

3. Magnétisme et ondes électromagnétiques.

Lorsqu'une charge électrique est en mouvement, elle crée autour d'elle un environnement magnétisé. C'est le physicien danois Hans C. ØRSTED (1770-1851), professeur à l'université de Copenhague, qui mit en évidence, en 1819, cette propriété des courants électriques. Les résultats D'ØRSTED, publiés en 1920, constituèrent une base aux travaux réalisés par des chercheurs tels que Pierre LAPLACE (1749-1827) et André M. AMPERE (1775-1836). Ces deux savants français sont à l'origine de la théorie de l'interaction magnétique entre les courants électriques. Cependant, la relation entre champ magnétique et charges en mouvement ne fut établie qu'à la fin du dix-neuvième siècle, grâce aux travaux réalisés par le chercheur américain H. A. ROWLAND (1848-1901). L'expérience d'ØRSTED consiste à placer un fil rectiligne conducteur dans la direction de l'aimantation terrestre et à placer à proximité de celui-ci un barreau aimanté, qui s'oriente automatiquement dans la direction du champ magnétique terrestre (figure 14).

I- الإثارة . EXCITATION MAGNÉTIQUE. THEOREME D'AMPERE.

En absence de courant électrique traversant le fil, le conducteur et le barreau aimanté restent parallèles. En présence d'un courant électrique, le barreau aimanté tourne d'un angle α par rapport au fil. Lorsque le courant électrique est stoppé, le fil et le barreau redeviennent parallèles. Cette observation permet de conclure que le courant électrique crée dans l'espace qui l'entoure, un champ magnétique qui apparaît et cesse avec lui. AMPERE, BIOT et SAVART étudièrent, au dix huitième siècle, les propriétés du magnétisme créé par les courants électriques. Les lois qu'ils ont établies constituent la base de l'électromagnétisme. Ces lois ont été établies à partir de l'étude d'un conducteur AB parcouru par un courant électrique continu I (Figure 18).

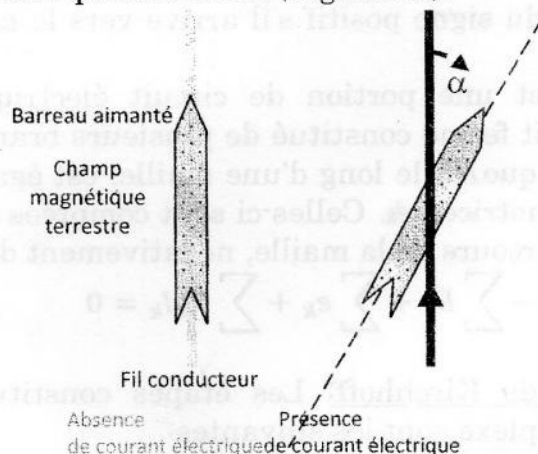


Figure 18: Expérience d'ØRSTEDT

Un élément différentiel dl crée, en un point P situé à une distance R , un vecteur différentiel appelé excitation magnétique, noté $d\vec{H}$ et donné par :

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

Le vecteur \vec{R} est dirigé de dl vers le point P . L'excitation magnétique $d\vec{H}$ est exprimée en Ampère/mètre. Elle est perpendiculaire au plan formé par $d\vec{l}$ et \vec{R} . Cette relation traduit mathématiquement la loi de BIOT et SAVART. L'excitation magnétique totale \vec{H} , créée par le conducteur AB , au point P est égale à :

$$\vec{H} = \int_A^B \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

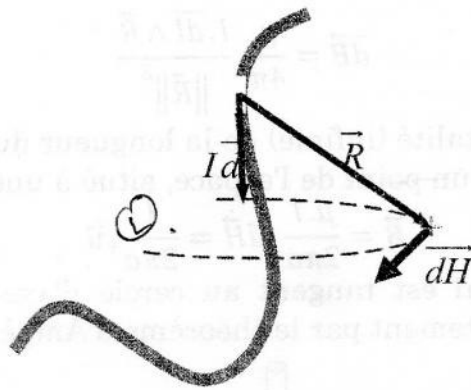


Figure 19: Excitation magnétique créée par un courant électrique.

كاسي

L'intégrale curviligne de la composante tangentielle de l'excitation magnétique \vec{H} , le long d'un contour fermé, est donnée par : $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$, où I est le courant encerclé par le contour fermé L .

Cette égalité constitue le théorème d'Ampère qui permet le calcul de l'excitation magnétique H , en tout point du contour fermé. C'est une utilisation tout à fait identique à celle du théorème de GAUSS pour le calcul du vecteur champ électrique. Cependant, il ne peut être utilisé que si les deux conditions ci-dessous sont satisfaites :

- L'excitation magnétique \vec{H} doit être soit tangentielle, soit perpendiculaire au contour considéré.
- L'excitation magnétique \vec{H} doit être constante en tout point du contour où elle lui est tangentielle.

II- DENSITE DE FLUX MAGNETIQUE.

L'excitation magnétique \vec{H} ne dépend que du courant électrique : elle est indépendante des caractéristiques et des propriétés physiques du milieu. Un champ de forces lui est donc associé pour en tenir compte. Ce champ de forces, noté \vec{B} , est appelé densité de flux magnétique, ou plus communément champ magnétique, par analogie avec le champ électrique. Il est donné par : $\vec{B} = \mu \vec{H}$, où μ est la perméabilité du milieu, elle est exprimée en henry/mètre (H/m).

Le champ magnétique est exprimé en Tesla (T), en hommage à l'ingénieur américain, d'origine yougoslave, Nicholas TESLA (1856-1943), $1T=1N/(A.m)$. La perméabilité du vide est notée μ_0 , elle est égale à $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

Toutes les lois établies pour l'excitation magnétique sont alors extrapolées au champ magnétique. Ainsi, un courant électrique crée en un point M d'un milieu de perméabilité magnétique μ , un champ magnétique \vec{B} donné par l'expression ci-dessous.

$$\vec{B} = \int_A^B \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

Lorsque le courant électrique est placé dans un milieu de perméabilité magnétique μ , le théorème d'ampère devient : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = I$.

II.1. CHAMP MAGNETIQUE CREE PAR UN COURANT ELECTRIQUE RECTILIGNE.

Soit un fil conducteur rectiligne infini parcouru par un courant électrique I . Ce fil conducteur crée en tout point de l'espace une induction magnétique qui peut être calculée grâce à la loi de Biot-Savart-Laplace. En effet, une portion élémentaire dl du conducteur crée en un point M de l'espace situé à une distance a du fil, un champ magnétique élémentaire $d\vec{B}$ (figure 20) donné par :

$$d\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

De ce fait, l'intégrale de $d\vec{B}$ sur la totalité (infinie) de la longueur du fil rectiligne aboutit à l'expression de l'induction magnétique créée en un point de l'espace, situé à une distance a du fil :

$$\vec{B} = \frac{\mu \cdot I}{2\pi a} \cdot \vec{u} \wedge \vec{H} = \frac{I}{2\pi a} \cdot \vec{u}$$

Le vecteur champ magnétique total est tangent au cercle d'axe le fil et de rayon a . Ces mêmes résultats peuvent être obtenus directement par le théorème d'Ampère.

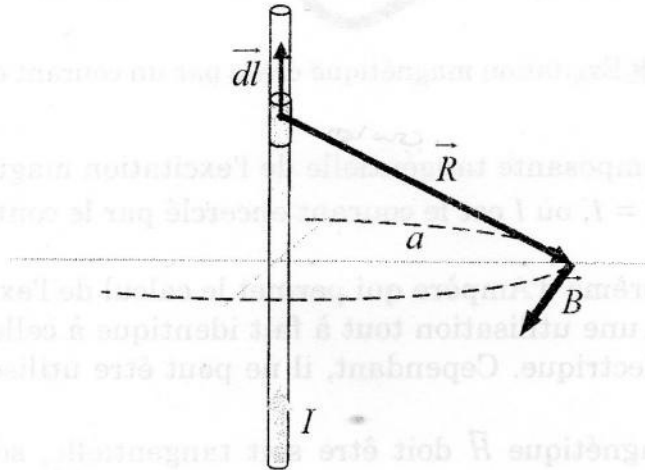


Figure 20: Induction magnétique créée par un courant électrique rectiligne.

II. FLUX MAGNETIQUE.

Le flux du champ magnétique (ou flux magnétique) à travers une surface S dans un champ magnétique est donné par :

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

L'unité de flux magnétique est le weber (Wb) en hommage au physicien allemand Wilhelm E. WEBER (1804-1891) : $Wb = 1T \cdot m^2 = m \cdot kg/s \cdot C$

Le flux du champ magnétique à travers une surface fermée, est toujours nul. Il en découle l'équation suivante : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$, qui constitue le théorème de Gauss pour le champ magnétique.

II-L'ONDE ELECTROMAGNETIQUE.

II.1. DEFINITION DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE.

La théorie électromagnétique est l'œuvre de James clerk MAXWELL (1831-1879). Dans sa théorie, issue de l'unification des phénomènes électriques et magnétiques, il avait prédit, en 1884, l'existence d'ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière et dont la lumière elle-même fait partie. Toutes ses prédictions furent confirmées par Heinrich HERTZ (1855-1894), lorsqu'il découvrit les ondes électromagnétiques. La théorie électromagnétique de MAXWELL a été complétée au fil des années. En 1900, par exemple, Max PLANCK (1858-1947), affirmait que l'énergie rayonnante des corps chauds se fait par paquets d'ondes ou quanta (pluriel de quantum) appelés également photons. Malgré toutes les difficultés auxquelles elle fut confrontée, cette théorie n'a pas été supplantée. De nombreux savants, tels que Louis de BROGLIE, Erwin SCHRÖDINGER ou Max BORN ont établi la complémentarité de l'ancienne et des nouvelles théories électromagnétiques.

Les points les plus importants de cette théorie, sont les résultats obtenus par MAXWELL, sur les champs électriques et magnétiques induits, qui l'amènèrent à conclure que toute variation de ces derniers, produite par la fluctuation d'un courant électrique, devait être accompagnée d'une propagation d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques.

Les ondes électromagnétiques peuvent être émises par la simple oscillation d'un dipôle électrique. Elles sont donc émises par la matière.

Enfin, un rayonnement électromagnétique est défini comme étant la résultante de la superposition d'un champ magnétique B et d'un champ électrique E , sinusoïdaux de même période, perpendiculaires en tout point et se propageant dans la même direction (Figure 19). La propagation de l'onde électromagnétique, ainsi formée, se fait perpendiculairement au plan défini par E et B : Il s'agit d'une onde plane.

Dans le vide, cette propagation, en première approximation rectiligne, se fait à vitesse constante, quelle que soit l'onde considérée (célérité $C \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$). Un rayonnement constitué d'ondes de même fréquence est dit monochromatique et polychromatique dans le cas contraire. La fréquence d'une onde électromagnétique ne change pas quelque soit le milieu traversé. Cependant, sa vitesse v dépend de la nature de celui-ci et de la longueur de l'onde de la radiation. Le rapport des vitesses de l'onde dans le milieu et dans le vide est appelé indice optique n :

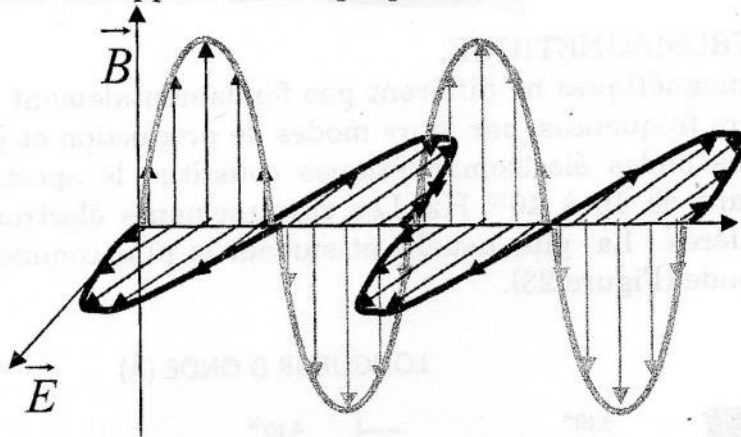


Figure 22 : Représentation d'une onde électromagnétique.

$$n = \frac{c}{v}$$

II.2. L'ONDE PLANE ET SES CARACTERISTIQUES.

Un rayonnement électromagnétique est caractérisé par son énergie, sa période, sa fréquence et/ou sa longueur d'onde. Toutes ces grandeurs sont équivalentes, car elles se déduisent les unes des autres. En général, la fréquence est la caractéristique la plus utilisée. Elle est notée ν et exprimée en Hertz. La période T , inverse de la fréquence, est exprimée en secondes. La longueur d'onde λ , exprimée en mètres, est le produit de la vitesse de la lumière et de la période T .

$$E = h\nu, h = \text{constante de Planck} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \nu \text{ en Hz}, E \text{ en Joule}, T = \frac{1}{\nu} = \frac{h}{E}, T \text{ en secondes},$$

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c \cdot h}{E} = \frac{c}{\nu}, c = \text{vitesse de la lumière} = 3 \cdot \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}, \nu \text{ en secondes}, \lambda \text{ en mètres}$$

$$E = h\nu, h = \text{constante de Planck} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \nu \text{ en Hz}, E \text{ en Joule}, T = \frac{1}{\nu} = \frac{h}{E}, T \text{ en secondes},$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant formé d'accumulations petites et discrètes d'énergies appelées photons ou quanta. Chaque photon est caractérisé par l'énergie E qu'il transporte. En pratique, les hautes énergies sont exprimées en électron-Volt (eV). Elles sont de la forme :

$$E[\text{J}] = \frac{hc}{\lambda}, E[\text{eV}] = \frac{12400}{\lambda[\text{\AA}]}$$

La vitesse du photon, qui n'existe qu'en mouvement, étant égale dans le vide à la vitesse c de la lumière, «sa masse au repos ne peut être que nulle». De ce fait, par simple analogie aux particules, son énergie au repos est nulle et ses énergies totale et cinétique sont égales. Au photon peut donc correspondre une masse m , d'origine exclusivement dynamique :

$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

Cette notion de masse pour les photons, introduite par A. PROCA en 1936 à la suite de calculs d'électrodynamique quantique, permet d'expliquer les déviations de la lumière par les champs gravitationnels et leur interaction avec des systèmes de l'ordre de grandeur d'une molécule ou d'un atome (exemple : l'effet photoélectrique). Néanmoins, cet aspect corpusculaire des ondes électromagnétiques ne présente un intérêt que pour les photons très énergétiques (RX et Ry). La quantité de mouvement p d'une onde électromagnétique est de la forme :

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}$$

Ces deux descriptions des ondes électromagnétiques appelées théorie ondulatoire et théorie corpusculaire, ne sont pas contradictoires. En fait, le phénomène est très complexe et l'on utilise l'une ou l'autre des théories selon ce qui est étudié. L'unification de ces deux théories est à l'origine de la mécanique quantique.

II.3. LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE.

Les rayonnements électromagnétiques ne diffèrent pas fondamentalement les uns des autres. Ils ne se distinguent que par leurs fréquences, par leurs modes de production et par leurs interactions avec la matière. L'ensemble des ondes électromagnétiques constitue le spectre électromagnétique, qui couvre des fréquences allant de 10^0 à 10^{25} Hz. Les rayonnements électromagnétiques peuvent être classés de différentes manières. La plus usuelle et surtout la plus commode, est la classification en fonction de la longueur d'onde (Figure 23).

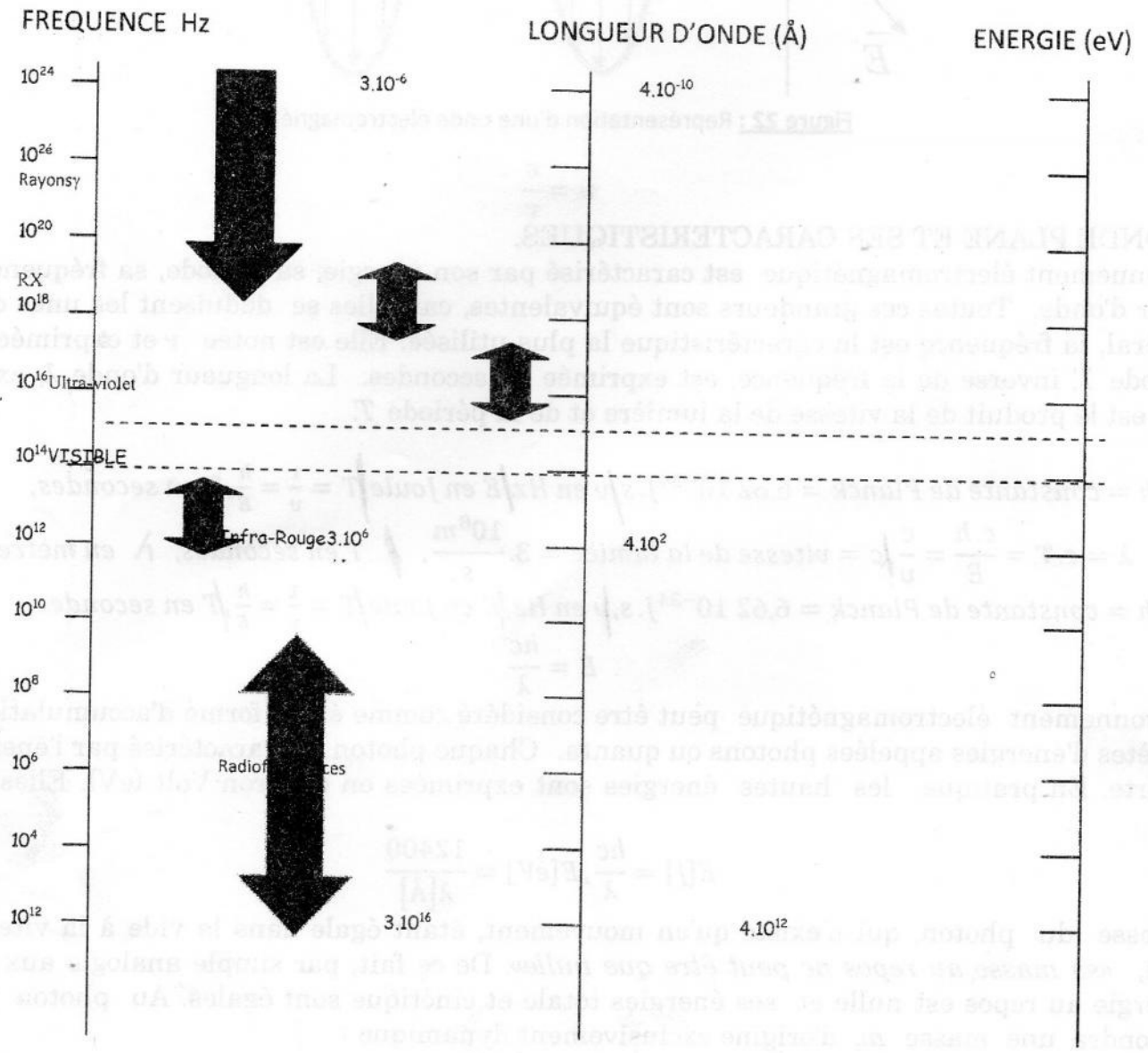


Figure 23 : Le spectre électromagnétique.

III- ETUDE DU CAS PARTICULIER DES RX (Rayons X)

Les rayons X (RX) sont des ondes électromagnétiques qui prennent naissance à chaque fois que des particules chargées (électrons en général), animées d'une vitesse suffisante, viennent heurter de la matière. Leur production est la conséquence directe des perturbations profondes subies par la structure de l'atome bombardé. L'émission de RX peut se produire spontanément dans la nature. Les rayons X sont, par définition, tous les photons produits à l'extérieur du noyau atomique. Ils ont été découverts en 1895 par Wilhem Röntgen. Il prit la même année la première radiographie : celle de l'une des mains de son épouse.

III.1. Production des RX.

En traversant la cible, les électrons accélérés sont ralentis par les atomes de celle-ci. L'énergie cinétique perdue se manifeste sous diverses formes. En particulier une fraction importante de celle-ci est convertie en chaleur et le reste est rayonné en dehors de la cible sous forme de photons X.

En réalité, ces électrons subissent deux types d'interactions dans la cible :

- Collisions avec les électrons du milieu
- Freinage par les noyaux du milieu

L'étude spectrale de l'émission de RX montre que le spectre énergétique est formé par la superposition d'un spectre de raies caractéristiques de la cible et d'un spectre continu, parfaitement limité du côté des grandes énergies (Figure 28).

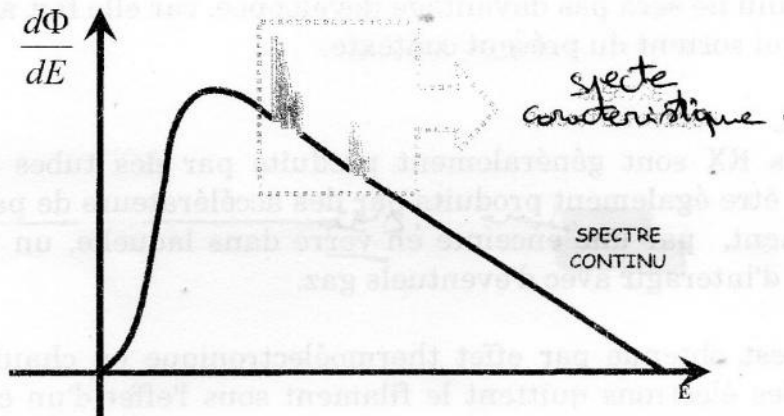


Figure 28 : Spectre d'émission des RX.

1- Le spectre caractéristique.

Les électrons du faisceau accéléré entrent en collision avec les électrons de la cible lorsqu'ils traversent celle-ci. Ce qui aboutit à l'ionisation des atomes du milieu irradié. Cette ionisation ne peut se produire que dans le cas où l'énergie des électrons incidents est supérieure à l'énergie de liaison de l'électron atomique. Ainsi est créé un ion à l'état excité. Le retour à l'état fondamental, s'accompagne de l'émission d'un ou de plusieurs photons de fluorescence X, dont l'énergie est égale à l'énergie d'ionisation.

Les raies X ainsi émises, ne dépendent donc que de la structure énergétique des atomes de la cible : Elles sont caractéristiques du milieu traversé, elles constituent un spectre discret appelé spectre caractéristique.

2- Le spectre continu.

Les électrons incidents sont attirés par les noyaux du milieu, il en résulte une force coulombienne d'attraction qui produit une accélération centripète. Les trajectoires des électrons s'incurvent (Figure

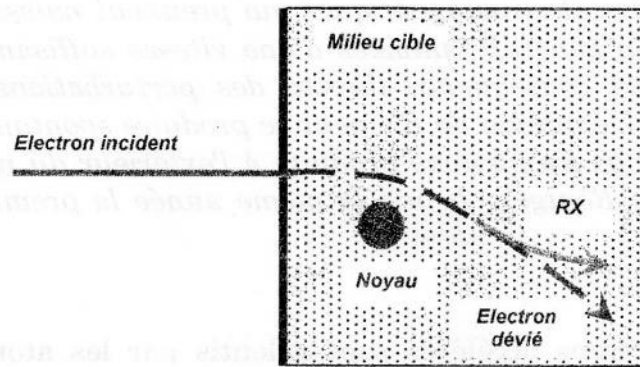


Figure 29 : Schématisation du freinage des électrons incidents.

Ce qui a pour conséquence le freinage de ces derniers. La diminution de l'accélération des électrons entraîne une décroissance de leur vitesse, donc de leur énergie cinétique. Cette perte d'énergie cinétique se traduit par l'émission d'un rayonnement électromagnétique X. L'énergie perdue varie de façon quasiment continue, on dit qu'on a affaire à une radiation de freinage ou bremsstrahlung.

تقریب

La théorie du spectre continu ne sera pas davantage développée, car elle fait appel à des connaissances de mécanique quantique qui sortent du présent contexte.

III.2. Les tubes à rayons X.

En pratique médicale, les RX sont généralement produits par des tubes à vide de Coolidge. En radiothérapie, ils peuvent être également produits par des accélérateurs de particules. Les tubes à RX sont constitués généralement, par une enceinte en verre dans laquelle, un vide poussé a été établi, afin d'éviter aux électrons d'interagir avec d'éventuels gaz.

L'émission des électrons est obtenue par effet thermoélectronique en chauffant un filament à une température suffisante. Ces électrons quittent le filament sous l'effet d'un champ électrique intense qui les accélère jusqu'à la cible (Figure 30).

نفسه

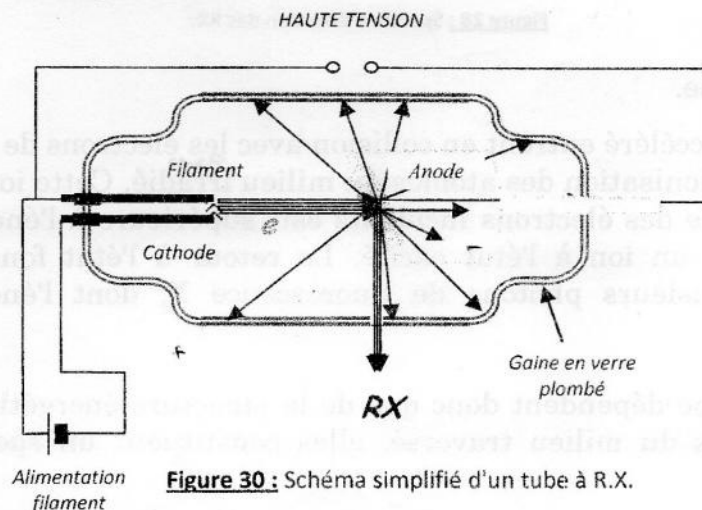


Figure 30 : Schéma simplifié d'un tube à R.X.

Le champ électrique, à l'intérieur du tube, est obtenu à l'aide d'une différence de potentiel U entre le filament et la cible. Sa valeur est généralement comprise entre 30 et 100kV pour les tubes utilisés en radiologie conventionnelle. Le filament et la cible constituent respectivement la cathode et l'anode du tube.

L'enceinte en verre est recouverte d'un blindage en plomb, percé d'une fenêtre d'où émergent les RX perpendiculairement au faisceau d'électrons.

1- L'alimentation électrique du tube à RX.

La différence de potentiel nécessaire pour alimenter le tube à RX est obtenue grâce à un montage classique de transformateurs et de redresseurs. La gamme de tensions est obtenue en faisant varier le nombre de spires du secondaire du transformateur. La tension aux bornes de celui-ci est appliquée au tube à RX. Le courant électrique étant alternatif, les électrons ne sont attirés vers la cible que pendant une demi-période. Un système approprié de redressement doit donc être associé au dispositif électrique.

Le chauffage du filament est assuré par un transformateur abaisseur de tension. Il est nécessaire de faire la distinction entre le courant de chauffage du filament et le courant du circuit haute tension. En effet, la valeur du premier est importante puisqu'elle détermine la valeur du flux d'électrons.

Le circuit électrique est constitué de deux parties :

- Un bloc de haute tension, isolé et entouré d'une gaine métallique mise à la terre pour éviter les risques d'électrisation et/ou d'électrocution.
- Un pupitre de commande où se trouvent les potentiomètres de réglage et de contrôle de la tension et des intensités des courants.

2- La cible

La cible est généralement en Tungstène en raison du numéro atomique (74) et du point de fusion (3370°C) élevés de ce matériau. Les RX sont émis dans toutes les directions de façon quasiment isotrope, mais subissent une auto absorption dans la cible elle-même. Le faisceau de RX qui émerge du tube est perpendiculaire à celui des électrons issus du filament.

La surface apparente de l'émission des RX (foyer optique) joue un grand rôle dans la netteté de l'image radiologique. Ce foyer dépend essentiellement de l'inclinaison de l'anode par rapport aux électrons incidents qui ne doit pas être inférieure à 20°, pour diminuer au maximum les dimensions apparentes de la source.

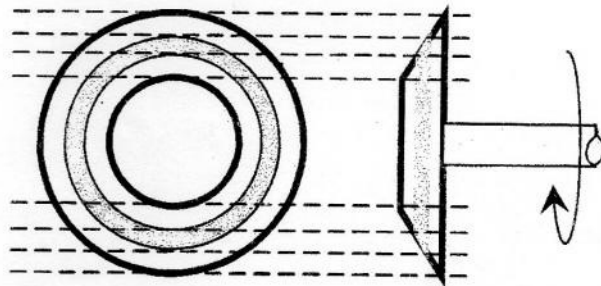


Figure 31 : Schéma simplifié d'une anode tournante.

La plupart des interactions qui se produisent dans la cible sont du type électron-électron. Elles aboutissent à une intense production de chaleur qui risque d'altérer la surface de la cible. Un dispositif est donc nécessaire pour le refroidissement de l'anode. Le principe de l'anode tournante est un artifice technique qui permet de faire répartir la chaleur tout le long de la piste de l'anode (Figure 31). Dans le cas des hautes énergies, un système de circulation d'huile est nécessaire pour le refroidissement.

3-Énergie et tension

Les électrons accélérés sous une différence de potentiel U acquièrent une énergie cinétique $E_c = e.U$ (e étant la charge de l'électron). E_c est donc l'énergie maximale que peuvent avoir les RX émis. Dans le cas d'une cible épaisse, le spectre énergétique théorique a pour équation l'expression ci-contre :

$$\frac{d\Phi}{dE} = K.F.Z.(E_c - E)$$

$d\Phi$ est le flux énergétique des photons du rayonnement de freinage dont l'énergie est comprise entre E et $E + dE$, K est une constante. F est le nombre d'électrons qui frappent la cible à chaque instant. Il est

supposé constant puisque le courant de chauffage du filament est continu. Le flux énergétique global est :

$$\Phi = \int_0^{E_c} \frac{d\Phi}{dE} dE = K.F.Z. \int_0^{E_c} (E_c - E) dE \Rightarrow \Phi = \frac{1}{2} K.F.Z.E_c^2$$

Le flux énergétique Φ est exprimé en Watt, il a la même dimension qu'une puissance. Par ailleurs, la puissance électrique nécessaire pour communiquer à F électrons par seconde, une énergie cinétique E_c est $P = F.E_c$. Le rendement r de l'émission par rayonnement de freinage est de la forme :

$$r = \frac{\Phi}{P} = \frac{1}{2} K.Z.E_c$$

Le rendement croît avec le numéro atomique de la cible et avec la différence de potentiel entre la cathode et l'anode du tube. Cette relation n'est cependant valable que pour des tensions inférieures à 100kV. L'énergie émise, par rayonnement de freinage, pendant un intervalle de temps Δt est :

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \Phi \Delta t = \frac{1}{2} K.F.Z.E_c^2 \Delta t \\ E_c = eU \\ I = F.e \end{array} \right\} \Rightarrow W = \frac{1}{2} K \cdot \frac{I}{e} \cdot Z \cdot U^2 e^2 \cdot \Delta t = \frac{1}{2} K.I.Z.U^2 e \cdot \Delta t$$

est la valeur absolue de la charge électrique de l'électron, U la tension accélératrice et I le courant de chauffage du filament.

3. Magnétisme et ondes électromagnétique.

- lorsqu'une charge électrique est en mouvement, elle crée un environnement magnétisé.
- l'expérience d'oersted consiste a placer un fil rectiligne conducteur dans la direction de l'aimantation terrestre et a placer a proximité de celui-ci un barreau aimanté, qui s'oreinte automatiquement dans la direction du champ magnétique terrestre.

1- Excitation Magnétique . Theoreme D'AMPERE.

- en absence da courante électrique traversant le fil, le conducteur et le barreau aimenté restent parallèles.
- en présence d'un courante électrique, le barreau aimenté tourne d'un ongles α par rapporte au fil.
- cette observation permet de calculer le courent électrique crée dans l'espace qui l'entoure.

- EXCITAION MAGNETIQUE:

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{P} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

- le vectreur R est dirigé de dl vers le piont P. l'excitation magnétique dH est exprimé en A/M.
- cette relation est troduite mathématiquement :

$$\vec{H} = \int_A^B \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{P} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

- l'integrale curviligne de la composante tangenteille de l'exitation magnétique H, le long d'un conducteur, est donnée par : $\oint \vec{H} \cdot d\vec{P} = I$, ou I est la courant encerclé par conour fermé L.

- cette égalité consiste le theoreme d'ampere, il ne peut utilisé que si les deux conditions ci-dessous sont satisfaites;

- l-excitaion H doit être soit tangenteille, soit perpendiculaire au contour considéré.
- l'excitation H doit être constante en tout point du contour ou elle lui est tangentielle.

2. DENSITE DE FLUX MAGNETIQUE.

- H ne dépend que du courant électrique, elle indépendante des caractéristique et des propriétés du milieu.
- un champ des forces lui dinc associé pour en tenir comte noté B appelé la densite de flux magnétique donné par : $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$, ou μ la perméabilité du milieu H/M.
- le champ magnétique est exprimé en T / 1 T = 1N/ A.M, est
- les loi de H sont alors extrapolées au champ magnétique.

$$\vec{B} = \int_A^B \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{P} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

- lorsque le couranr électrique est placer dans un melieu de perméabilité μ , le théorème d'ampere devient : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{P} = I$.

2-1:champ magnétique cree par un courant électrique rectiligne.

- dans un fil electrique rectilagne infini parcouru par un courant électrique I. ce fil condicteur crée une induction magnétique .
- une portion élémentaire dL du conducteur crée en un point M de l'espace ;

$$d\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{P} \wedge \vec{R}}{\|\vec{R}\|^3}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu \cdot I}{2\pi a} \cdot \vec{u}_H = \frac{1}{2\pi a} \cdot \vec{u}$$

- par l'intégrale :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u} \times \vec{H} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}$$

- le vecteur champ magnétique total est tangent au cercle d'axe le fil et de rayon a . ces memes résultats peuvent être obtenus directement par le théorème d'ampère.

2-2: flux magnétique :

- le flux de champ magnétique à travers une surface S donné par : $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot \vec{dS}$

- l'unité est WB / 1WB = 1 T.M² = m.kg / s . c

- le flux magnétique à travers une surface fermée est tjr nul .

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dS} = 0$$

3-1. DEFINITION DU RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE.

- les ondes électromagnétique peuvent être émises par la simple oscillation d'un dipôle électrique. elle sont donc émises par la matière.

- RX est résultante de la superposition de champ B et champ E.

- un rayonnement constitué d'ondes de même fréquence est dit monochromatique et polychromatique dans le cas contraire.

- la fréquence de RX ne change pas quelque soit le milieu traversé.

- la vitesse V dépend de la nature et de la longueur de l'onde de la radiation.

3-2: L'ONDE PLANE ET SES CARACTERISTIQUE.

- Rém caractérisé par leur énergie , sa période , sa fréquence , et sa longueur de l'ondes .

$$E = h \cdot \nu \quad / \quad h : \text{constante de Planck} = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} \quad \nu \text{ en Hz} \quad E \text{ en Joule}$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{h}{E}$$

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c \cdot h}{E} = \frac{c}{\nu} \quad / \quad c : \text{la vitesse de la lumière} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

LA VITESSE DU PHOTO.

$$E [J] = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad , \quad E [eV] = \frac{12400}{\lambda [Å]}$$

$$m = \frac{h}{\lambda \cdot c} \quad / \quad p = m \cdot c = \frac{h}{\lambda}$$

3-2: LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE.