

# Imagerie Médicale

## Introduction, définition, historique

Marc Lemort

Institut J. Bordet



Lien internet pour le syllabus et les présentations:  
[http://www.radcoursorg.be/INF\\_02/](http://www.radcoursorg.be/INF_02/)



# Définition de l'Imagerie Médicale

- ✦ Le terme “imagerie médicale” remplace aujourd’hui les appellations “radiologie” ou “radiodiagnostic”.
- ✦ la discipline s’est profondément transformée non seulement suite aux très importants progrès de la technologie en matière de rayons X, mais également suite à l’apparition de multiples nouvelles méthodes qui ne reposent plus sur l’utilisation de rayons X produits par un tube radiogène



# Définition de l'Imagerie Médicale

- l'imagerie isotopique (isotopes radio-actifs; ici la source radiogène est interne), avec plus récemment le PET scan (tomographie par émission de positrons)
- l'échographie (utilisation des ultrasons)
- l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) (utilisation des propriétés magnétiques des noyaux d'hydrogènes du corps placé dans un champ magnétique puissant)



# Définition de l'Imagerie Médicale

- Evolution aussi de la profession du radiologue:
  - la radiologie diagnostique s'est séparée de la radiologie thérapeutique (radiothérapie)
  - elle s'est également séparée en Belgique de la médecine nucléaire (dont les examens d'imagerie ont un intérêt plus fonctionnel que morphologique) Cette tendance va toutefois s'inverser à l'avenir, notamment en raison de l'émergence d'imageurs hybrides, associant techniques d'imagerie classiques et de médecine nucléaire
  - Aujourd'hui le métier de radiologue se sous-spécialise fortement, comme dans la plupart des professions médicales d'ailleurs



# Qu'est-ce qu'une image?

Image = reflet de la réalité

*J'appelle image d'abord les ombres ensuite les reflets qu'on voit dans les eaux, ou à la surface des corps opaques, polis et brillants et toutes les représentations de ce genre (Platon)*

L'image abolit le temps et l'espace. Elle est lecture instantanée et présence immédiate du monde. À travers elle l'homme se reconnaît ; pourtant sa richesse est ambiguë et son pouvoir d'aliénation extrême. L'image sert de vérité. Elle s'offre à tous et se refuse à chacun.

*(chronique de Wikipedia)*

Des logiciels de plus en plus puissants et sophistiqués permettent de créer des univers virtuels et qui peuvent se donner comme tels, mais aussi truquer n'importe quelle image apparemment « réelle ». Toute image est désormais manipulable et peut perturber la distinction entre « réel » et visuel. *(id)*



# Définition de l'Imagerie Médicale

- ✦ Si nous regardons la définition de l'image et de l'imagerie dans le dictionnaire Larousse nous voyons:
  - Image: “représentation” (*par une technique*) “d'un être ou d'une chose...”
  - Imagerie: “ensemble d'images représentant des faits, des personnes, etc...”



# Définition de l'Imagerie Médicale

- ✦ l'image ou les images obtenues par ces techniques ne sont qu'une représentation de la réalité, souvent incomplète ou infidèle
- ✦ ces images ont à être interprétées
- ✦ c'est cette **interprétation** qui fait la spécificité (et la raison d'être) du radiologue. Cette interprétation est **à la fois technique et clinique.**



# Définition de l'Imagerie Médicale

- **Définition: L'Imagerie Médicale est la discipline médicale mettant en oeuvre les moyens actuels pour observer sur le vivant les manifestations internes de la maladie en utilisant des sources de rayonnement (pas nécessairement ionisant), externes ou internalisées**



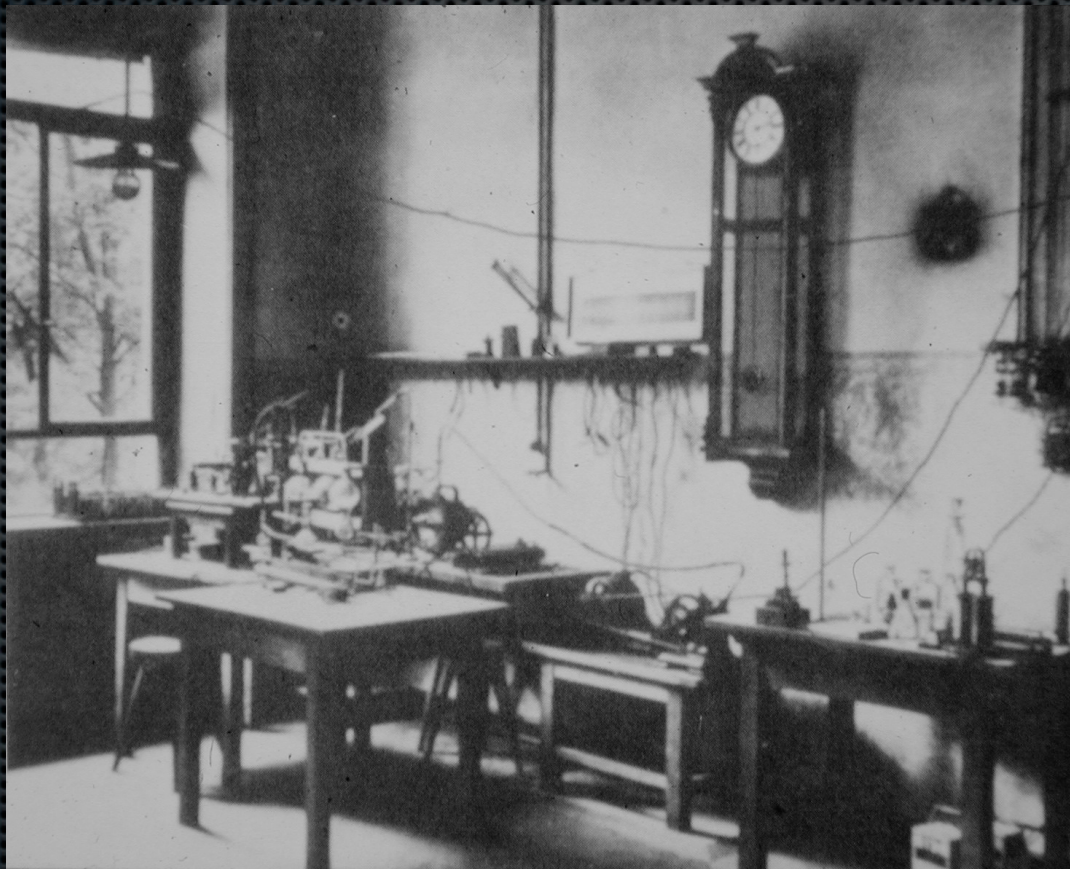
# Définition de l'Imagerie Médicale

- **Les images produites par les techniques d'Imagerie Médicale doivent donner lieu à une double interprétation: elles doivent être décodées en fonction de la technique utilisée et interprétées ensuite en fonction de la situation clinique du malade pour finalement fournir un diagnostic, un élément du diagnostic, ou une évaluation de la situation actuelle de la maladie**
- **On soigne un patient, on ne soigne pas des images**



# Bref historique de l'imagerie

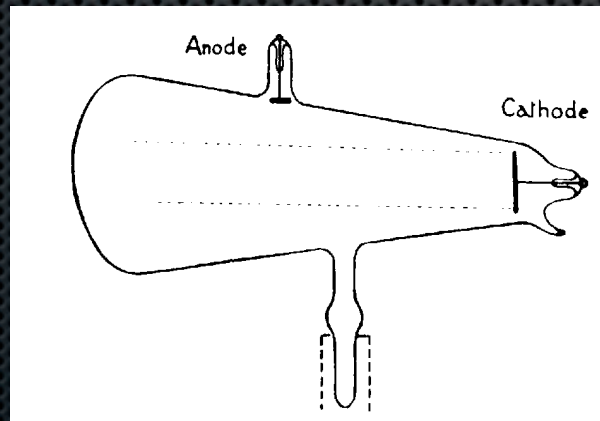
Une histoire qui a plus de cent ans





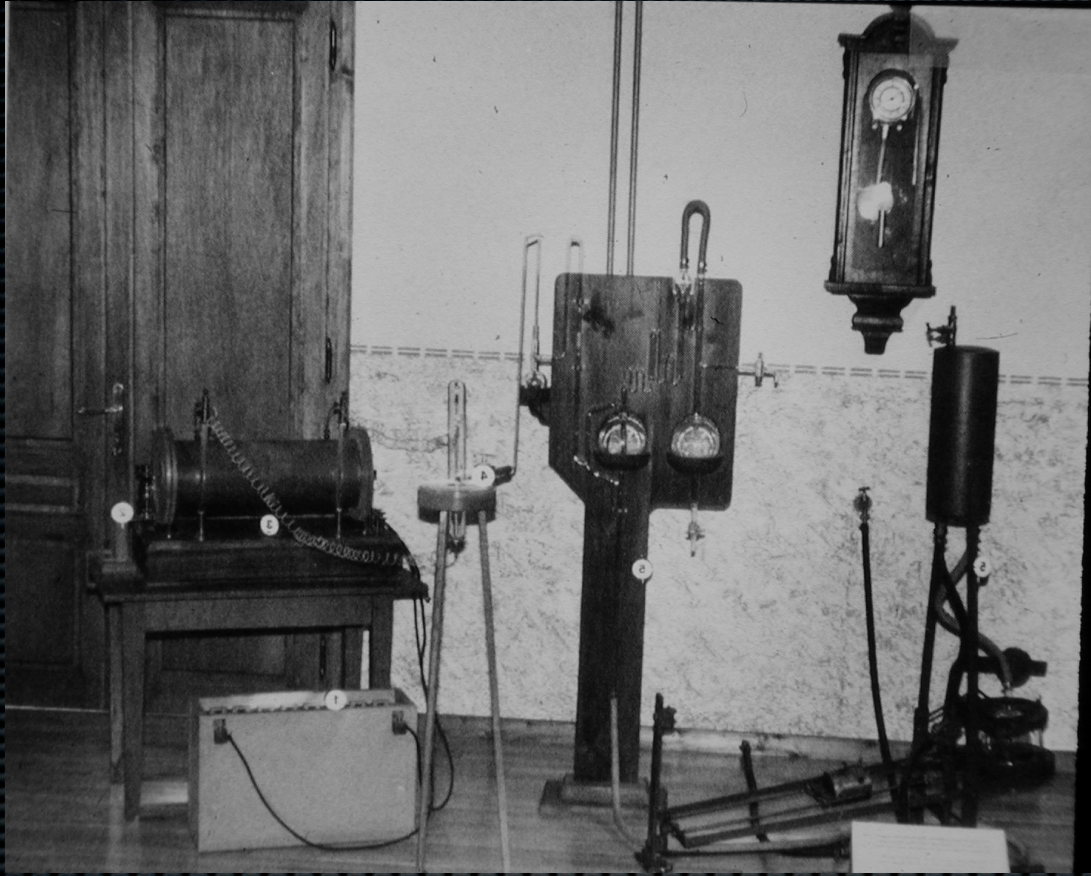
# Historique

- ✦ Le 8 novembre 1895 en fin d'après-midi Wilhelm Conrad Röntgen fait la découverte qui mènera à la description des rayons X
- ✦ Röntgen obtint pour sa découverte le prix Nobel de Physique en 1901



Un tube de Crooks tel qu'utilisé par Röntgen pour ses expériences sur les rayons cathodiques







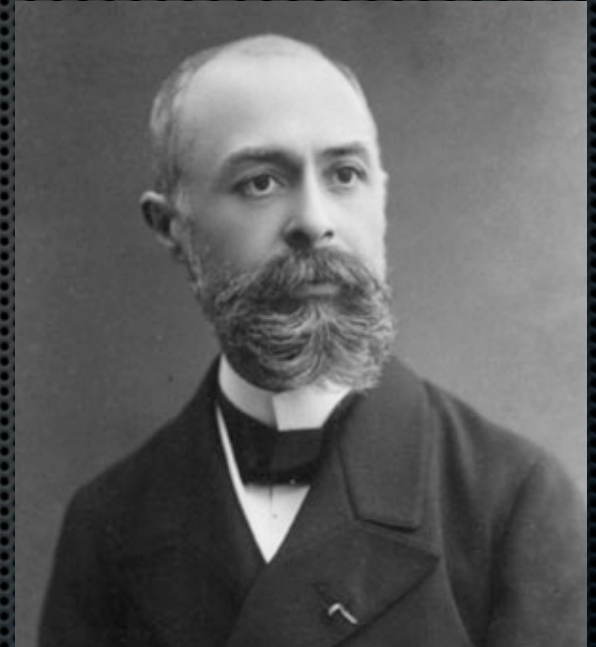
# Historique

- ✦ La radioactivité
  - ✦ Une autre découverte fondamentale qui aura des conséquences majeures en Imagerie Médicale (et en Radiothérapie) est celle de la radioactivité
  - ✦ Antoine-Henri Becquerel et Pierre et Marie Curie

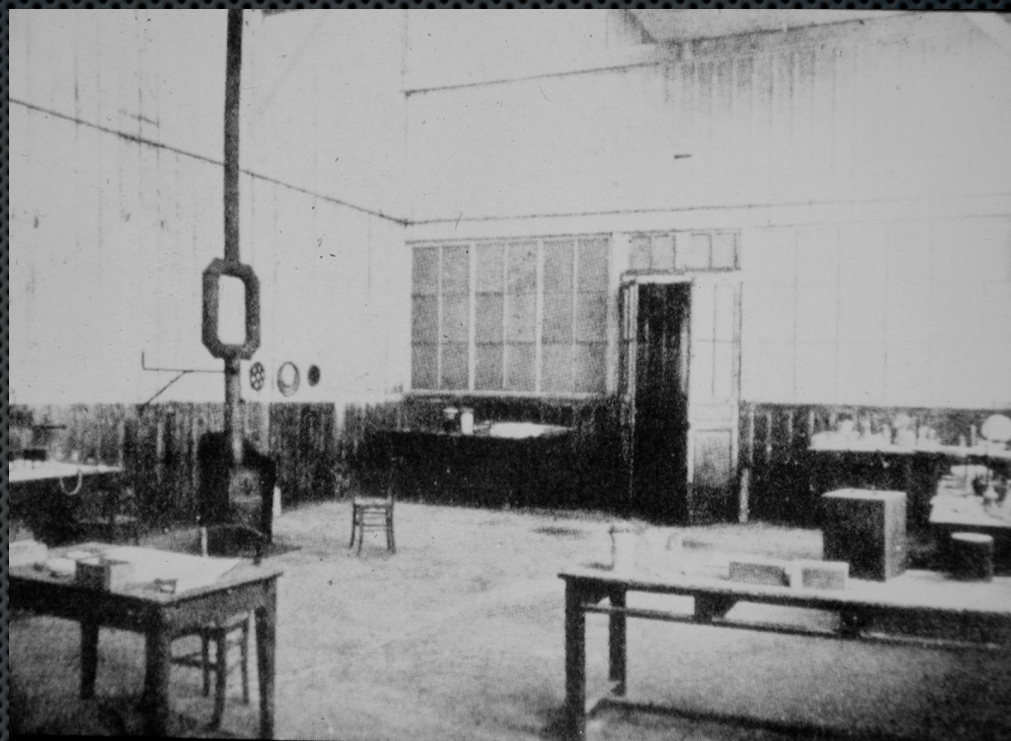


# Historique

- Becquerel constata que, comme les rayons X, le rayonnement de l'uranium était capable d'ioniser l'air à plusieurs mètres et de provoquer la décharge d'un électromètre. Il s'agissait donc de rayonnements **ionisants**.
- Marie Curie démontrera en utilisant un électromètre mis au point par son mari Pierre Curie, que la radioactivité était une propriété de l'élément uranium et non de la structure chimique dans laquelle il se trouvait ou des facteurs physiques l'entourant









# Historique

- En 1903 les Curie recevront avec Becquerel le Prix Nobel de Physique. En 1911, Marie Curie recevra également le Prix Nobel de Chimie.
- Pierre et Marie Curie ont décrit les effets de la radioactivité sur les organismes vivants; ces expériences ont rapidement mené à la description des effets nocifs mais aussi des possibilités d'utilisation thérapeutique.



## Bref historique de l'imagerie médicale

- Plusieurs pionniers de la radiologie (qui étaient également radiothérapeutes) furent, en particulier aux Etats-Unis, des ingénieurs ou photographes qui ont étudié la médecine dans un second temps afin d'acquérir les compétences nécessaires à l'exercice de la radiologie. Dès 1896 les cabinets de radiologie se multiplièrent, et les rayons X devinrent également des objets de foire ou des accessoires utilisés notamment dans les magasins de chaussures !



# Bref historique de l'imagerie médicale

H. PRESTON PRATT, M. D., President.

R. S. OREGG, M. D., Secretary.

## Dr. Pratt's X-Ray

...AND...

### Electro-Therapeutical Laboratory,

MASONIC TEMPLE, CHICAGO.

Long Distance Phone, Central 1910.

*The Oldest X-Ray Laboratory*, established February 7, 1896, is well equipped for

*General Electro-Therapeutical Work* of all kinds. Dr. Pratt's long experience enables him to guarantee

*No Injurious Effects* from the X-RAY or other treatments in his laboratory.

*X-Ray Pictures*, both snap shots and time exposures.

*Cancer, Lupus*, and other forms of tuberculosis, inflamed joints, and numerous other ailments, are successfully treated.

*Interests* of Physicians and Surgeons protected.

*Expert Evidence* rendered in medico-legal cases.

*Professional Correspondence* receives prompt attention.

*Published Articles* on X-Rays and Electro-Therapeutics will be sent on application.

BEFORE LEAVING THE EXHIBITION

**"SEE"**

THE WONDROUS

# X RAYS

The

Greatest Scientific Discovery  
of the Age.

By the aid of the New Light you are  
enabled to see

**"THROUGH A SHEET OF METAL"**

**"THROUGH A BLOCK OF WOOD"**

AND ALSO

**"Count the Coins within your Purse."**

**ADMISSION - 3d.**

OPEN ALL DAY.

**X RAY PHOTOGRAPHS TAKEN.**

P.T.O.



# Bref historique de l'imagerie médicale



**Un fluoroscope pour magasin de chaussures: mettez le pied, les RX vous montrent la pointure !**



# Bref historique de l'imagerie médicale

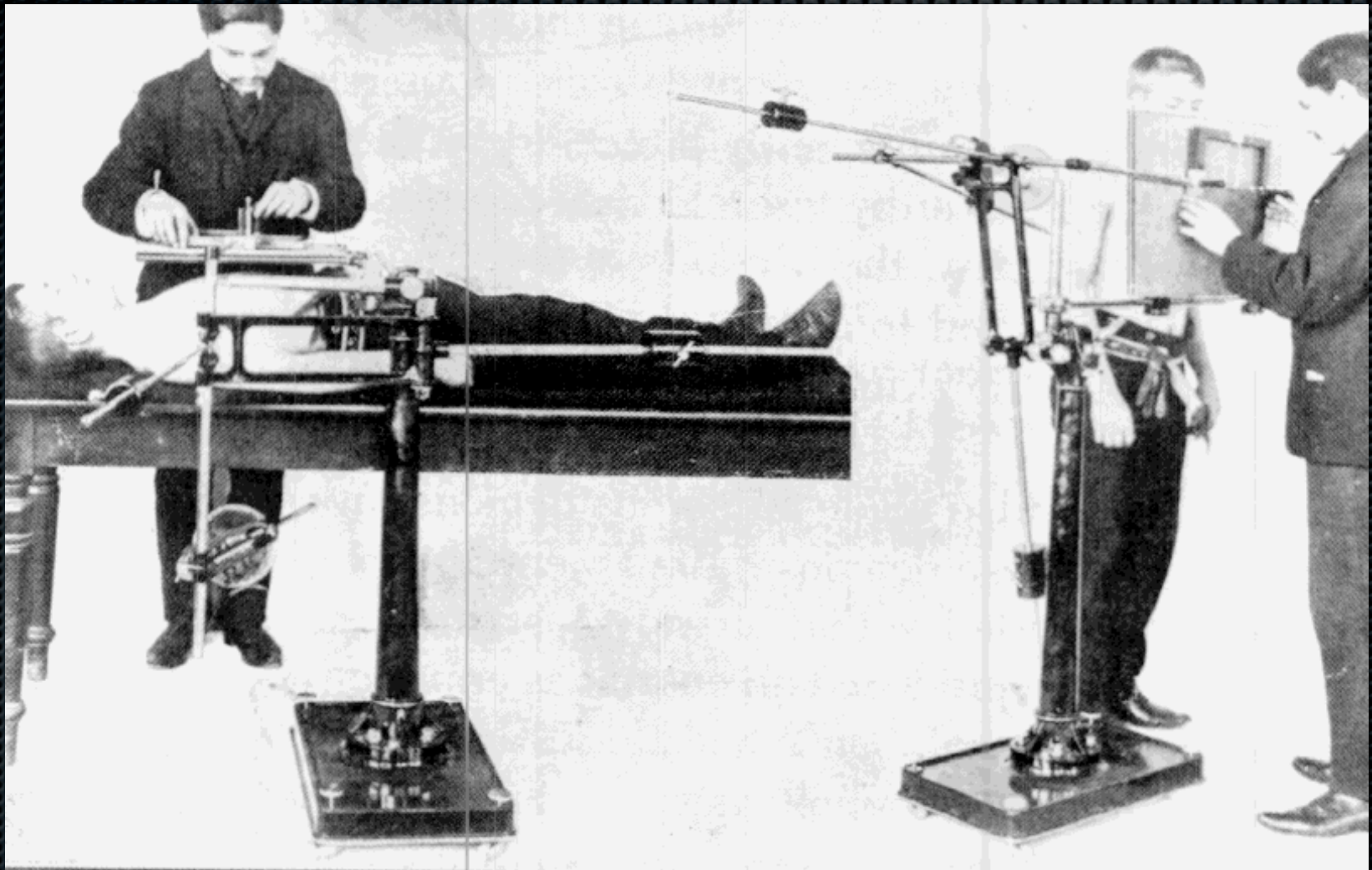
- ✦ il a fallu attendre les années 40 avant qu'on ne commence à se préoccuper de l'effet possible sur la population et de la radioprotection du malade. Pourtant les effets d'exposition prolongée aux rayons (par exemple pour une radiographie de crâne dans les premières années des rayons X) pouvaient être impressionnants
- ✦ il a fallu attendre les années 50 pour que les machines à rayons X soient interdites dans les magasins de chaussures où on s'est rendu compte que l'exposition répétée des enfants constituait un réel risque, de même que l'exposition des vendeuses!







# Bref historique de l'imagerie médicale



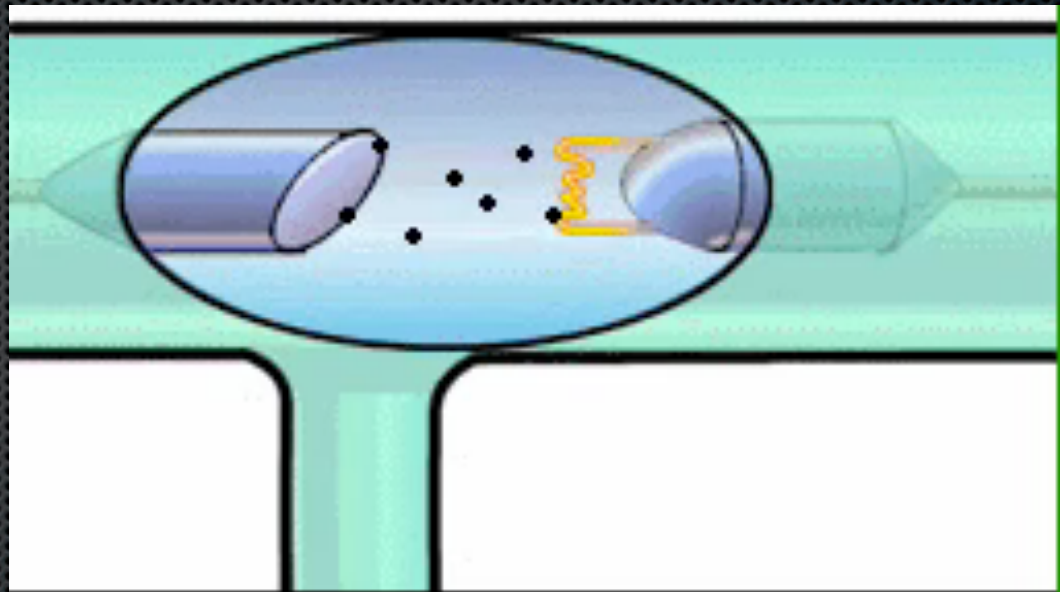


# Éléments de physique des rayons X et appareillage



# Rayons X: nature et production

- **Les rayons X sont produits par l'impact d'électrons émis par le filament du tube radiogène au moment où le faisceau d'électrons heurte la cible, constituée d'un métal ou d'un alliage de métaux particuliers (ex: le tungstène). Deux mécanismes sont à l'origine de cette production: le rayonnement de fluorescence (0 à 20%) et le rayonnement de freinage (bremsstrahlung) (80 à 100%).**





# Tube radiogène

## LE TUBE A RAYONS X Application médicale

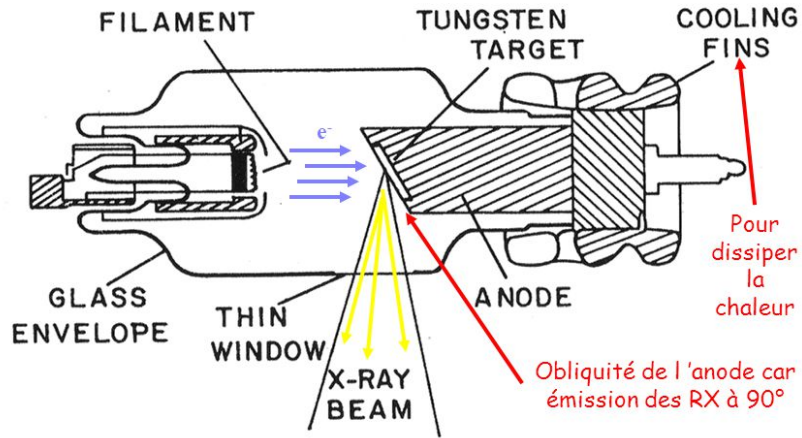


Diagramme d'un tube à rayons X à anode fixe

## Anode fixe

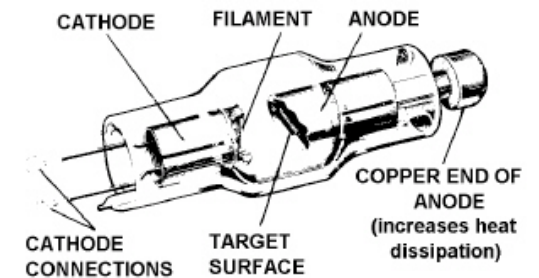
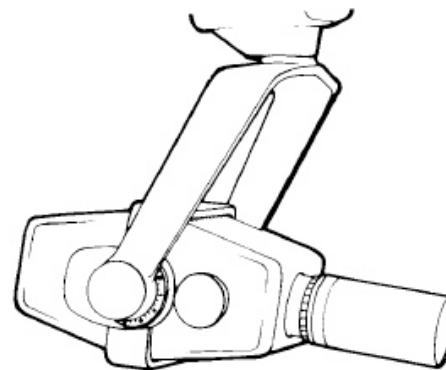
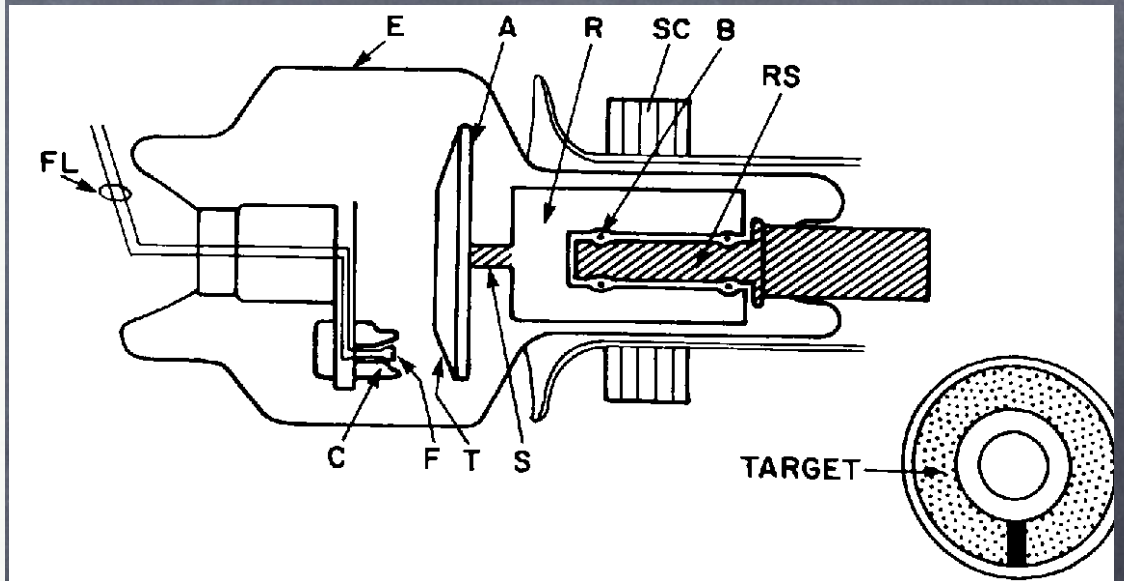
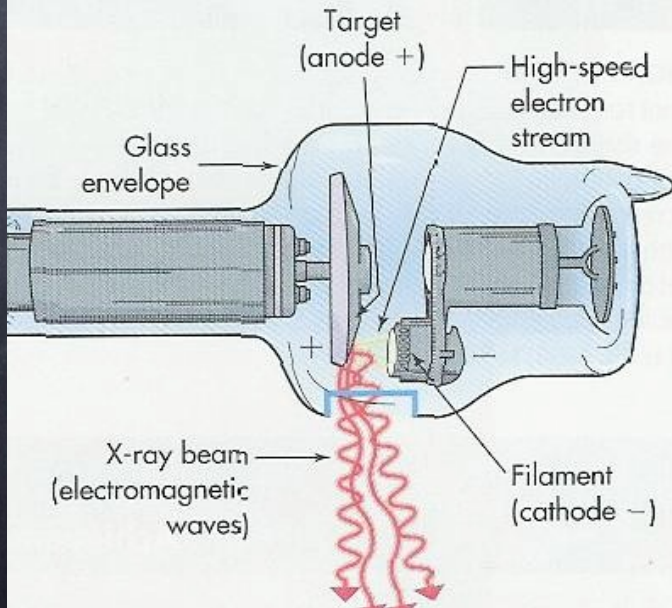
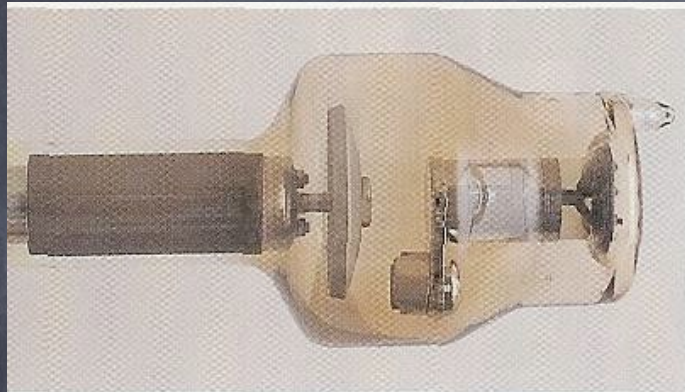


Figure 1-2. Dental x-ray tube head and dental x-ray tube.



# Tube radiogène

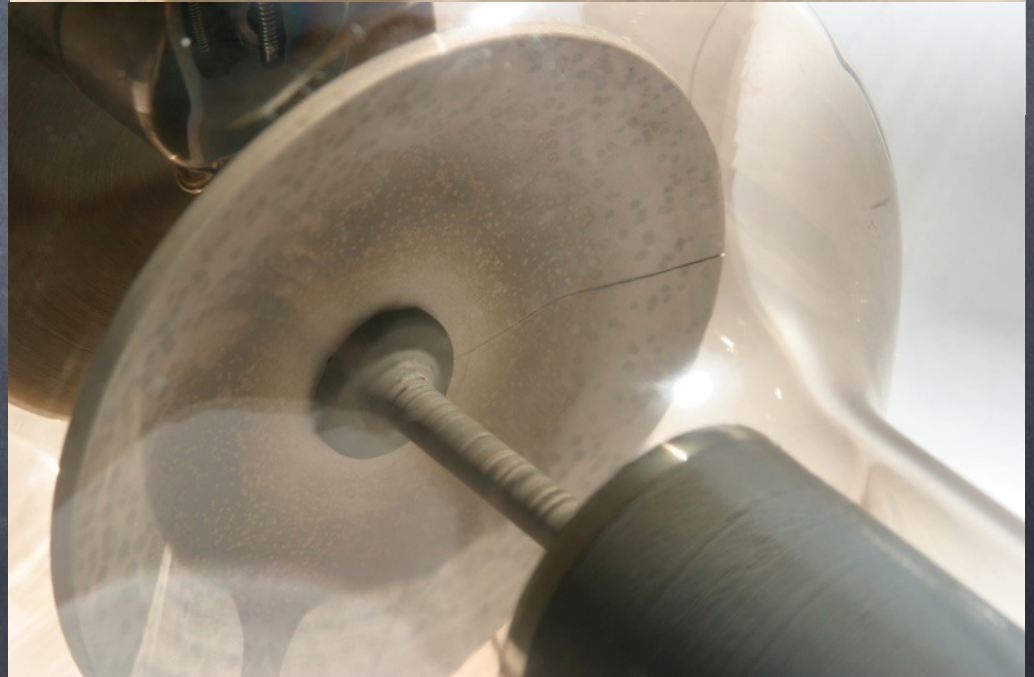
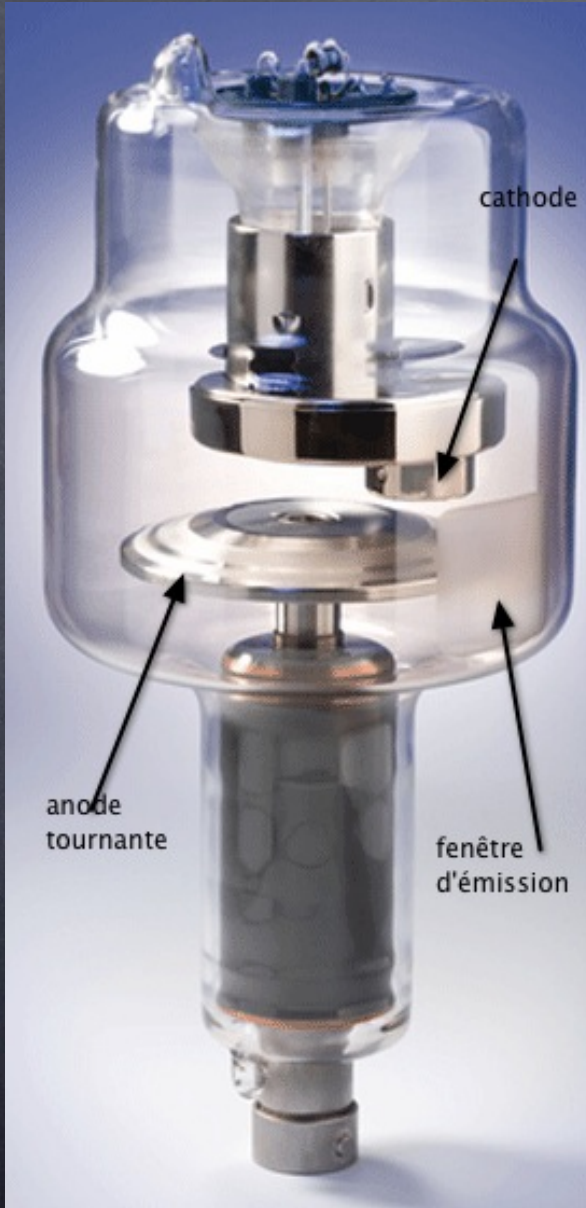


## Anode tournante

From: Statkiewicz et al, Radiation protection 5th ed, Mosby-Elsevier



# Tube à anode tournante



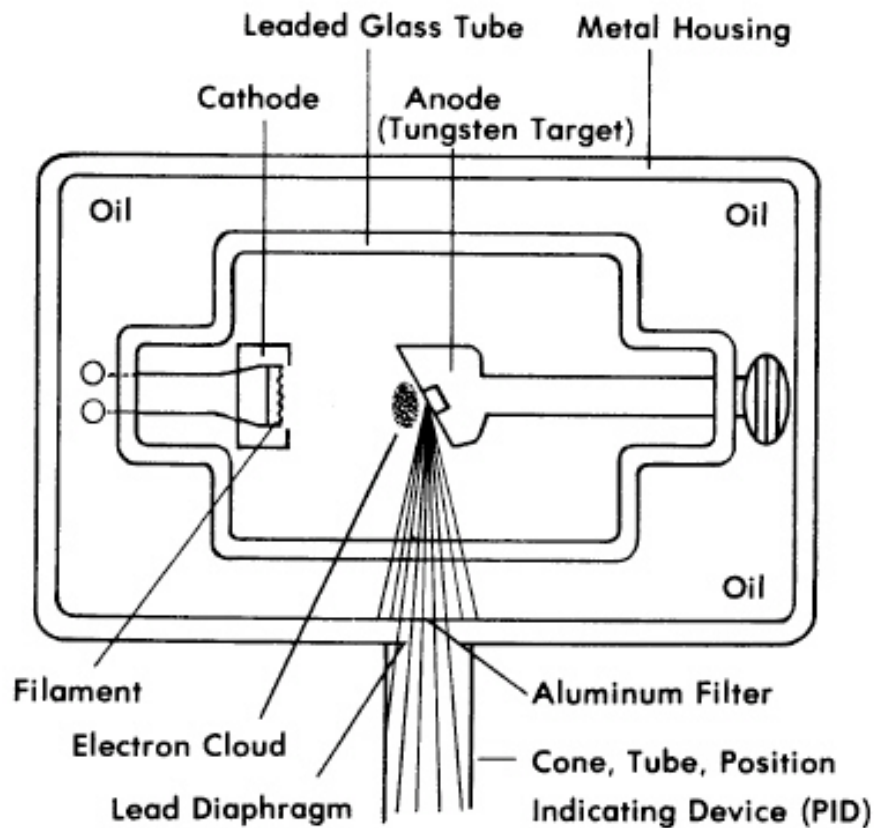


# Tubes radiogènes

- ① Une des caractéristiques des tubes producteurs de rayons X est leur très mauvais rendement. Ainsi près de ...99% de l'énergie est transformée en chaleur dans ces tubes, et seulement 1% en rayons X. Les tubes devant supporter des charges importantes sont à anode tournante, pour éviter la dégradation trop rapide de la cible par les faisceaux d'électrons



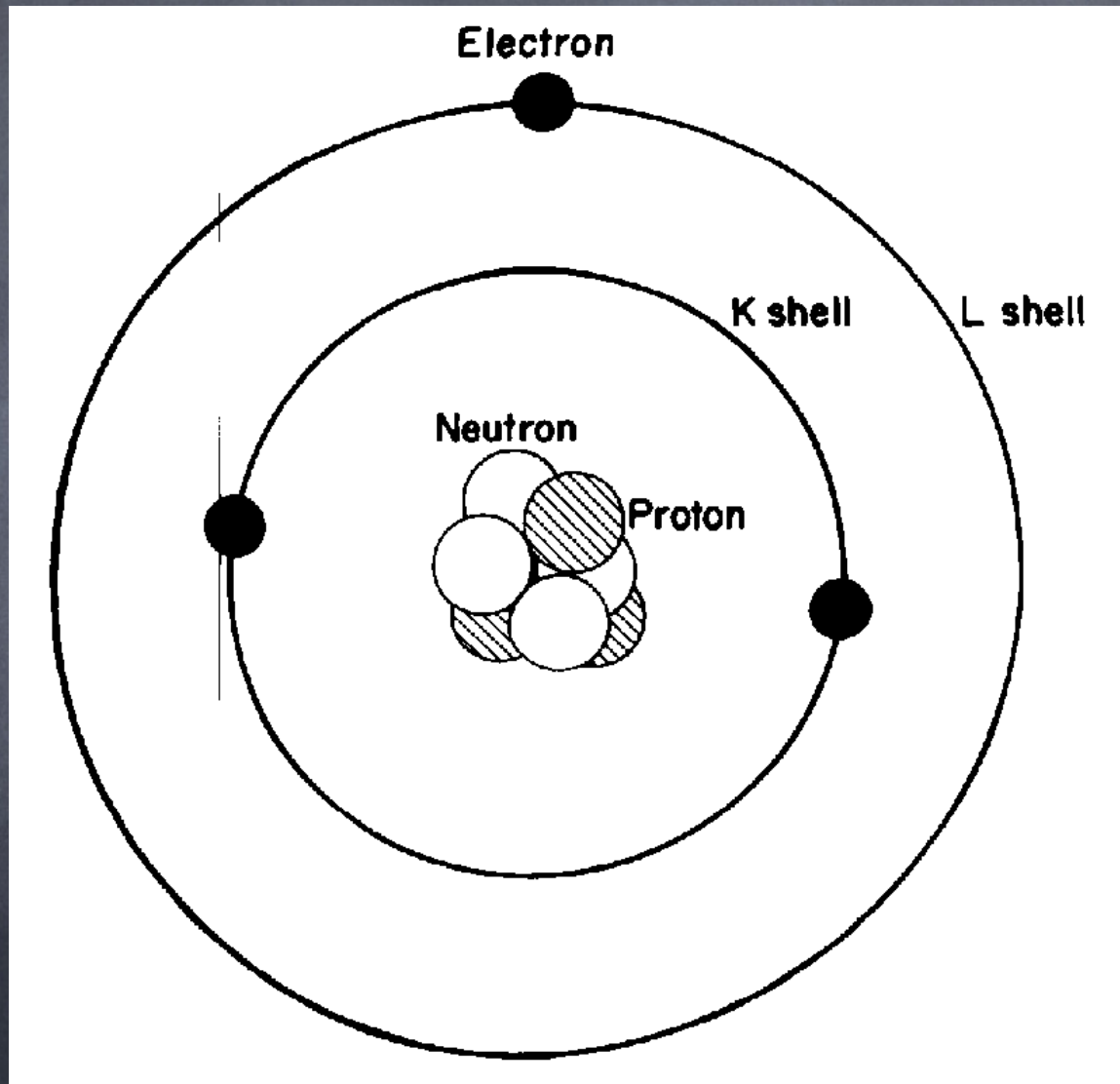
# Gaine du tube



Le tube radiogène est entouré d'une gaine (« housing ») qui contient des blindages destinés à contenir le rayonnement hors-collimation (« leakage »), ainsi qu'un circuit de ventilation ou de circulation d'huile ou d'eau destiné au refroidissement du tube

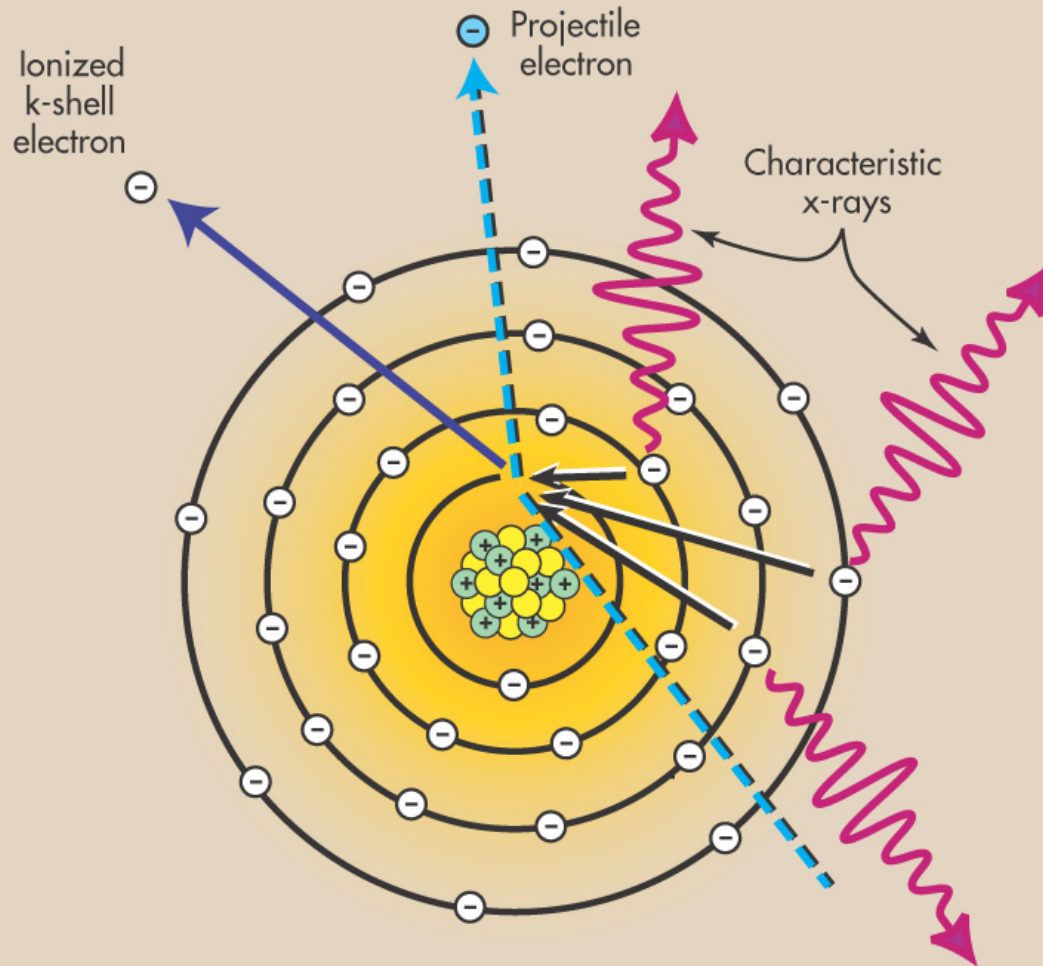


# Structure de l'atome et couches électroniques

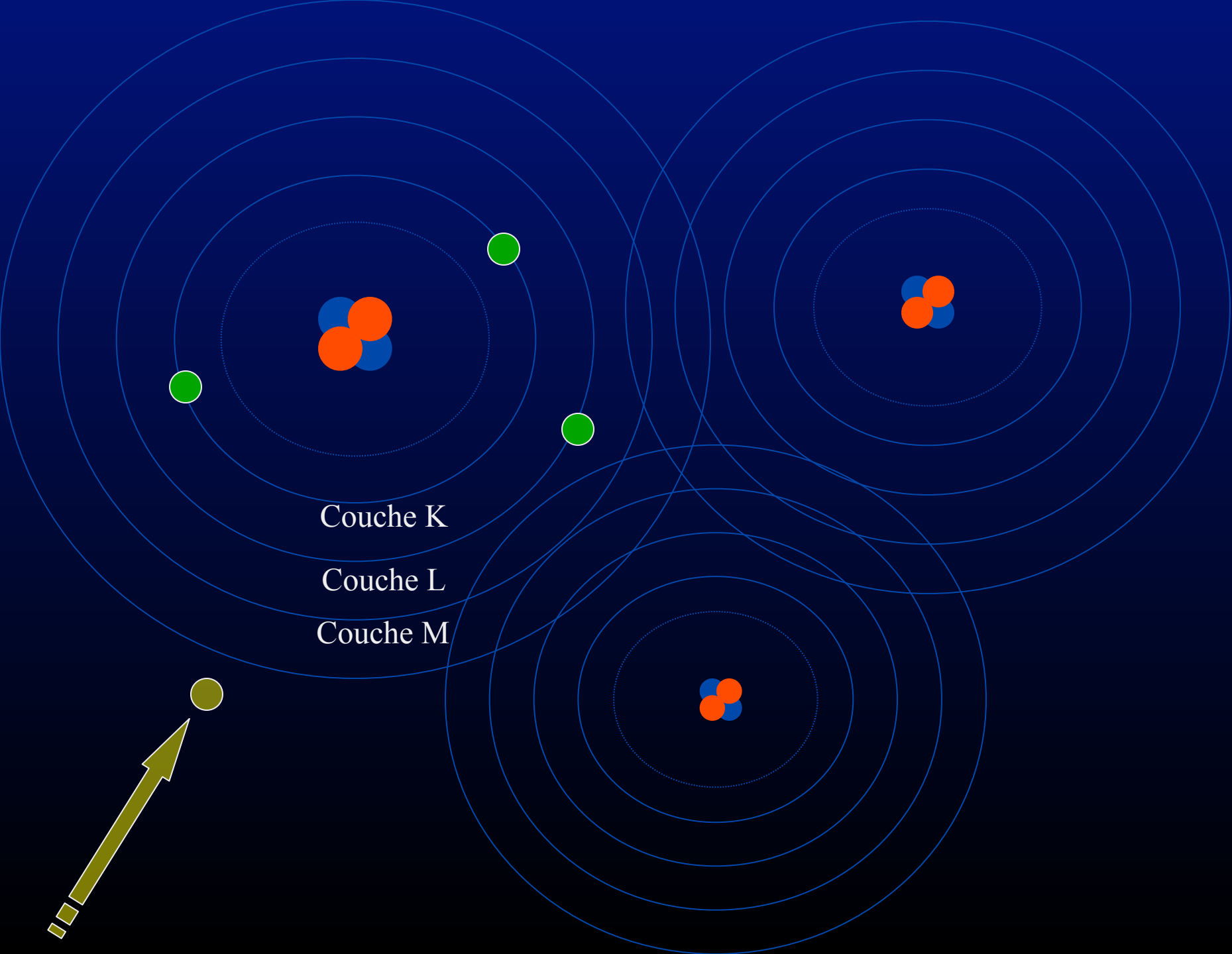




# Rayonnement caractéristique ou de fluorescence





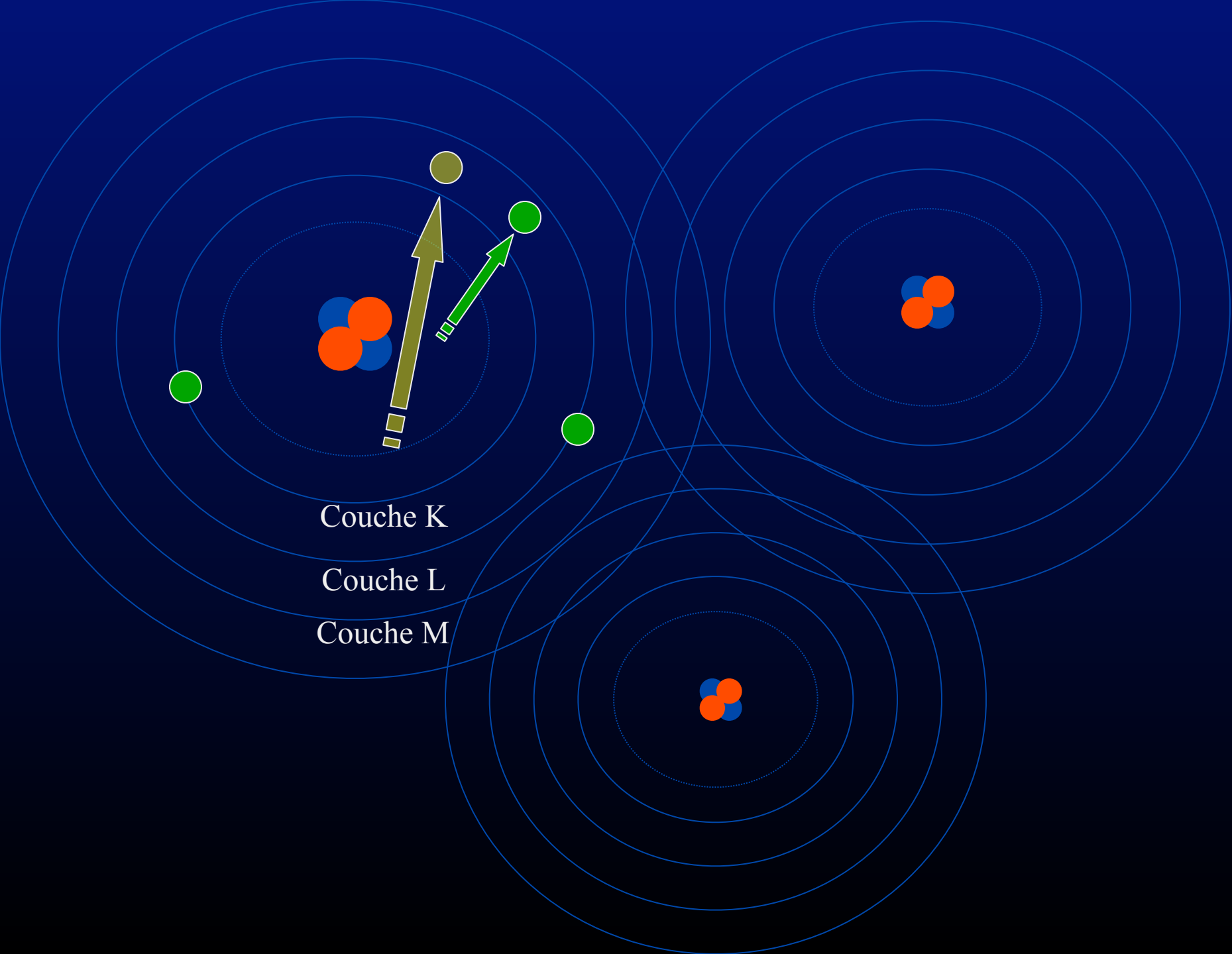


Couche K

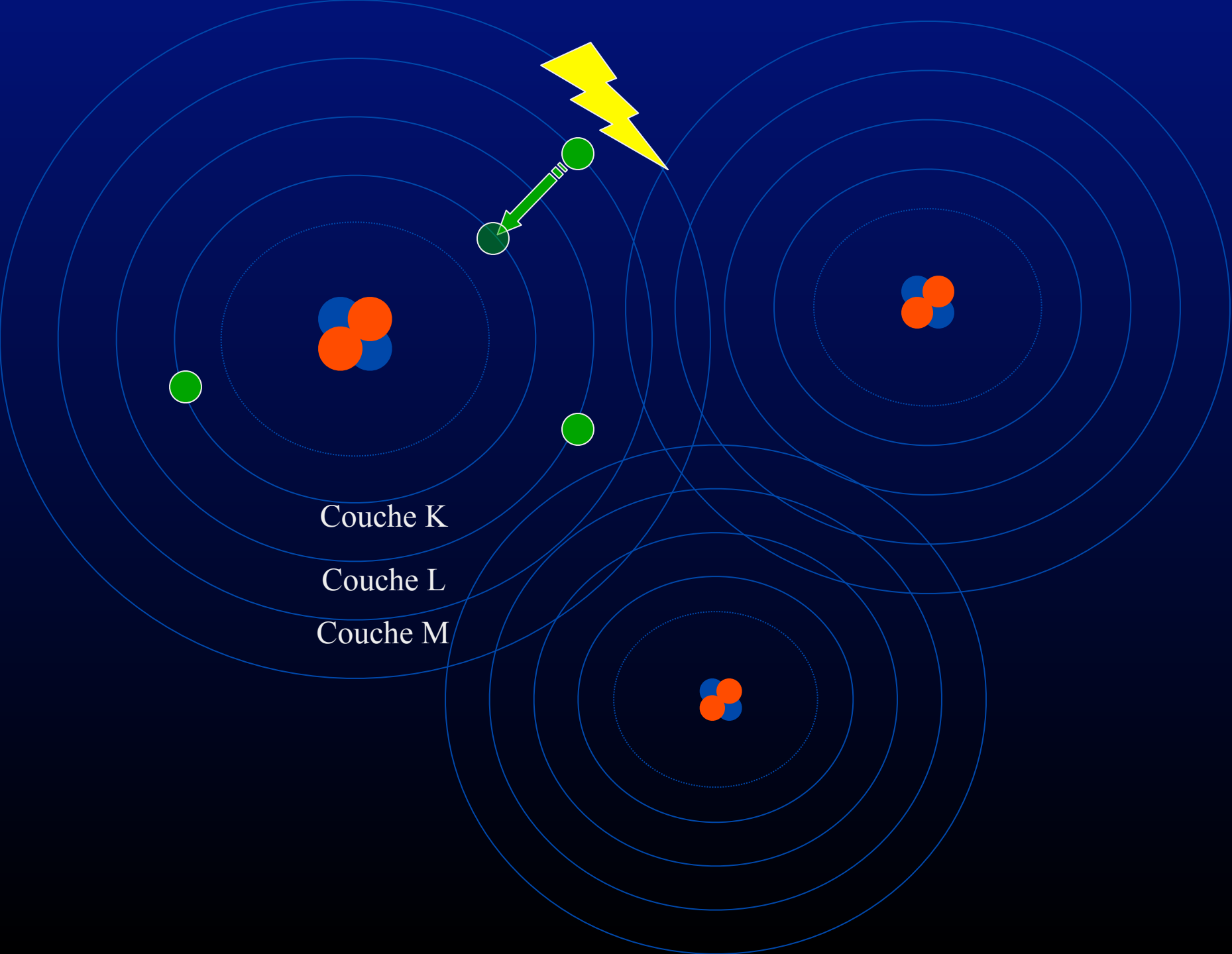
Couche L

Couche M







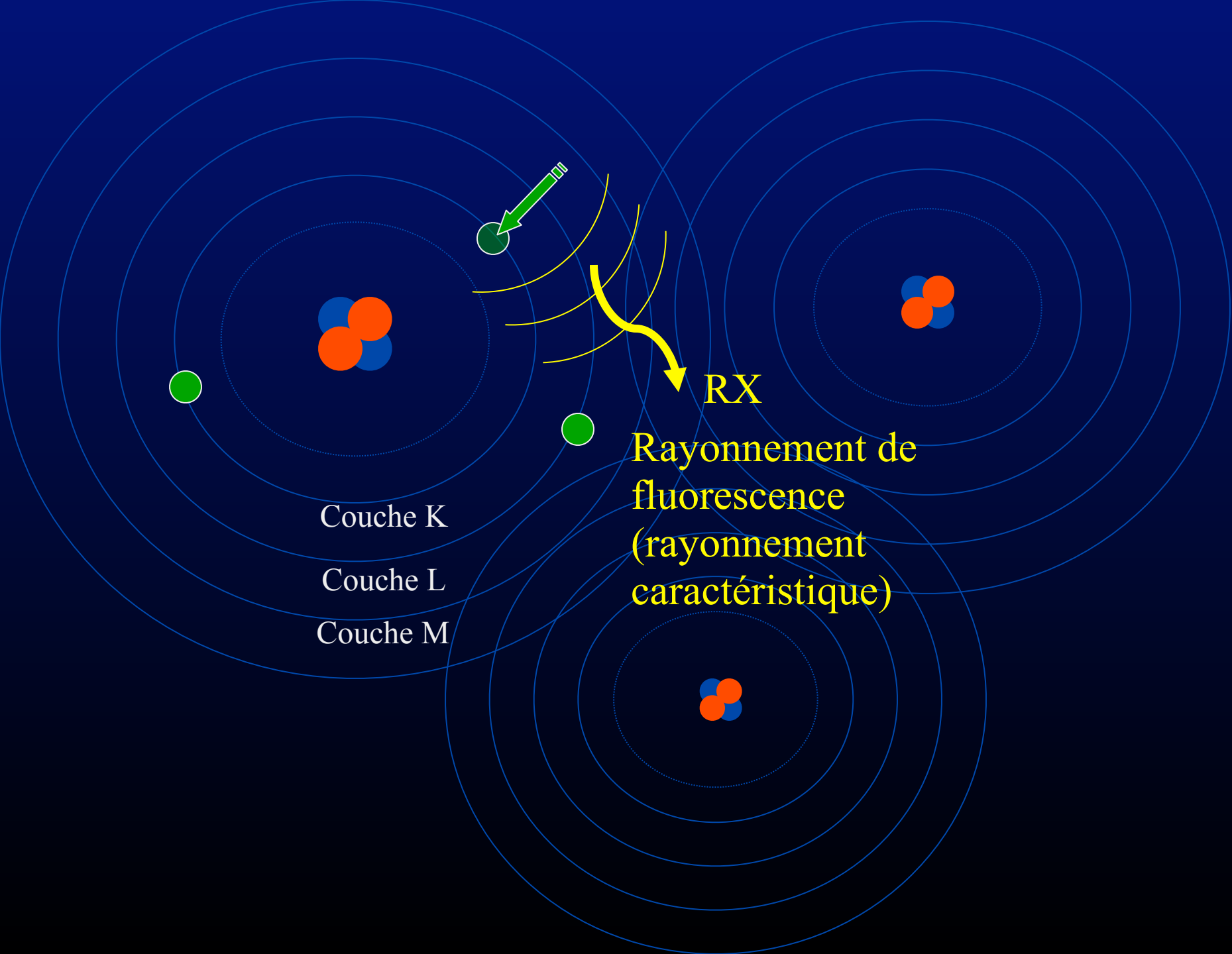


Couche K

Couche L

Couche M

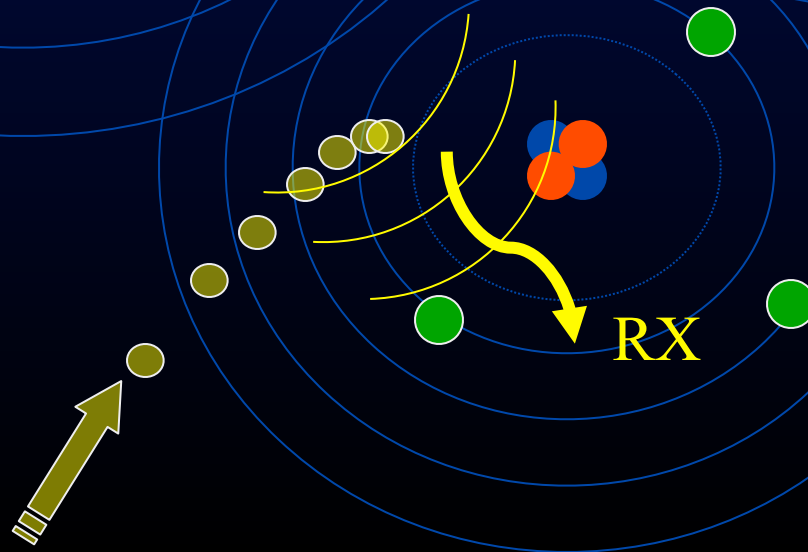






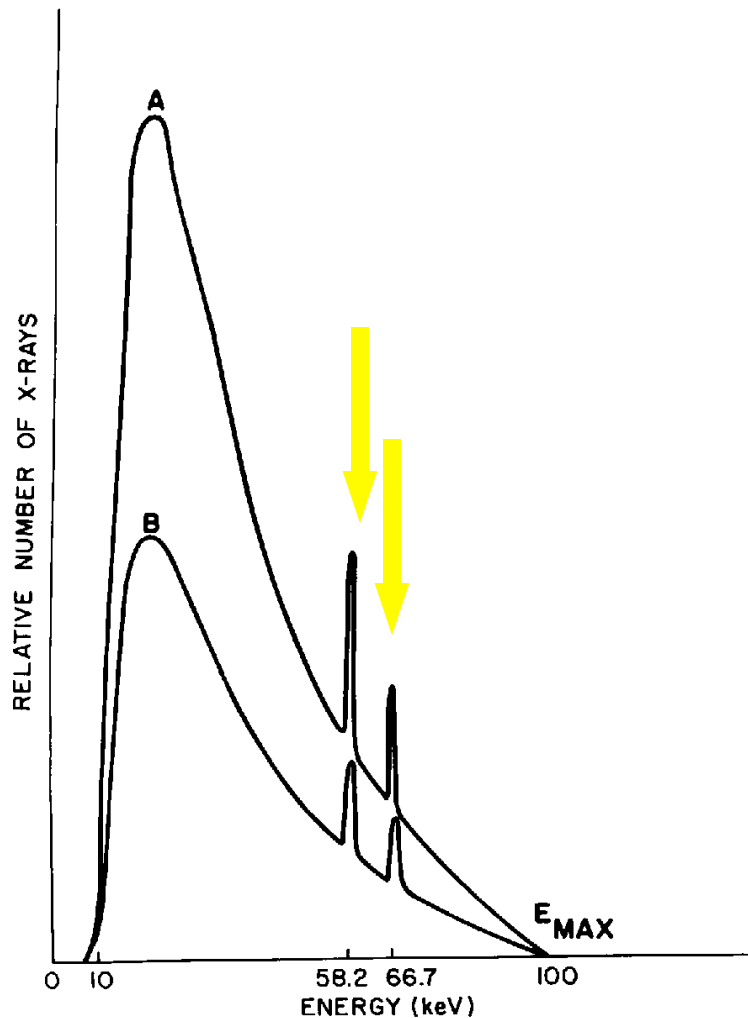
# Bremsstrahlung

L'essentiel de la production de rayons X dans un tube provient du rayonnement de freinage (« bremsstrahlung »). Celui-ci est en rapport avec la brutale décélération de l'électron qui dépasse le noyau et subit dès lors une attraction liée à la charge positive du noyau; l'énergie cinétique perdue est convertie en photon X





# Rayonnement de fluorescence



- *Si on regarde le spectre d'un faisceau de rayons X, le rayonnement de fluorescence qui se fait à une ou plusieurs énergies bien précises (donc correspondant à des fréquences particulières) se manifestera par des raies bien reconnaissables, alors que le rayonnement de freinage se manifestera par un spectre continu.*

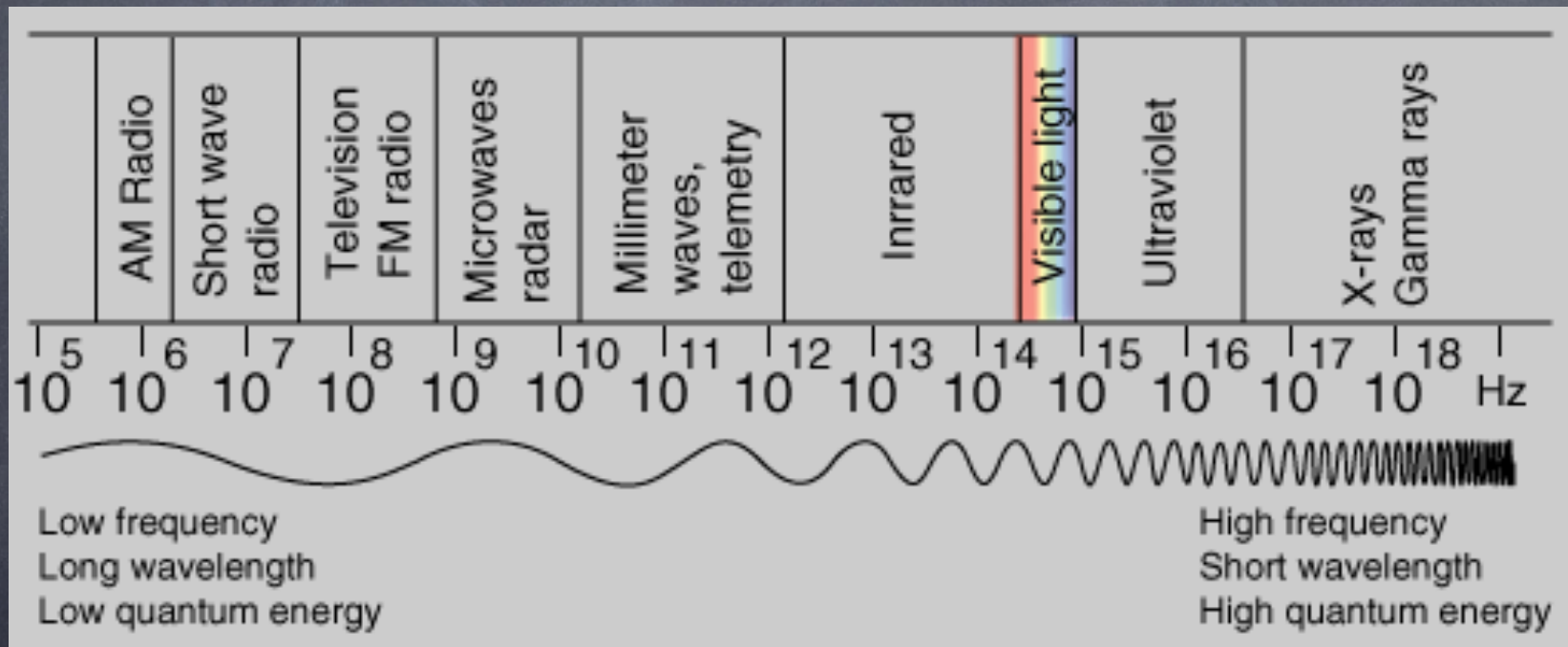


# Rayonnements électromagnétiques

- Les rayonnements électromagnétiques sont caractérisés par leur énergie (ils n'ont ni masse ni charge), et définis par leur longueur d'onde  $\lambda$ , leur fréquence  $\nu$  et leur vitesse  $c$ . *Toutes les ondes EM se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière ( $3 \times 10^{10}$  cm/sec), mais dans la matière la vitesse dépend de l'énergie. Dans le cas de rayonnement à haute énergie comme les RX, on peut considérer que la vitesse est proche de celle de la lumière.*
- L'énergie est inversement proportionnelle à la longueur d'onde et directement proportionnelle à la fréquence.



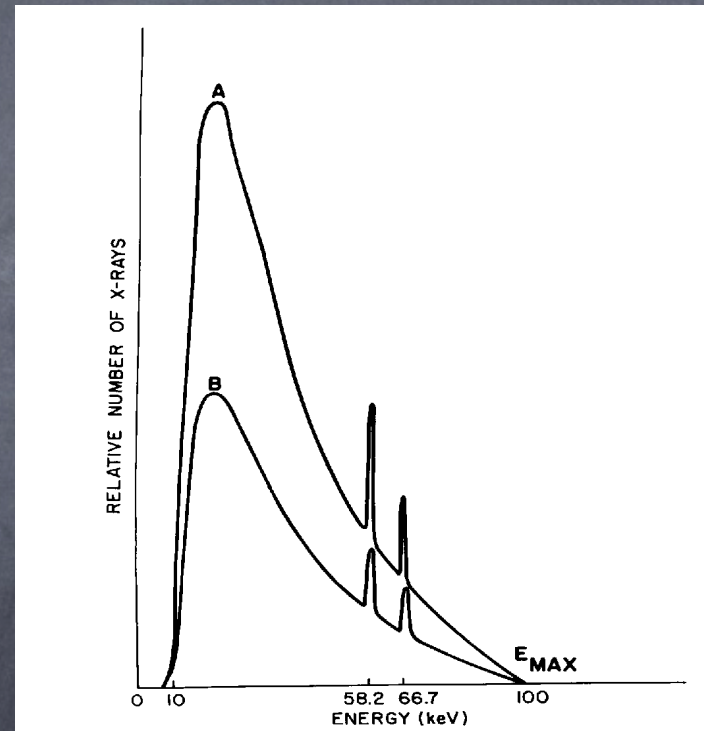
# Place des rayons X dans l'ensemble des ondes électromagnétiques





# Interactions avec la matière: notion d'énergie du rayonnement

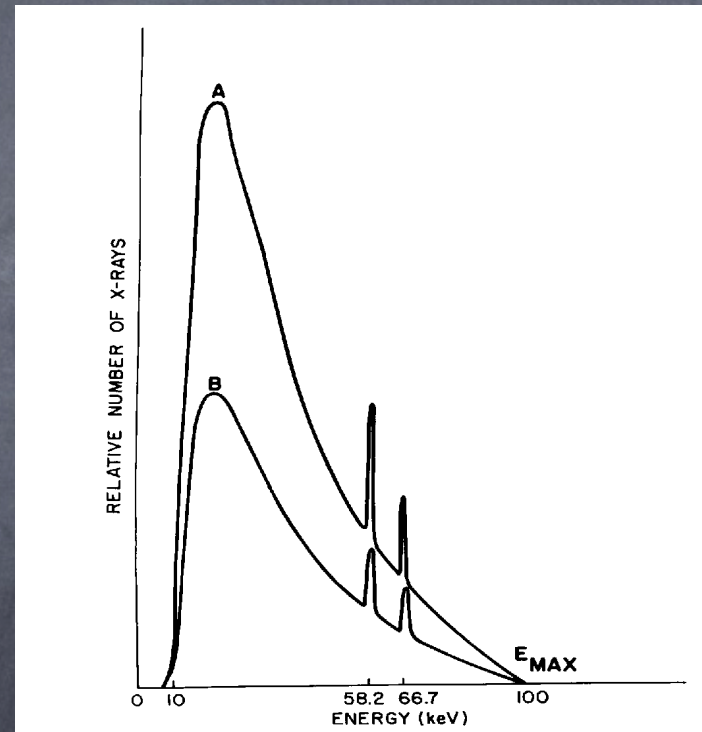
- les photons X qui quittent le tube après avoir traversé sa paroi de verre constituent le RAYONNEMENT PRIMAIRE
- tous ces photons n'ont pas la même énergie; il s'agit d'un spectre de faisceau; toutefois aucun photon dans le faisceau ne peut avoir une énergie supérieure aux électrons qui bombardent la cible
- Cette énergie maximale est liée à la différence de potentiel appliquée aux bornes du tube





# Interactions avec la matière: notion d'énergie du rayonnement

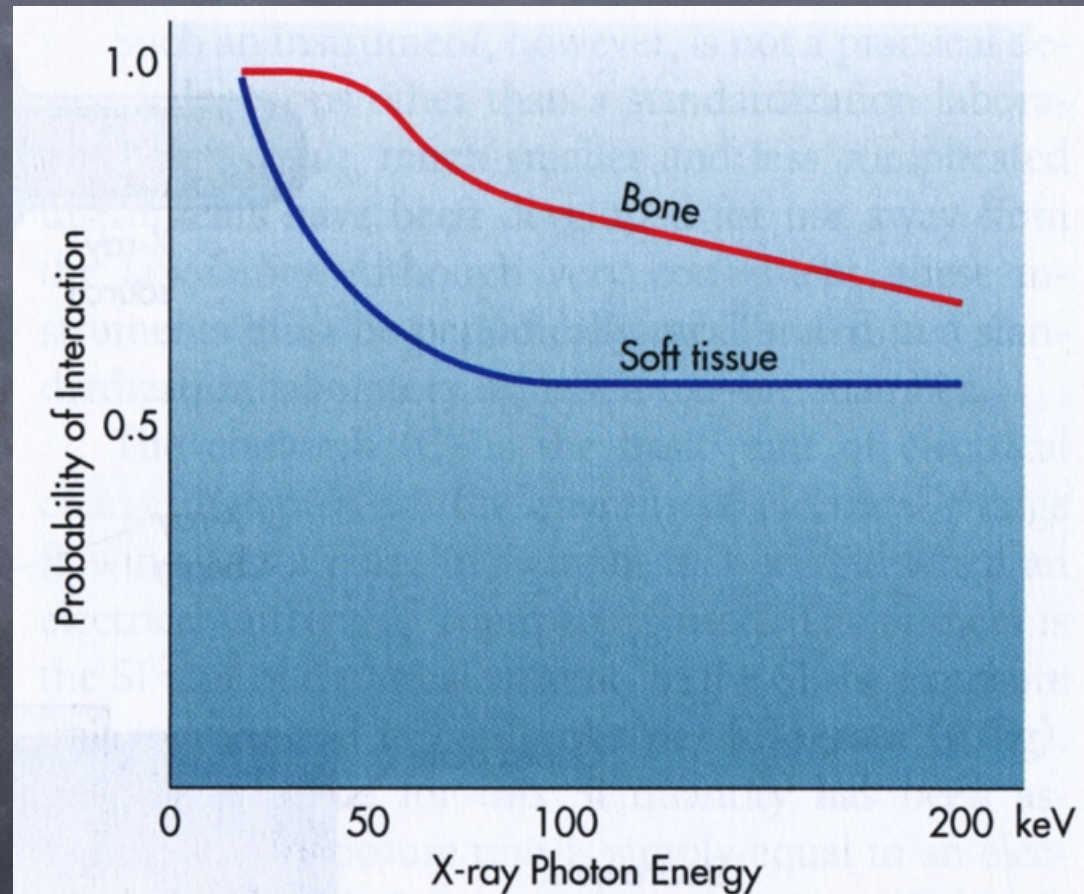
- si on applique une différence de potentiel de 1 V aux bornes du tube, l'électron déplacé par cette différence de potentiel aura une énergie de 1 eV
- pour la radiologie diagnostique, les tensions appliquées s'expriment en milliers de volts (kV). Mais le voltage fluctue en cours d'émission; on parlera donc en kVp (peak). Une tension de 100 kVp signifie qu'aucun électron émis n'aura une énergie supérieure à 100 000 eV (ou 100 keV)
- dans une installation habituelle on peut considérer que le photon «moyen» aura une énergie d'environ un tiers de l'énergie maximale





# Interactions avec la matière: notion d'énergie du rayonnement

- le type d'interaction avec la matière traversée sera fortement déterminé par l'énergie des photons incidents
- l'atténuation du faisceau (liée à la probabilité d'interaction) à une énergie donnée sera également différente en fonction de la nature du tissu traversé

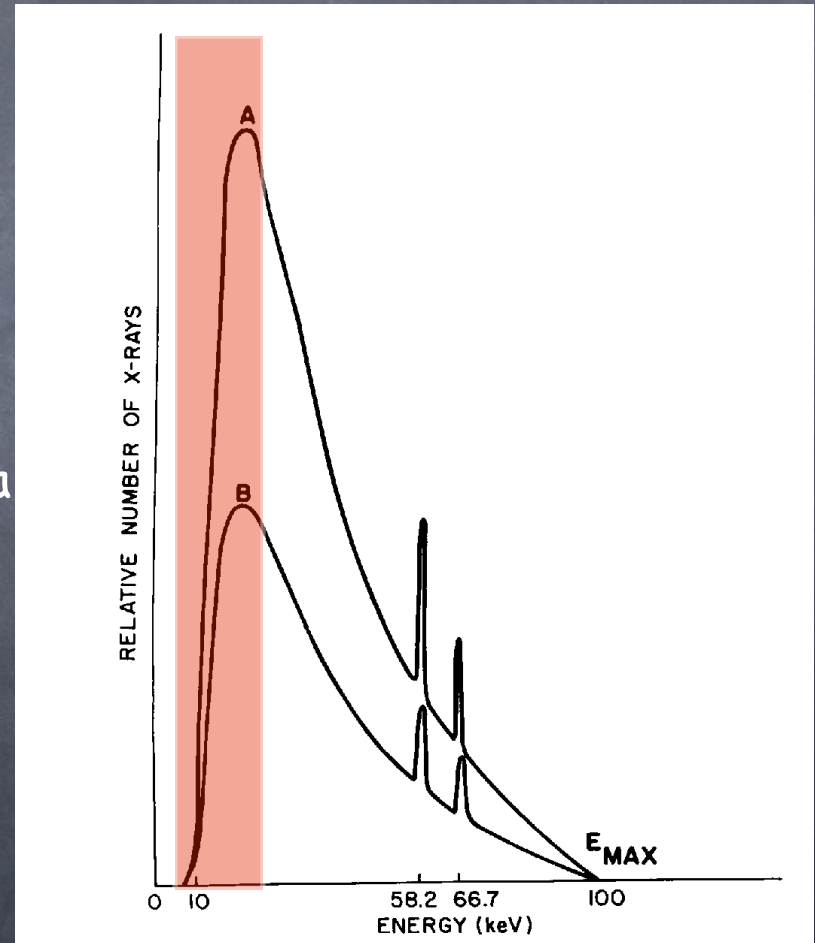




# Le faisceau de RX

Comme les rayons à faible énergie (sous 25 KeV, et pour l'os 50 KeV) sont inutiles pour l'imagerie diagnostique, ce qui n'a pas été éliminé par le simple passage à travers le verre du tube le sera par un filtre aluminium.

Les rayons X produits dans le tube vont dans toutes les directions. Une partie sera contenue par la gaine du tube; ceux qui sortent par la fenêtre d'émission devront être collimatés pour n'atteindre que la zone à étudier. Ceci réduira la dose au patient et augmentera la qualité de l'image.





# Mécanismes des interactions avec la matière

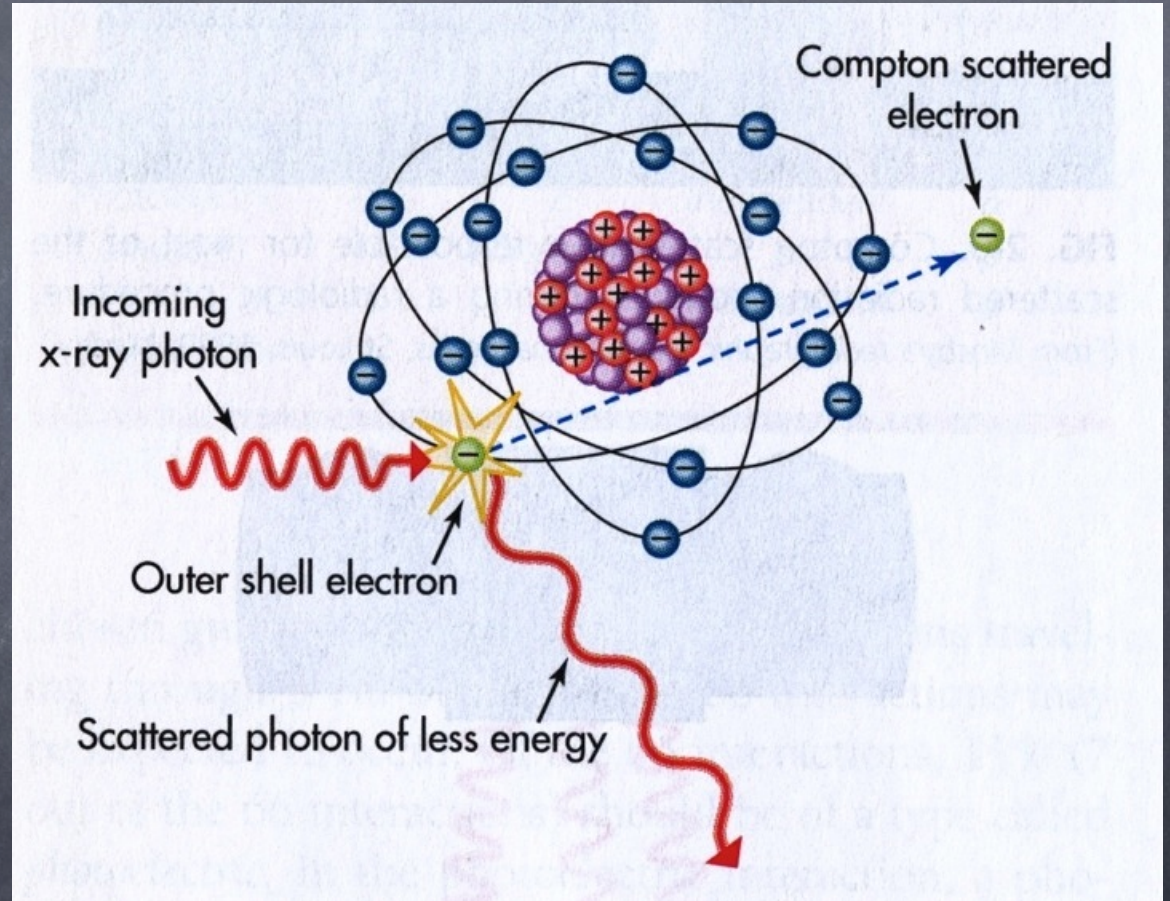
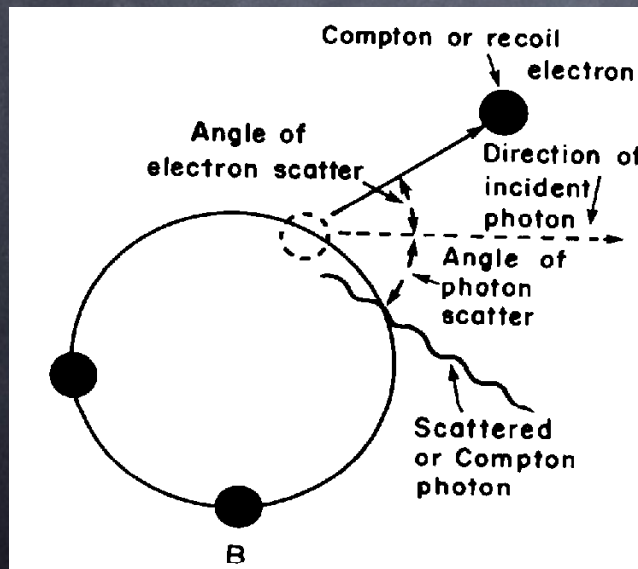
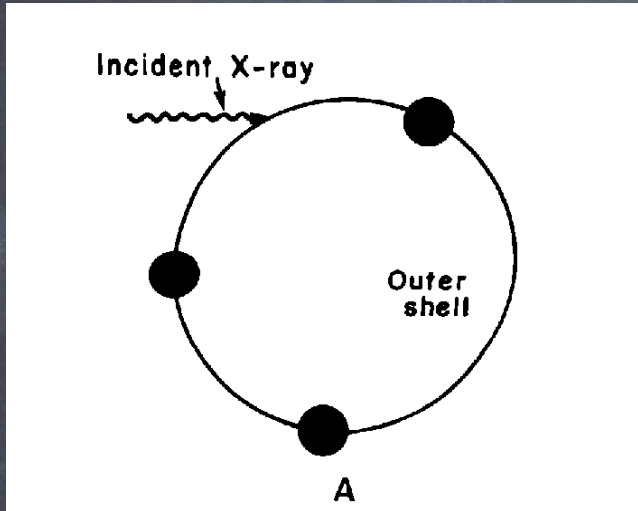


# Interactions avec la matière

- L'atténuation des rayons X pendant sa traversée de la matière justifie à la fois leur caractère utile (génération d'une image contrastée) et leur caractère dangereux (effets biologiques indésirables). Les deux mécanismes significatifs à l'énergie des rayons X diagnostiques sont **l'absorption photoélectrique** et **la diffusion (effet Compton)**. Dans le cas de l'absorption la totalité de l'énergie d'un photon X est transférée à l'atome rencontré (avec éjection d'un électron et production d'un rayonnement caractéristique), et de la diffusion Compton seulement une partie de l'énergie est perdue par le photon X incident (qui change de direction et perd de l'énergie, tandis qu'un électron est également éjecté de l'atome).



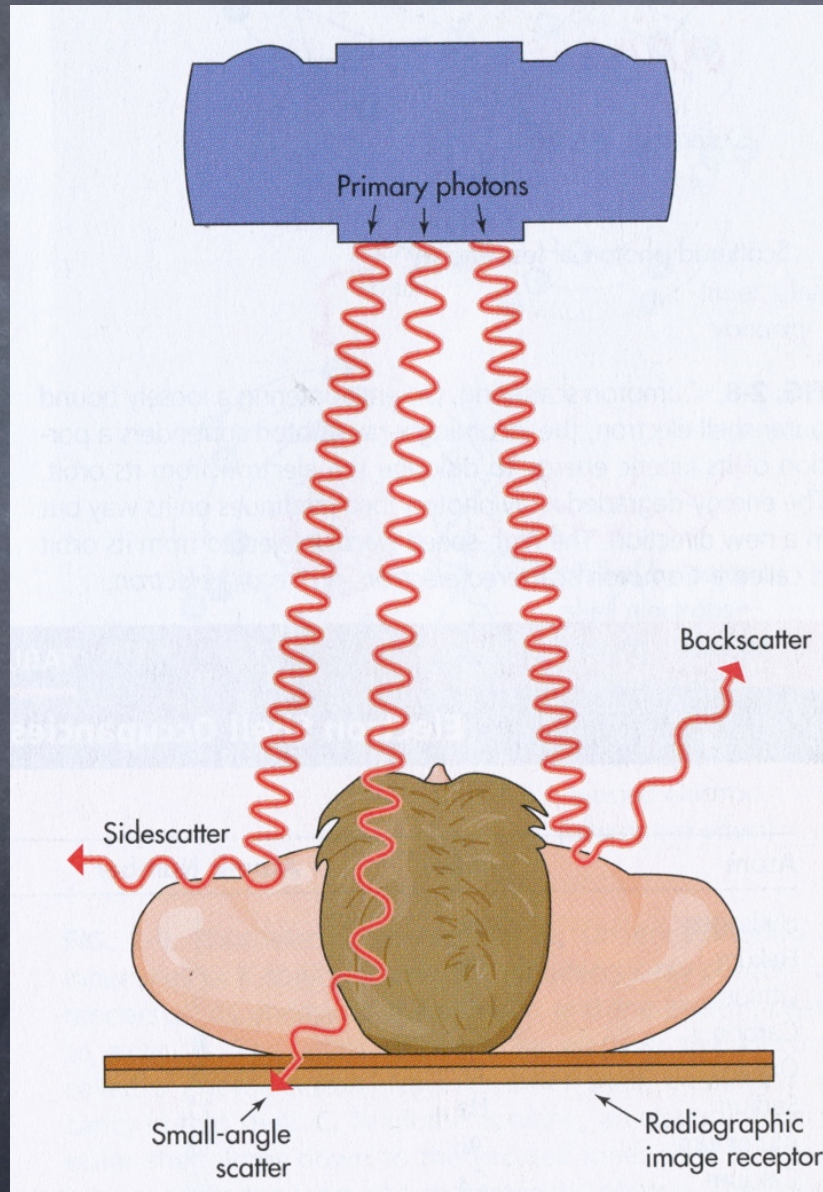
# Diffusion Compton



From: Statkiewicz et al, Radiation protection 5th ed, Mosby-Elsevier

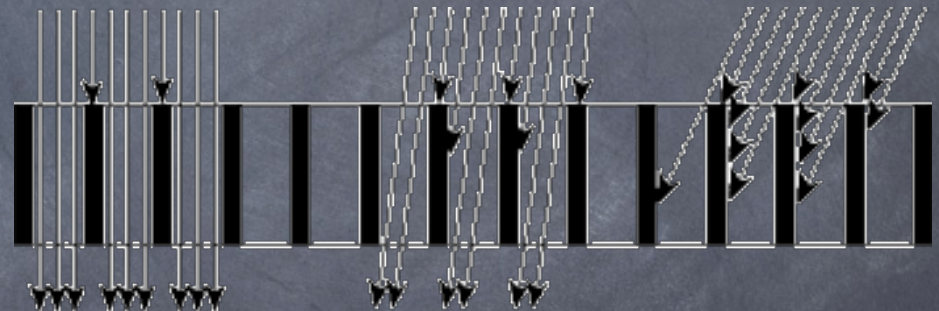
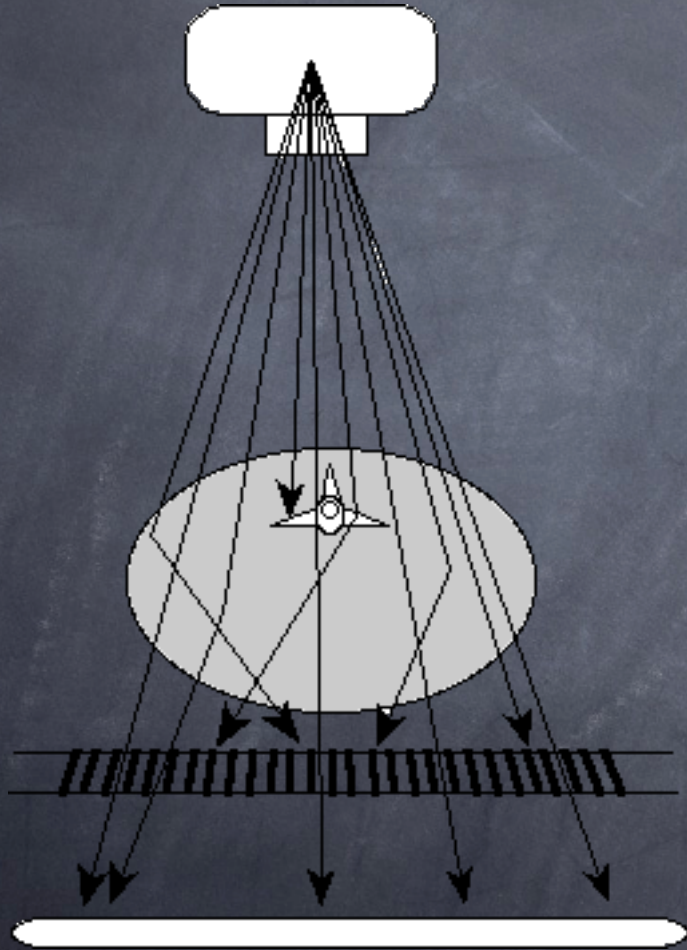


# Directions du diffusé





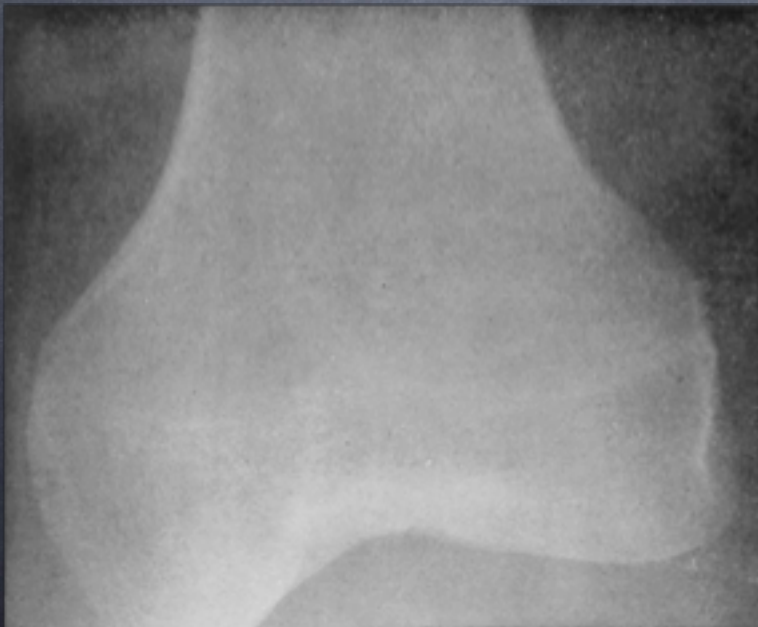
# Grille antidiffusante





# Grille antidiffusante: effet sur la qualité d'image

Sans grille



Avec grille



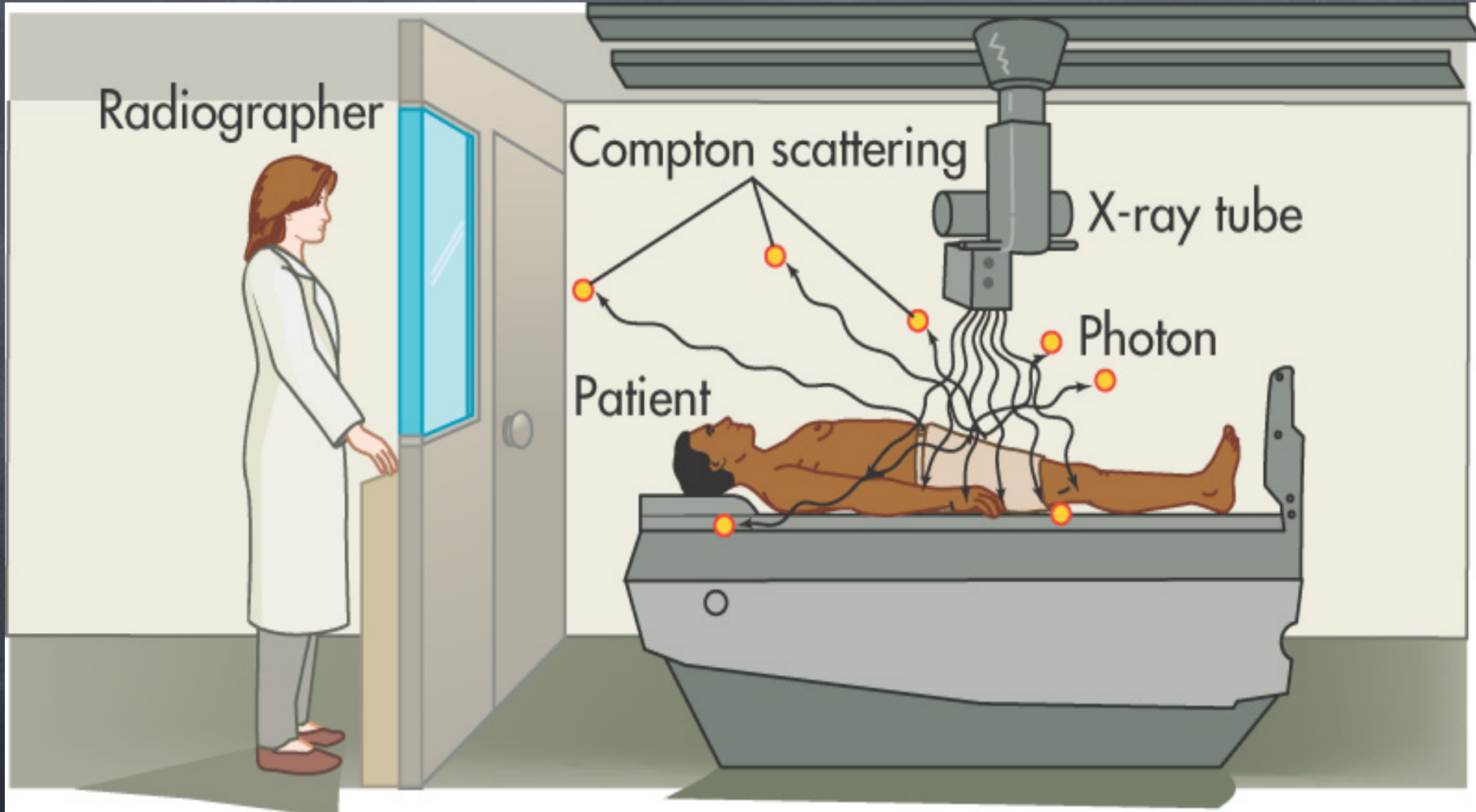


# Rayonnement diffusé

- L'existence de rayonnement diffusé, dans des directions autres que le faisceau incident, explique qu'on ne peut se déplacer dans une salle de radio sans protection (tablier de plomb) pendant un examen, et ce même si on ne se trouve pas sur le trajet du faisceau primaire. En effet du rayonnement diffusé est produit par les tissus du patient. Ceci explique aussi que des organes du patient situés assez loin de la partie du corps visée par le faisceau peuvent également recevoir une dose non négligeable.



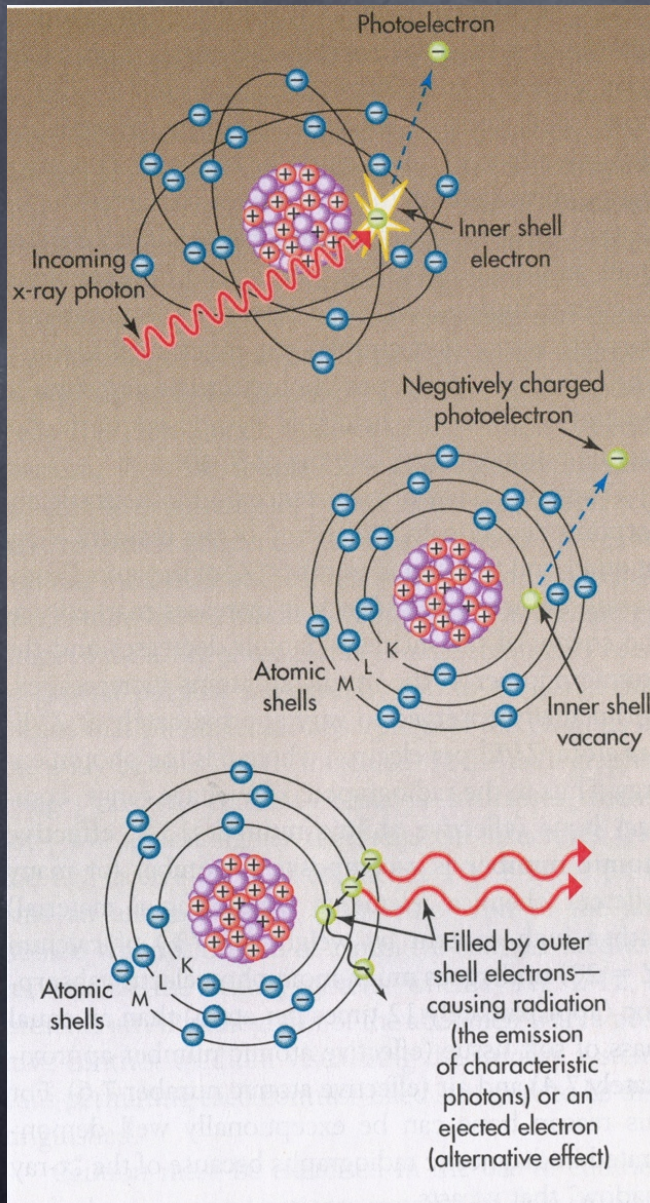
# Rayonnement secondaire



(From Mosby's radiographic instructional series, St. Louis, 1999, Mosby.)



# Absorption photoélectrique



Le phénomène est proche de ce qui se produit lors de l'émission du rayonnement de fluorescence par bombardement d'électrons, mais il s'agit cette fois de l'effet d'un photon incident.

Il y aura à la fois expulsion d'un  $e^-$  et émission de photons de fluorescence (ou alternativement éjection d'un électron Auger)

Aux énergies employées en radiographie, c'est le mécanisme principal d'atténuation.



# Interactions avec la matière

- **Trois autres mécanismes d'interaction existent:**
  - **la diffusion cohérente ou diffusion Rayleigh, sans effet significatif sauf à des énergies beaucoup plus faibles**
  - **la production de paires et la photodésintégration nucléaire, qui surviennent à des énergies très élevées non utilisées en diagnostic**



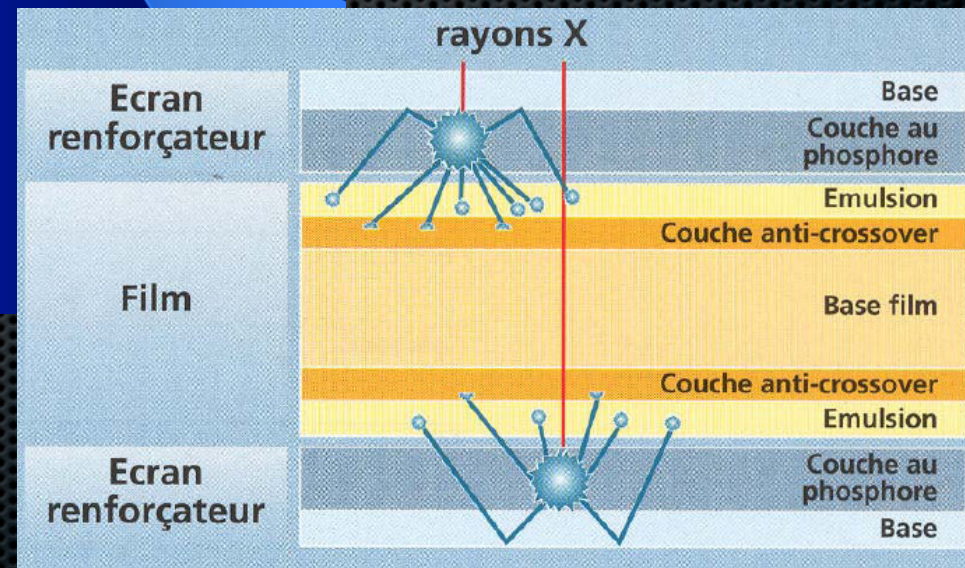
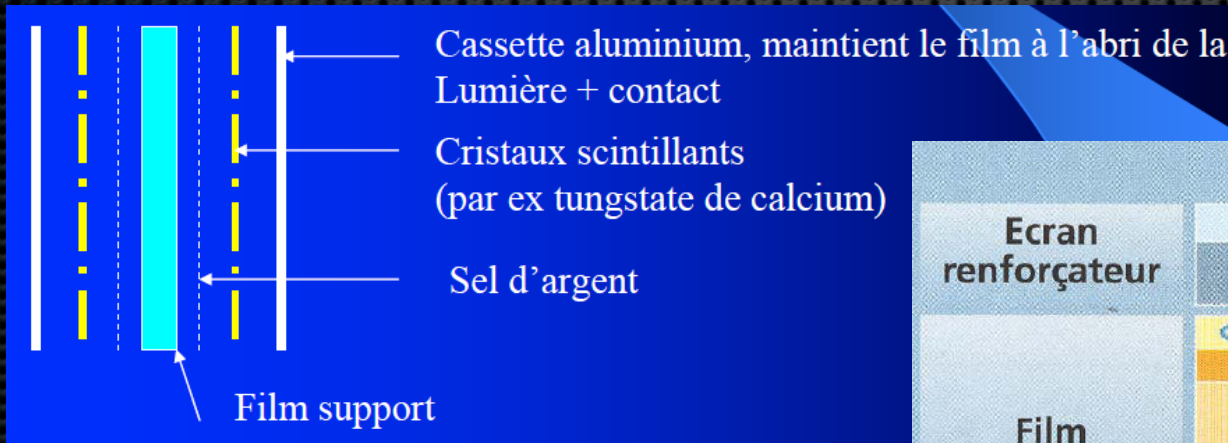
# Rayonnement secondaire

- On appelle rayonnement secondaire le rayonnement produit dans la matière traversée, et qui n'a pas la même géométrie que le faisceau primaire; il est constitué des photoélectrons, des électrons Compton, des rayonnements caractéristique et diffusé (Compton) produits. Ce rayonnement secondaire est important de par ses effets sur les tissus biologiques voisins, ses répercussions sur la radioprotection, et enfin ses effets sur la qualité d'image.



# Ecrans, films, cassettes

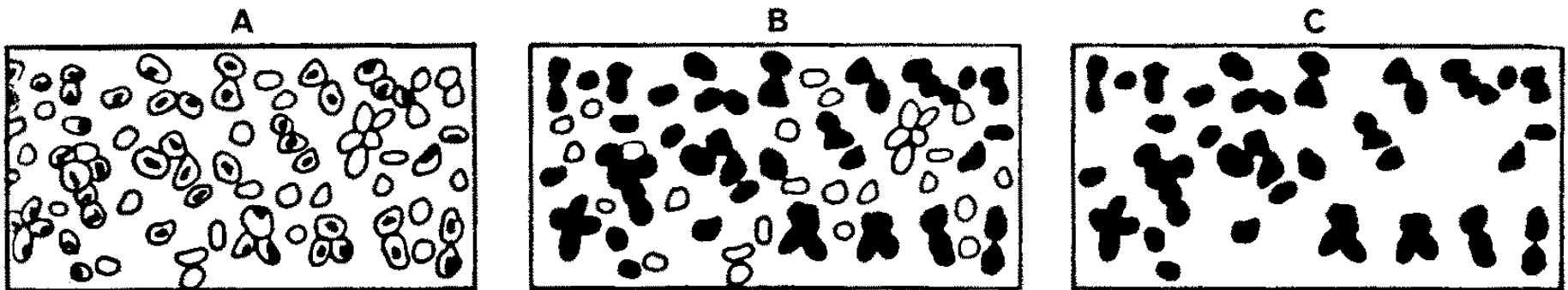
- Le film radiologique est contenu dans une cassette, elle-même dotée d'un écran renforceur (souvent double). Celui-ci permet d'utiliser des temps d'exposition plus courts pour impressionner le film radiographique.





# Film radiographique

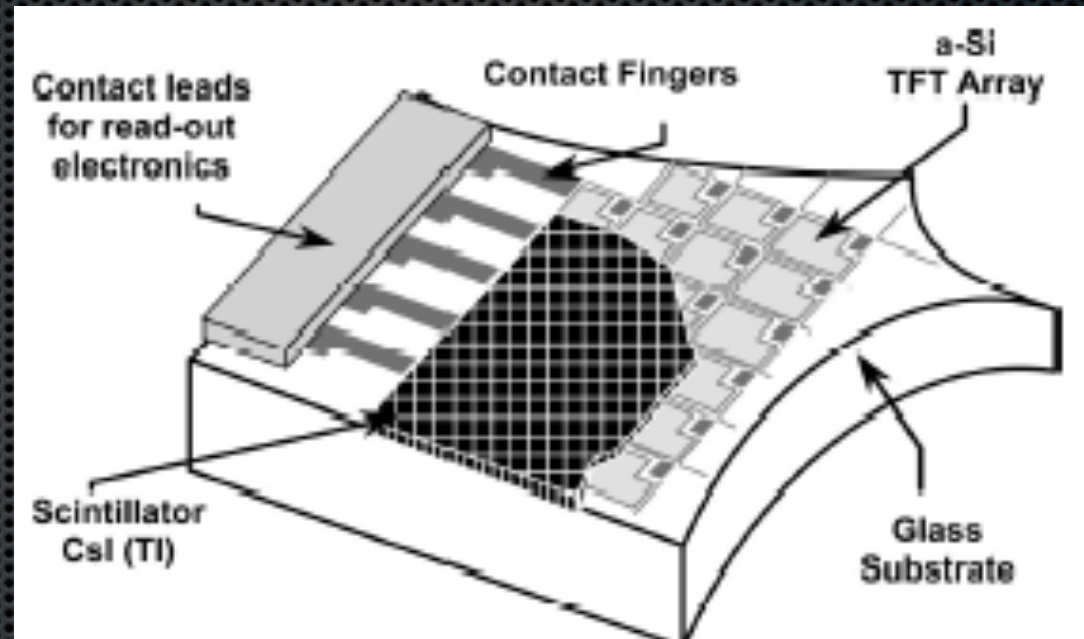
- A - Après exposition, les grains de bromure d'argent qui ont reçu les rayons X ou la lumière sont porteurs d'une image latente. B - Dans le révélateur, les cristaux porteurs d'image latente se transforment en argent métallique. C - Dans le fixateur, les cristaux non exposés sont éliminés.*





# Imagerie numérique: la radiographie sans film

- Exemple d'une surface d'acquisition numérique à l'iodure de Cesium, avec acquisition dans des diodes Si couplées à un TFT



From Mahesh, Radiographics 2004



# Capteur numérique: conversion indirecte

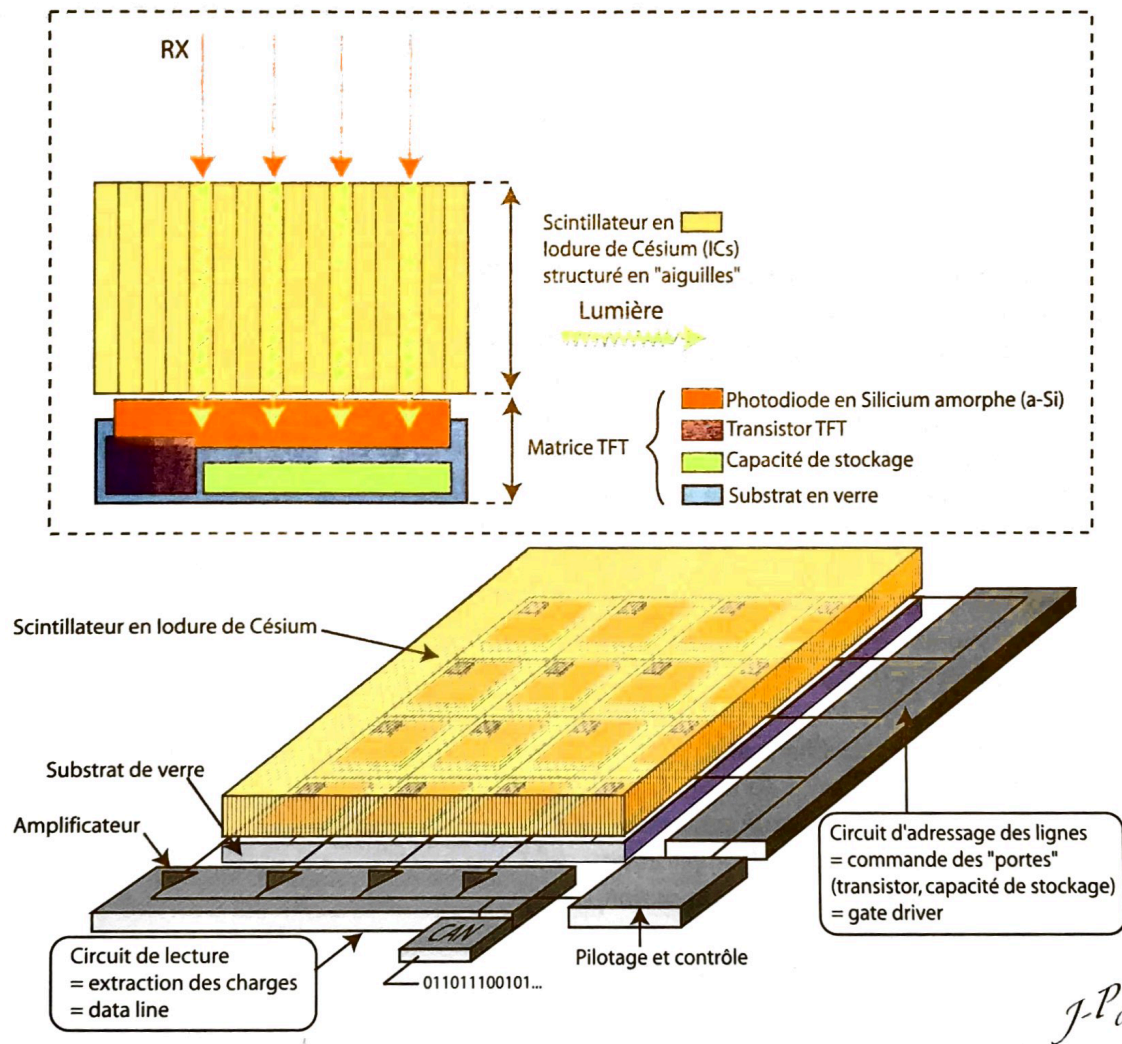
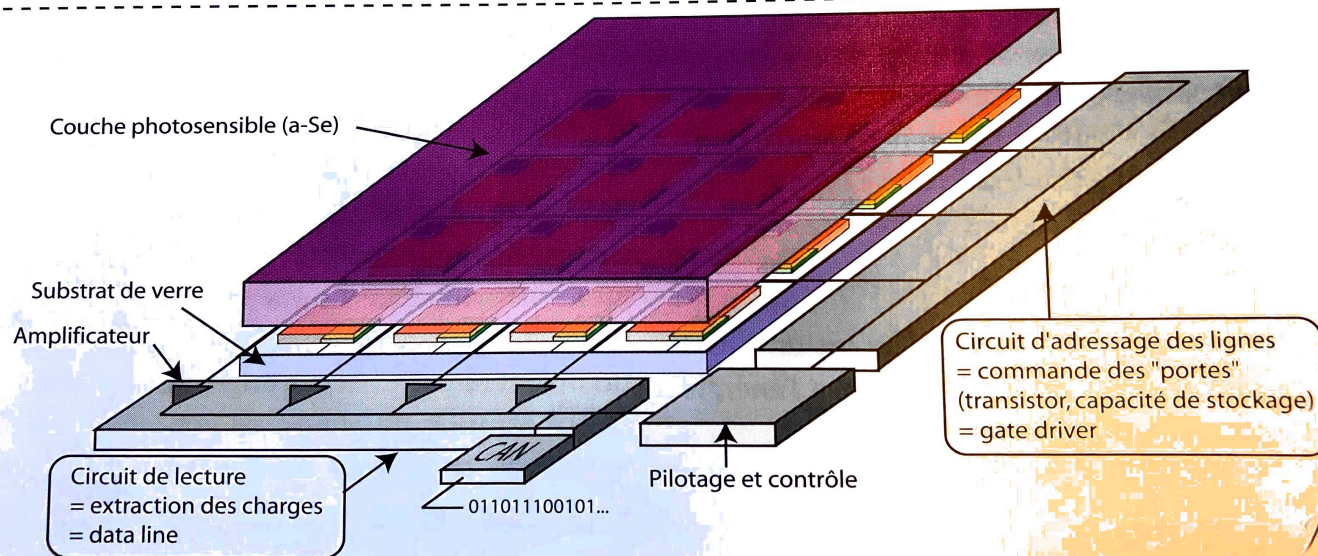
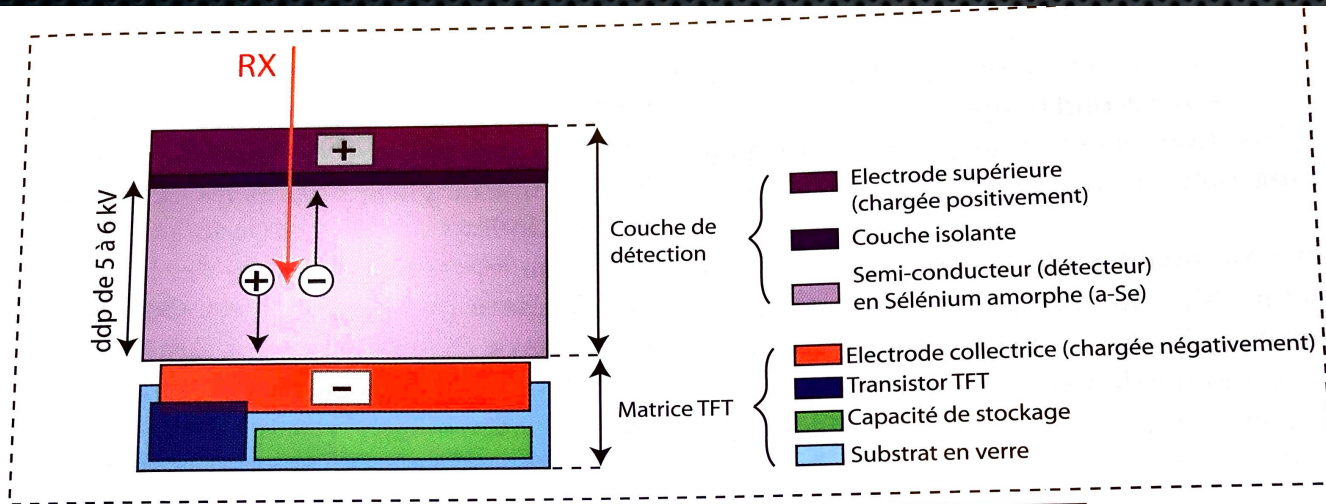


Figure 1.72. Technologie d'un capteur plan à conversion indirecte.



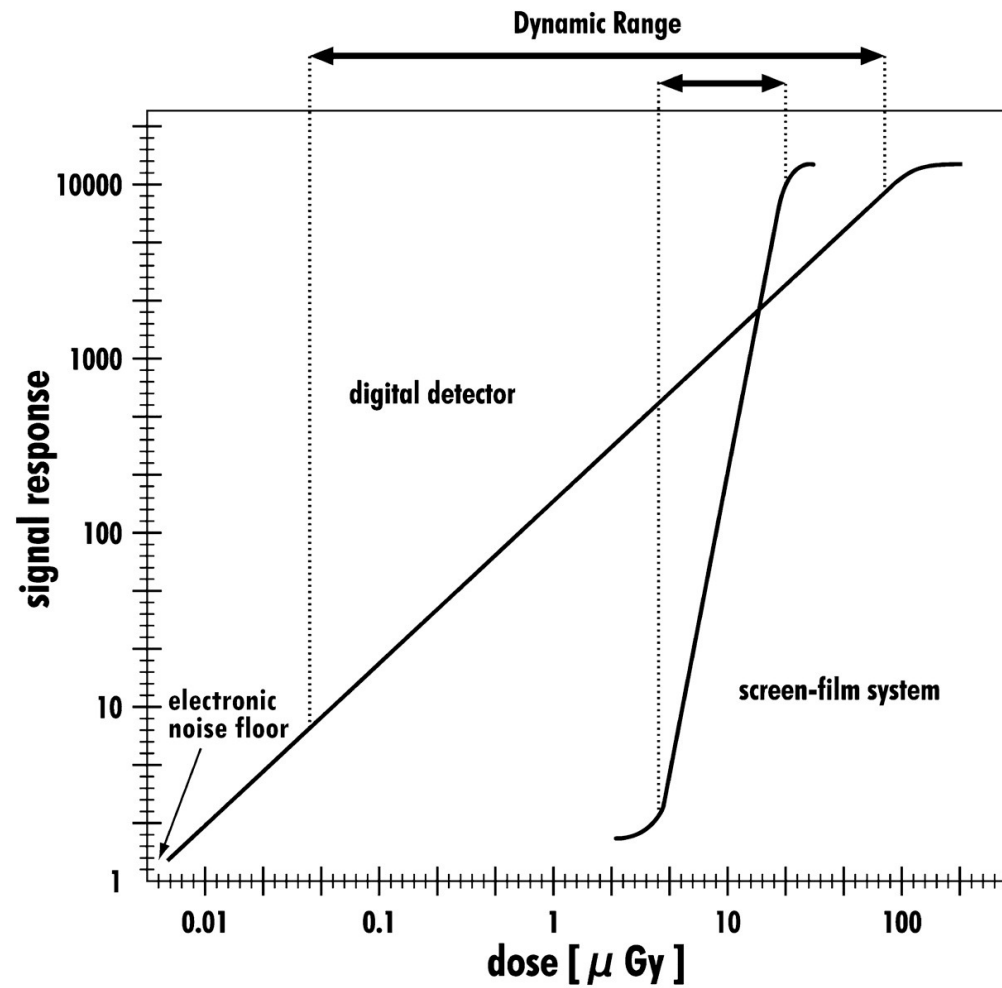
# Capteur numérique: conversion directe



re 1.71. Technologie d'un capteur plan à conversion directe.



Figure 8. Graph illustrates the dynamic range of screen-film combinations and digital detectors



Korner, M. et al. Radiographics 2007;27:675-686



# Numérisation

- Actuellement, la tendance est de faire recours de moins en moins souvent aux films dans les installations de conception moderne, mais d'assurer la numérisation de l'information en utilisant soit des convertisseurs analogique-digital, soit des systèmes sensibles autres que le film et donnant immédiatement de informations de type numérique (détecteurs).



# L'évolution future

- **le poids des rayons X ira en s'affaiblissant:** les techniques n'utilisant pas les rayons X, c'est-à-dire l'échographie et l'IRM deviennent de plus en plus les fers de lance de l'imagerie médicale, et pourraient ensemble prendre le pas même sur la TDM pour de nombreuses applications. Après 100 ans d'irremplaçables services rendus à la médecine et aux malades, la découverte de Röntgen, qui demeure essentielle pour la Physique, commence peu à peu mais de façon sans doute irréversible à glisser vers l'arrière-plan de ce qui sera l'Imagerie Médicale de demain.