# Introduction a la Radiologie et à l'Imagerie Médicale

Dr Chaker MAHAMMEDI Maitre Assistant CHU-SBA

#### **PLAN**

# A GENERALITES SUR LA STRUCTURE DE LA MATIERE ET SUR LES RAYONNEMENTS

- I/ CONSTITUTION DE LA MATIERE
- II/ LE RAYONNEMENT
- a) Définition
- b) Phénomène d'émission et d'absorption

# B PRODUCTION DES RAYONS X

- Définition
- Tube radiogene
- Générateur haute tension

## C PROPRIETES DES RAYONS X

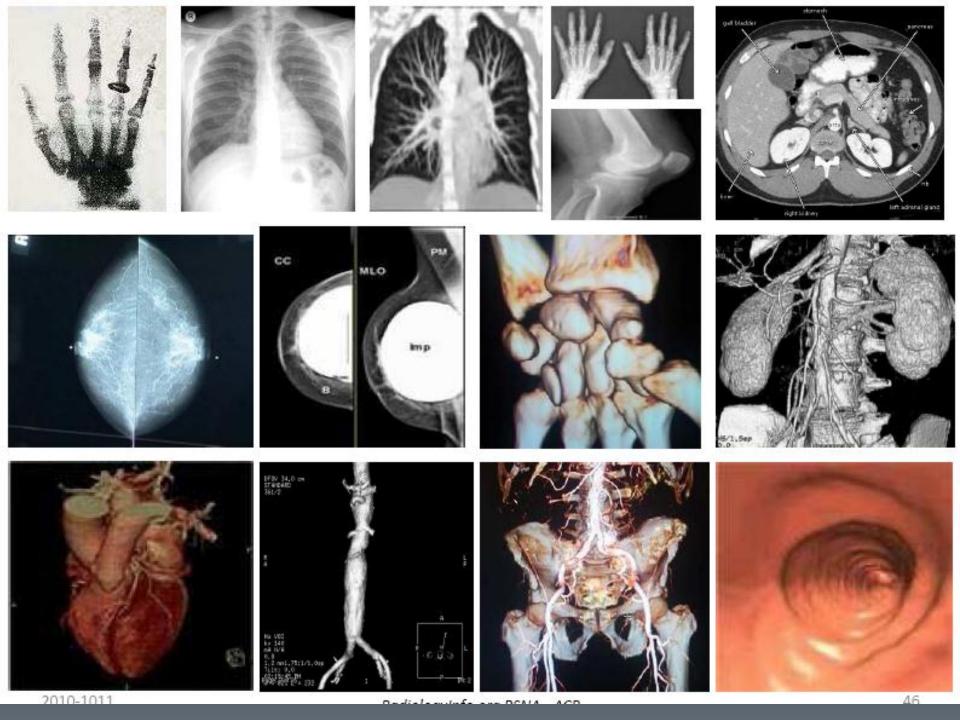


Wilhelm Conrad Röntgen (1845- 1923) physicien allemand professeur à l'Université de Wurzburg Découverte des Rayons X en 1895

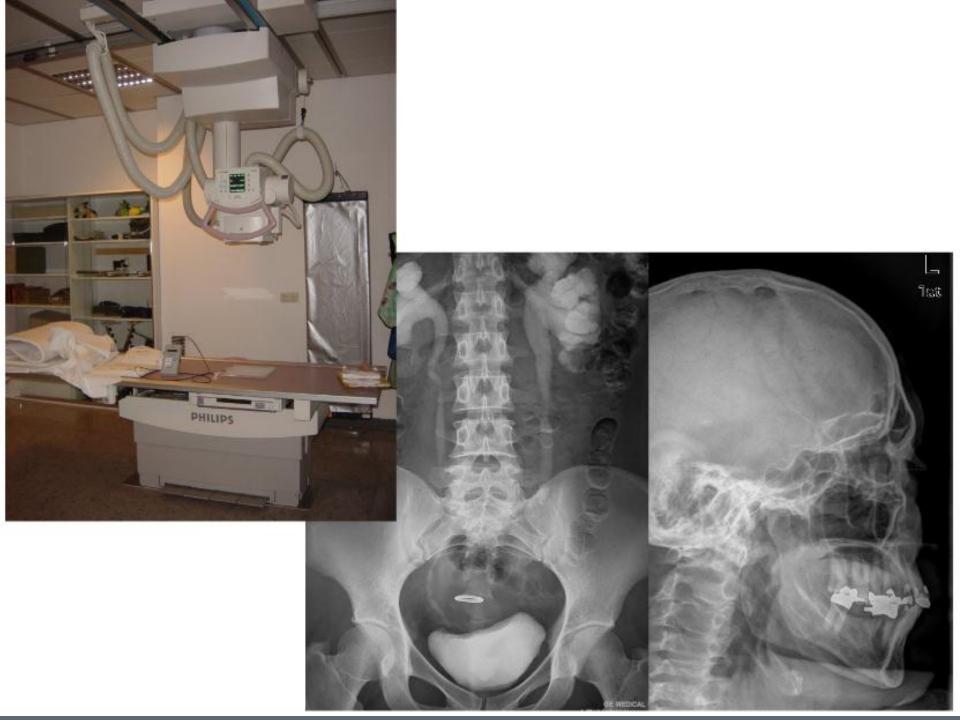


main de Bertha Röntgen

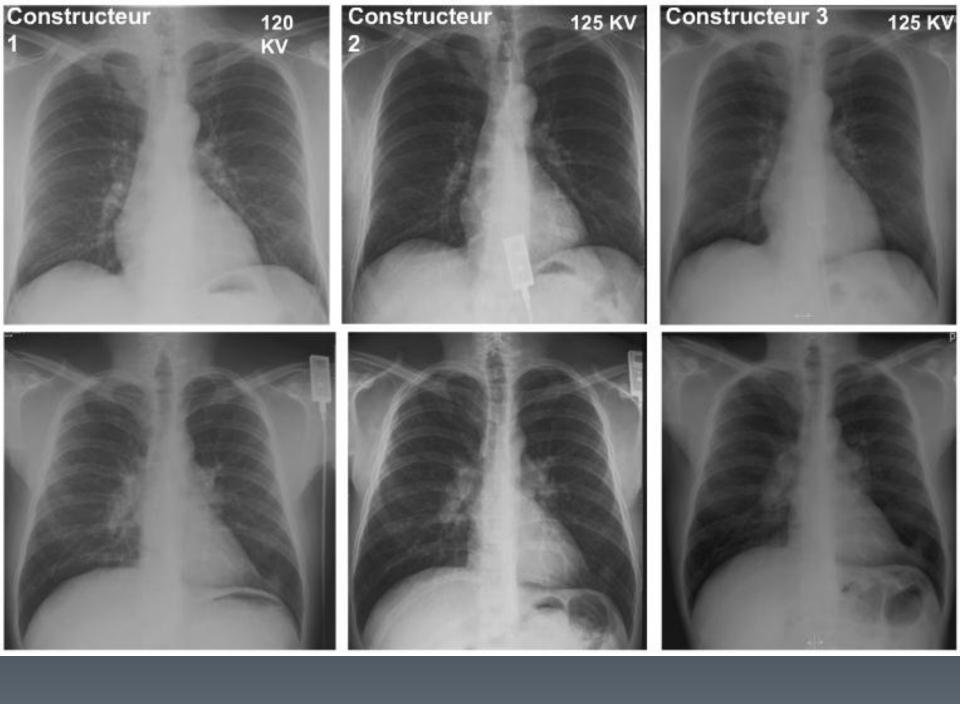


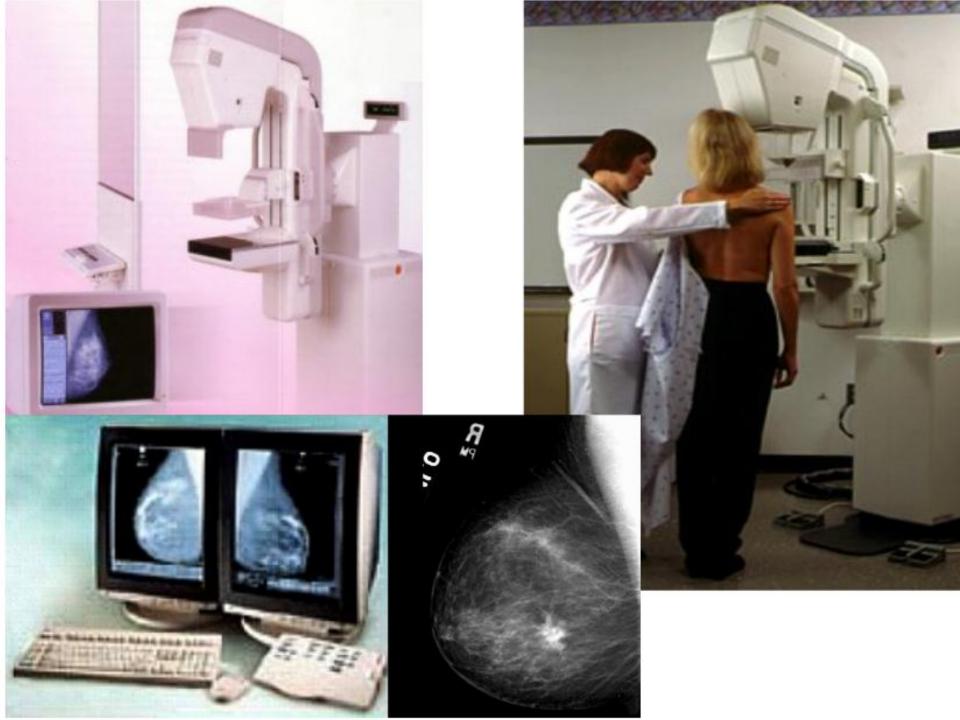


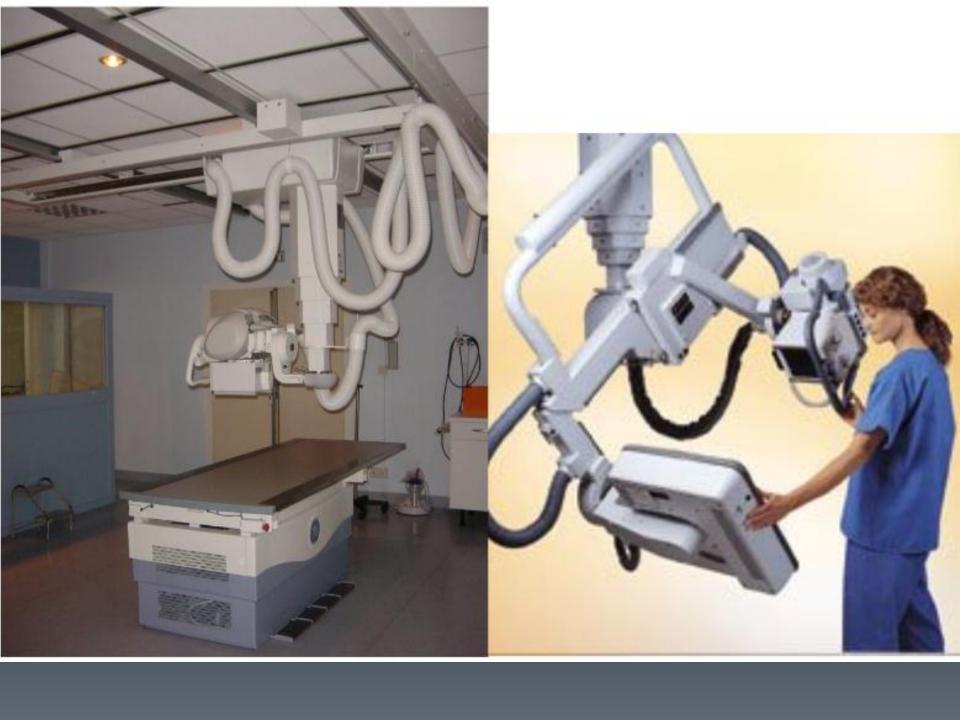


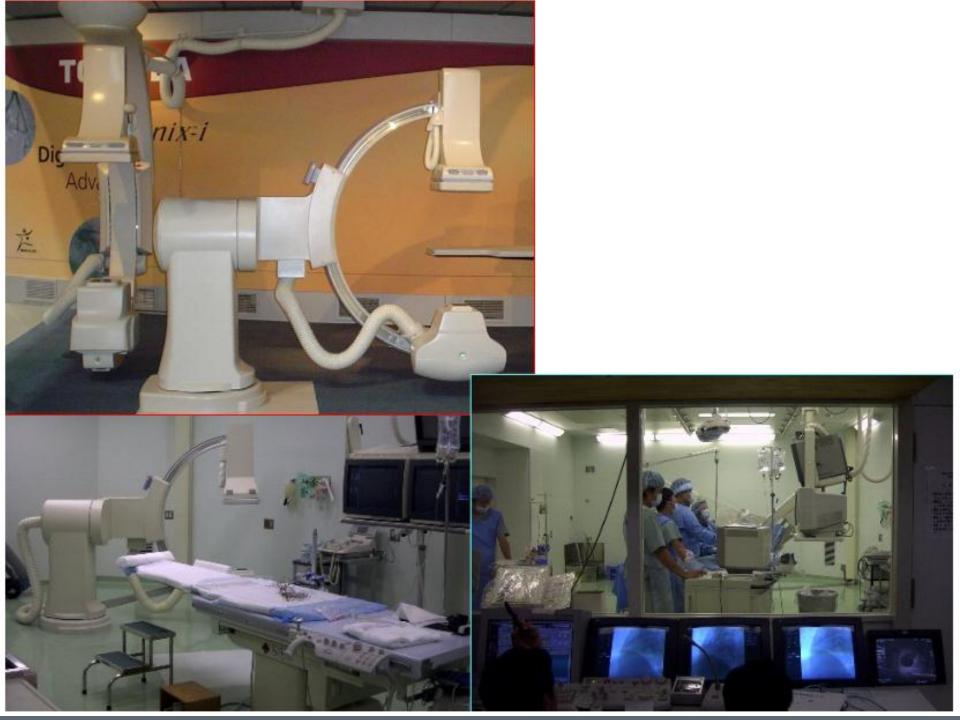


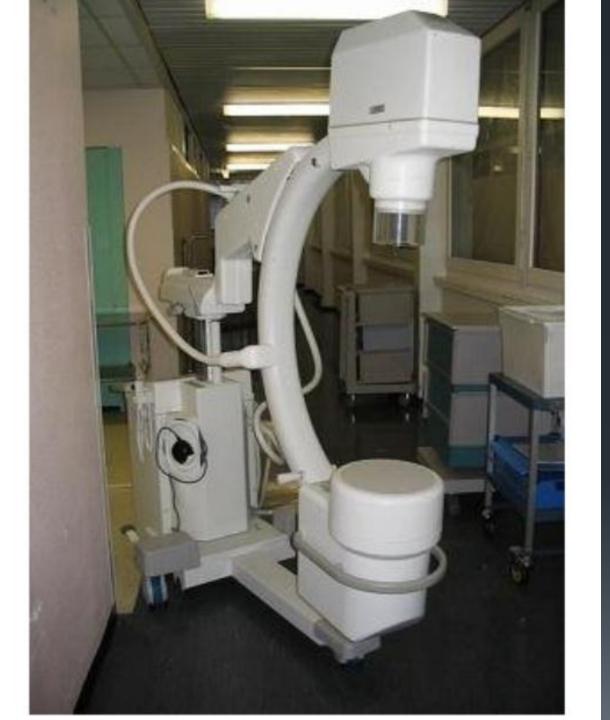


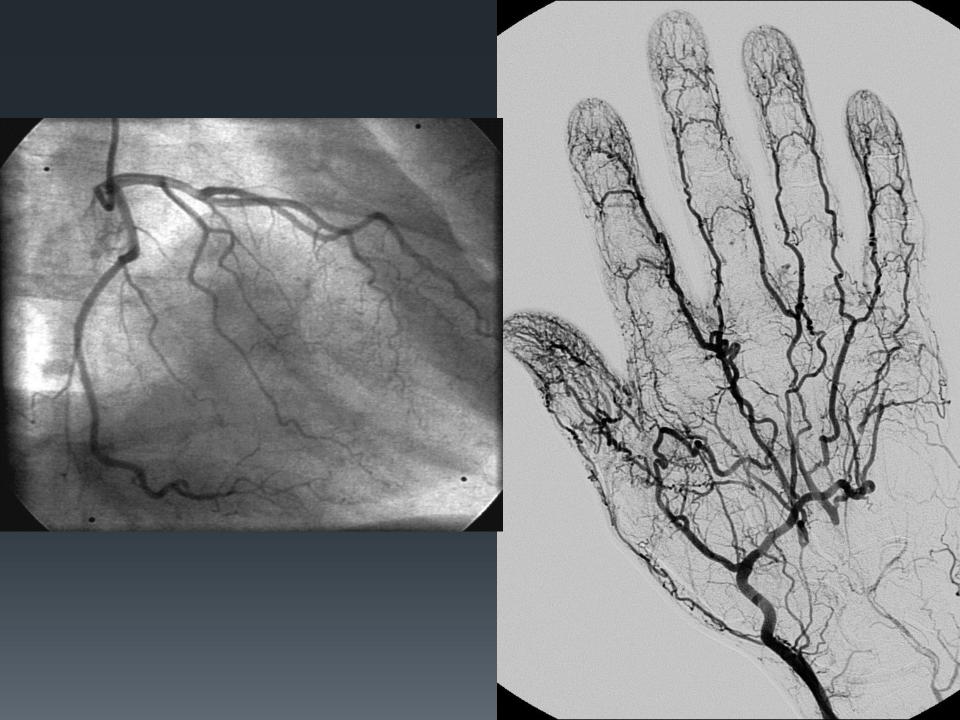








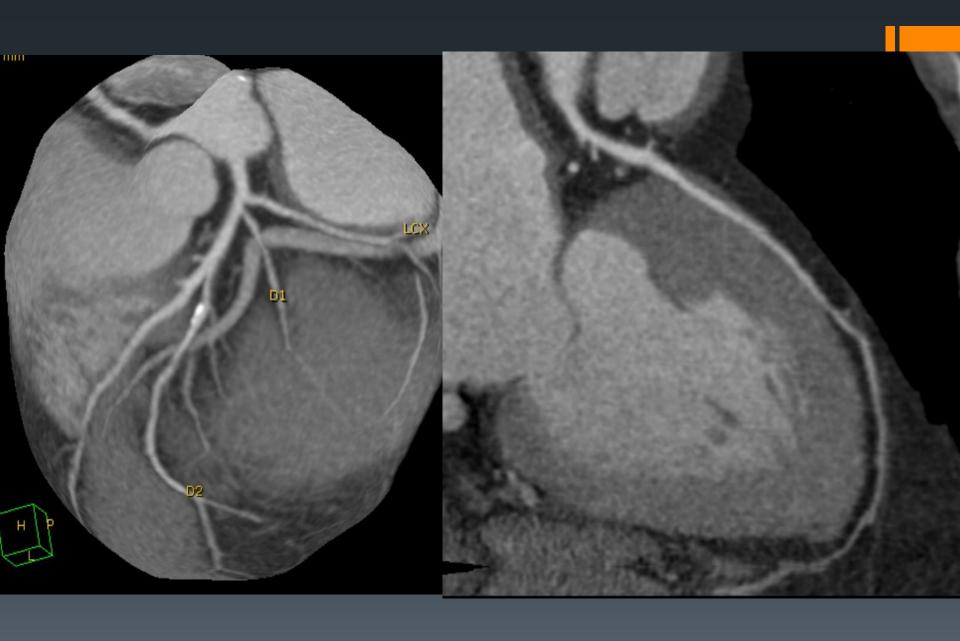


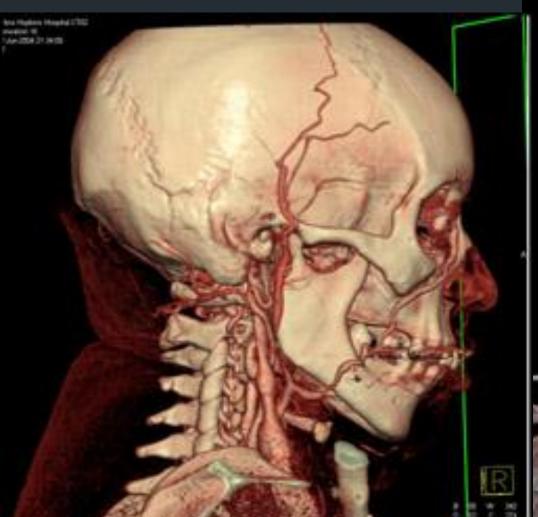


















# Quelques dates importantes

- 1895: découverte des RX par M.C. Roentgen qui réalisa alors une radiographie la main de son épouse. L'exploration par les RX s'est répandue rapidement en France, Allemagne, Autriche, Hongrie, USA
- Juillet 1896 : Utilisation des RX en thérapeutique du cancer à Lyon.
- 1972: Sir G.N Hounsfield introduit le traitement informatique de l'image en radiologie : 1ère génération CT ou scanner réalisant des coupes dans un seul plan axial. Années 80 : CT hélicoïdal tournant en hélice autour du malade.
- CT multi-détecteurs (multi-barettes): coupes dans différents plans : axial, sagittal, oblique; l'image est volumique en 3D, permettant l'angio-CT: coroscan et colonoscan sans geste invasif.

#### **PLAN**

# A GENERALITES SUR LA STRUCTURE DE LA MATIERE ET SUR LES RAYONNEMENTS

- I/ CONSTITUTION DE LA MATIERE
- II/ LE RAYONNEMENT
- a) Définition
- b) Phénomène d'émission et d'absorption

#### B PRODUCTION DES RAYONS X

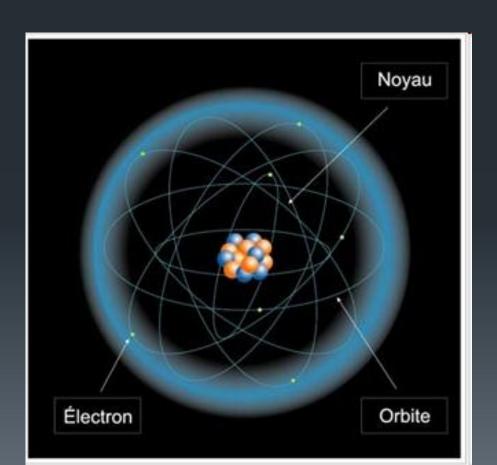
- Définition
- Tube radiogene
- Générateur haute tension

## C PROPRIETES DES RAYONS X

# •GENERALITES SUR LA STRUCTURE DE LA MATIERE ET SUR LES RAYONNEMENTS

# ■I/ CONSTITUTION DE LA MATIERE :

La matière est constituée d'atomes.

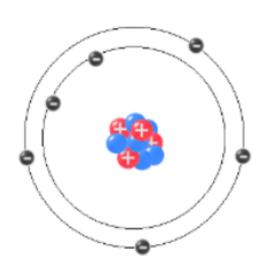


- L'atome étant lui-même constitué :
- un noyau chargé (+) (positivement) composé des particules élémentaires dont les principales sont :
- les Protons chargés positivement (charge électrique )
- et les neutrons dont la charge est neutre.
- Les protons et neutrons ont la même masse, et la somme de leurs masses représente la masse du noyau avoisinant celle de l'atome

 des électrons chargés (-) (négativement ),
 qui ont une masse 1850 fois plus faible que les neutrons et protons.

 L'atome reproduit donc un système solaire avec le noyau central chargé + autour duquel gravitent les électrons sur des orbites périphériques.

#### Constituants de la matière



1 Noyaux



Protons  $(m_p = 1,6726.10^{-27} \text{ kg})$ 



Neutrons ( $m_n = 1,6749.10^{-27} \text{ kg}$ )

2 Electrons



(e=1,602.  $10^{-19}$ C,  $m_e$ =9,1094.10<sup>-31</sup> kg)

Atome:

10<sup>-10</sup>m, Noyau 10<sup>-15</sup>m

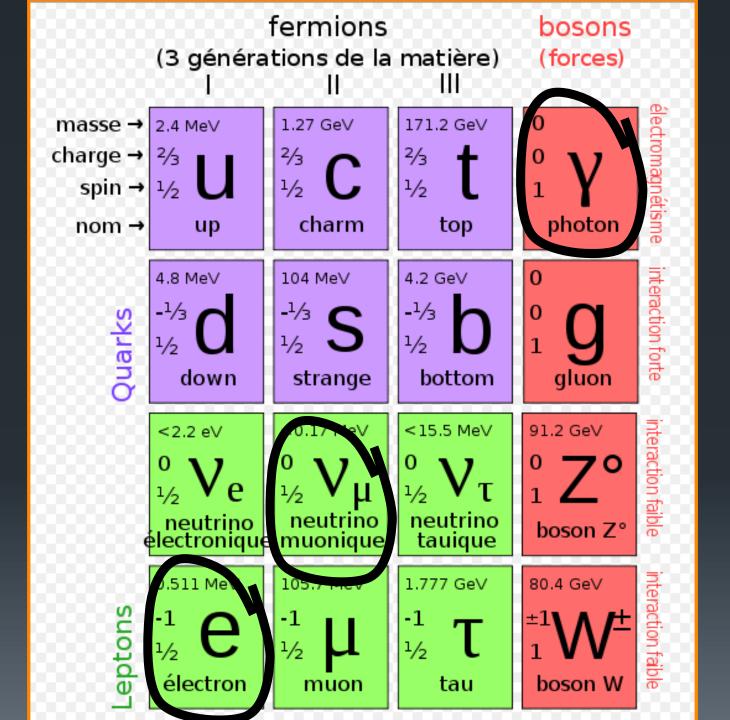
4 familles d'interactions fondamentales:

Electromagnétisme

Gravitation

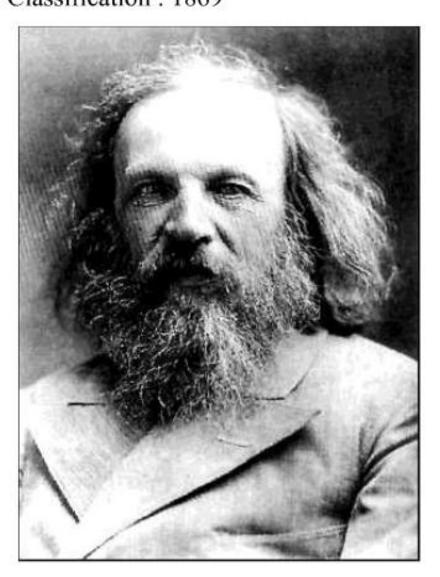
Interaction faible

Interaction forte



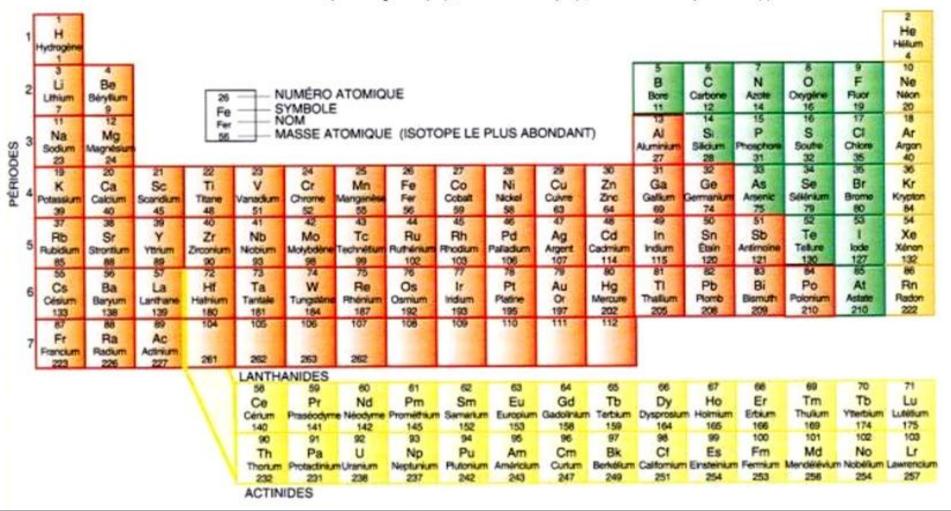
- L'atome est électriquement neutre, car le nombre de protons est égale au nombre d'électrons.
- On définit par : A : le nombre de masse = nombre (protons + neutrons) = nombre de nucléons
- Z : numéro atomique = nombre d'électrons
- A Z = nombre de neutrons

Dmitri Ivanovitch Mendeleiev (1834- 1907) chimiste russe, Professeur à l'Université de St Petersbourg. Classification: 1869



#### Classification de Mendeleiev

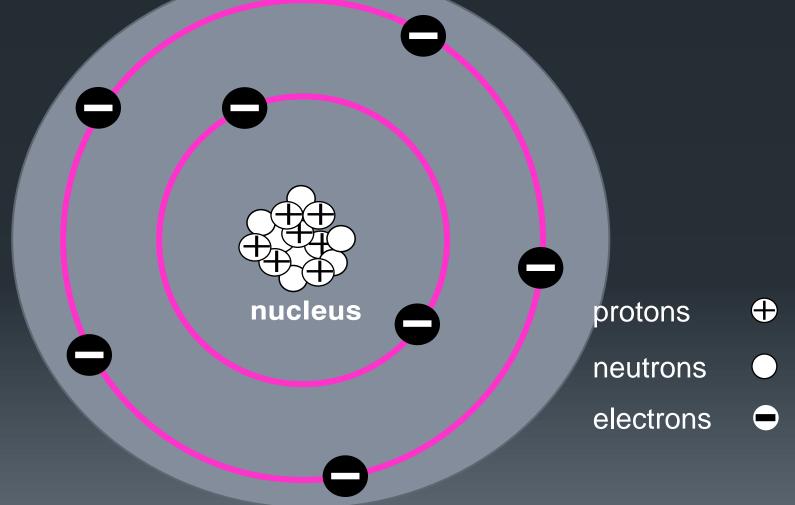
(Isotopes (Z), isobares (A), isomères (Z et A))



# **Atome**

Un atome d'Azote N avec 7 protons et 7 neutrons dans le noyau.

7 électrons gravitent autour du noyau.



# Force Electrostatique

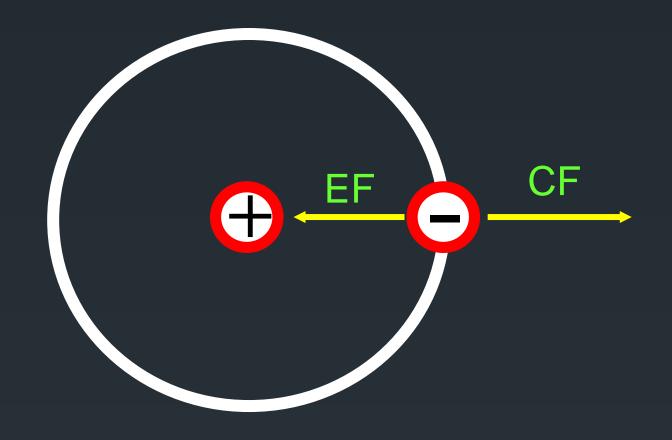


# Force Centrifuge









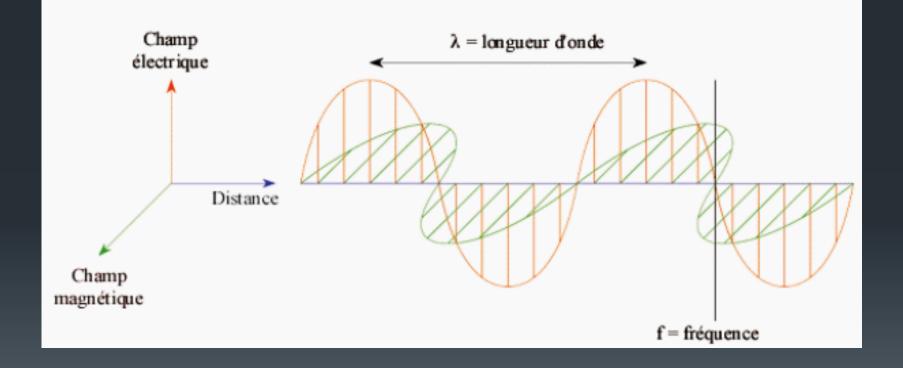
Équilibre entre les deux forces qui maintien <u>l'électron sur orbite.</u>

# • II/ LE RAYONNEMENT :

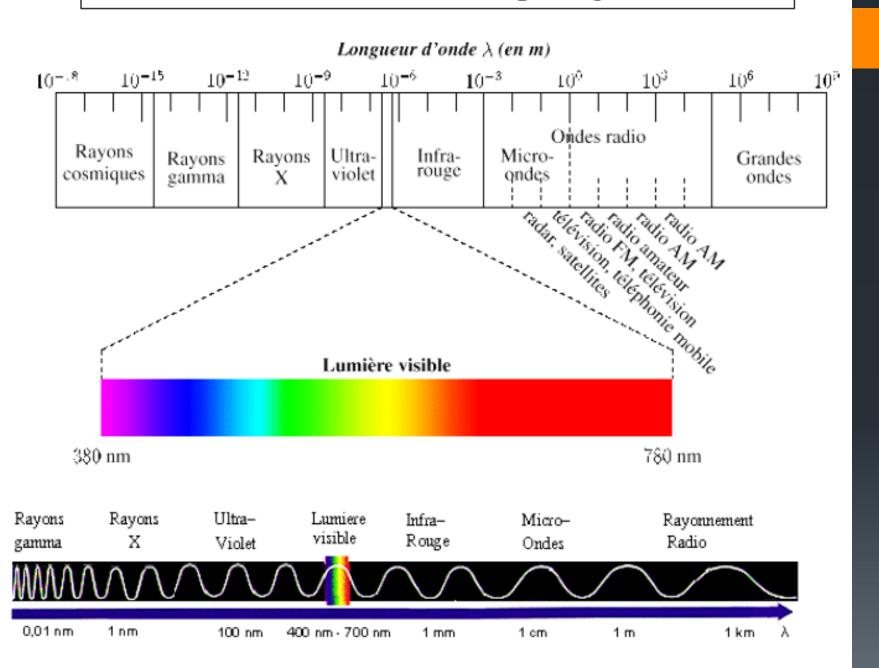
Définition : les rayons X appartiennent au groupe des rayonnement électromagnétiques, et qui ont un double aspect : quantique et ondulatoire.

# Nature des Rayons X

Propagation en ligne droite sans réflexions

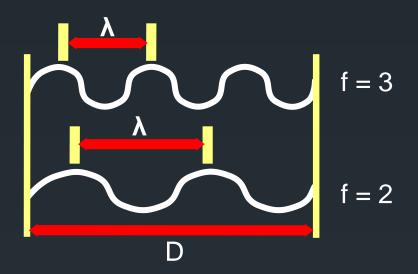


# Les ondes électromagnétiques



 Les rayons X sont constitués de quanta ou de grains d'énergie que l'on peut considérer comme des particules = ou Photons

Leur mode de propagation est de caractère ondulatoire, ils se déplacent en une ligne droite à la vitesse C = 300.000km/s et ils disparaissent en cédant leur énergie à la matière.

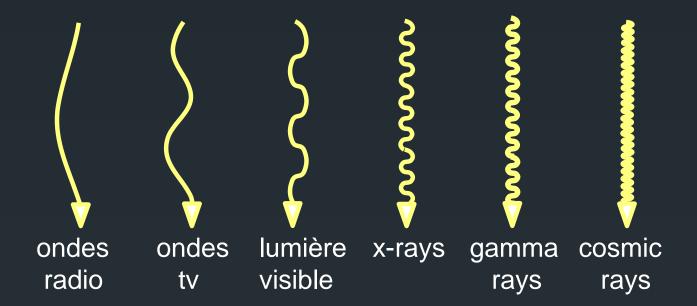


Les ondes des radiations électromagnétiques ont deux caractéristiques: la longueur d'onde et la fréquence

La longueur d'onde λ est la distance entre la pointe d'une onde et la pointe de l'onde suivante.

La fréquence f est le nombre d'ondes dans une distance donnée D.

si la distance entre deux ondes diminue la longueur d'onde λ devient courte; et la fréquence f augmente.



La longueur d'onde la plus courte?

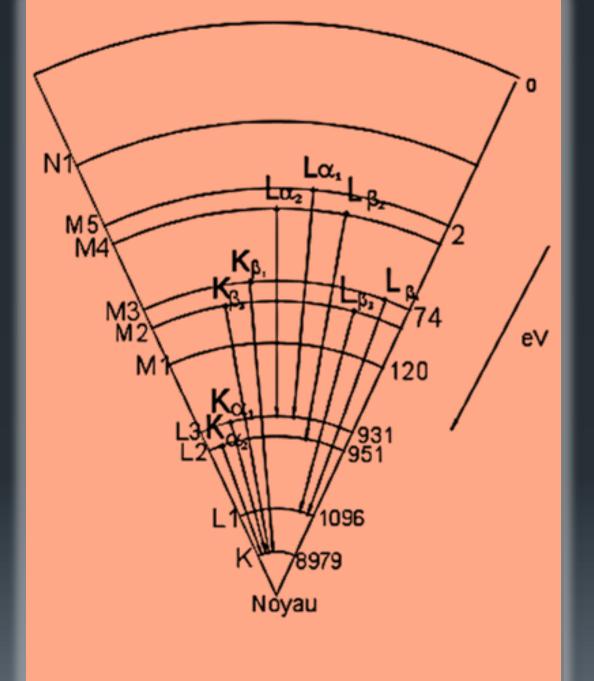


La fréquence la plus basse?



- b) Phénomène d'émission et d'absorption :
- les phénomènes d'émission et d'absorption utilisés en radio diagnostic se passent en périphérie de l'atome.
- Les électrons gravitent sur diverses orbites stables concentriques que l'on désigne par les lettres K, L, M, N. (K étant la couche la plus profonde la plus proche du noyau).

Cette stabilité est assurée par l'attraction qu'exerce sur les charges (-) les charges (+) du noyau. Cette attraction est d'autant plus forte que la charge du noyau est plus élevée et que l'orbite de gravitation est plus proche du noyau. Chaque orbite se caractérise par une certaine énergie de liaison (W) différente d'une couche à l'autre ainsi WK > WL > WM > WN



Niveaux d'énergie de l'atome de cuivre

- D'après la théorie de BOHR : l'électron n'émet aucun rayonnement tant qu'il tourne autour du noyau sur une orbite stable.
- Sous l'influence d'une cause extérieure l'électron est brusquement expulsé de la couche profonde, dans ce cas il est aussitôt remplacé par un électron d'une couche superficielle, il y'à donc émission de rayonnement dont la fréquence F dépend du numéro atomique Z de l'atome considéré.
- F= WK-WL / h ; h =constante de PLANCK.

- Quand il s'agit d'une énergie faible c'est-à-dire d'un électron peu lié au noyau, ce sont des radiations lumineuses qui sont émises.
- Quand il s'agit d'une énergie plus élevée donc d'un électron plus fortement lié au noyau, ce sont des radiations X qui sont émises

#### **PLAN**

# A GENERALITES SUR LA STRUCTURE DE LA MATIERE ET SUR LES RAYONNEMENTS

- I/ CONSTITUTION DE LA MATIERE
- II/ LE RAYONNEMENT
- a) Définition
- b) Phénomène d'émission et d'absorption

#### B PRODUCTION DES RAYONS X

- Définition
- Tube radiogene
- Générateur haute tension

#### C PROPRIETES DES RAYONS X

## PRODUCTION DES RAYONS X

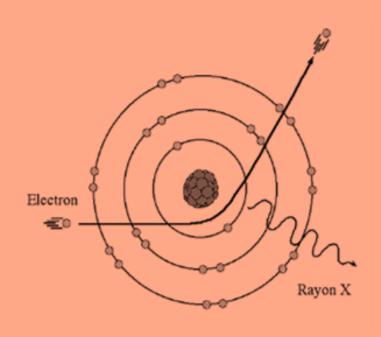
#### DEFINITION

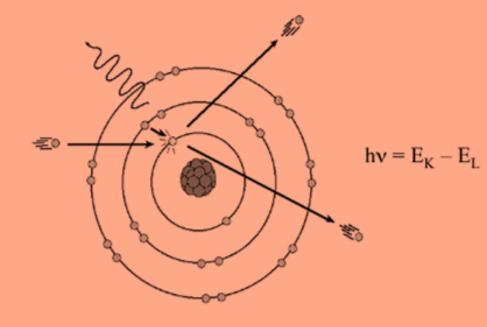
- Les rayons X sont des photons qui sont émis si un faisceau d'électrons accélérés percute une cible matérielle : noyaux et électrons.
- Ces deux interactions sont de deux types :
- Freinage & Collision.

•a) Le Freinage: interaction entre faisceau incidents d'électrons et noyaux donnant naissance au rayonnement de freinage qui est un spectre énergétique continu: Tube à RX.

- b) La Collision : interaction entre électron incident (éi) et électron du milieu (ém).
  - Celle-ci donne naissance a un rayonnement caractéristique (spectre de raie caractéristique de la cible ).

#### Génération des rayons X: Interaction électron / matière





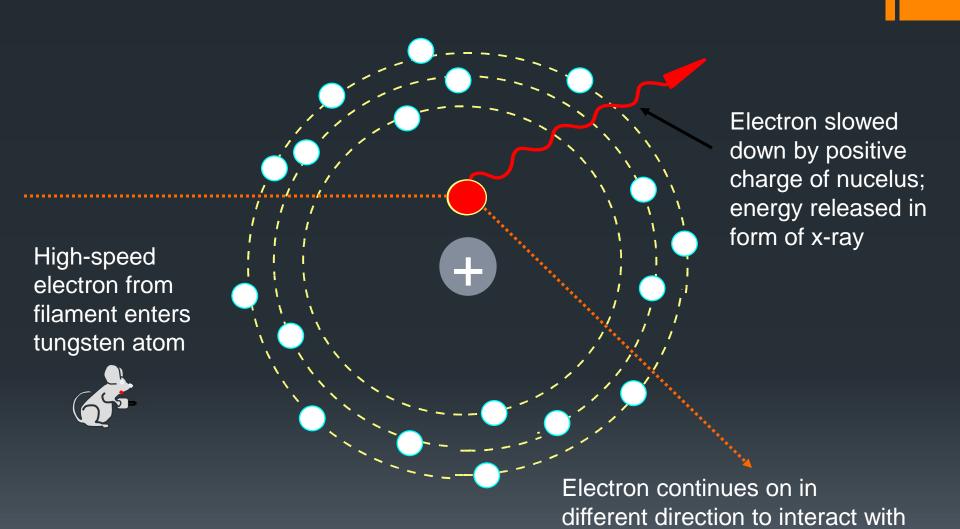
Rayonnement de freinage: fond continu

Raies caractéristiques

1% de l'énergie est transformé en rayonnement X (**proportionnel à Z**) 99% de l'énergie est transformée en chaleur par effet Joule

Choix du **Tungstène W**: Z = 74, t° fusion = 3422°C

## Bremsstrahlung X-ray Production



other atoms until all of its energy

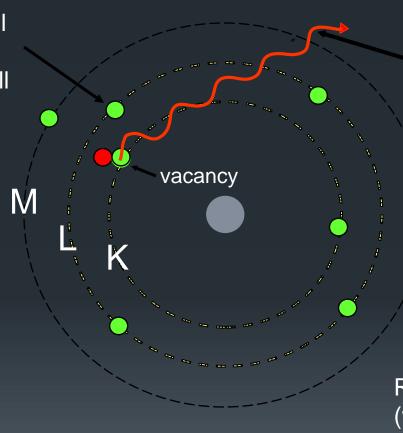
is lost

## Characteristic X-ray Production

Electron in L-shell drops down to fill vacancy in K-shell



High-speed electron with at least 70 keV of energy (must be more than the binding energy of k-shell Tungsten atom) strikes electron in the K shell, knocking it out of its orbit



X-ray with 59
exted electron
ves atom
produced. 70
(binding energy
of K-shell
electron) minus
11 (binding
energy of Lshell electron) =
59.

Recoil electron (with very little energy) exits atom

## Bremsstrahlung X-ray Production Maximum energy

High-speed electron from filament enters tungsten atom and strikes target, losing all its energy and disappearing



The x-ray produced has energy equal to the energy of the high-speed electron; this is the maximum energy possible

## TUBE RADIOGENE:



#### ■TUBE RADIOGENE:

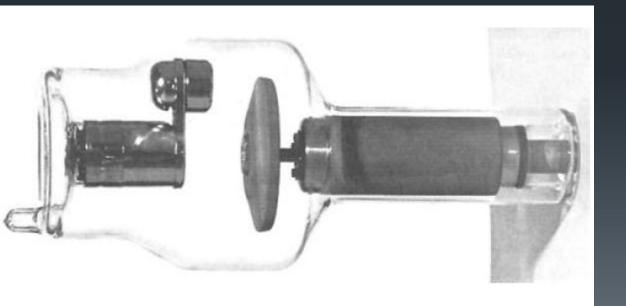
Constitué de trois éléments placés sous un vide très poussé dans une enceinte en verre (ampoule).

 Source d'électrons : Cathode : filament de Tungstène subit un échauffement porté a incandescence, émettant un flux d'électrons d'où un courant mesuré en mA (milliampères).





MARGIN FIGURE 5-1
Crookes tube, an early example of a cathode ray tube.

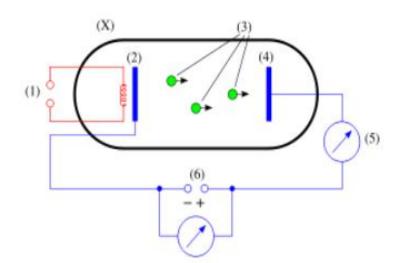


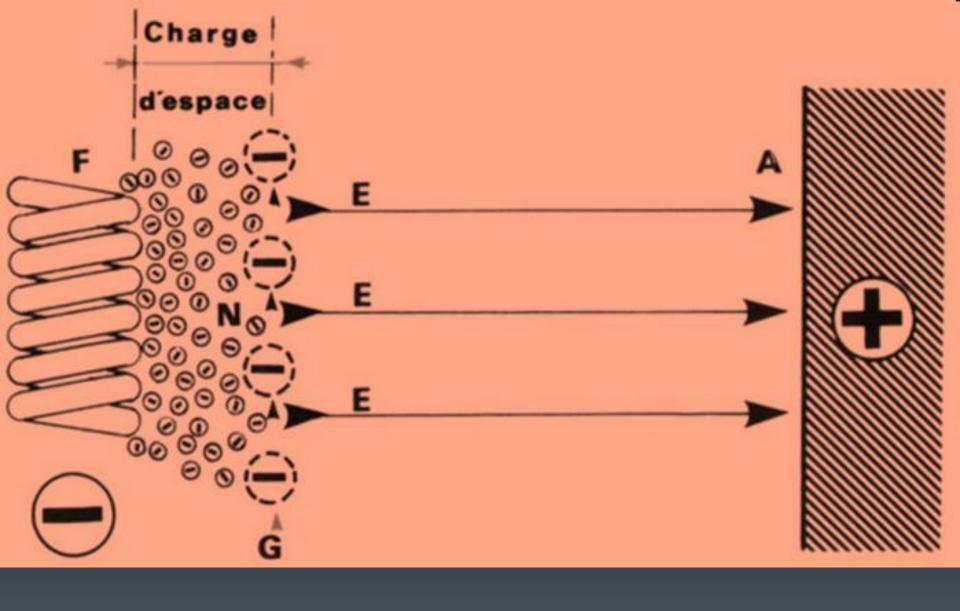


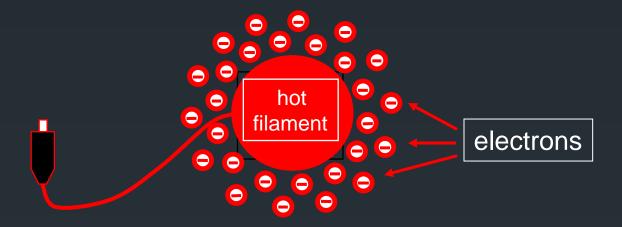
Tubes de Crookes

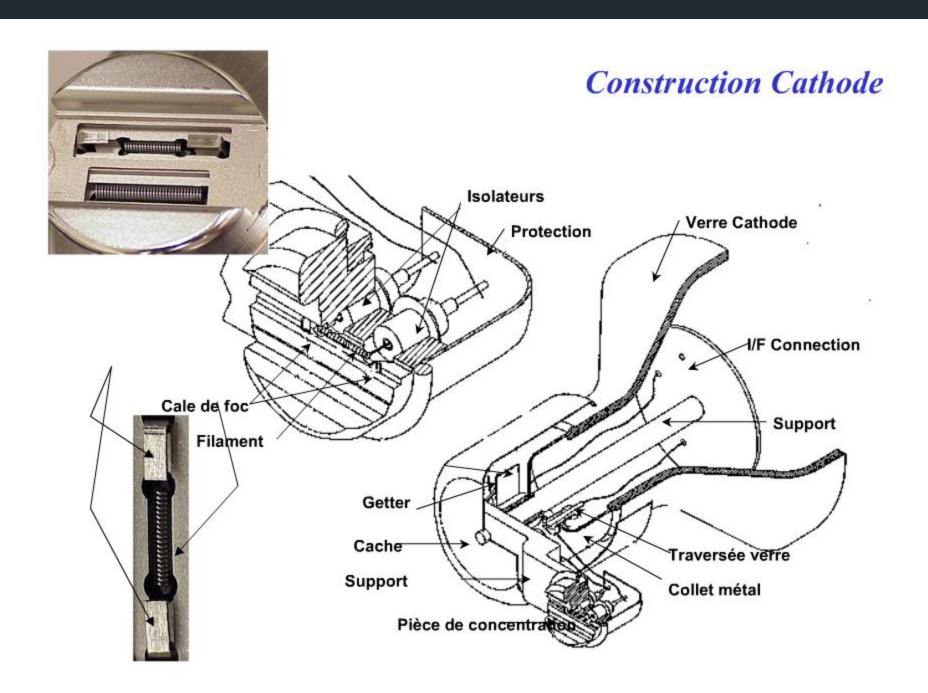
et de Coolidge

Fluorescence Pas de déviation électromagnétique







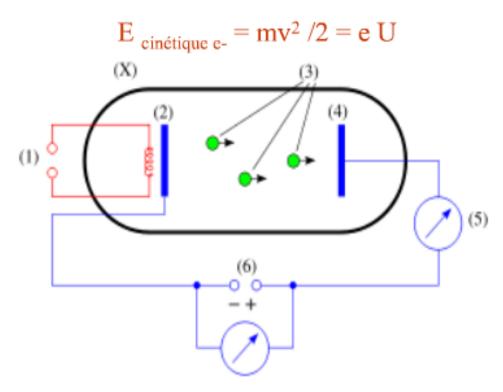


#### -Accélérateur d'électrons :

- par une tension appliquée entre la cathode et l'anode, mesurée en KV (kilovolts).
- La tension variant de 40KV à 90KV (basse tension) et 100KV à 130KV (haute tension, RX plus pénétrants).

#### Principe de fonctionnement du tube à Rayons X

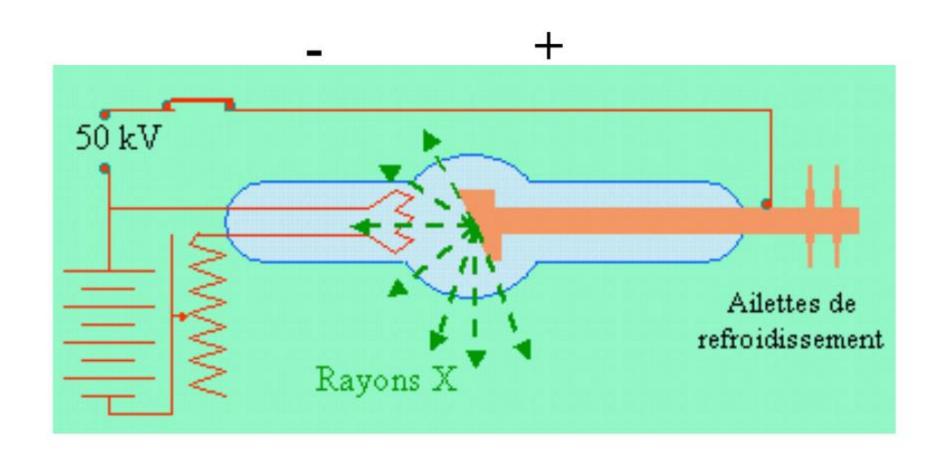
Haute Tension, Vide poussé (distance de parcours des e<sup>-</sup>)

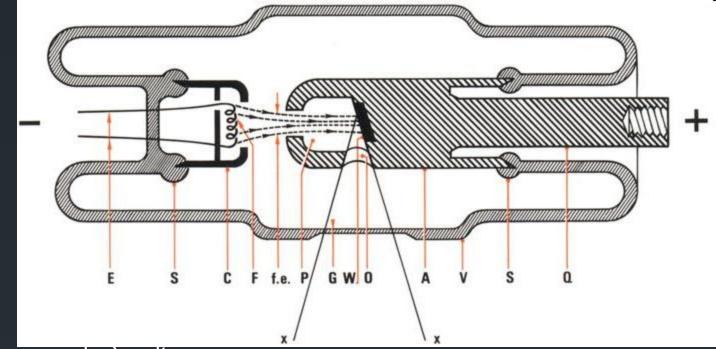


- 1: Chauffage du filament
- 2: Cathode
- 3: électrons accélérés
- 4: Anode
- 5 : mesure de courant
- 6 : mesure de haute tension

#### -Cible métallique : Anode :

- alliage en Tungstène et Rhénium assurant le freinage des électrons accélérés et émet par le foyer des Rayons X.
- le foyer correspond a la surface de l'anode qui reçoit les électrons incidents.





Tube à anode fixe, dite « anode à puits ».

V : verrerie étanche au vide (ampoule)

C: cathode

F : filament de tungstène porté à l'incandescence

E: connexions du filament

A: anode en cuivre

W : pastille de tungstène noyée dans le cuivre, sur laquelle se forme le foyer

P : puits de l'anode

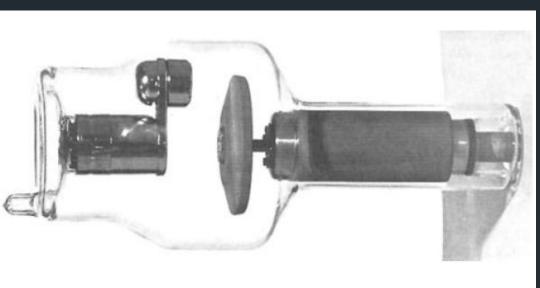
O : ouverture de sortie des rayons X de l'anode

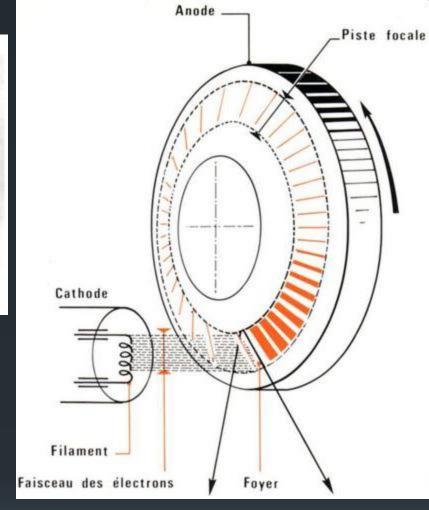
G : fenêtre, partie amincie de la verrerie

Q : queue de l'anode permettant l'évacuation de la chaleur par conductibilité

S : soudures verre-métal des électrodes sur la verrerie f.e. : flux des électrons

cathodiques





Principe de l'anode tournante. Le foyer est fortement décentré sur l'anode en forme de plateau conique. La chaleur, formée sous le choc des électrons au foyer, s'évacue par conductibilité vers le cœur du métal, pendant toute la durée de rotation.

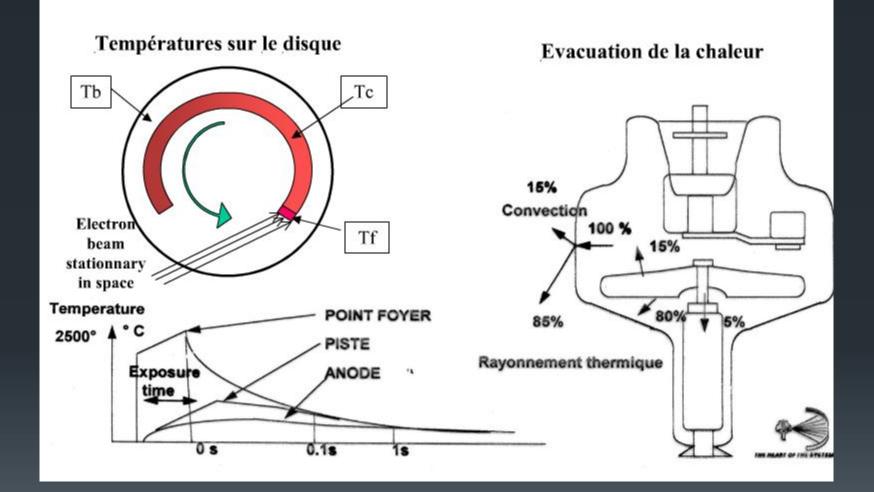
#### **Anode Tournante**

Formée d'un disque pouvant tourner jusqu'à 10 500 tours / mn et composé de matériaux réfractaires



•Un système de refroidissement assure la dissipation de la chaleur vu que seulement 1% de l'énergie utilisée est émise sous forme de Rayons X et les 99% restantes se transforme en chaleur au niveau de l'anode.

#### LES ECHANGES THERMIQUES



#### X-ray Tube Science!



Tube Focal Spot Loading: 3300-4200 W/mm<sup>2</sup>



Meteor Entry: 100-500 W/mm<sup>2</sup>



Commercial Plasma Torch: 20 W/mm<sup>2</sup>

Rocket Nozzle Interior: 10 W/mm<sup>2</sup>



Tube Focal Track: 6.5 W/mm<sup>2</sup>



Rocket Science



- Une gaine plombée avec système de diaphragme :
- le tube lui-même est enfermé dans une gaine plombée, seule une fenêtre laisse passer le faisceau de RX utile.
- De plus un système de diaphragme plombé situé a la sortie des RX du tube va permettre de réduire à la demande les dimensions du faisceau radiologique à la taille de la région à explorer du corps du patient.

# LA GAINE Gaine plombée Enveloppe (Verre ou metal) Cathode Anode

## Tube RX, gaine et collimateur

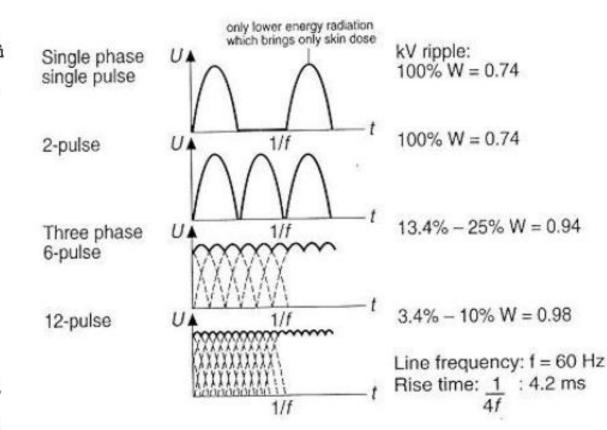


#### GENERATEUR HAUTE TENSION :

•Un générateur de RX est constitué d'un générateur haute tension (entre 20KV à 130KV) qui alimente un tube a RX. La haute tension accélère les électrons émis par la cathode du tube à rayons X et quand ceux-ci percutent la cible anodique, il se produit une émission de rayons X par rayonnement de freinage.

#### Le générateur haute tension

- Les premiers générateurs ne faisaient que redresser le courant et l'appliquer aux bornes du tube... ce qui conduisait à produire des faisceaux contenant beaucoup trop de Rx de basse énergie.
- Les générateurs triphasés 6 et 12 impulsions ont permis d'améliorer la situation en appliquant au tube une Haute Tension presque constante.
- Les générateurs actuels, à Haute Fréquence, appliquent une tension constante sur le Tube.
- Le fait d'appliquer une tension de plus en plus constante au tube a permis de diminuer la puissance élect<mark>rique</mark> du générateur. Alors qu'on trouvait surtout des générateurs anciens de 65, 80 et même 100 kW, les générateurs actuels n'ont habituellement que 50 ou 65 kW.



#### **PLAN**

# A GENERALITES SUR LA STRUCTURE DE LA MATIERE ET SUR LES RAYONNEMENTS

- I/ CONSTITUTION DE LA MATIERE
- II/ LE RAYONNEMENT
- a) Définition
- b) Phénomène d'émission et d'absorption

#### B PRODUCTION DES RAYONS X

- Définition
- Tube radiogene
- Générateur haute tension

#### C PROPRIETES DES RAYONS X

### PROPRIETES DES RAYONS X

#### DEFINITION

Les rayons x appartiennent au groupe d'irradiation électromagnétique. L'énergie rayonnante tire sa source de l'énergie libérée par les électrons. Le mode de propagation est de caractère ondulatoire d'où le nom d'onde électromagnétique.

#### PROPRIETES

 Certaines propriétés des RX doivent être connues pour comprendre l'application médicale des RX.

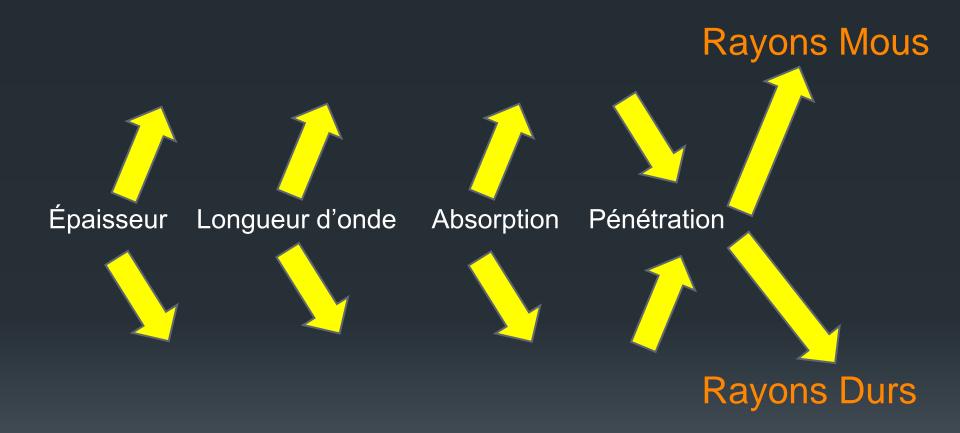
 1- Les RX sont capable de pénétrer et de traverser le corps humain. Au cours de cette traversée le faisceau subit un affaiblissement qui correspond a l'ABSORPTION.

#### 2-L'ABSORPTION dépend :

 \* de l'épaisseur de la région traversée. Elle est d'autant plus importante que l'épaisseur est importante.

 \* de la nature du corps absorbant. Elle croit avec le numéro atomique des éléments absorbants.

- \* de la longueur d'onde. Elle varie dans le même sens que la longueur d'onde.
  - Un rayonnement de grande longueur d'onde est très absorbable dont peu pénétrant : c'est un RAYONNEMENT MOU, de faible énergie.
- Un rayonnement de courte longueur d'onde est peu absorbable donc très pénétrant : c'est un RAYONNEMENT DUR, de forte énergie.



3- La diffusion : les RX produisent un rayonnement secondaire dans les corps qu'ils traversent. Ce rayonnement se compose essentiellement d'un rayonnement diffué qui est d'autant plus important que le volume irradié est important et que les KV utilisés sont importants. Ce rayonnement se fait dans toutes les directions et représente un rayonnement parasite qui va atténuer le contraste de l'image du cliché.

- 4-Ils provoquent l'illumination de certains sels minéraux (scopie ou amplificateur de brillance et écrans renforçateurs).
- 5-Ils provoquent le noircissement des émulsions photographiques du cliché.
- 6-Ils se propagent en une ligne droite et dans toutes les directions.

7-Les RX ont des effets biologiques.