

LE TUBE A RAYONS X

DR TENIOU /IMAGERIE MEDICALE 2016

I /Introduction :

Les rayons X ont été découverts en 1895 par W. Röntgen en Allemagne. Il baptise les rayons X qu'il a découvert « Rayons X » avec le « X » comme l'inconnue en mathématiques. Le pouvoir des rayons X, qui a semblé merveilleux de traverser des parois opaques et de révéler l'intérieur du corps humain.

Le tube de Crookes est historiquement, le premier tube à rayons X, il fut inventé par sir William Crookes. Il s'agissait à l'origine de provoquer une fluorescence lumineuse de minéraux. Le tube de Crookes est encore appelé tube à décharge, tube à gaz ou tube à cathode froide.

Ce tube de Crookes fut amélioré par William Coolidge en 1913. Le **tube de Coolidge**, encore appelé **tube à cathode chaude**,

1-Définition du tube radiogène :

Il s'agit d'une diode qui libère des rayons X.

Les électrodes sont contenues dans une ampoule de verre dure, vide d'air et insensible aux variations de température.

2-Constitution d'un tube à rayons X :

Un appareil de radiologie est constitué d'un tube radio gène, d'un générateur de haute tension et d'une console de contrôle. Ces éléments peuvent être physiquement isolés, comme dans la plupart des installations radiographiques fixes ou être rassemblés dans des unités compactes destinée à se déplacer au chevet du malade

1. Le tube radiogène est constitué d'une cathode et d'une anode entourée par des enveloppes de protection
1. La cathode est la source des électrons. Il s'agit d'un filament en forme de spirale qui s'échauffe lors de la mise en route du tube pour laisser s'échapper les électrons.
2. Les électrons sont accélérés entre la cathode et l'anode par une forte différence de potentiel
3. L'anode est la cible des électrons et le lieu de production des rayons x s'appelle le foyer.
4. Le rendement de la production des rayons x est très faible, de l'ordre de 1%, le reste de l'énergie se retrouve sous forme de chaleur
5. L'anode tournante permet de répartir la chaleur sur une plus grande surface et de pouvoir augmenter le débit des rayons x
6. L'anode tournante permet également de diminuer la taille du foyer aux faibles puissances et d'améliorer la finesse de l'image.
7. Le tube est entouré d'une enveloppe de verre, qui maintient les constituants sous vide.
8. Des diaphragmes permettent d'ajuster la taille du champ radiographique
9. Un faisceau lumineux simule la position et la taille du faisceau de rayons x avant la prise de radiographies. (centreur lumineux).
10. Les 3 paramètres d'exposition contrôlés par l'opérateur sont la tension (kV) représentant à la fois la quantité et l'énergie des rayons x, l'intensité (mA) représentant la quantité de rayons x produits et le temps de pose (ms) représentant aussi la quantité de rayons x

3- Constituants du tube radiogène :

Les rayons X sont produits lorsqu'un faisceau d'électrons à grande vitesse rencontre une cible matérielle. Lors de l'interaction entre les électrons et la matière, l'énergie cinétique des électrons est transformée en énergie électromagnétique. Le tube radiogène est composé d'une cathode, responsable de l'émission des électrons, et d'une anode, source de production des rayons X. Le tube est entouré d'une enveloppe protectrice (gaine) assurant le vide, une isolation électrique, et prévenant la dispersion des rayons X émis.

3.1- La Cathode :

La cathode correspond à la partie négative du tube radiogène. Il s'agit d'un filament en forme de spirale composé généralement de tungstène et de traces de thorium. Les électrons sont émis à la cathode par un mécanisme de thermo-émission : la cathode est amenée à haute température par un courant électrique. Les électrons libérés par la haute température sont soumis à une différence de potentiel et sont précipités sur l'anode avec une grande vitesse. Le filament est monté dans une pièce creuse appelée pièce de concentration, dont la finalité est de focaliser les électrons sur l'anode.

3.2- L'anode :

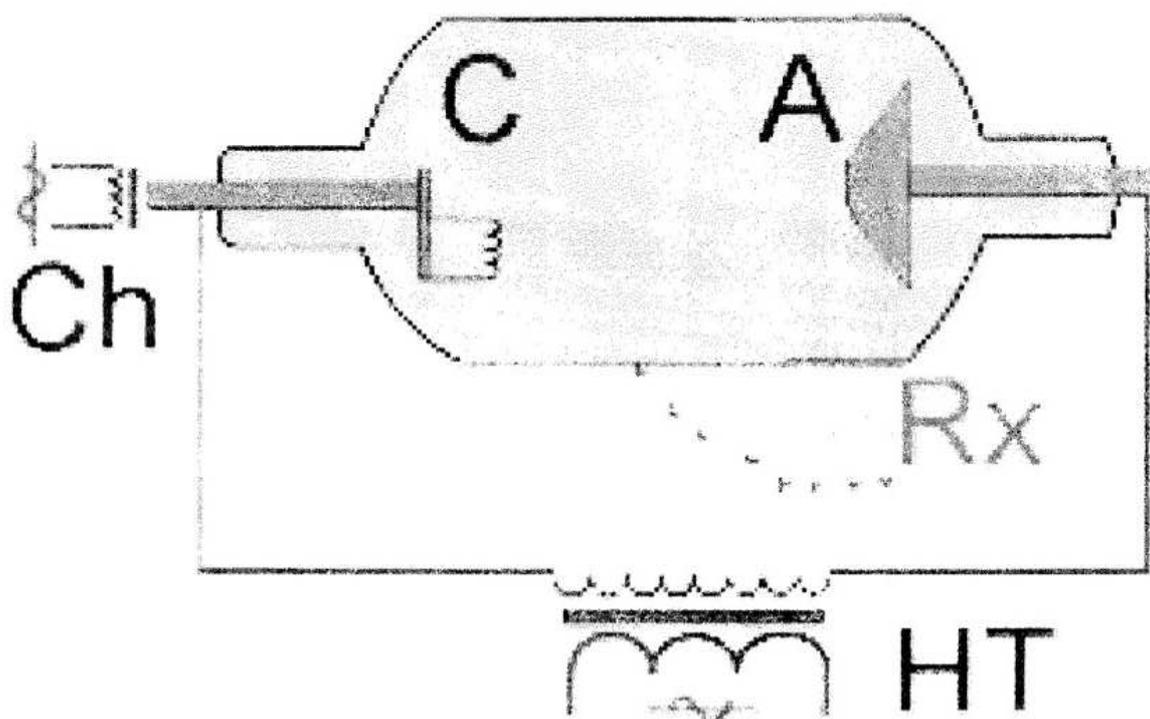
L'anode est la partie positive du tube radiogène et correspond à la cible. C'est là que sont produits les rayons x, lorsque les électrons accélérés par la différence de potentiel entre les 2 électrodes viennent percuter l'anode. La surface de bombardement des électrons sur l'anode s'appelle le foyer et sa taille est un élément déterminant de la finesse de l'image. Les rayons x sont émis dans toutes les directions à partir du foyer, mais les rayons x sont partiellement arrêtés par l'anode elle-même. La plus grande concentration de rayons x se retrouve donc dans une direction perpendiculaire à la surface de l'anode : on parle d'anode réfléchive. La surface de l'anode est oblique par rapport à la direction du faisceau d'électron de manière à permettre à d'avantage de rayons x de pouvoir sortir du tube.

La production des rayons x est très inefficace puisque le rendement dans les tubes radiogène de radiodiagnostic est d'environ 1%. Une grande quantité de chaleur est produite en même temps que les rayons x, ce qui pose des problèmes technologiques importants et qui limitent, en tout états de cause, la quantité de rayons x produites. L'anode est généralement composée de tungstène car le tungstène a un numéro atomique élevé ($Z=74$), qui favorise le rendement, mais aussi une température de fusion élevée (3410 degrés).

3.3- Enveloppes de protection :

Le tube radiogène est entouré de plusieurs enveloppes de protection permettant d'assurer une protection électrique, thermique et mécanique du tube tout en assurant la protection des utilisateurs contre les rayonnements de fuite.

Le tube radiogène est entouré d'une ampoule de verre qui a pour fonction d'assurer une isolation électrique, d'évacuer la chaleur produite et d'assurer un vide aussi parfait que possible. En l'absence de vide, des phénomènes électriques parasites inacceptables se produisent. L'ampoule est généralement composée de verre ou d'une combinaison de verre et de métal ou de céramique et de métal. L'ampoule baigne dans de l'huile, qui participe au système de refroidissement. Le tout est enfermé dans une gaine métallique, assurant l'évacuation de la chaleur produite, une protection mécanique du tube, et une absorption des rayons X indésirables.



Le Générateur :

Le générateur de haute tension a pour mission de produire un courant de même direction entre la cathode et l'anode (le retour d'électrons sur la cathode serait catastrophique), le plus constant possible et de tension ajustable entre 50 et 120 kV. Un générateur classique est composé d'un redresseur et d'un transformateur. Le redresseur est constitué habituellement de diodes assemblées de telle manière à ce que le courant circule toujours dans le même sens. Le transformateur assure la transformation d'un courant de 220 ou 380 Volt en un courant de haute tension de 50 à 120 kVolt. Le générateur est une pièce maîtresse de l'appareil radiographique car il conditionne son fonctionnement, son rendement et sa fiabilité.

La Console de contrôle :

La console de contrôle permet à l'opérateur d'ajuster les 3 paramètres d'exposition radiographie : la tension (kV), l'intensité (mA) et le temps de pose (ms). La tension permet de contrôler la quantité et l'énergie des rayons x produits, tandis que l'intensité (mA) et le temps de pose (ms) permettent de contrôler la quantité de rayons x seulement. Ces 2 dernières grandeurs sont souvent regroupées sous le terme mAs (milliampère seconde).

III/ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Quel que soit le type de tube, la génération des rayons X se fait selon le même principe.

Une haute tension électrique (de l'ordre de 20 à 100 kV) est établie entre deux électrodes. Il se produit alors un courant d'électrons de la cathode vers l'anode (parfois appelée « anticathode » ou « cible »).

Les électrons sont freinés par les atomes de la cible, ce qui provoque un rayonnement continu de freinage ou Bremsstrahlung, dont une partie du spectre est dans le domaine des rayons X.

Ces rayons X excitent les atomes de la cible, et ceux-ci réémettent un rayonnement X caractéristique par le phénomène de fluorescence X.

Le spectre sortant du tube est donc la superposition du rayonnement de freinage et de la fluorescence X de la cible.

Les tubes de rayons X ont un rendement extrêmement mauvais, la majeure partie de la puissance électrique (99 %) est dissipée sous forme de chaleur. Les tubes doivent donc être refroidis, en général par une circulation d'eau.

III /VIEILLISSEMENT DU TUBE :

Le vieillissement du tube fait intervenir trois phénomènes :

La **porosité** du tube, qui provoque une baisse du vide ;

La **sublimation** du filament ;

La **corrosion**.

Le filament de tungstène est chauffé et sous vide, il va donc naturellement se sublimer. Le gaz de tungstène ainsi créé va migrer dans le tube et se condenser sur les parois ainsi que sur la fenêtre. On va donc avoir trois effets :

Le tungstène sur la fenêtre va faire effet de filtre, et absorber les rayons X de faible énergie ; on a donc au fur et à mesure une baisse de l'intensité dans les grandes longueurs d'onde ; en spectrométrie de fluorescence X, cela se traduit par une baisse de sensibilité pour les éléments légers ;

Le tungstène déposé étant bombardé de rayons X, il va fluorescer ; en diffraction de rayons X, l'apparition de pics caractéristiques du tungstène, et notamment de la raie L (en notation de Siegbahn), va donner lieu à des pics de diffraction parasites ;

Le filament s'amincit, ce qui à terme peut conduire à sa rupture.

La fenêtre du tube est la plus fine possible afin d'absorber le moins de rayons X. Le tube étant sous vide, les gaz vont lentement diffuser vers l'intérieur du tube. Ceci est particulièrement vrai pour les tubes mis dans une atmosphère d'hélium (cas des spectromètres de fluorescence X mesurant des liquides), l'hélium étant une molécule très petite. Lorsque le vide n'est plus suffisant, il se produit des arcs électriques (ionisation du gaz sous l'effet de la haute tension) appelés « flashages », qui sont inutilisables et doivent être changés.

VI /CONCLUSION

L'imagerie médicale est un moyen d'acquisition et de restitution d'image d'un corps humain à l'aide de différentes techniques physiques et informatiques. Cette problématique s'inscrit plus globalement dans le cadre de l'image scientifique et technique : l'objectif est de pouvoir représenter sous un format relativement simple une grande quantité d'informations issues d'une multitude de mesures acquises selon un mode bien défini .