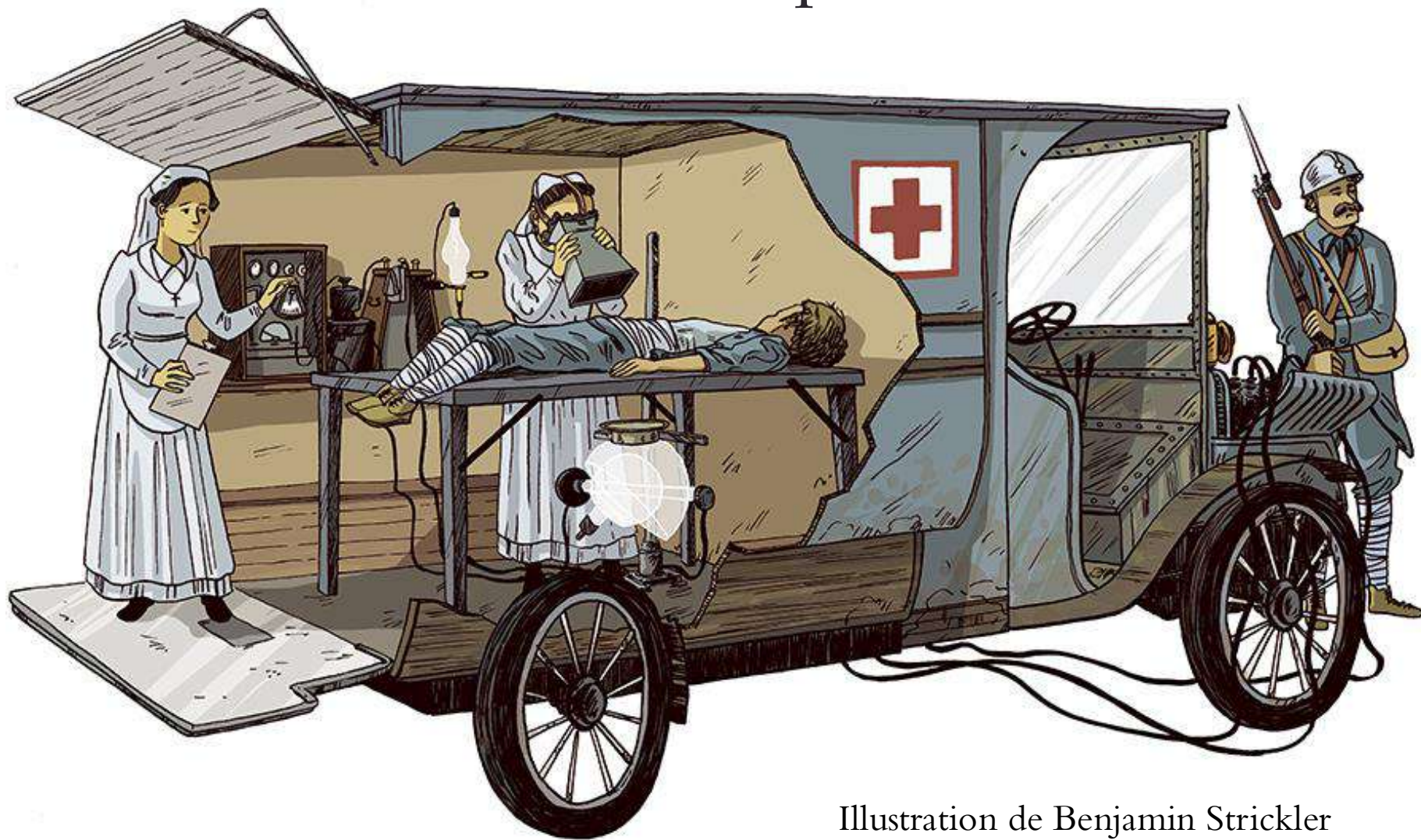
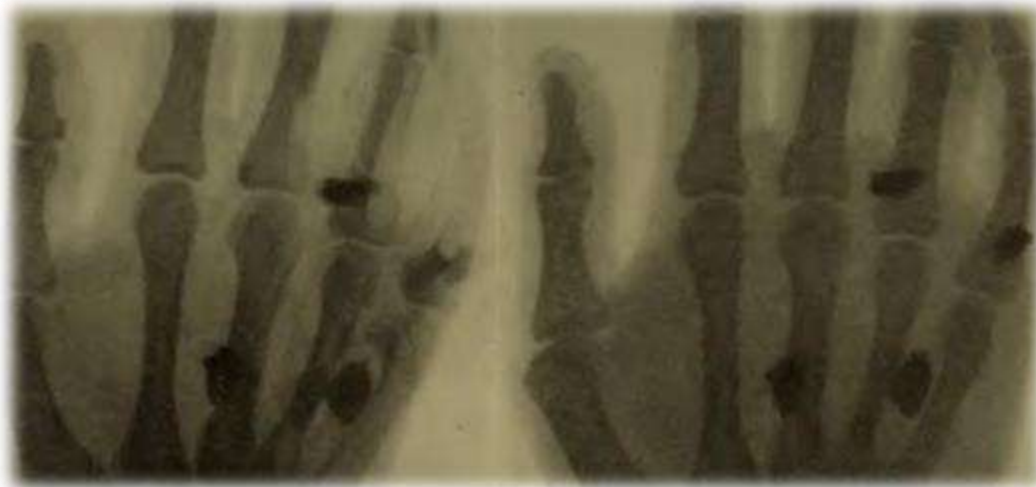


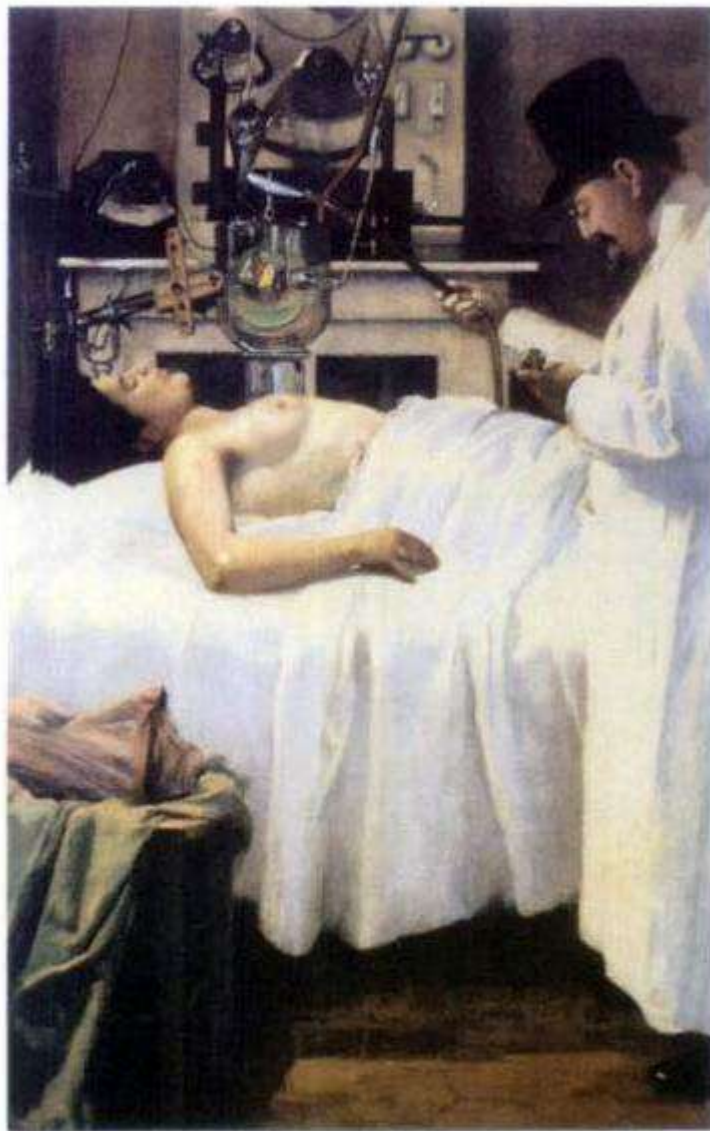
Illustration de Benjamin Strickler



Les radios de  
guerre en quelques  
images...



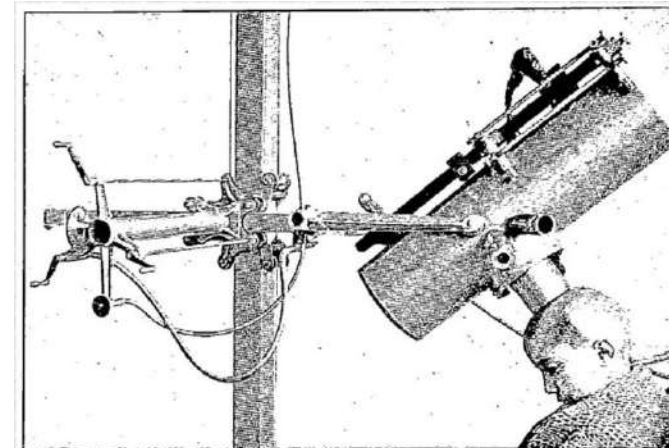
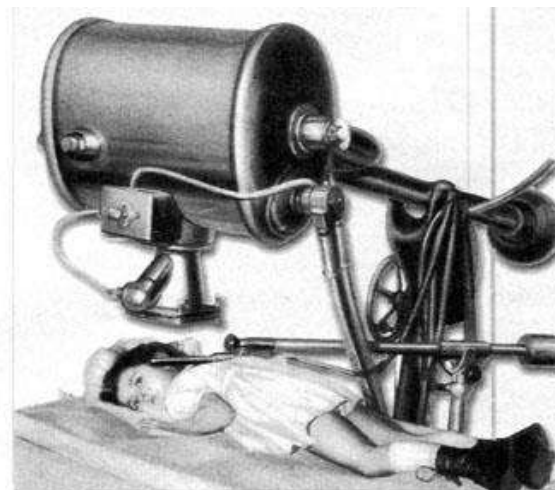




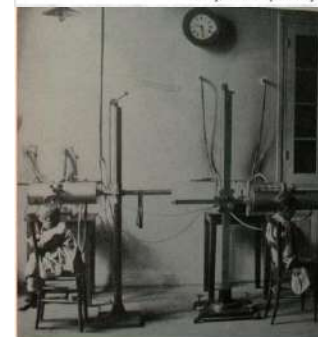
## Les effets biologiques

### 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.



Dispositif pratique d'application de la méthode.



Salle de radiothérapie des teignes au laboratoire municipal de l'hôpital Saint-Louis à Paris<sup>(1)</sup>.



Avant la radiographie (sic), on dessine sur la tête de l'enfant la série des opérations à faire<sup>(1)</sup>.



Séance de radiothérapie, coll. musée photographique de l'hôpital Saint-Louis.



Teigne tondante, Dr Milian, 22 décembre 1921, coll. musée photographique de l'hôpital Saint-Louis.



# Des utilisations diverses sans précaution...

Un homme reçoit une balle dans la tête. Elle est localisée après une pause de "7 quarts d'heures".

Radiographie d'un nouveau né : 1h de pause

Pause d'1h pour trouver une balle dans la tête d'un enfant

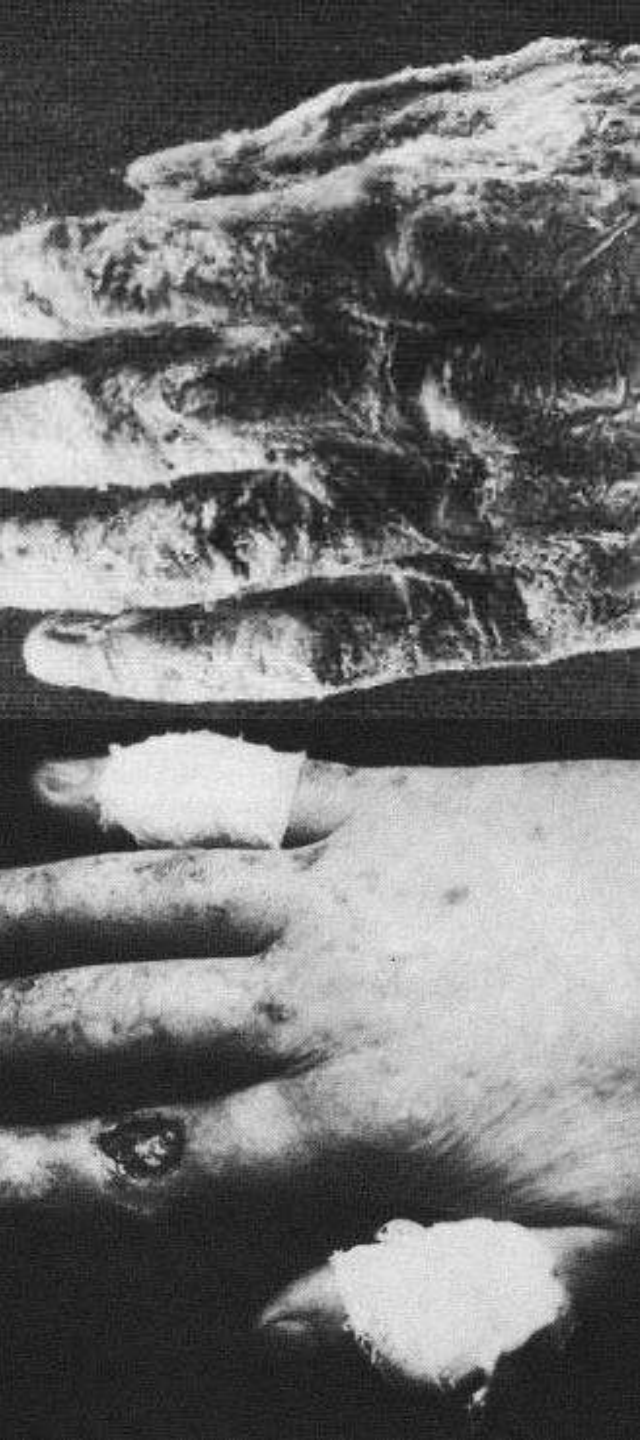
1h d'irradiation matin et soir pendant plus d'un mois pour traiter la tuberculose

Les médecins tiennent les plaques à la main

Avec la fluoroscopie, les médecins regardent en direct



Ce qui devait arriver arriva...



Les effets secondaires ne  
pardonnent pas...



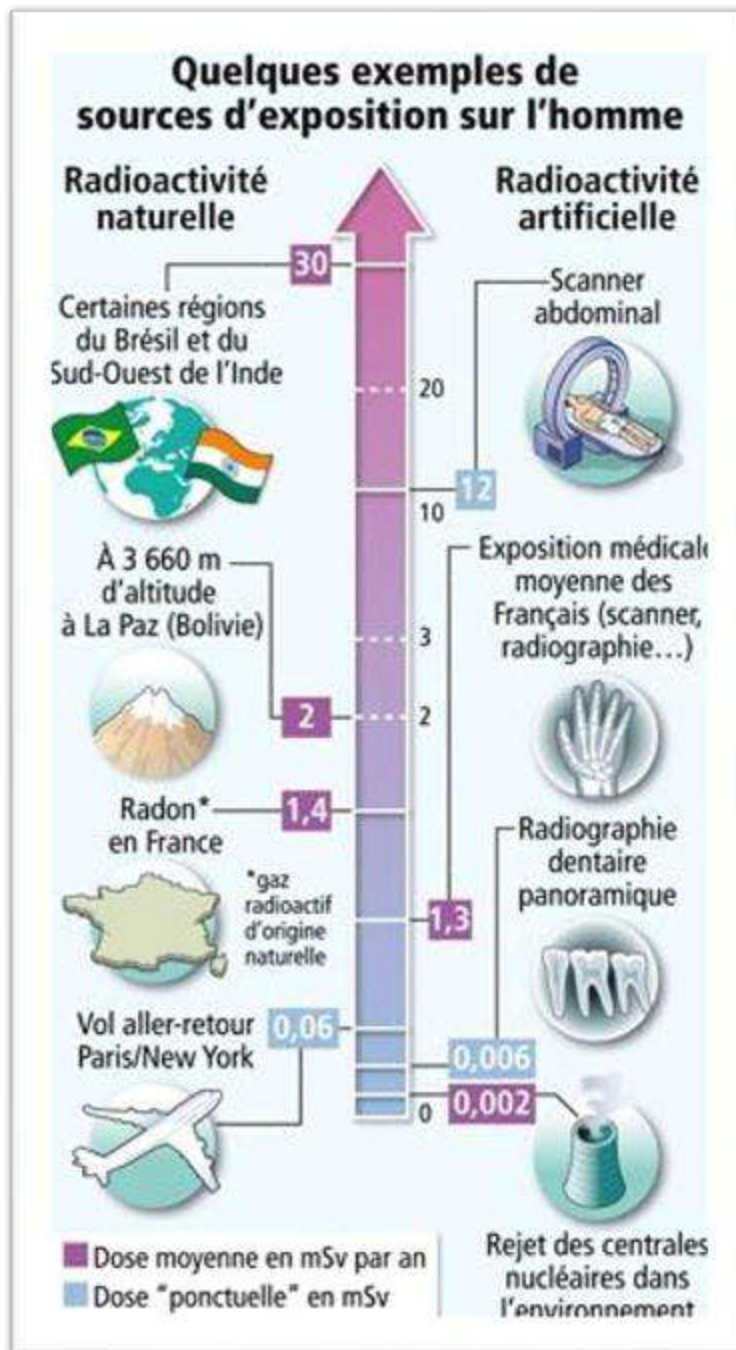
—◆—  
Plus d'un décès sur 2 concerne un médecin ou un  
"manip radio"...



# La Radioprotection

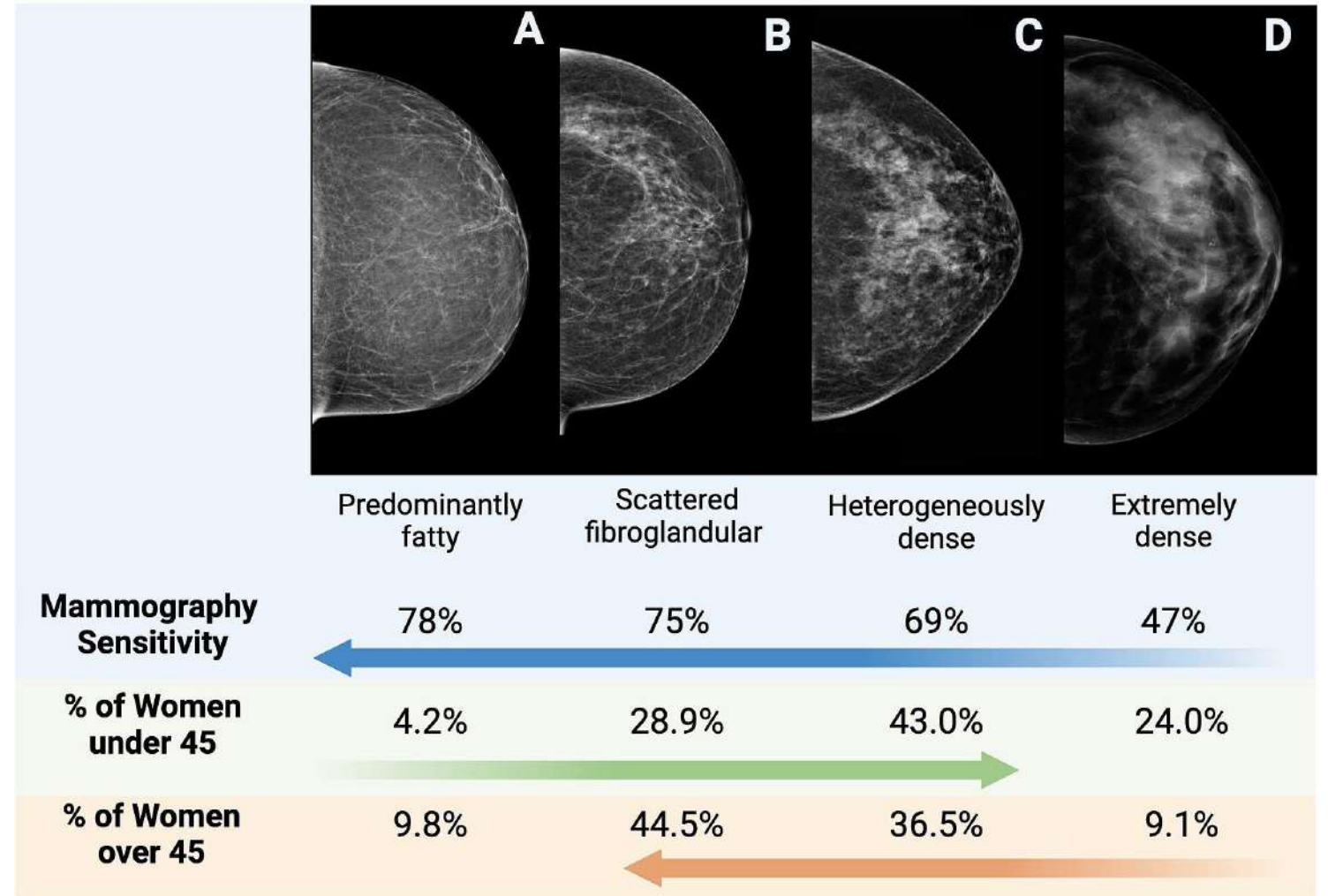


Scaphandre de protection proposé sur des catalogues en 1915.



# Et du coup, ami ou ennemi de notre santé ?

Le cas de la mammographie



Source : <https://www.frontiersin.org/journals/oncology/articles/10.3389/fonc.2024.1398196/full>

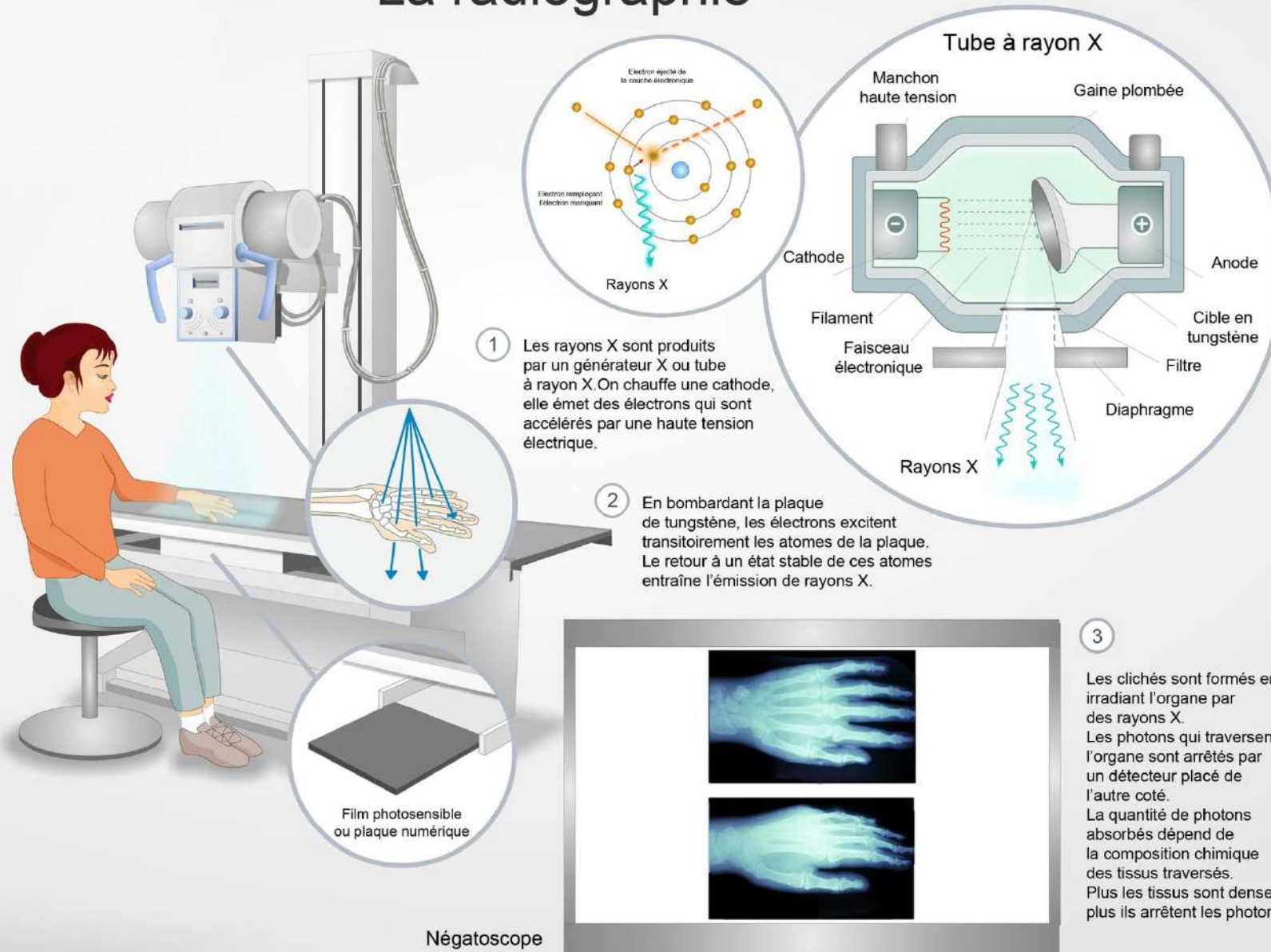




# LES PRINCIPES DE LA RADIOGRAPHIE



# La radiographie

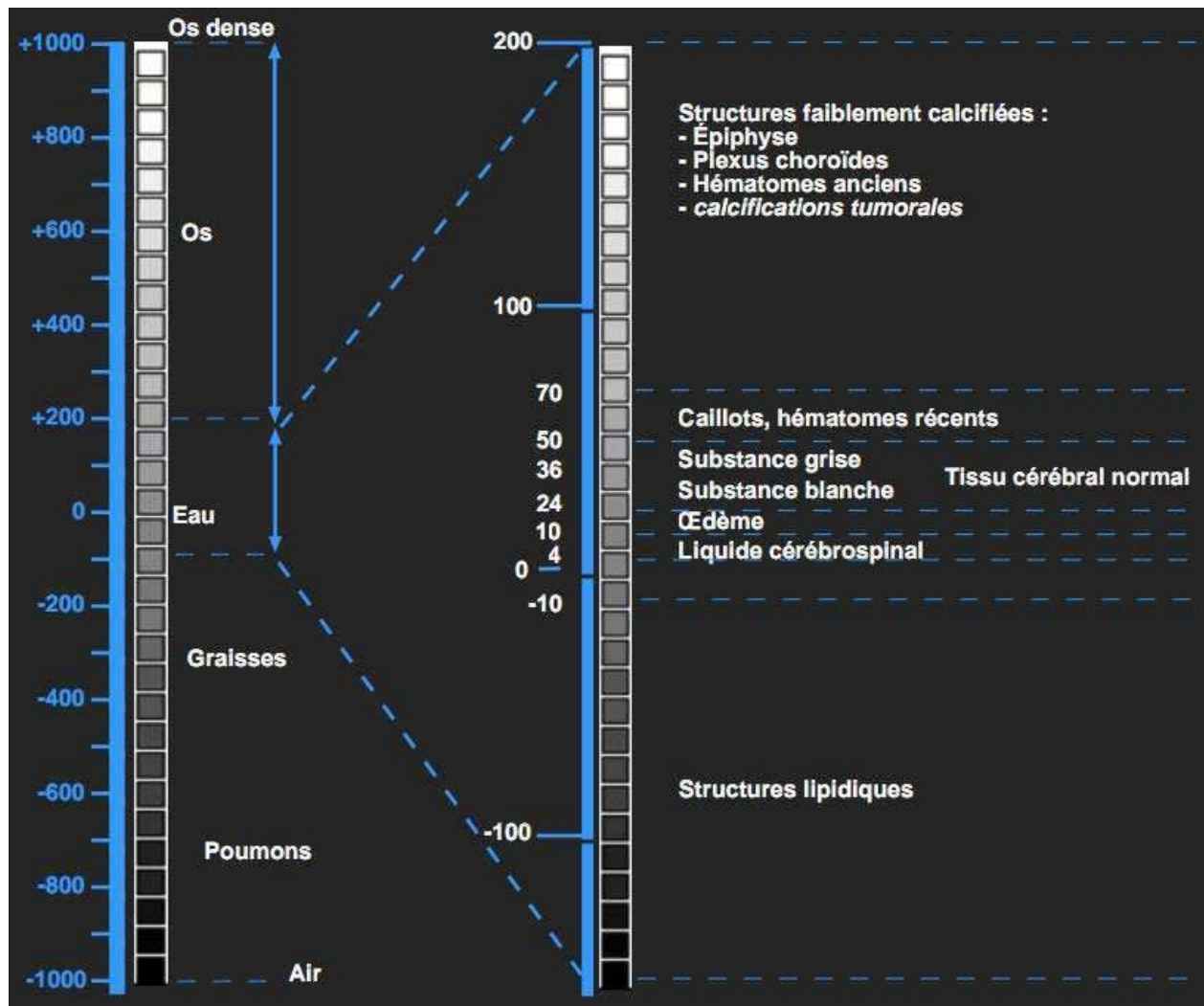




## INTRODUCTION



Le scanner X, encore appelé « tomodensitométrie (TDM) », est une technique d'imagerie médicale qui consiste à mesurer l'absorption des rayons X par les tissus du patient,



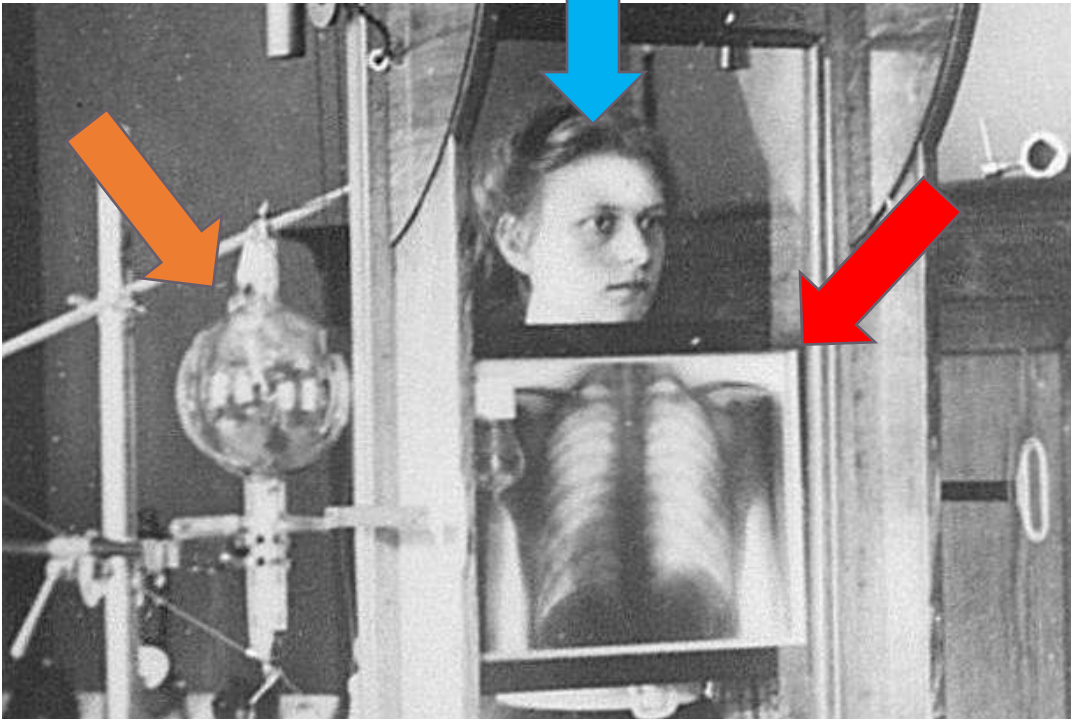
# UNE ÉCHELLE DE NIVEAUX DE GRIS EN FONCTION DU TISSUS



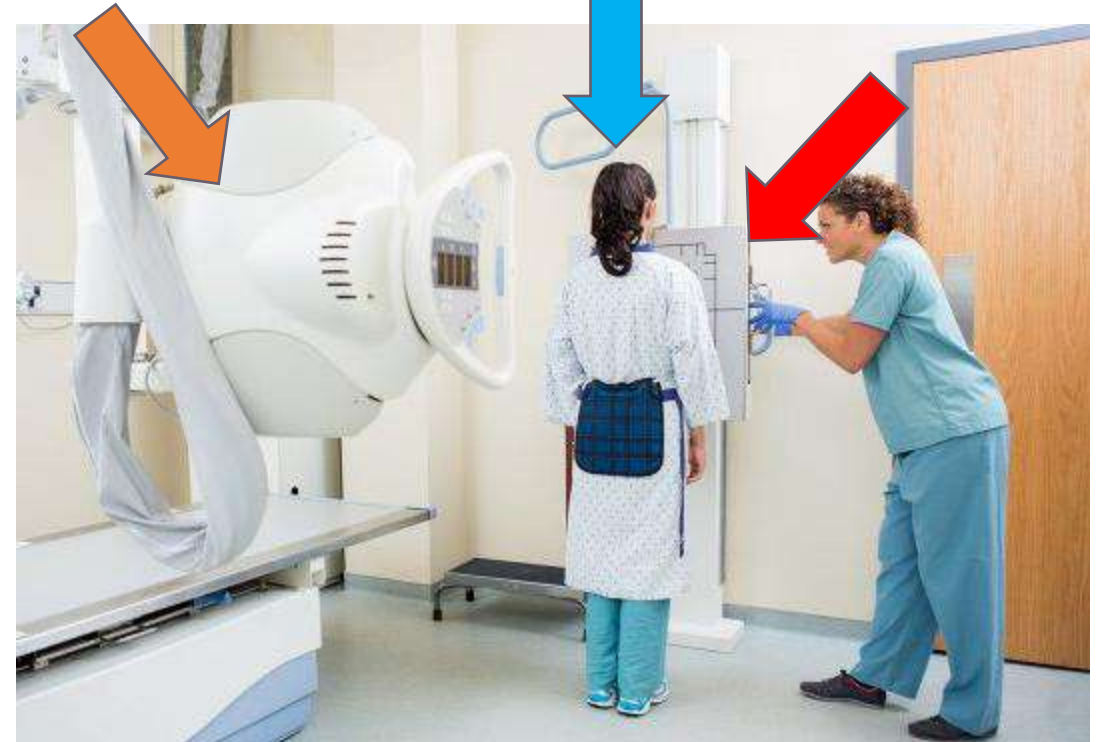


# L'évolution de la radiographie

Avant



Après



## Et dans la lutte contre la fraude ?



A l'aéroport



© France 3 Champagne-Ardenne

Sur les routes

*Les scanners "humains" de l'aéroport ne sont pas basés sur les rayons X mais les rayons T*

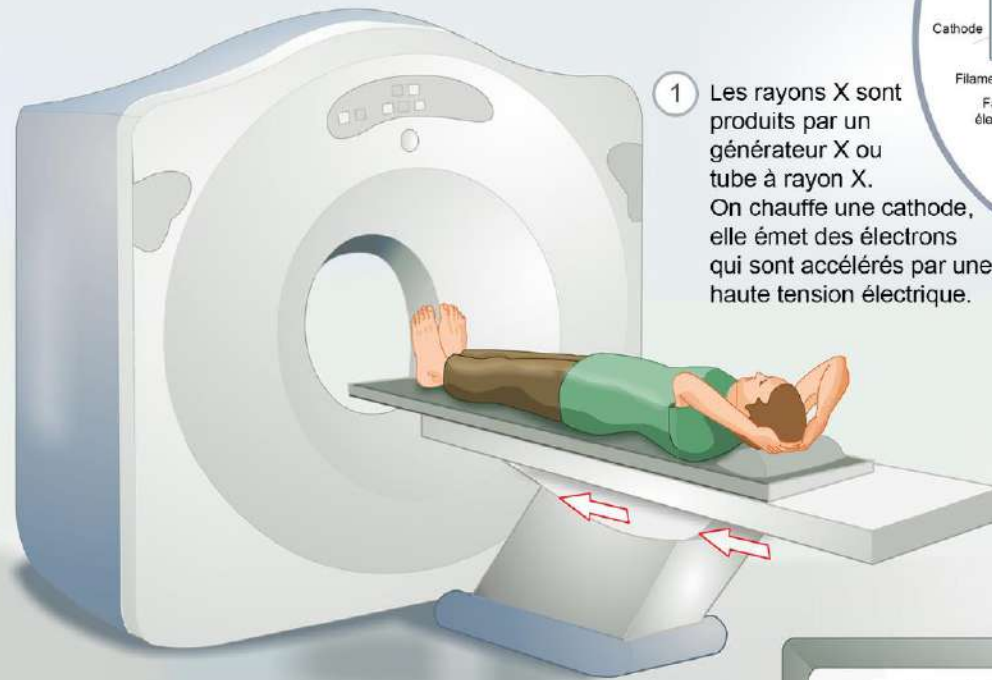




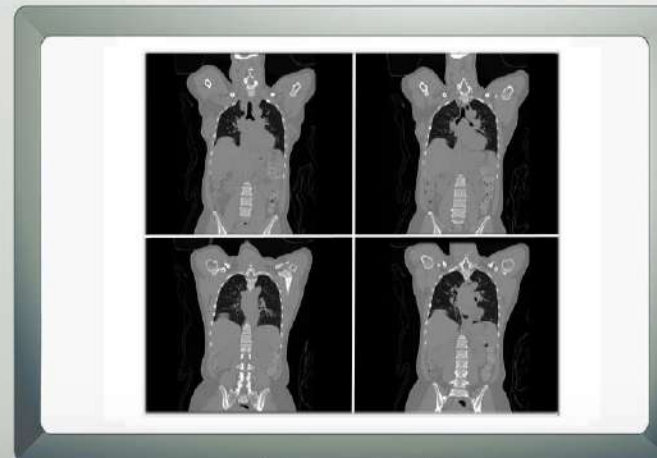
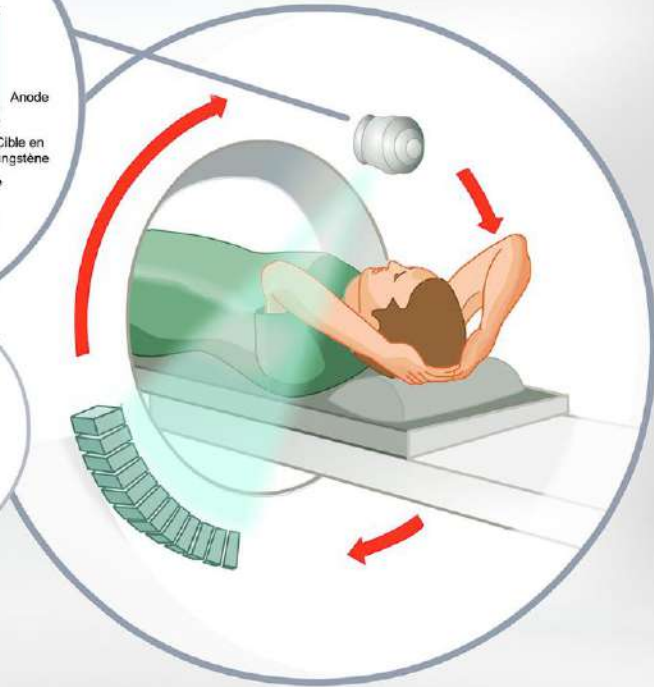
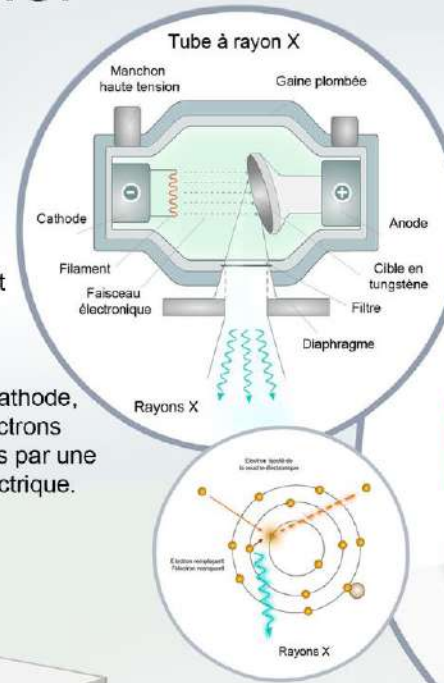
# LE SCANNER



# 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.



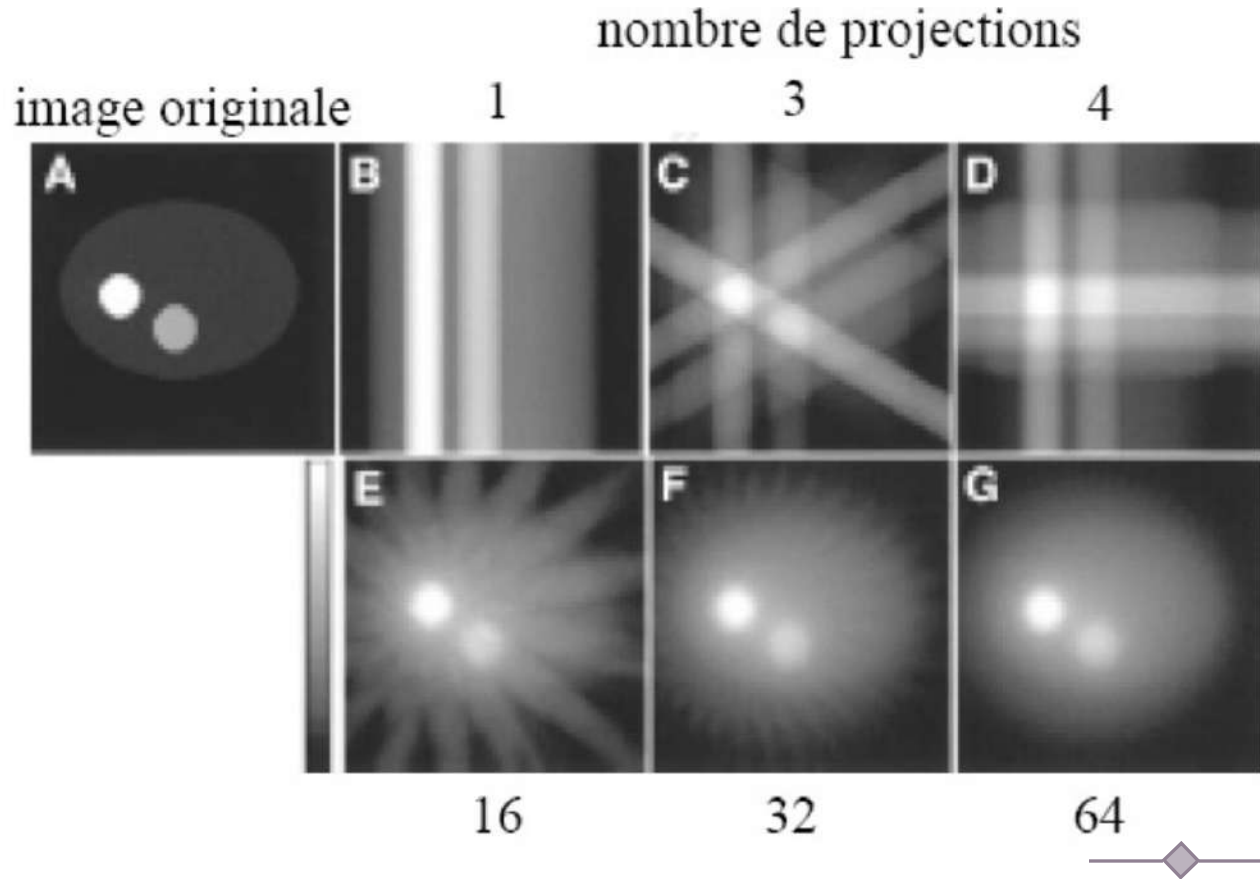


## INTRODUCTION



Le scanner X, encore appelé « tomodensitométrie (TDM) », est une technique d'imagerie médicale qui consiste à mesurer l'absorption des rayons X par les tissus du patient,

# La reconstruction tomographique au cœur du scanner



Le nombre de projections augmente la résolution

Plus il y a de projections, plus l'acquisition est lourde (temps, énergie, irradiation, stockage...)

Effets de bord

Artefacts peuvent quand même être présents



1 coupe toutes les 20  
secondes

1cm d'épaisseur

Abdomen = 20min

1998

2015

128 coupes toutes les 0,3  
secondes

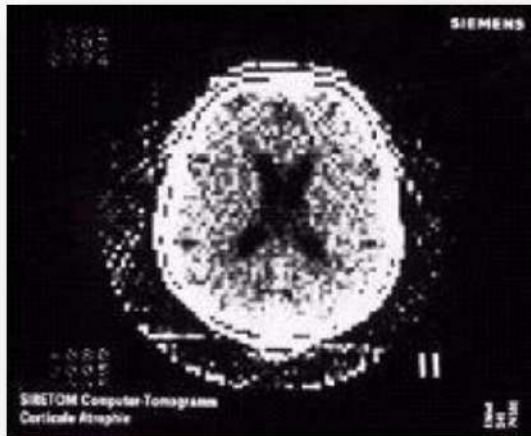
0,5mm d'épaisseur

Abdomen = 18 secondes

L'évolution de la  
technologie

L'imagerie 3D devient enfin possible !

1972



2007



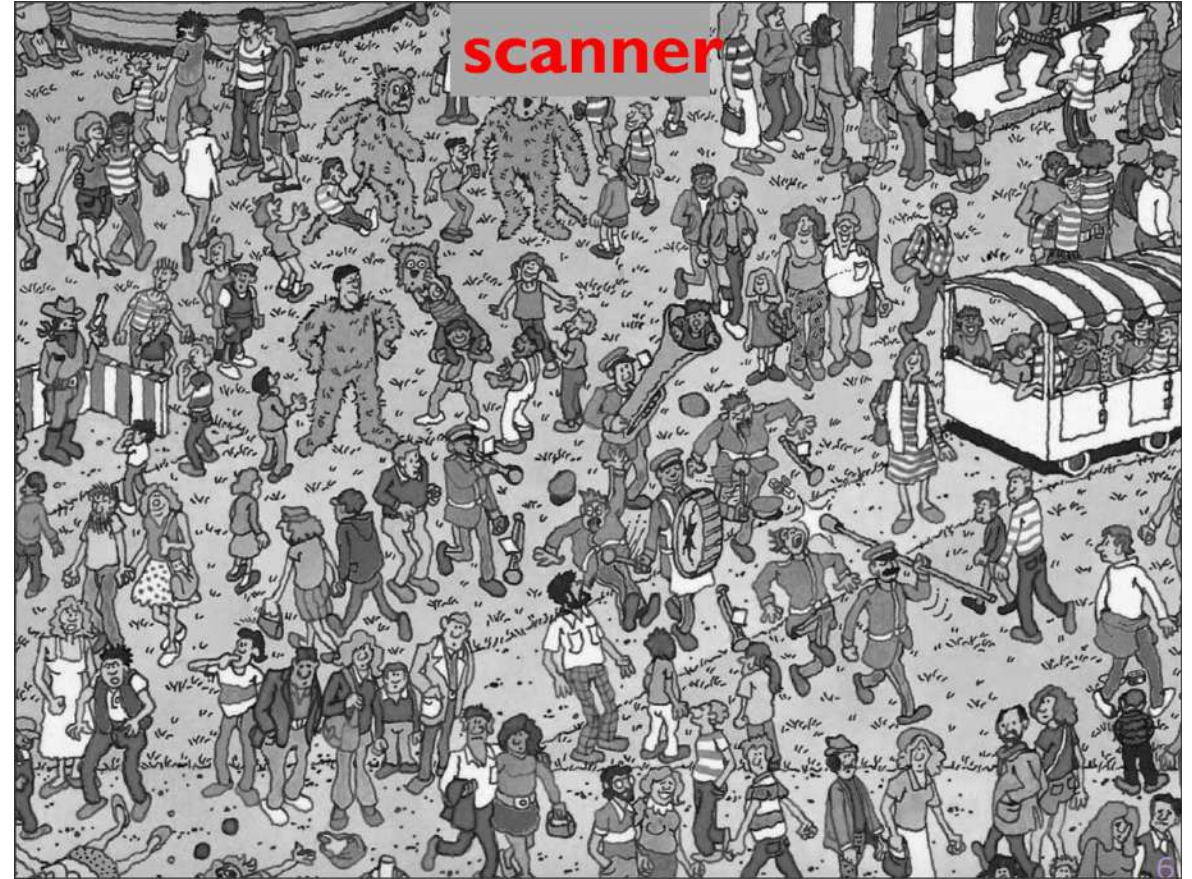
UNE ÉVOLUTION  
REMARQUABLE !





# PET-SCAN

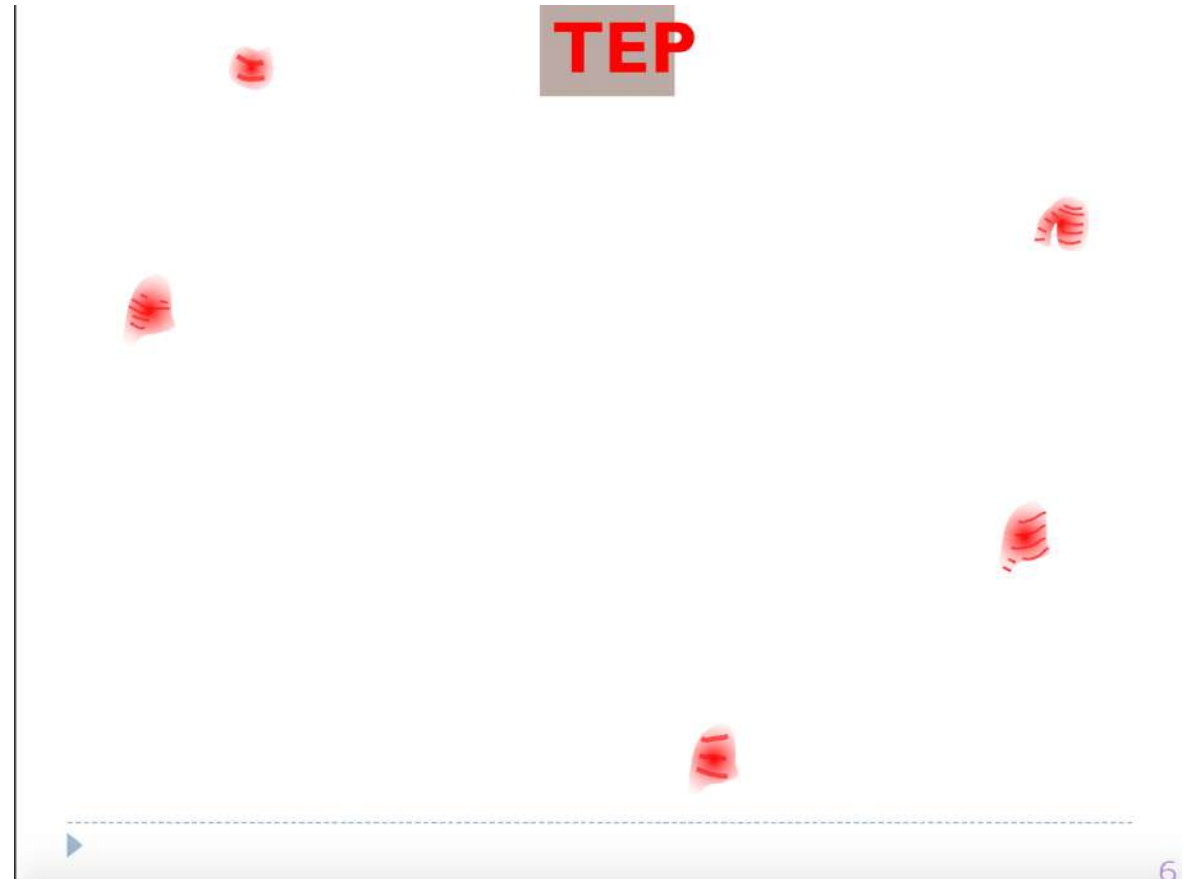
Prenons un scanner tout ce qu'il y a de plus scanner : on a une "photo" du corps en niveaux de gris



# PET-SCAN

Prenons maintenant une  
TEP ou PET...

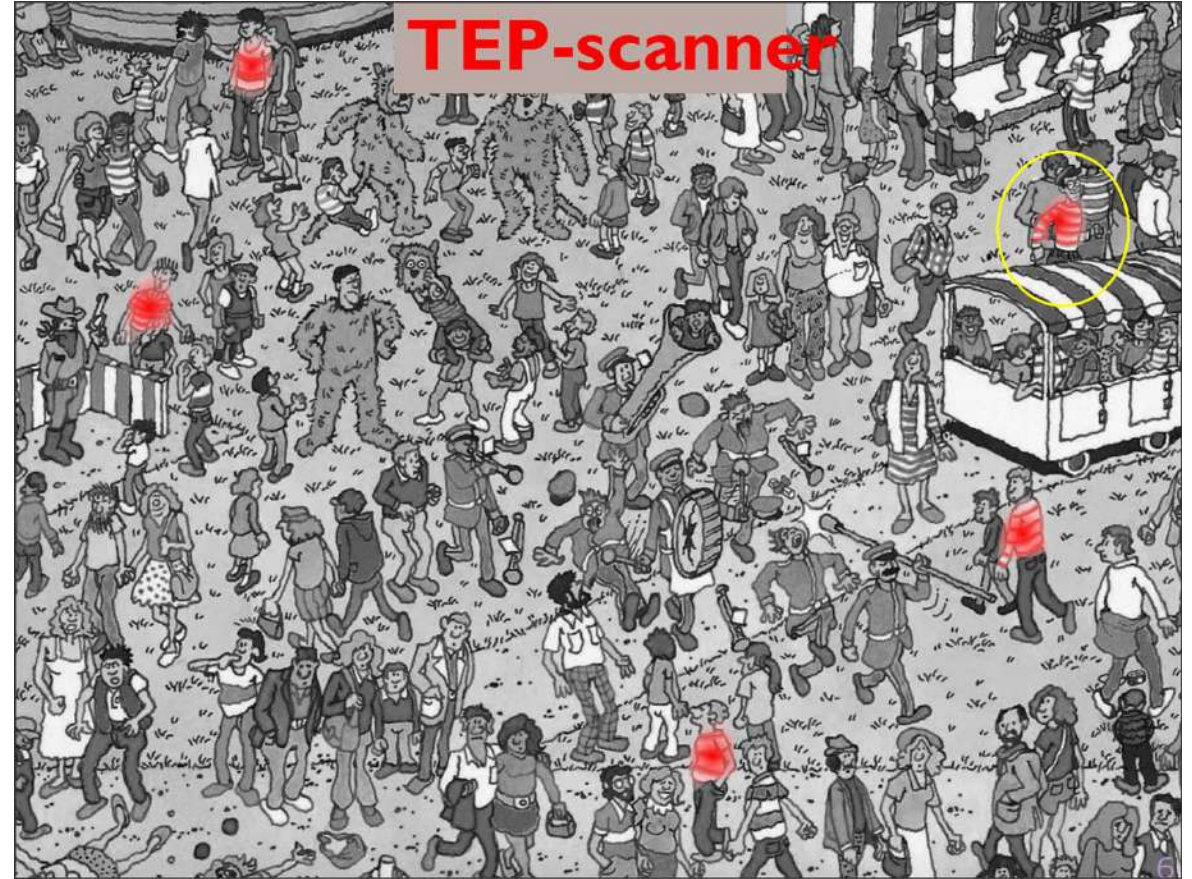
Là on voit juste des zone  
brillantes, mais ça ne nous  
aide pas vraiment...



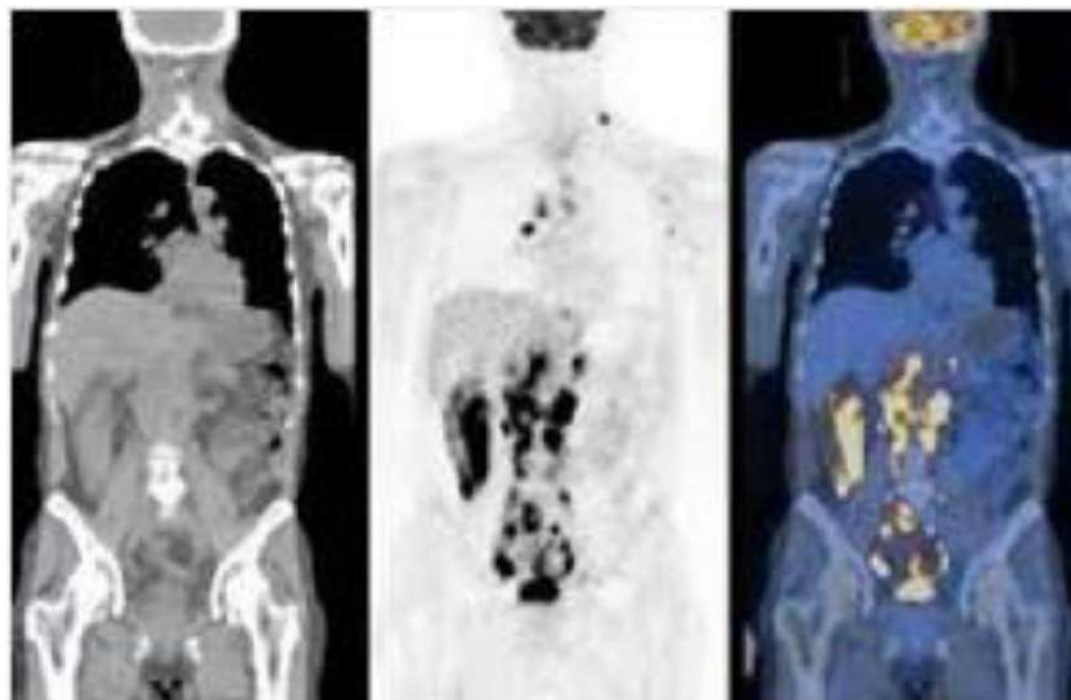


# PET-SCAN

Maintenant si on combine le scanner et le PET, ce qu'on appelle le PET-SCAN, on a ET l'information anatomique ET l'information physiologique



# En image !

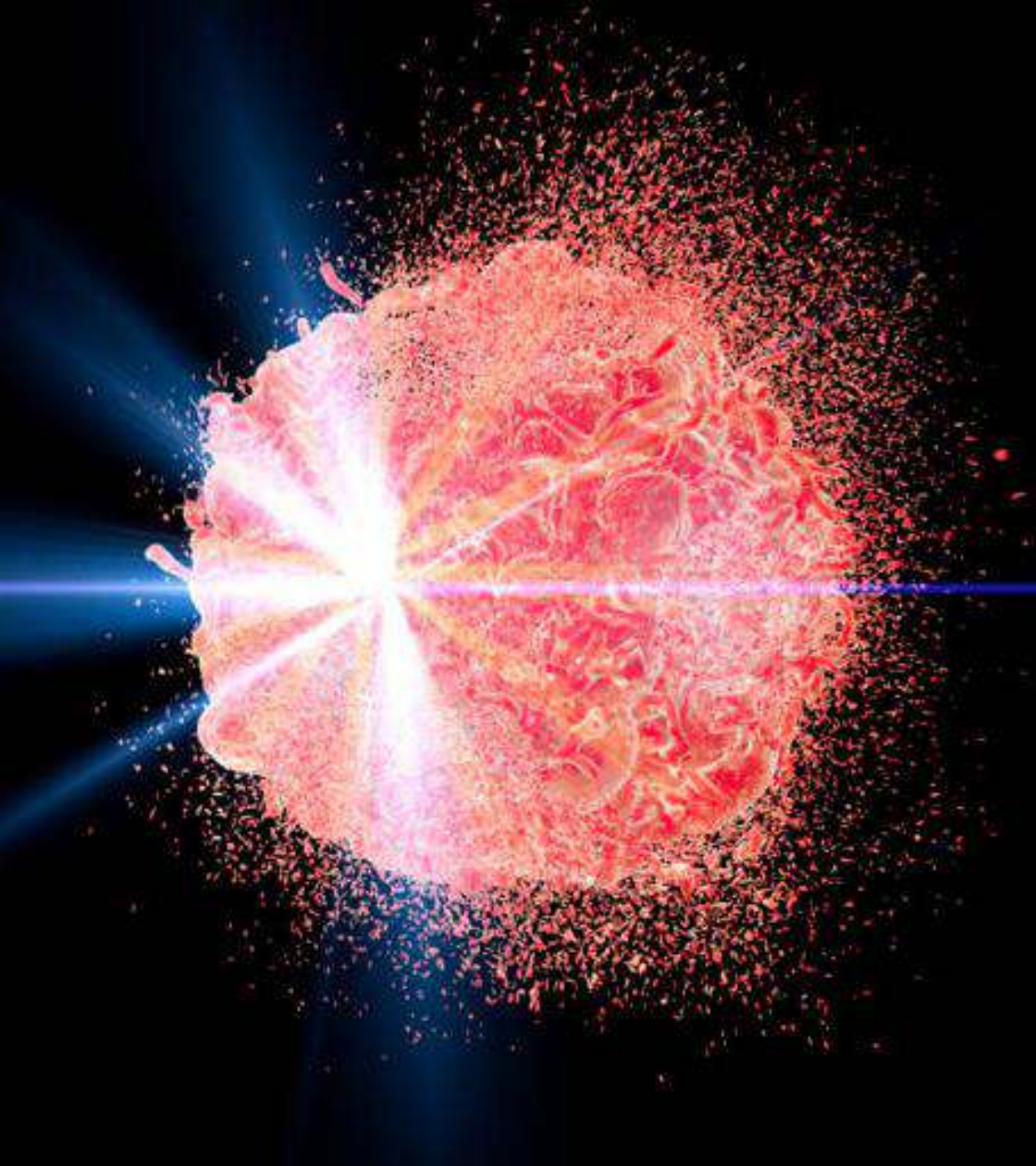


C'est beau la technologie...



UNE AUTRE  
APPLICATION  
BIEN UTILE :  
L'ANGIOGRAPHIE

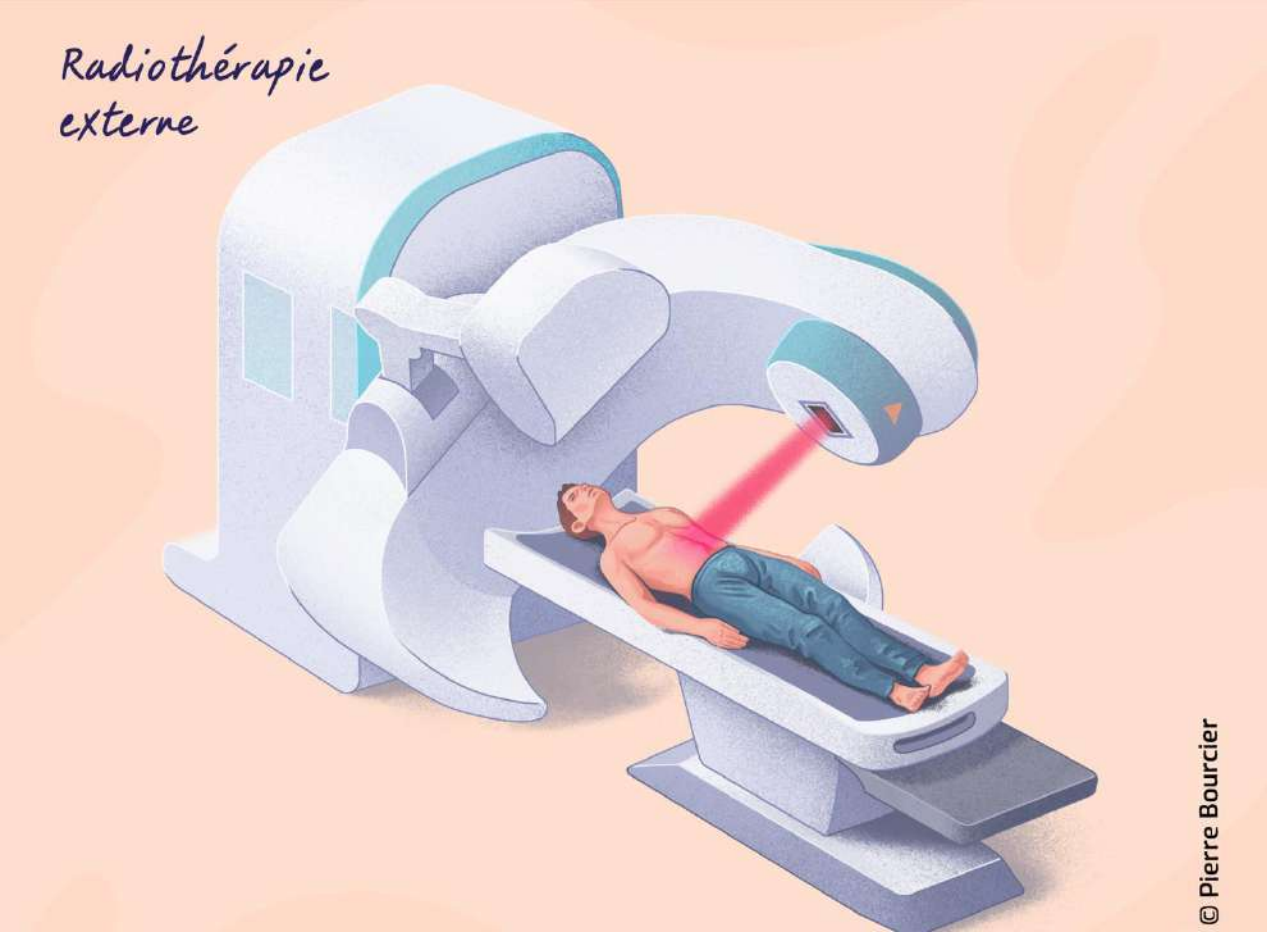
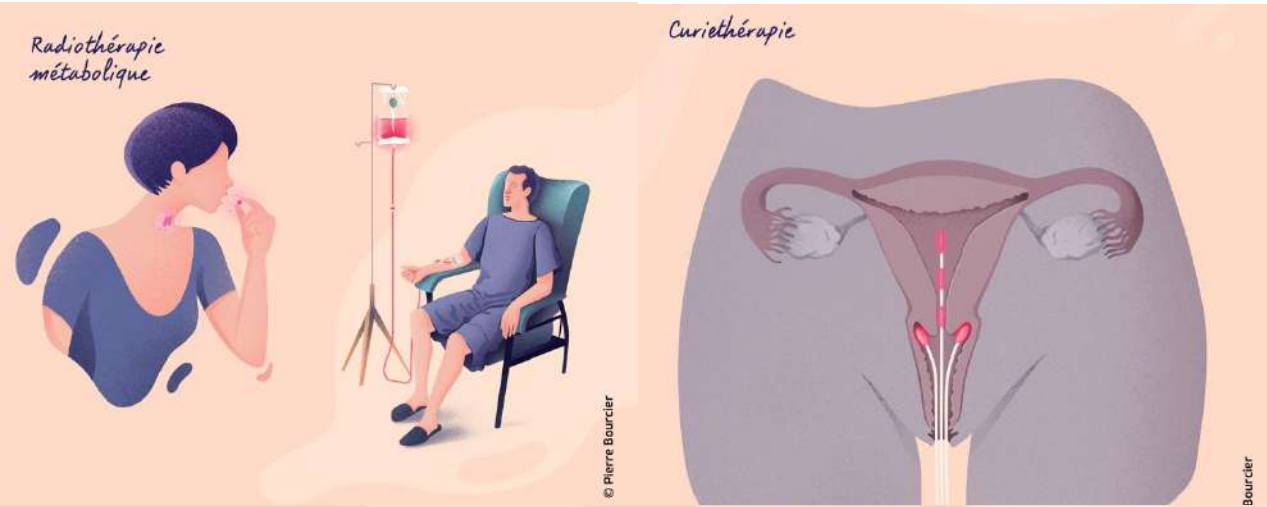




# LA RADIOTHÉRAPIE







# 3 types de radiothérapies

## Radiothérapie métabolique

- La source radioactive est injectée ou ingérée
- Elle va se fixer sur les cellules cancéreuses

## Curiethérapie

- Source radioactive en contact direct avec le tissu
- Dédié à certains types de cancers

## Radiothérapie externe

- Les rayons sont émis par un accélérateur linéaire d'électrons
- Ils traversent la peau et irradient sur leur chemin

C'est la radiothérapie externe qui nous intéresse ici

## FONCTIONNEMENT DE L'ACCÉLÉRATEUR

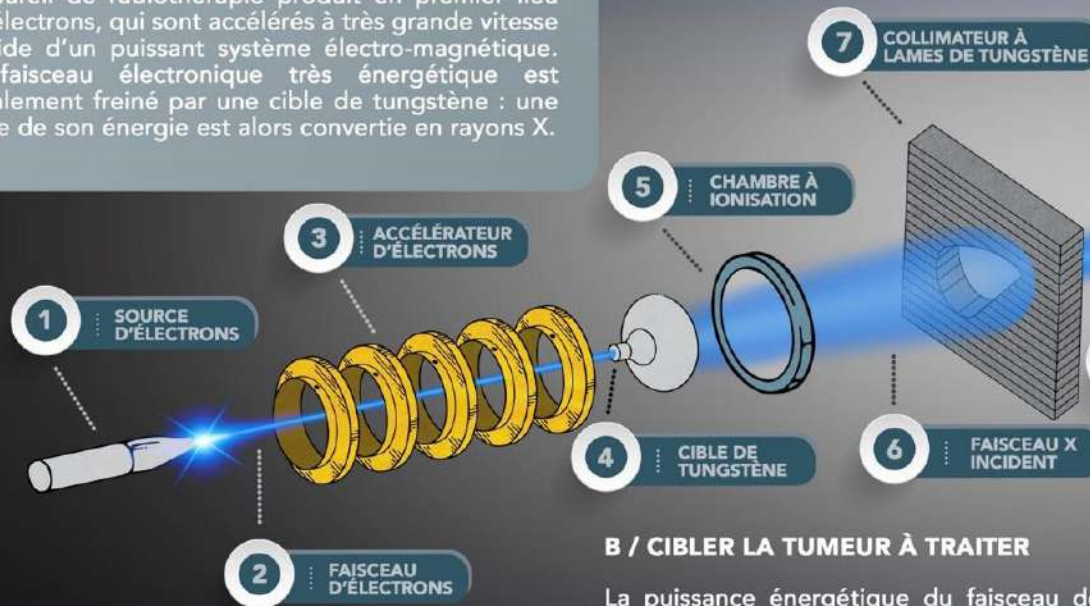




## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA RADIOTHÉRAPIE EXTERNE CONVENTIONNELLE

### A / PRODUIRE UN FAISCEAU ÉNERGÉTIQUE

L'appareil de radiothérapie produit en premier lieu des électrons, qui sont accélérés à très grande vitesse à l'aide d'un puissant système électro-magnétique. Ce faisceau électronique très énergétique est brutalement freiné par une cible de tungstène : une partie de son énergie est alors convertie en rayons X.

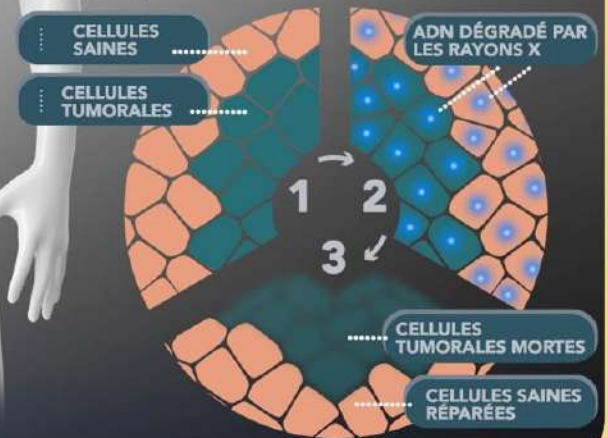


### B / CIBLER LA TUMEUR À TRAITER

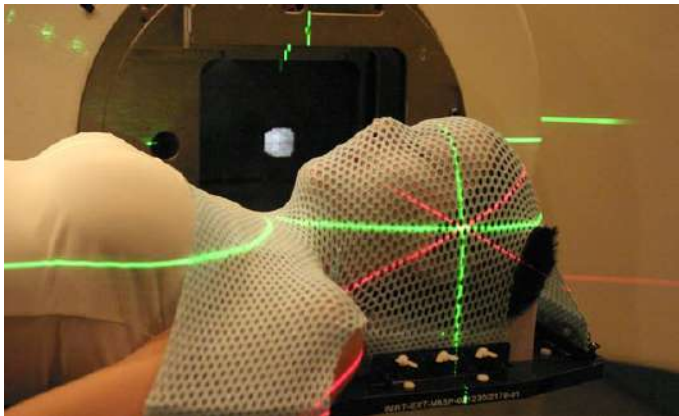
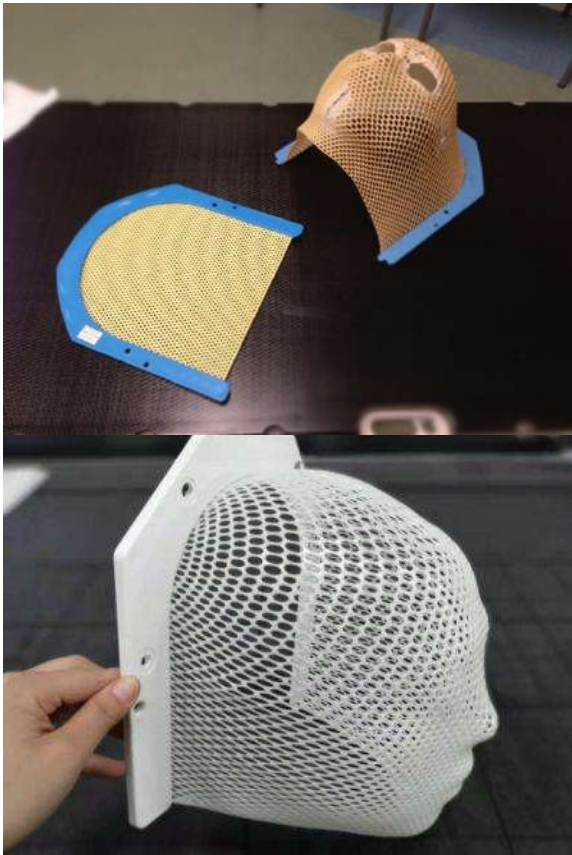
La puissance énergétique du faisceau de rayons X est contrôlée au niveau de la chambre à ionisation. Le dispositif de collimateur à lames de tungstène permet de donner au faisceau la même forme que la tumeur à traiter.

### C / DÉTRUIRE LES CELLULES CANCÉREUSES

Le faisceau de rayons X touche toutes les cellules qui se trouvent sur son trajet, ce qui les endommage, en générant notamment des lésions à leur ADN. Les cellules tumorales meurent davantage que les cellules saines, qui parviennent à se réparer. Les cellules mortes sont évacuées et les tissus sains se reconstituent progressivement.



Les effets secondaires sont néanmoins très présents...



## Immobiliser le patient pendant le traitement



—◆—  
Une fois le patient immobilisé, on fait du recalage d'images en 3D pour guider le traitement !



# De nouvelles technologies de pointe : le Cyberknife



Tracking en temps réel des mouvements du patient

Dose beaucoup plus élevée

Zone d'irradiation plus précise

Nombre de séances moins élevé

Effets secondaires moins importants

