



UE 3A

Organisation des appareils et des systèmes : Aspects fonctionnels et méthodes d'étude

Dr Tristan Richard



Rayons X et gamma – Rayonnements particuliers

Natures et propriétés des REM

Principales caractéristiques des rayonnements α et β

Interaction avec la matière: effet photo-électrique, diffusions, matérialisation

Détection

- **Physique Nucléaires : Généralités**
- **La Radioactivité**
- **Interactions Rayonnements – Matière**
- **Les Réactions Nucléaires**
- **Les Rayons EM**
- **Les Détecteurs**



Les Rayons X



© Creative Commons BY-NC-SA



Les Rayons X

1. Généralités

2. Origine

2.1 Rayonnement de freinage

2.2 Rayonnement caractéristique

2.3 Spectre Réel

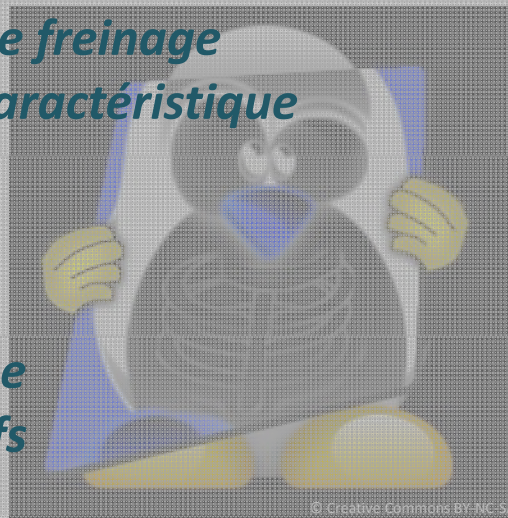
3. Production

3.1 Principe

3.2 Tube de Coolidge

3.3 Autres dispositifs

4. Applications



1. Généralités

● Historique

✿ découvert par **Wilhem Röntgen (1895)**

● Généralités

✿ REM

➤ **Énergie > 13.6 eV (pratiquement ~ KeV)**

● Origine

✿ interaction électron/noyau

➤ **rayonnement freinage**

✿ interaction électron/nuage électronique

➤ expulsion e^- → **réarrangement cortège électronique**



W. Röntgen (1845-1923)



J. Bergonié (1857-1925)

2. Origine

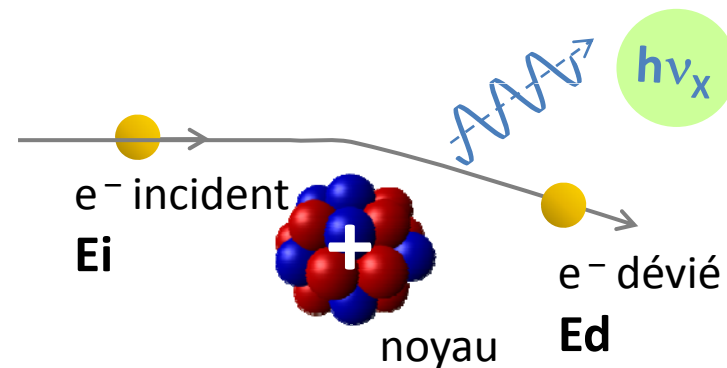
2.1 Rayonnement de freinage

- e^- incidents monoénergétiques (**énergie cinétique E_i**) et unidirectionnels
- e^- incidents produits par **ddp accélératrice U**

$$E_i = qU$$

- **interactions électrostatiques** → e^- déviées

- incurvation trajectoire e^-
 - **accélération centripète**
- rayonnement énergie
 - **émission rayons X**



● énergie

$$h\nu_X = E_i - E_d$$

- $h\nu_X$ énergie photon X émis
- E_i énergie cinétique e^- incidente
- E_d énergie cinétique e^- déviée

● perte énergie cinétique $e^- \rightarrow e^-$ freinés \rightarrow émission X

● interaction électrostatique \rightarrow toutes distances noyau/ e^- possibles

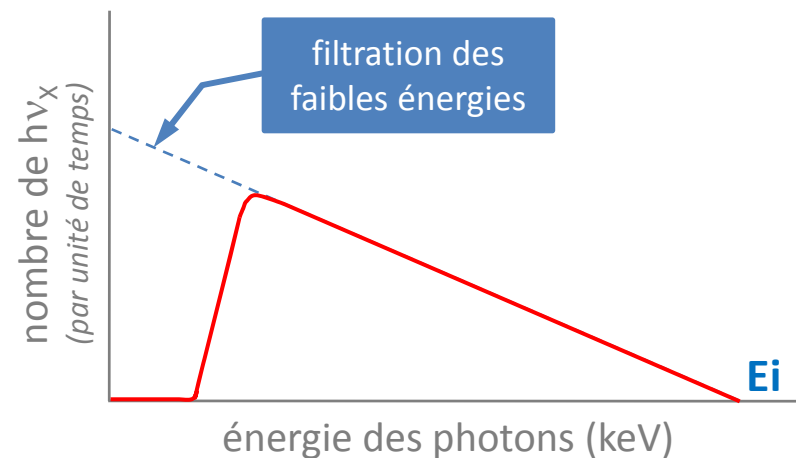
- $h\nu_X = 0$ absence interaction
- $h\nu_X = E_i$ arrêt e^-

● spectre rayonnement de freinage

\rightarrow spectre continu

● spectre altéré faibles énergies

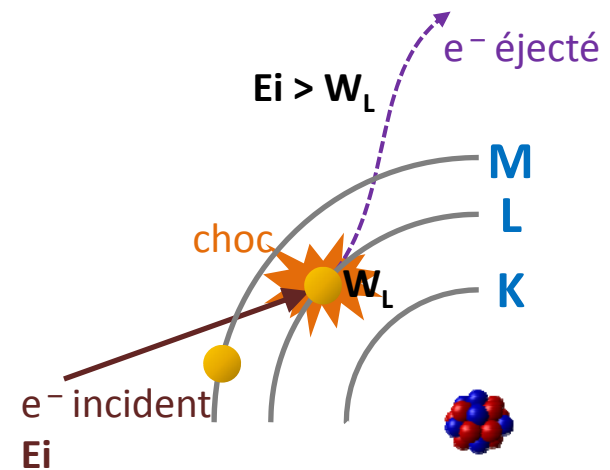
\rightarrow absorption RX (*absorption par matériau,...*)



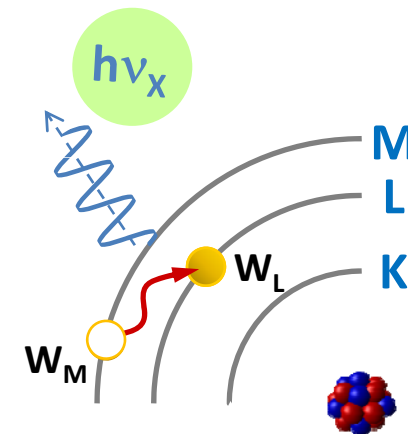
2.2 Rayonnement caractéristique

- interaction e^- / nuage électronique atome
- expulsion e^- cortège électronique si $E_i > W_L$

énergie de liaison



- ionisation atome → instable
 - réarrangement cortège électronique
- émission photons X de fluorescence



● e⁻ éjecté couche K ou L atome cible

✿ hypothèse: e⁻ éjecté couche K

✿ transition e⁻ couche L vers couche K

➤ émission 1^{er} photon tel que

$$h\nu_x = |W_L - W_K|$$

✿ transition e⁻ couche M vers couche K

➤ émission 2nd photon tel que

$$h\nu_x = |W_M - W_K|$$

✿ notation

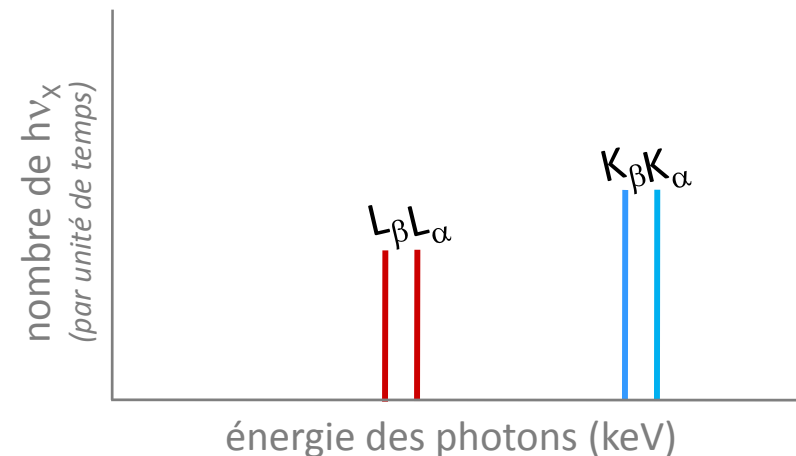
✿ indice K, L: couche électronique arrivée

✿ indice α, β, \dots : couche e⁻ de remplacement

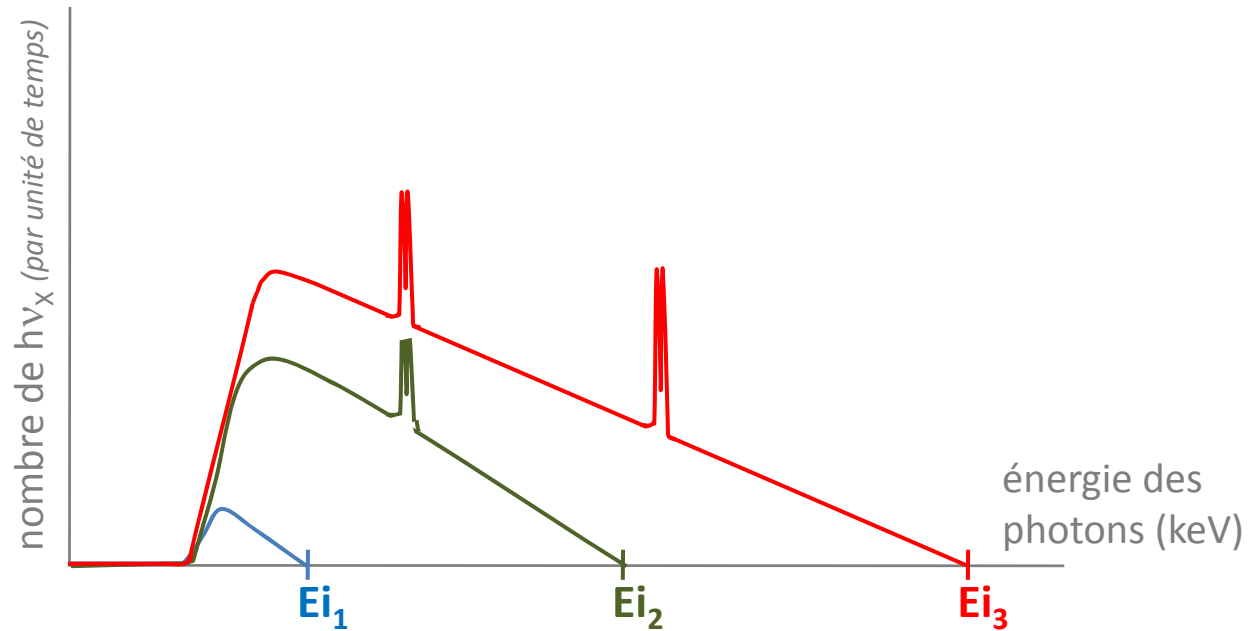
➤ 1^{er} photon = K $_{\alpha}$
➤ 2nd photon = K $_{\beta}$

● niveaux e⁻ quantifiés

➔ spectre de raies (*raies = transitions e⁻*)



2.3 Spectre Réel



ddp croissantes:

- (1) $Ei = Ei_1 < W_L$
- (2) $W_L < Ei = Ei_2 < W_K$
- (3) $W_K < Ei = Ei_3$

2. Production

2.1 Principe

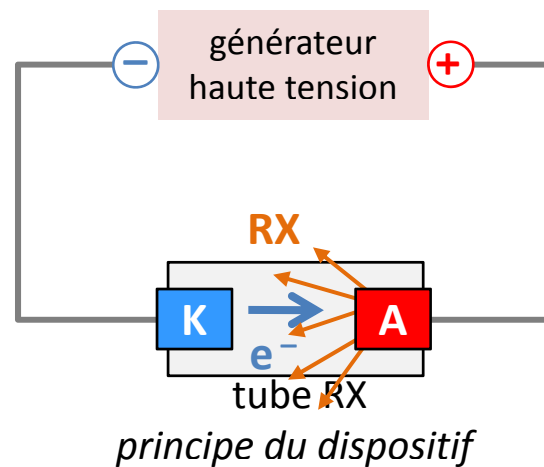
● principe de fonctionnement

✿ système générateur de hautes tensions (20 kV à qq MV)

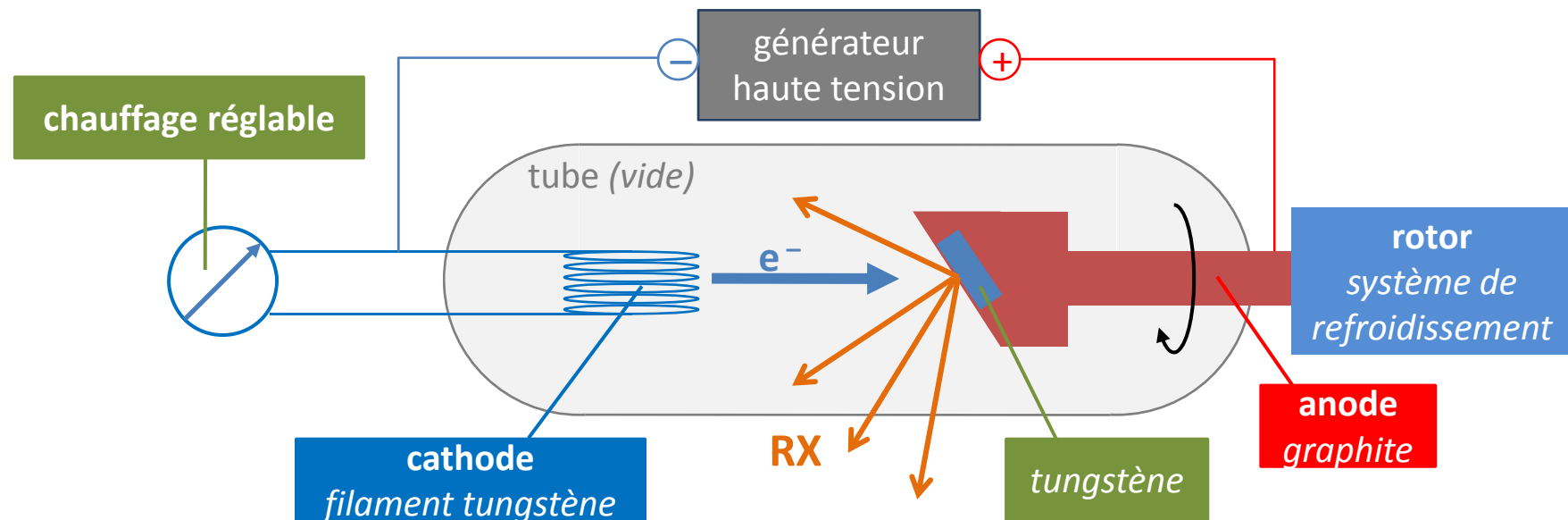
➤ alimentation tube à rayons X

➤ accélération des e^- entre cathode et anode (cible)

➤ interaction avec atome cible ➔ **émission RX**



2.2 Tube de Coolidge



- ✿ e^- incidents produits par **effet thermoélectrique**
 - ✿ cathode: filament tungstène
 - ✿ anode: cible
- ✿ e^- **accélérés** par ddp U
 - ✿ 50 – 150 KV → **imagerie**
 - ✿ qq centaines de kV → **radiothérapie**
- ✿ système de refroidissement anode
 - ✿ **anode tournante**



tube à RX

2.3 Autres dispositifs

● **radiothérapie:** Rayons X haute énergie (5 – 20 MeV)

✱ accélérateurs linéaires

✱ accélérateurs circulaires

3. Applications (imagerie X)

3.1 Principe

● intensité RX décroît traversée solides et liquides

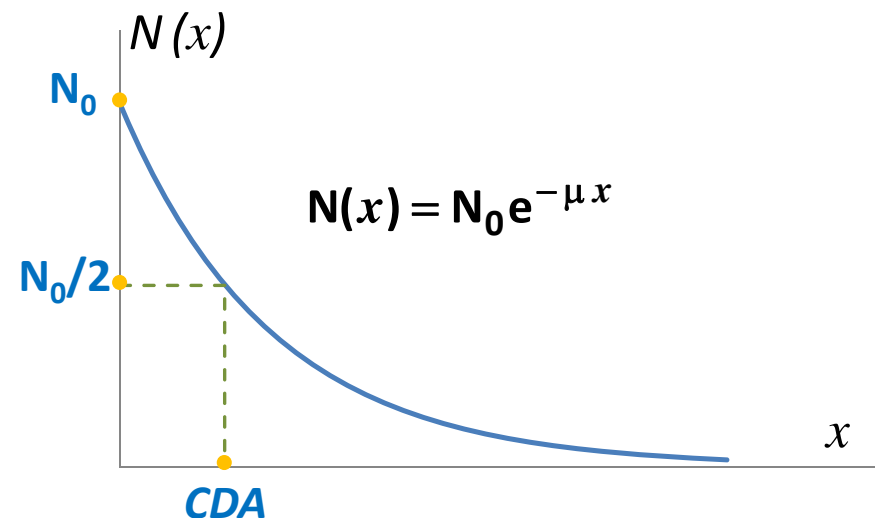
☼ imagerie par atténuation

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

- ☼ N_0 flux faisceau X primaire
- ☼ N flux faisceau X transmis
- ☼ μ coef. linéique d'atténuation (cm^{-1})
- ☼ x épaisseur milieu homogène

☼ coefficient linéique d'absorption dépend

- **numéro atomique (Z) et densité** (liquide, solide,...) des tissus traversés
- **énergie photon X**



☼ tissus organiques → coefficient linéique global d'atténuation

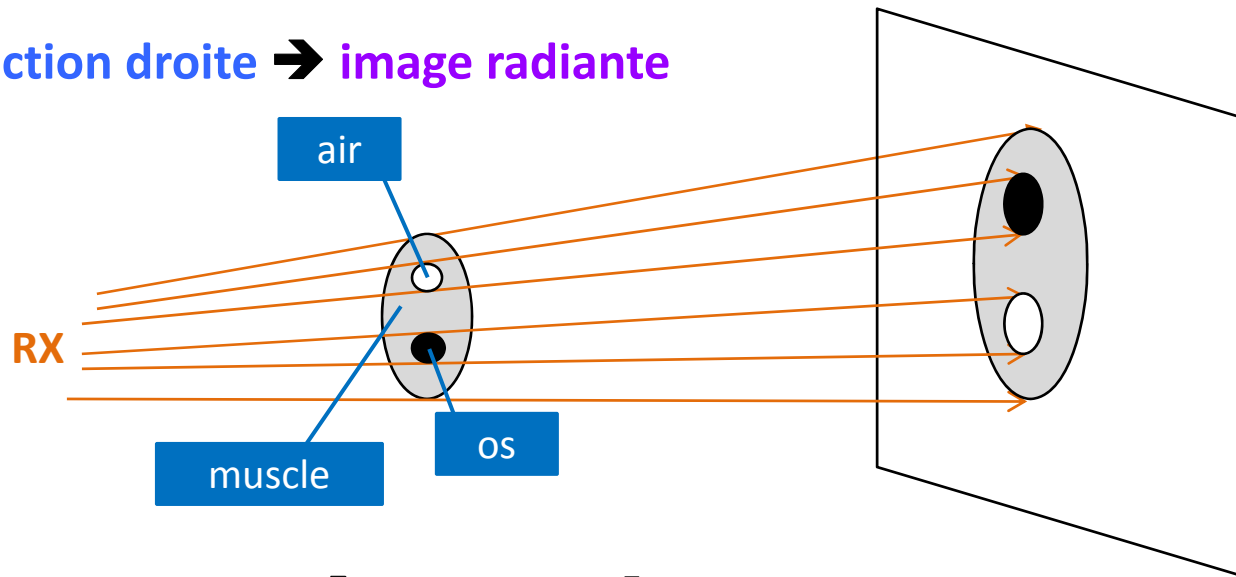
ordre décroissant ↓

os	fortement atténuant
eau	
graisse	
poumons	faiblement atténuant

● **corps humain** → atténuation → nature et forme éléments

☼ tissus et organes μ différents → **intensité faisceau transmis différente**

☼ **section droite** → **image radiante**

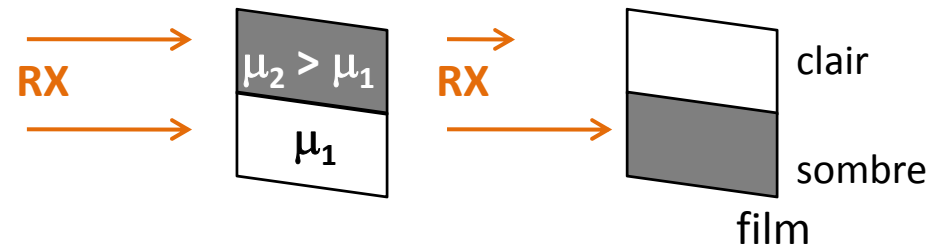


☼ **invisible œil nu** → récepteur → **image lumineuse**

3.2 Dispositifs expérimentaux

● film radiologique (couple film écran)

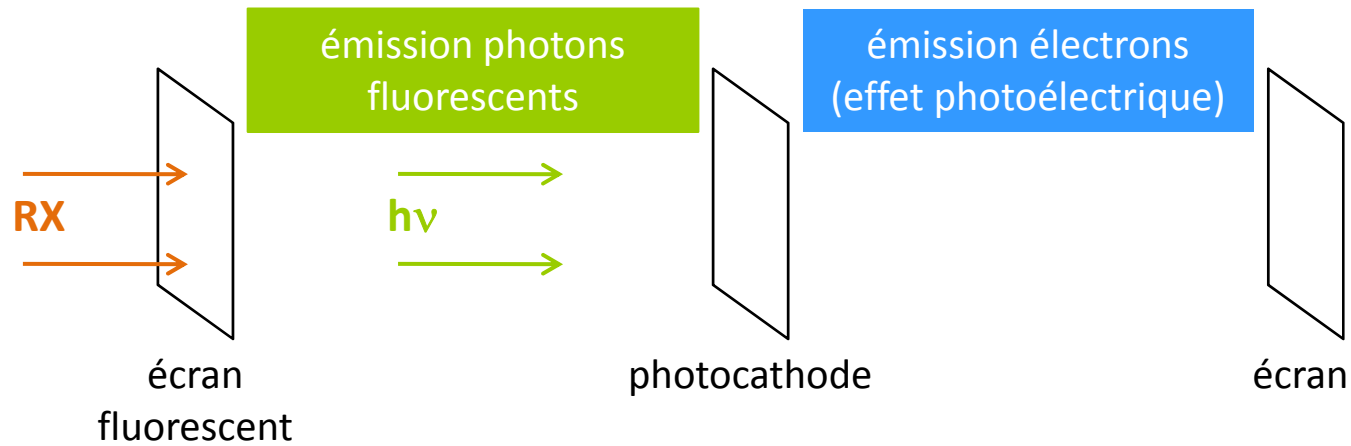
- ✿ majorité examens biologiques
- ✿ développement → noircissement \propto intensité RX transmis
- ✿ image = négatif organe



3.2 Dispositifs expérimentaux

• amplificateur de brillance

• dispositif électronique → amélioration perception image



• électronique plus lumineuse → facteur 3000 à 5000