



*Mémoire de stage de  
Conseiller Technique risques radiologiques  
ENSOSP - 2008*

**LES GENERATEURS DE  
RAYONS X  
CAS PARTICULIERS LIES  
A LA SECURITE PUBLIQUE**

*Responsable de stage :*

*Monsieur DAUDE Jacques du Commissariat à l'Énergie Atomique*

*Document réalisé par*

*Capitaine HOLLAND François du SDIS 62*

*Lieutenant CABIBEL Nadège de l'UIISC 1*

# SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>4</b>
<b>I/ PROBLEMATIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>II/ ANALYSES .....</b>	<b>7</b>
<b><i>II.1/ LES RAYONS X.....</i></b>	<b>7</b>
<b>II.1.1/ Définitions et caractéristiques .....</b>	<b>7</b>
<b>II.1.2/ Propriétés.....</b>	<b>8</b>
<b>II.1.3/ Interactions rayonnements matières.....</b>	<b>9</b>
<b><i>II.2/ LES GENERATEURS A RAYON X .....</i></b>	<b>11</b>
<b>II.2.1/ Généralités.....</b>	<b>11</b>
<b>II.2.2/ Principe de fonctionnement .....</b>	<b>11</b>
II.2.2.1/ Le tube radiogène .....	12
II.2.2.2/ Le générateur haute tension.....	13
<b>II.2.3/ Composition du faisceau .....</b>	<b>14</b>
<b><i>II.3/ REGLEMENTATION .....</i></b>	<b>16</b>
<b>II.3.1/ Les principaux textes de loi.....</b>	<b>16</b>
II.3.1.1/ Les textes européens.....	16
II.3.1.2/ Les textes français .....	17
<b>II.3.2/ Autorisation de détention.....</b>	<b>18</b>
II.3.2.1/ Demande d'autorisation .....	18
II.3.2.2/ Conformité .....	19
<b>II.3.3/ Conditions d'utilisation .....</b>	<b>19</b>
II.3.3.1/ Personne Compétente en Radioprotection .....	19
II.3.3.2/ Contrôles .....	20
II.3.3.3/ Formation des utilisateurs .....	20
<b>II.3.4/ Radioprotection.....</b>	<b>21</b>
II.3.4.1/ Détection .....	22
II.3.4.2/ Dosimétrie .....	22
II.3.4.3/ Effets biologiques.....	23
II.3.4.4/ Zonage.....	24

<b>II.4/ UTILISATEURS ET DOMAINES D'EMPLOI .....</b>	<b>25</b>
<b>II.4.1/ Les générateurs fixes .....</b>	<b>25</b>
<b>II.4.2/ Les générateurs mobiles .....</b>	<b>25</b>
II.4.2.1/ Les différents domaines .....	25
II.4.2.2/ Les appareils.....	26
<b>II.4.3/ Risques liés à l'emploi de générateurs de rayons X mobiles.....</b>	<b>27</b>
II.4.3.1/ Risques liés aux générateurs de rayons $\chi$ .....	27
II.4.3.2/ Moyens de détection et de calcul du rayonnement .....	27
II.4.3.3/ La dosimétrie.....	28
II.4.3.4/ Périmètres de sécurité.....	29
<b>IV/ SYNTHESE .....</b>	<b>30</b>
<b>IV.1.1/ CONNAISSANCES THEORIQUES ET TECHNIQUES DU GUIDE.....</b>	<b>30</b>
<b>IV.1.2/ OUTILS OPERATIONNELS .....</b>	<b>30</b>
IV.1.2.1/ Réactions immédiates.....	30
IV.1.2.2/ Choix de la tenue de protection.....	31
IV.1.2.3/ Choix du matériel de détection.....	31
IV.1.2.4/ Dosimétrie .....	31
IV.1.2.5/ Reconnaissance .....	31
IV.1.2.6/ Zone d'intervention.....	32
IV.1.2.7/ Conduite d'opération .....	32
<b>V/ CONCLUSION.....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>34</b>

## REMERCIEMENTS

*Nous tenons tout d'abord à remercier notre responsable de stage, Monsieur Jacques DAUDE, du Commissariat à l'Énergie Atomique qui nous a aidé tout au long de la réalisation de ce mémoire, qui nous a orienté judicieusement en nous faisant partager ses connaissances et compétences dans ce domaine.*

*Nous souhaitons aussi adresser nos remerciements à Monsieur Gérard GUESDON personne compétente en radioprotection du Service du déminage qui nous a communiqué de nombreuses informations très précieuses concernant l'utilisation des générateurs de rayons  $\chi$  ainsi que toute les obligations réglementaires que cela induit.*

*Merci à son collègue du service du déminage du site de Calais Mr Edmond TRUCCHI qui nous a fait partager son expérience dans l'utilisation des générateurs de rayons  $\chi$ .*

*Enfin nous remercions toutes les personnes qui nous ont apportées leur aide et leur soutien pour réaliser dans les meilleures conditions possibles ce document de travail.*

# I/ PROBLEMATIQUE

Selon l'article 2 de la loi n° 96-369 du 3 mai 1996 relative aux services d'incendie et de secours, « les services d'incendie et de secours sont chargés de la prévention, de la protection et de la lutte contre les incendies. Ils concourent avec les autres services et professionnels concernés à la protection et à la lutte contre les accidents, sinistres et catastrophes, à l'évaluation et à la prévention des risques technologiques ou naturels ainsi qu'aux secours d'urgence».

Dans leurs missions quotidiennes de service de secours, les sapeurs-pompiers sont formés et entraînés pour intervenir sur tout type d'incident ou d'accident. Ils sont devenus des techniciens du risque au premier rang de la protection des personnes, des biens et de l'environnement. Dans cette notion de technicien du risque il est intégré depuis maintenant plusieurs années, les risques technologiques, c'est à dire à la fois les risques chimiques et biologiques mais aussi les risques radiologiques.

Dans ce domaine de compétence, les sapeurs-pompiers suivent deux types de formation. Une première connaissance sur le risque technologique est dispensée dans la formation initiale des sapeurs-pompiers (RTN1) et une seconde formation n'est dispensée qu'aux futurs spécialistes du risque radiologique.

Le décret n°2003-295 du 31 mars 2003 relatif aux interventions en situation d'urgence radiologique et en cas d'exposition durable et l'arrêté du 20 décembre 2002 relatif au Guide National de Référence « risques radiologiques » définissent les cadres d'intervention et les niveaux de formations nécessaires pour exercer cette spécialité.

Le guide national de référence définit « les formations d'accès aux différents emplois de cette spécialité qui ont pour but de donner aux intervenants les connaissances nécessaires pour évaluer les risques, connaître les techniques d'intervention et conduire les opérations en sécurité. » Les connaissances apportées sont très complètes mais cependant, peu d'informations sont apportées sur les générateurs de rayons  $\chi$  en général et quasiment aucune information n'est apportée sur les générateurs de rayons  $\chi$  portables ou mobiles. Cela peut sembler surprenant car même si ces appareils ne produisent pas de rayons à partir d'une source radioactive les rayons qu'ils produisent n'en sont pas moins dangereux.

Les générateurs à rayon  $\chi$  sont utilisés par de nombreux services à la fois comme appareil fixe dans le cas de la radiographie et de la radiothérapie en médecine par exemple, mais aussi en appareil portable dans les services de déminage, de police, de gendarmerie et de douanes pour la caractérisation de colis suspects et dans les entreprises chargées de contrôles non destructifs.

Les générateurs fixes ne seront que très peu abordés dans ce document car la réglementation relative à leur utilisation est très complète et comme ces générateurs ne « se déplacent pas », les moyens d'intervention et de protection des utilisateurs et des patients sont très bien définis dans chaque établissement.

Dans le cas d'accidents ou d'incidents lors de mise en œuvre de générateurs de rayons  $\gamma$  portables ou mobiles, les sapeurs-pompiers seront sollicités pour intervenir. Il est possible que lors de ces interventions on leurs dise « il n'y a aucun soucis, il suffit de débrancher la prise et le problème est réglé ». Mais au-delà de cette réflexion le danger inhérent à l'utilisation de ce type de matériel est bien réel et est surtout bien difficile à quantifier. En effet, la zone de travail sera bien délimitée et les utilisateurs de ces générateurs sont formés à leur mise en œuvre mais la difficulté sera d'évaluer les risques d'exposition du public (proche des zones de tir) et le risque d'exposition des personnels qui seront chargés d'intervenir.

Ce document a pour but de créer un guide pratique à usage des sapeurs-pompiers (spécialistes du risque radiologique) qui servira de support pratique dans le cadre d'une intervention suite à un incident ou un accident qui se serait sur un générateur de rayons  $\gamma$  mobiles. Il permettra d'apporter les connaissances générales sur le fonctionnement des appareils, la réglementation qui définit leur détention et les conditions de mise en œuvre, les risques liés à leur emploi à la fois pour les utilisateurs mais aussi pour le « public » et les principes de radioprotection qui devront être mis en œuvre pour les intervenants. Ces principes de mise en œuvre devront définir le matériel de détection à utiliser ainsi que les mesures de sécurité à prendre pour toute intervention sur ce type d'appareil.

## II/ ANALYSES

Ce document de travail doit pouvoir être utilisé par tous les sapeurs-pompiers, spécialistes ou non du risque radiologique qui pourraient être amenés à intervenir sur un générateur de rayons  $\chi$ . Pour cela plusieurs notions de base seront développées dans la première partie de ce document en abordant les principes généraux de la radioactivité, les caractéristiques des rayons  $\chi$  et le principe de fonctionnement des générateurs de rayons  $\chi$ .

### II.1/ Les rayons X

#### II.1.1/ Définitions et caractéristiques

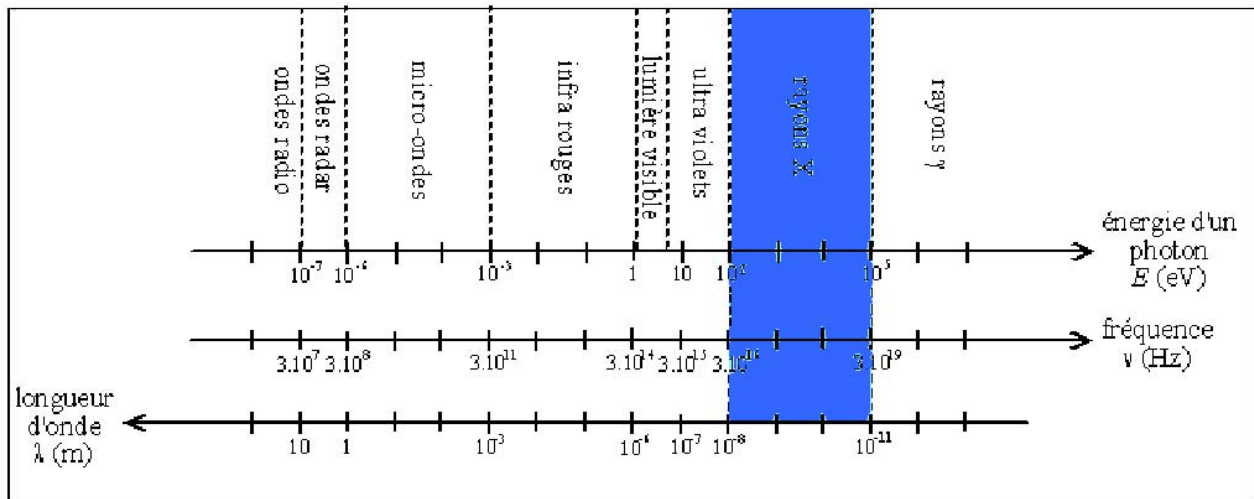
C'est le physicien Wilhelm Röntgen qui découvrit en 1895 le rayonnement  $\chi$ . Il l'appela ainsi car n'ayant pas trouvé de dénomination adéquate, il lui donna le nom de l'inconnu en mathématique « X ». Dans le premier article qu'il publie dans le bulletin de la Société physico-chimique de Wurtzbourg, il tira quatre conclusions :

- les rayons  $\chi$  sont absorbés par la matière ; leur absorption est fonction de la masse atomique des atomes absorbants;
- les rayons  $\chi$  sont diffusés par la matière ; c'est le rayonnement de fluorescence ;
- les rayons  $\chi$  impressionnent la plaque photographique ;
- les rayons  $\chi$  déchargent les corps chargés électriquement.

Au même titre que les rayons  $\gamma$  (gamma), les rayons  $\chi$  sont des ondes électromagnétiques. Il s'agit de grains d'énergie appelés PHOTONS non chargés et sans masse au repos. Ces rayons diffèrent les uns des autres par leur mode d'émission, leur énergie spécifique et par leur longueur d'onde.

Les rayons  $\chi$  sont produits par des changements d'orbitale des électrons situés sur le cortège électronique des atomes ou par le freinage des électrons dans la matière. Par contre, les rayons  $\gamma$ , (qui ressemblent de par leurs effets aux rayons  $\chi$ ), sont produits par des transitions énergétiques à l'intérieur des noyaux des atomes instables.

Les rayons  $\chi$  sont une forme de rayonnement à haute fréquence dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 5 picomètres et 10 nanomètres. Les rayons de longueur d'onde proches de la plage des ultraviolets sont appelés rayons  $\chi$  mous. Les rayons de longueur d'onde plus courte, proches de la plage des rayons gamma, voire débordants sur cette plage, sont appelés rayons  $\chi$  durs. Parmi les rayons  $\chi$  on sépare ceux composés d'un mélange de nombreuses longueurs d'onde nommés les rayons  $\chi$  blancs et les rayons  $\chi$  monochromatiques qui ne sont composés que d'une seule longueur d'onde.



Document 1 : caractéristiques des différentes ondes électromagnétiques

Il existe une correspondance entre l'énergie de ce rayonnement et la longueur d'onde défini par la formule suivante :

$$E = \frac{h \times c}{\lambda} \quad \text{soit} \quad E \text{ (MeV)} = \frac{1,24 \cdot 10^{-3}}{\lambda \text{ (nm)}}$$

Avec  $c$  la célérité de la lumière dans le vide ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ) et  $h$  la constante de Planck ( $h = 4,136 \cdot 10^{-21} \text{ MeV.s}$ ).

L'énergie de ces photons varie donc de quelques eV (électron-volt), à plusieurs dizaines de MeV et peuvent ioniser le matériel dans lequel ils interagissent.

## II.1.2/ Propriétés

L'énergie de ce rayonnement lui confère quelques caractéristiques propres comme :

- un grand pouvoir de pénétration qui dépendra de la densité du matériau traversé et de l'énergie du photon. En effet plus le matériel est dense ( $Z$  élevé) plus le rayonnement sera absorbé par la matière, en contre partie il pénétrera facilement dans la matière « molle » constituée d'éléments légers. Cette notion sera très importante en imagerie médicale (l'image radiographique résulte de la différence d'atténuation des rayons  $\chi$  dans la matière) mais aussi en radioprotection.

- le pouvoir de fluorescence (capacité d'une molécule à absorber de l'énergie lumineuse et à la restituer rapidement sous forme de lumière fluorescente) qui est utilisé en radioscopie par exemple,

- un pouvoir ionisant qui permet aux rayons de forte énergie d'arracher des électrons et de transmettre de l'énergie à la matière traversée,

- la diffraction des rayons  $\chi$  qui est due à la longueur d'onde de ses rayons qui est proche de la distance interatomique dans les cristaux.



### II.1.3/ Interactions rayonnements matières

Les particules chargées perdent leurs énergies suite à des interactions Coulombiennes. Cette interaction se caractérise par une force de répulsion entre deux charges électriques identiques (par exemple entre deux charges positives ou deux charges négatives). Les interactions peuvent être réalisées avec les noyaux lourds et positifs ou avec les électrons beaucoup plus légers et négatifs. Les interactions ont cependant surtout lieu avec les électrons car les probabilités des rencontres sont plus importantes qu'avec les noyaux.

Dans le cas des rayonnements électromagnétiques  $\chi$ , les effets produits par les interactions seront différents s'il s'agit d'une interaction avec le noyau de l'atome ou avec les électrons. Toutefois il ne se traduira que par une atténuation du rayonnement et non pas par sa disparition totale. Il existe trois mécanismes d'absorption des rayonnements  $\chi$  par la matière.

L'effet photoélectrique apparaît principalement au cours de l'absorption des rayons  $\chi$  de faibles énergies (inférieures à 100 KeV). Ce phénomène se produit lors de l'interaction d'un photon avec un électron situé sur une couche interne. Le photon disparaît en cédant la totalité de son énergie à l'électron qui est éjecté. L'énergie cédée sert à la fois à arracher l'électron et à lui communiquer son énergie cinétique. Par ailleurs il y a un réarrangement du cortège électronique et émission de rayonnements  $\chi$ .

L'effet Compton apparaît pour des photons plus énergétiques (de 100 KeV à 5 MeV) que dans le cas précédent. Lorsqu'un photon à énergie élevée heurte un électron, ce dernier est dévié en transférant une partie de son énergie à l'électron du cortège qui est expulsé. Les deux particules peuvent être défléchies dans des trajectoires différentes du rayon  $\chi$  incident.

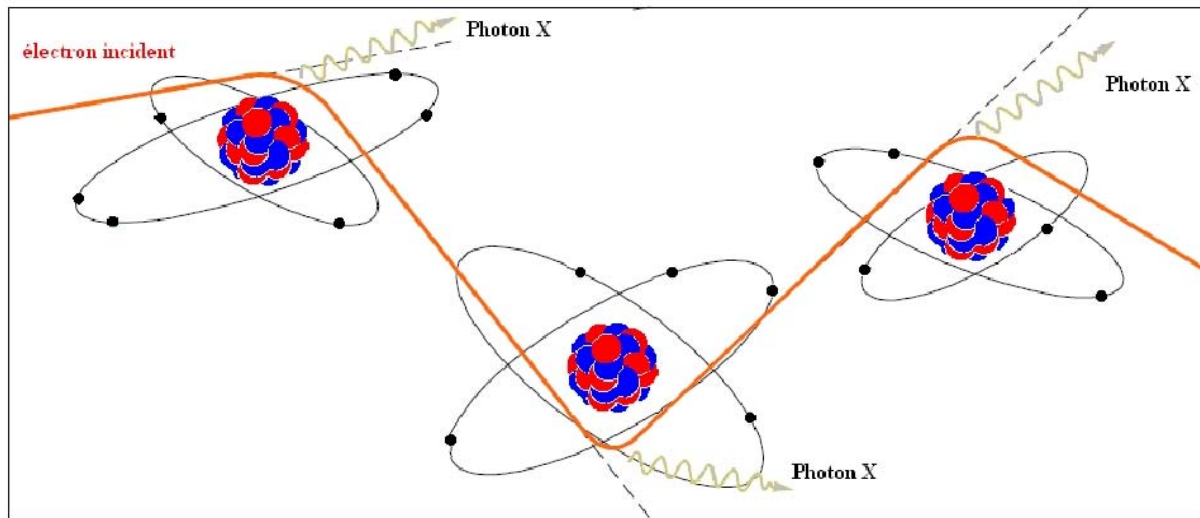
Dans le troisième type d'absorption, des rayons  $\chi$  à énergie très élevée interagissent avec le noyau des atomes. On observe alors la production de paires de particules (un électron et un positon) qui traduit la conversion d'énergie en masse. Le photon incident doit avoir une énergie minimale de 1022 KeV pour produire cette paire. Si l'énergie est supérieure à cette valeur, l'excédent d'énergie sera converti en énergie cinétique pour les particules. Cet effet est dominant pour des énergies supérieures à 5 MeV.

Nous verrons par la suite l'implication de ces différents effets dans le cas de production de rayons  $\chi$  par les générateurs.

La génération des rayons  $\chi$  provient principalement du rayonnement de freinage. En passant à proximité du noyau, l'électron subit les interactions Coulombiennes d'attraction et cette force le dévie de sa trajectoire en lui faisant perdre une partie de son énergie qui est rayonnée sous forme de photons.

Nous verrons par la suite l'implication de ces différents effets dans le cas de production de rayons  $\chi$  par les générateurs.

En passant à proximité du noyau, l'électron subit les interactions Coulombiennes d'attraction et cette force le dévie de sa trajectoire en lui faisant perdre une partie de son énergie cinétique qui est rayonnée sous forme de photons. L'électron poursuit sa trajectoire avec une énergie cinétique plus faible telle que  $E'_c = E_c - h\nu$



*Document 2 : Principe de formation des rayonnements de freinage*

La quantité d'énergie perdue est d'autant plus importante que l'électron passe près du noyau (le rayonnement émis en sera d'autant plus énergétique). Comme il y a une infinité de trajectoire possible des électrons par rapport au noyau, le spectre d'émission des rayons  $\chi$  émis est continu. Les photons ainsi émis sont appelés rayonnement de freinage et leur probabilité d'apparition dépendra de l'énergie de l'électron et de la densité du matériel traversé.

## II.2/ Les générateurs à rayon X

### II.2.1/ Généralités

Un générateur de rayons  $\chi$  est un appareil fixe ou portable permettant de réaliser des radiographies d'objets basées sur la capacité des objets et matières à absorber les rayons  $\chi$ . Ces appareils sont très utilisés en médecine, pour la recherche (cristallographie) et pour l'industrie par la technique de contrôles non destructifs. Cette dernière technique permet de réaliser des radiographies de pièces ou de structures sans qu'il apparaisse des altérations préjudiciables à leurs utilisations ultérieures. Cette méthode permet de mettre en évidence toutes les défauts des matériaux. Les nouvelles technologies utilisent les méthodes de tomographies qui permettent de réaliser des images en trois dimensions (acquisition de nombreuses images et reconstruction d'un volume à l'aide de logiciels).

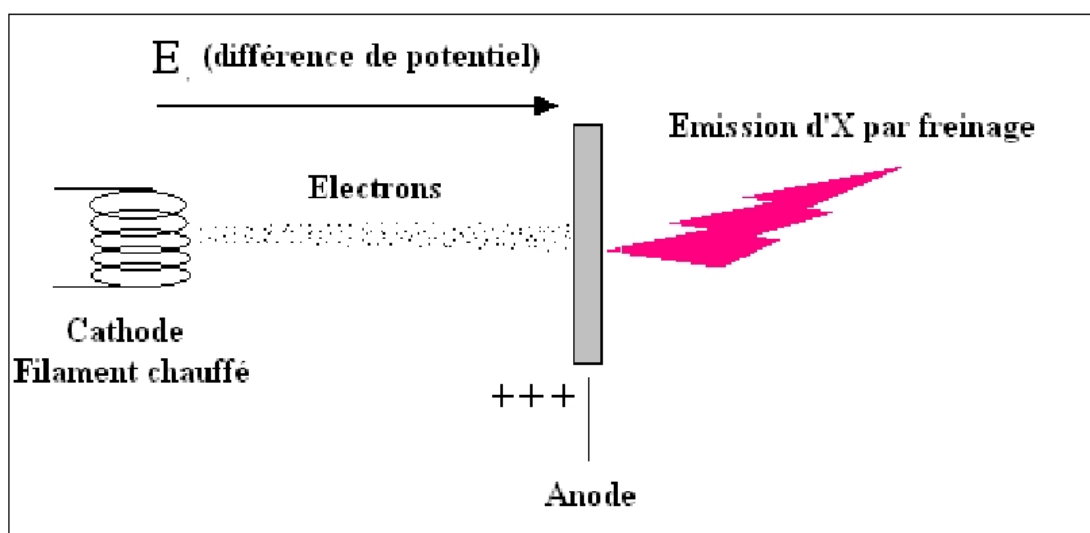
### II.2.2/ Principe de fonctionnement

Pour produire des rayons  $\chi$ , un générateur est composé d'un tube radiogène, d'un générateur de haute tension et d'une console de commande. Lorsque des électrons sont accélérés et perturbent une cible matérielle dense, on observe à distance le noircissement d'une plaque photographique. Ce phénomène se produit car il s'est produit une interaction entre les électrons et les atomes de la cible qui produit un rayonnement  $\chi$  (à l'origine du noircissement des films).

Ces rayonnements ont été initialement mis en évidence par les tubes de Coolidge constitués :

- d'une source d'électrons (filament chauffé) qui émet des électrons,
- d'une tension appliquée entre la source et la cible qui permet d'accélérer les électrons,
- d'une cible (généralement en tungstène) qui va freiner une petite partie des électrons par

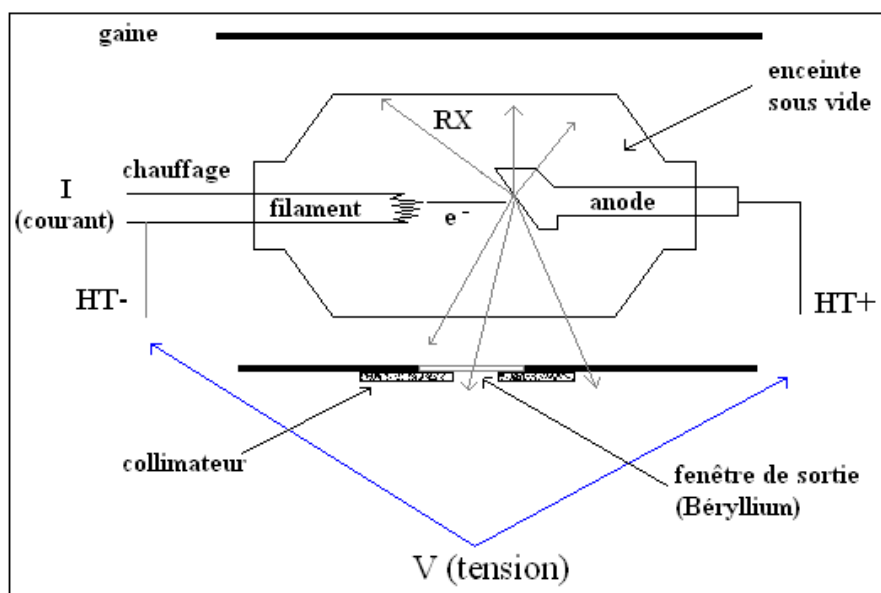
interaction qui va perdre son énergie par formation de rayons  $\chi$ . L'essentiel de l'énergie cinétique des électrons est transformé en chaleur (rendement très faible).



Document 3 : Phénomène de création des rayons  $\chi$

## II.2.2.1/ Le tube radiogène

Le schéma suivant représente le tube d'un générateur. Ce tube est composé d'une cathode responsable de l'émission des électrons et d'une anode qui est la source de production des rayons  $\chi$ . Le tube est enfermé dans une ampoule en verre assurant le vide et permettant l'évacuation de la chaleur qui sera produite lors de la production des rayons  $\chi$ .



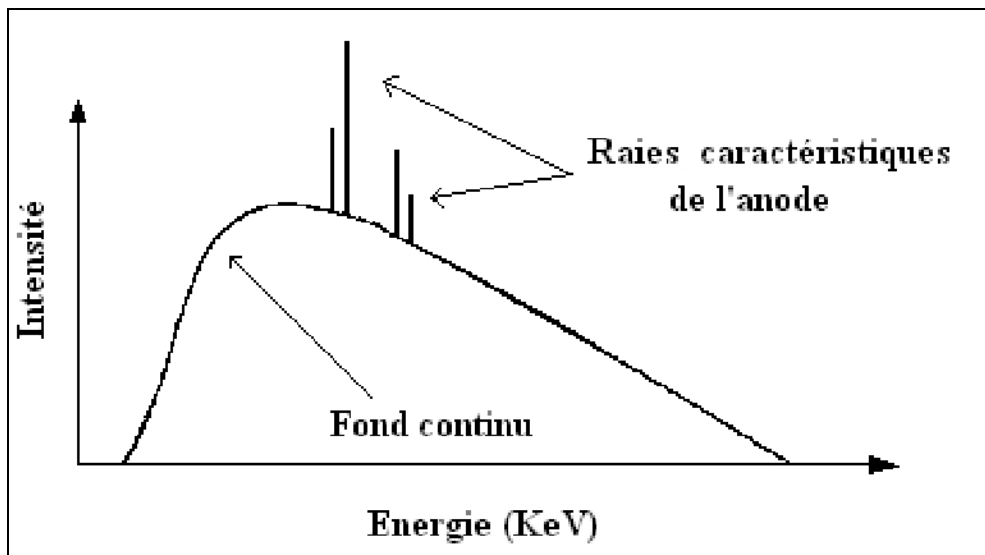
Document 4 : composition d'un tube de générateur de rayons  $\chi$ .

Cet ensemble est entouré d'une gaine de protection assurant l'intégrité du dispositif et permettant d'évacuer la chaleur et de limiter la dispersion des rayons  $\chi$  autour de l'appareil.

Quel que soit le tube, la génération des rayons  $\chi$  se produit toujours de la même façon. Une tension électrique élevée est appliquée entre les deux électrodes disposées sous vide dans l'ampoule de verre.

La cathode qui est un filament en spirale composé généralement de Tungstène et de trace de Thorium est amenée à très haute tension et émet des électrons par thermo-émission. Ces électrons sont accélérés par différence de potentiel et projetés vers l'anode.

L'anode qui est aussi appelée « cible » correspond à la partie positive du tube. Lorsque les électrons entrent en contact avec cette dernière, leur énergie cinétique est transformée en énergie électromagnétique donc en rayonnement  $\chi$ . En effet, les électrons sont freinés par les atomes de la cible et créent un rayonnement continu de freinage (fond continu) dont une partie du spectre se situe dans le domaine des rayonnements  $\chi$ . Ces rayons résultants vont à leur tour entrer en contact avec les atomes de la cible qui vont être excités et réémettre des rayons  $\chi$  caractéristiques de la fluorescence  $\chi$ . De plus les effets associés présentés dans le chapitre II.1.3 se produisent aussi lors du freinage des électrons. L'effet photoélectrique va produire des raies caractéristiques de l'anode, la diffusion Compton va créer la superposition du spectre Compton sur le fond continu et enfin la production de paires va être à l'origine de l'apparition de pics parasites à 511 KeV ou 1022 KeV. Toutefois ces effets associés n'auront qu'une faible contribution.



Document 5 : spectre d'un tube de rayons  $\chi$ .

A cause de l'émission des rayons  $\chi$  dans toutes les directions et de l'absorption partielle de ces rayons dans l'anode le rendement de production est de l'ordre de 1%. Le reste du rendement correspond à une production importante de chaleur au niveau de l'anode. Celle-ci est dissipée par bain d'huile et éventuellement par circulation d'eau. Pour ces raisons, l'anode est souvent en Tungstène, matériel qui a un numéro atomique élevé (facilite les interactions électroniques) et qui résiste bien à la chaleur (température de fusion égale à 3700K)

Une fenêtre de sortie est coupée dans l'enveloppe de verre et est remplacée par du Béryllium, un métal plus transparent aux rayons  $\chi$  que le verre et qui va permettre de filtrer les faibles énergies (non utile pour l'imagerie mais qui augmente la dose reçue au niveau de la cible). Cette fenêtre est associée à un collimateur et va ainsi permettre d'extraire les rayons du générateur et de les collimater. Parfois un faisceau lumineux simulant l'axe du faisceau des rayons  $\chi$  permet de positionner correctement l'objet à radiographier avant chaque tir.

### II.2.2.2/ Le générateur haute tension

Les générateurs à haute tension adaptent le courant électrique fournit au besoin du tube radiogène. Il a les fonctions suivantes :

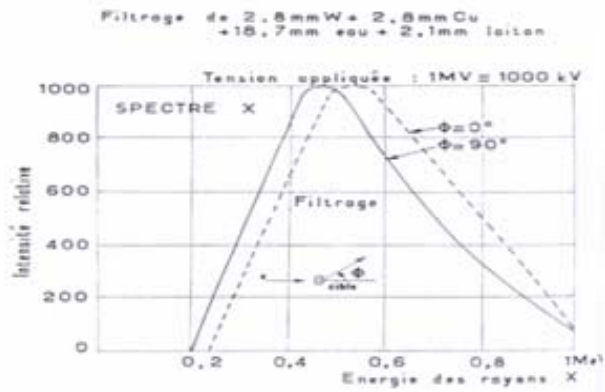
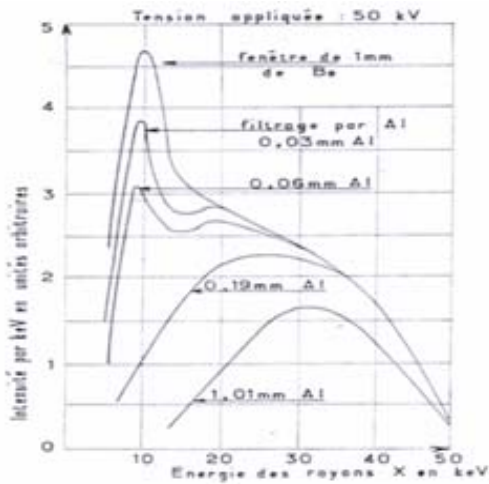
- il redresse le courant alternatif en courant continu,
- il chauffe la cathode du tube afin d'obtenir l'intensité souhaitée dans le tube,
- il détermine le temps d'application de la haute tension sur le tube,
- il assure la sécurité du tube en vérifiant les valeurs des tensions et intensités appliquées.

Les paramètres importants à prendre en compte lors de l'utilisation des générateurs à rayons  $\chi$  sont l'intensité du courant et la tension appliquée entre les deux électrodes.

L'intensité du courant (mA) appliquée détermine le nombre d'électrons qui seront arrachés à la cathode et par-là même le débit du rayonnement émis. Seul le flux augmente lors de l'augmentation de l'intensité du courant. La différence de potentiel (kV) entre les deux électrodes va jouer sur l'accélération des électrons et donc sur l'énergie maximale émise. La tension maximale est obtenue à partir de la tension délivrée par la batterie qui est ensuite transférée, stockée et démultipliée afin d'obtenir la tension maximale d'utilisation (comprise entre 20 et 400 kV). Cette tension sera ensuite appliquée sur le tube.

Le spectre d'énergie obtenu sera caractérisé par une énergie maximale égale à la tension du tube et une énergie moyenne dont la formule est la suivante :

$$E_{moy} = \frac{2 \times E_{max}}{3}$$



Document 6 : Rapport Energie/Intensité.

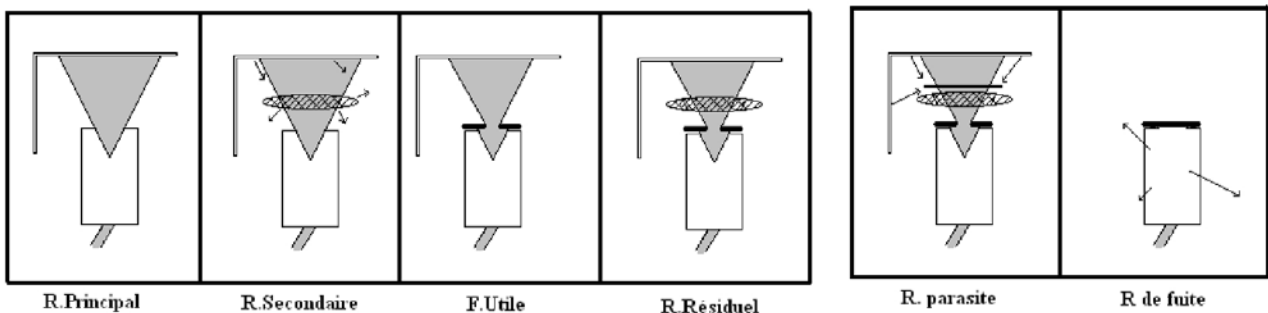
### II.2.3/ Composition du faisceau

Le faisceau issu d'un générateur peut être décomposé en plusieurs rayonnements qu'il faudra prendre en compte dans l'estimation des risques d'exposition des personnes.

Le faisceau primaire est celui qui est directement issu de l'appareil. Ce faisceau va être diffusé par les parois de l'objet et de tout obstacle qu'il rencontrera. Les faisceaux induits par ces interférences sont appelés faisceaux secondaires.

Lorsque le faisceau est délimité par le collimateur et est adapté à l'objet à radiographier, on parle alors de faisceau utile. Lorsque l'objet est radiographié le rayonnement qui n'est pas absorbé par la matière est appelé rayonnement résiduel.

Le rayonnement parasite n'appartient pas au faisceau mais vient frapper le détecteur. Enfin le rayonnement de fuite correspond au rayon capable de traverser la gaine du générateur en dehors du collimateur.



Document 7 : composition d'un faisceau de rayonnements

Toutes les sources de rayonnement sont entourées d'un champ de particules : même si elles émettent un faisceau bien défini géométriquement, des phénomènes secondaires de diffusion comme nous venons de le voir, font que le champ réel est beaucoup plus complexe, en direction comme en énergie. On peut caractériser le champ de rayonnement en chaque point, en direction comme en énergie.

En effet, le faisceau est caractérisé par la somme des particules qui seront émises et qui dépend de leur nature, de leur direction et de leur énergie. La fluence va correspondre au nombre de particules  $dN$  incidentes sur une sphère de section  $dS$  par unité de surface.

$$\phi = \frac{dN}{dS}$$

avec  $dS$  : surface toujours perpendiculaire au faisceau

Le débit de fluence correspond alors à la variation de la fluence par unité de temps.

$$\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt} \quad \text{en m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ce paramètre est très important dans les calculs de radioprotection.

## II.3/ Réglementation

L'utilisation des appareils générateurs de rayons  $\gamma$  est soumise à une réglementation stricte émanant de directives européennes et de textes réglementaires transposant ces directives en droit national et modifiant le Code de la santé publique et le Code du travail. Ces textes introduisent les dispositions et les normes de base en matière de protection de la population, des travailleurs et des intervenants contre les dangers des rayonnements ionisants.

La réglementation des travailleurs dans le cadre de la mise en œuvre d'appareils fixes produisant des rayonnements ionisants est très complète et beaucoup plus facile à mettre en application. En effet, les appareils ne bougeant pas, la délimitation des zones de travail ainsi que leurs accès par les travailleurs sont bien réalisés par un marquage permanent et par un règlement intérieur mis en place par la Personne Compétente en Radioprotection.

Dans le cas des appareils portables, ces notions ne peuvent plus s'appliquer (en tout cas pas aussi facilement). Il est donc nécessaire de faire un état de la réglementation applicable à ce type d'appareil et qui peut être utile aux intervenants.

Deux principales directives Européennes régissent la réglementation sur l'utilisation de sources radioactives ou de tout appareil capable de produire des rayonnements ionisants, et les conséquences qui y sont liées.

L'utilisation de rayonnements ionisants est soumise à de nombreuses règles. Le fait que ces rayons soient produits à l'aide d'un générateur électrique n'enlève en rien les contraintes réglementaires qui traitent de :

- l'autorisation de détention du matériel,
- sa conformité,
- les conditions de stockage et d'utilisation,
- les formations des personnes responsables du matériel et les personnes qui l'utiliseront,
- les dispositions à mettre en œuvre pour assurer la protection des utilisateurs et du public.

### II.3.1/ Les principaux textes de loi

#### II.3.1.1/ Les textes européens

Directive EURATOM 96/29 du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.  
(Journal officiel de l'Union européenne n°L-159 du 29 juin 1996 page 1)

Ce texte s'applique à toutes les pratiques comportant un risque dû aux rayonnements ionisants émanant soit d'une source artificielle, soit d'une source naturelle de rayonnement lorsque les radionucléides naturels sont traités où l'ont été, en raison de leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles :

- à la production, au traitement, à la manipulation, à l'emploi, à la détention, au stockage, au transport, à l'importation dans la Communauté, à l'exportation à partir de la Communauté et à l'élimination de substances radioactives,
- à l'utilisation de tout appareil électrique émettant des rayonnements ionisants et dont les éléments fonctionnent sous une différence de potentiel supérieure à 5 kV
- à toute autre pratique désignée par l'État membre,



- aux activités professionnelles qui impliquent la présence de sources naturelles de rayonnement et entraînent une augmentation notable de l'exposition des travailleurs ou du public, non négligeable du point de vue de la protection contre les rayonnements,
- à toute intervention en cas de situation d'urgence radiologique ou en cas d'exposition durable résultant des suites d'une situation d'urgence radiologique ou de l'exercice d'une pratique ou d'une activité professionnelle, passée ou ancienne.

Directive EURATOM 97/43 du 30 juin 1997 relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors d'expositions à des fins médicales, remplaçant la directive EURATOM 84/466. (Journal officiel de l'Union européenne n°L-180 du 9 juillet 1997 page 22)

Cette directive complète la directive EURATOM 96/29 et pose les principes généraux de la protection des personnes contre les rayonnements en ce qui concerne les expositions à des fins médicales suivantes :

- l'exposition de patients au titre d'un diagnostic ou d'un traitement médical personnel,
- l'exposition de personnes dans le cadre de la surveillance médicale professionnelle,
- l'exposition de personnes dans le cadre de programmes de dépistage médical,
- l'exposition de personnes en bonne santé ou de patients participant volontairement à des programmes de recherche médicale et biomédicale, diagnostique ou thérapeutique,
- l'exposition de personnes dans le cadre de procédures médico-légales.

La présente directive s'applique également aux personnes qui, en connaissance de cause et de leur plein gré (en dehors de leur profession), participent au soutien et au réconfort de personnes soumises à des expositions à des fins médicales.

### **II.3.1.2/ Les textes français**

Décret n°2001-215 du 8 mars 2001 modifiant le décret no 66-450 du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants. (Journal officiel de la république française n° 59 du 10 mars 2001 page 3869)

Ce décret est le premier texte qui transpose en droit français certains articles de la directive EURATOM 96/29. Il fixe en particulier les nouvelles limites applicables à l'exposition du public, et comporte en annexe les définitions de la dose absorbée, de la dose équivalente et de la dose efficace qui sont désormais en vigueur.

Ordonnance n°2001-270 du 28 mars 2001 relative à la transposition des directives communautaires dans le domaine de la protection contre les rayonnements ionisants. (Journal officiel de la république française n° 77 du 31 mars 2001 texte n°10)

Cette ordonnance traduit dans le code de la santé publique les trois grands principes internationaux fondamentaux de la radioprotection :

**JUSTIFICATION** : Une activité nucléaire ou une intervention ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes,

**OPTIMISATION** : application du principe ALARA (As Low As Reasonably Acceptable), L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ou interventions doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché,

**LIMITATION** : L'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale.

De cette ordonnance de 2001 va découler toute la réglementation française en matière d'exposition aux rayonnements ionisants :

- protection générale des personnes,
- formation et protection des travailleurs dans les domaines médicaux, industriels et de recherches,
- détention et utilisation de sources radioactives ou d'appareils émettant des rayonnements,
- caractérisation des intervenants en cas de situation d'urgence radiologique et formation.

Dans le cas de générateurs de rayons  $\gamma$  portables plusieurs textes réglementaires s'appliquent dans les domaines de la détention, des conditions d'utilisation et de la radioprotection.

### **II.3.2/ Autorisation de détention**

L'utilisation des appareils générateurs de rayons  $\gamma$  est soumise à la réglementation de base énoncée ci-dessus en particulier au travers de :

- la Directive EURATOM 96/29 du 13 mai 1996 qui s'applique à toutes les pratiques comportant un risque dû aux rayonnements ionisants émanant d'une source artificielle de rayonnement et à l'utilisation de tout appareil électrique émettant des rayonnements ionisants et dont les éléments fonctionnent sous une différence de potentiel supérieure à 5 kV.

- l'Ordonnance n°2001-270 du 28 mars 2001 qui détermine les règles pour la manipulation, la détention et l'utilisation des appareils électriques émettant des rayonnements ionisants.

#### **II.3.2.1/ Demande d'autorisation**

La détention des appareils générateurs de rayons  $\gamma$  est soumise à une demande d'autorisation auprès de l'Autorité de Sûreté Nucléaire selon le décret n°2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants repris dans les articles R1333-26 et 27 du Code de la santé publique et le décret n°2007-1582 du 7 novembre 2007 modifiant le code de la santé publique, relatif à la radioprotection (articles R1333-17 et 18 du Code de la santé publique).

La demande doit être accompagnée des guides et manuels d'utilisation et de maintenance ainsi que des résultats des essais effectués pour évaluer leurs performances et leurs systèmes de sécurité.

### II.3.2.2/ Conformité

Pour la détention de ces appareils, il est également imposé « une preuve de conformité » et elle se traduit par deux obligations :

- un marquage CE obligatoire pour les produits couverts par les Directives européennes,
- uUne Certification NF.

Pour tous les appareils, la NORME NF C74-100 relative à la conception et à la fabrication d'appareils générateurs de rayons  $\chi$  énoncée dans l'arrêté du 2 septembre 1991 est exigée.

#### **Arrêté du 2 septembre 1991 déterminant les prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons X utilisés en radiologie industrielle**

Les appareils générateurs électriques de rayons  $\chi$  utilisés en radiologie industrielle, accessoires compris, mis en service après la publication du présent arrêté, doivent satisfaire aux règles fixées à la date de leur mise en service par la norme française homologuée NF C 74-100 concernant les appareils de radiologie appareils à rayons  $\chi$  - Construction et essais, ou par toute autre norme équivalente d'un Etat membre de la Communauté économique européenne.

Pour les appareils fixes, la NORME NF C75-160 et les annexes relatives à la conception des locaux d'utilisation des appareils générateurs de rayons  $\chi$  énoncée dans l'arrêté du 30 août 1991 est exigée.

#### **Arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons $\chi$**

Les appareils générateurs électriques de rayons  $\chi$  à poste fixe doivent être installés dans un local dont l'aménagement et l'accès doivent satisfaire aux règles générales fixées par la norme française homologuée NF C 15-160 concernant les installations pour la production et l'utilisation de rayons  $\chi$  et aux règles particulières fixées par les normes complémentaires suivantes :

NF C 15-161 pour les installations de radiodiagnostic médical et vétérinaire ;

NF C 15-162 pour les installations de röntgenthérapie ;

NF C 15-163 pour les installations de radiodiagnostic dentaire ;

NF C 15-164 pour les installations de radiologie industrielle.

Cette conformité à la norme doit en outre être apportée par un organisme certificateur qui va vérifier le respect des prescriptions et délivrer à la société qui commercialise l'appareil une attestation qui lui permettra d'établir un bulletin d'identification normalisé du produit qui sera remis à l'utilisateur.

### II.3.3/ Conditions d'utilisation

#### II.3.3.1/ Personne Compétente en Radioprotection

La détention et l'utilisation des appareils générateurs à rayon  $\chi$  sont soumises à la présence dans l'entreprise d'une PCR, personne compétente en radioprotection. Elle a pour rôle :

- d'effectuer les analyses d'optimisation,
- d'effectuer les contrôles périodiques des appareils,
- de gérer la dosimétrie opérationnelle et d'alerter le médecin en cas de dépassement,
- de veiller au respect des mesures de protection,
- de recenser les modes de travail susceptibles de conduire à des expositions exceptionnelles ou accidentelles,

- d'élaborer un plan d'intervention en cas d'incident, doit pouvoir le mettre en œuvre et prendre les mesures d'urgence,
- de participer à la formation à la sécurité des personnels exposés.

**Arrêté du 26 octobre 2005 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification du formateur**

(Journal officiel de la république française n°272 du 23 novembre 2005)

Cet arrêté abroge l'arrêté du 29 décembre 2003 relatif à la formation de la PCR (personne compétente en radioprotection). Dans ce nouvel arrêté, les secteurs d'activité sont : médical, INB-ICPE, industrie et recherche. La formation comprend deux modules, un théorique (30 heures au minimum) et un pratique avec deux options, dont la durée dépend du secteur d'activité et de l'option (option 1 relative à la détention ou à la gestion de sources radioactives scellées, accélérateurs de particules et d'appareils électriques émettant des rayons  $\gamma$ ).

Sachant que la formation à une validité de 5 ans, une formation de renouvellement est mise en place à destination des PCR exerçant régulièrement cette activité.

*Modifié par l'Arrêté du 13 janvier 2006 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2005 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification du formateur*

### **II.3.3.2/ Contrôles**

Les appareils générateurs de rayons  $\gamma$  conformément à l'arrêté du 26 octobre 2005 en application de l'article R231-84 et R231-106 du code du travail, devront être contrôlés par la PCR à la réception, avant sa première utilisation, si les conditions d'utilisation sont modifiées et surtout de façon périodique.

Indépendamment des contrôles techniques effectués par la PCR, les appareils générateurs de rayons  $\gamma$  doivent être contrôlés périodiquement (au moins 1 fois par an) par un organisme agréé ou par l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire).

### **II.3.3.3/ Formation des utilisateurs**

Conformément à l'arrêté du 21 décembre 2007 et en application de l'article R231-91 du code du travail, les appareils générateurs de rayons  $\gamma$  figurant sur une liste fixée par une décision de l'Autorité de Sûreté Nucléaire ne peuvent être manipulés que par des personnes titulaires d'un Certificat d'Aptitude à Manipuler les Appareils de Radiologie Industrielle (C.A.M.A.R.I).

Cette liste tient compte de la nature de l'activité exercée, des caractéristiques et le cas échéant, des modalités de mise en oeuvre de l'appareil.

Ce certificat d'aptitude est délivré depuis le 28 juin 2008 exclusivement par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Avant cette date les validités des CAMARI étaient de 9 ans dorénavant la validité est ramené à 5 ans. Depuis le 28 juin 2008, tout candidat qui souhaite s'inscrire au CAMARI doit avoir suivi une formation spécifique le préparant à cette épreuve. Cette formation est obligatoire à la fois pour présenter l'examen pour la première fois mais aussi en cas de renouvellement. Cette formation doit être dispensée par un organisme de formation compétent.

Pour le personnel relevant de la défense nationale et uniquement ceux là, les épreuves du CAMARI sont organisées par le Service de protection radiologique des Armées, sous la responsabilité de l'IRSN qui délivre le CAMARI.

Selon un autre arrêté du 21 décembre 2007 qui fixe la liste des appareils pour lesquels la manipulation requiert le C.A.M.A.R.I. , il apparaît que les appareils générateurs de rayons  $\gamma$  fonctionnant sous une différence de potentiel inférieure à 200 kV ou une puissance absorbée par le tube radiogène inférieure ou égale à 150 W ne réclament pas nécessairement la possession du C.A.M.A.R.I. pour leur utilisation.

**Arrêté du 21 décembre 2007 définissant les modalités de formation et de délivrance du Certificat d’Aptitude à Manipuler les Appareils de Radiologie Industrielle (C.A.M.A.R.I.)**  
(Journal officiel de la république française du 28 décembre 2007 texte n°34)

**Arrêté du 21 décembre 2007 portant homologation de la décision n° 2007-DC-0074 de l’Autorité de Sûreté Nucléaire du 29 novembre 2007 fixant la liste des appareils ou catégories d’appareils pour lesquels la manipulation requiert le Certificat d’Aptitude à Manipuler les Appareils de Radiologie Industrielle (C.A.M.A.R.I.) mentionné au premier alinéa de l’article R231-91 du Code du travail**  
(Journal officiel de la république française du 28 décembre 2007 texte n°35)

### **II.3.4/ Radioprotection**

Comme nous l’avons vu au chapitre II.3.1.2 selon l’Ordonnance n°2001-270 du 28 mars 2001, les trois grands principes internationaux fondamentaux de la radioprotection sont :

- JUSTIFICATION de l’activité,
- OPTIMISATION des expositions aux rayonnements,
- LIMITATION des doses.

Il faut constamment s’assurer que ces règles de radioprotection soient respectées et cela passe obligatoirement par une formation sérieuse des personnels effectuée par la PCR entre autre. Rappelons aussi que le risque principal d’exposition d’un opérateur est lié à une mauvaise utilisation de l’appareil.

La protection contre l’irradiation externe repose sur 3 grands principes qu’il faut toujours avoir à l’esprit en toutes circonstances:

- le temps d’exposition (qui doit être le plus court possible),
- le distance (le débit de dose est inversement proportionnel au carré de la distance),
- les écrans (en béton ou mieux en plomb, ils atténuent grandement les rayonnements).

Les travailleurs sont soumis aux règles du Décret n°2003-296 du 31 mars 2003 (décret dit « travailleurs ») vu au chapitre II.3.1.2. La somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser sur douze mois consécutifs **20 mSv** pour le corps entier, **150 mSv** pour le cristallin **500 mSv** pour la peau, les mains, les avant-bras et les chevilles.

Les intervenants sont eux, soumis aux règles du Décret n° 2003-295 du 31 mars 2003 (décret dit « pompiers » ou « intervenants ») vu au chapitre II.3.1.2. La dose efficace susceptible d’être reçue par les personnels du groupe 1 c’est-à-dire les sapeurs-pompiers spécialistes en risques radiologique, pendant la durée de leurs missions, est de **100 mSv**. Elle est fixée à **300 mSv** lorsque l’intervention est destinée à protéger des personnes. La dose efficace susceptible d’être reçue par les personnels du groupe 2 c’est-à-dire tous les sapeurs-pompiers non spécialistes est de **10 mSv**.

Les agents de la sécurité publique qui effectuent des opérations ou des missions avec des appareils générateurs de rayons  $\chi$  ne sont pas considérés comme des travailleurs. Ils ne sont pas non plus des intervenants au même titre que les Sapeurs-Pompiers.

Il faut donc les considérer au même niveau que la population en terme de radioprotection selon le Décret n° 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants (appelé décret "population") c'est-à-dire que la dose admissible est de **1 mSv par an**. Sans préjudice de la limite définie pour les doses efficaces, les limites de dose équivalente admissibles sont fixées pour le cristallin à **15 mSv par an** et pour la peau à **50 mSv par an** en valeur moyenne pour toute surface de 1cm<sup>2</sup> de peau, quelle que soit la surface exposée.

Les mesures de protection individuelle et collective sont prévues dans le décret n°2007-1570 du 5 novembre 2007 par l'article R231-87 du code du travail

**Décret n°2007-1570 du 5 novembre 2007  
modifiant le code du travail, relatif à la radioprotection**

(Journal officiel de la république française du 7 novembre 2007 texte n°19)

Ces modifications concernent notamment les contrôles techniques des dosimètres, les modalités de réalisation des contrôles techniques d'ambiance, la formation des travailleurs utilisant des appareils de radiologie industrielle, ainsi que la formation et les missions de la personne compétente en radioprotection.

#### **II.3.4.1/ Détection**

On ne peut pas avoir une bonne radioprotection sans avoir des moyens de détection des rayonnements ionisants. Le choix des appareils est important pour ce type de rayonnement.

Les radiamètres à chambre d'ionisation sont les plus appropriés et doivent être calibrés dans la gamme d'énergie que l'on désire mesurer, ceux possédant des plages de lecture entre 10 $\mu$ Sv/h et 10 mSv/h sont idéaux. Le temps de réponse de l'appareil doit être assez court pour permettre une mesure précise.

Pour éviter de sous-estimer le débit produit par un appareil de rayons  $\chi$ , le faisceau de radiation devra être plus large que l'aire de détection du radiamètre. Il sera donc nécessaire de ne pas positionner le radiamètre trop près de la sortie du faisceau de radiation au risque d'avoir une valeur lue sous-estimée.

#### **II.3.4.2/ Dosimétrie**

Selon l'article R231-93 du code du travail, chaque travailleur appelé à intervenir en zone surveillée, en zone contrôlée ou sur les lieux de travail doit faire l'objet d'un suivi dosimétrique adapté au mode d'exposition, il est assuré par des mesures individuelles, appelées dosimétrie passive. (film dosimètre)

Selon l'article R.231-94 du code du travail, tout travailleur intervenant en zone contrôlée ou sur les lieux de travail doit faire l'objet, du fait de l'exposition externe, d'un suivi par dosimétrie active ou opérationnelle (dosimètres électroniques de poche).

La personne compétente en radioprotection, mentionnée à l'article R.231-106, communique périodiquement, sous leur forme nominative, à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, les résultats de la dosimétrie opérationnelle pour chaque travailleur exposé.

## **Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants**

(Journal officiel de la république française n° 262 du 13 novembre 2003 page 19326)

Cet arrêté précise les modalités de calcul de la dose efficace et de la dose équivalente :

- La dose efficace reçue par un individu est la somme des doses efficaces résultant des expositions externe et interne aux rayonnements ionisants. Elle est calculée selon les dispositions figurant dans l'annexe I de l'arrêté
- Les définitions et les méthodes qui doivent être utilisées pour le calcul de la dose efficace et de la dose équivalente résultant d'une **exposition externe** sont définies en annexe II de l'arrêté
- Pour le calcul de la dose efficace résultant d'une **exposition interne** aux radionucléides sont utilisées les valeurs de doses efficaces engagées par unité d'incorporation de chaque radionucléide, telles que définies en annexe III de l'arrêté

### **II.3.4.3/ Effets biologiques**

Les rayonnements provenant des appareils générateurs de rayons  $\chi$  sont des ondes électromagnétiques très ionisantes. En général, lorsque le rayonnement traverse la matière, son interaction est probabiliste, c'est-à-dire qu'il y a parfois une interaction, parfois pas. Lorsqu'un rayonnement ionisant traverse un milieu formé de cellules d'un organisme vivant, l'interaction avec les cellules peut être directe ou indirecte. Au niveau cellulaire, l'interaction directe avec l'ADN ou d'autres composants peut causer des dommages. Lors d'une interaction indirecte, des ions réactifs sont formés par le bris de molécules d'eau présentes dans les cellules et peuvent interagir avec d'autres composants cellulaires ce qui peut provoquer des dommages. Cela peut se traduire par 3 éventualités :

- Les cellules endommagées peuvent être complètement réparées par les mécanismes naturels du corps et il n'y a pas de conséquences.
- Les cellules endommagées meurent massivement, le fonctionnement des tissus et organes est affecté. L'atteinte est proportionnelle à la dose et des doses seuils peuvent être déterminées pour chaque pathologie (vertiges, vomissements, modification formule sanguine, érythème, phlyctènes, cataracte, perte cheveux et poils, etc...); il s'agit d'effets déterministes, conséquences des doses élevées.
- Les cellules endommagées survivent mais sont lésées, se transforment et deviennent des cellules mutées. Elles entraînent après une période de latence de quelques années des leucémies ou des cancers. L'atteinte n'est pas proportionnelle à la dose et il n'existe pas de dose seuil. Chaque individu n'est pas égal devant ce type de conséquence. Ce sont les effets aléatoires ou stochastiques à conséquences différées.

Il est vrai que pour les faibles doses, il est difficile d'associer l'apparition d'un effet à une dose d'exposition (d'ou l'application du principe A.L.A.R.A), à partir d'une certaine valeur, on peut associer des syndromes et symptômes d'irradiation dont les principales limites sont les suivantes :

- lorsque la dose absorbée est inférieure à 0,25 Gy, il n'y a pas de symptômes identifiés,
  - la forme asymptomatique existe lorsqu'il y a une exposition inférieure à 1 Gray. On observe un syndrome gastro-intestinal avec des modifications transitoires de la formule sanguine avec une augmentation de certains globules blancs et éventuellement modification de la carte chromosomique. Dans tous les cas la guérison sera assurée à court terme.
  - la forme hématologique est consécutive à une exposition de 2 à 4 grays permet la survie dans la plupart des cas lorsqu'il y a un traitement adapté pour combattre l'infection. En cas d'absence de traitement il y aura évolution vers la mort par hémorragie ou infection.
- On estime que lors d'une exposition ayant créé une dose absorbée de 4,2 Gy, la moitié des personnes exposées décèderont en 60 jours en l'absence de traitement.

- la forme intestinale est consécutive à une exposition de 6 à 7 grays, entraîne généralement la mort en quelques jours après l'apparition de troubles digestifs correspondant à des lésions de l'intestin.

- la forme nerveuse est consécutive à une exposition supérieure à 10 grays qui se traduit par des convulsions de type épileptique suivies de la mort après quelques minutes ou quelques heures.

#### II.3.4.4/ Zonage

Pour les appareils générateurs de rayons  $\gamma$  en installation fixe et selon l'article R.231-89 du code du travail et l'arrêté du 15 mai 2006, les travailleurs susceptibles d'intervenir en zone surveillée, en zone contrôlée ou sur les lieux de travail des établissements mentionnés au deuxième alinéa du II de l'article R.231-73 bénéficient d'une formation à la radioprotection organisée par le chef d'établissement. Cette formation porte sur les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, les procédures générales de radioprotection mises en oeuvre dans l'établissement ainsi que sur les règles de prévention et de protection fixées par les dispositions de la présente section. Elle est adaptée aux procédures particulières de radioprotection touchant au poste de travail occupé ainsi qu'aux règles de conduite à tenir en cas de situation anormale.

La zone est déterminée par :

- un plan avec courbes isodoses,
- un panneau conventionnel,
- un avertissement lumineux asservi au démarrage,
- un affichage des consignes avec noms du médecin de prévention et de la PCR.

**Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées**

(Journal officiel de la république française n°137 du 15 juin 2006 page 9001)

Cet arrêté précise les délimitations en termes de débits de dose des zones surveillées, des zones contrôlées et des zones spécialement réglementées.

Pour les appareils générateurs de rayons  $\gamma$  mobiles ou portables utilisés par les agents de la sécurité publique qui effectuent des interventions urgentes sur des sites différents selon leurs missions, le zonage se traduit par une zone d'exclusion placée à une limite où l'équivalent de débit de dose ne pourra pas dépasser 2,5  $\mu\text{Sv/h}$ . A titre exceptionnel, la valeur du débit d'équivalent de dose moyen, évalué sur la durée de l'opération, peut être supérieur à 2,5  $\mu\text{Sv/h}$  mais ne doit pas dépasser 25  $\mu\text{Sv/h}$

En général le périmètre à priori est d'environ 100 mètres (puisque pour les contrôles de colis suspect, le risque explosif reste majorant) et peut être affiné selon le périmètre et le cône d'exclusion spécifiques à chaque type d'appareil.

Chaque appareil doit posséder une étude de rayonnement permettant de délimiter les zones de travail en terme de radioprotection à la fois pour les opérateurs mais aussi et surtout pour le public.



## **II.4/ Utilisateurs et domaines d'emploi**

Les rayons  $\chi$  pénètrent facilement la « matière molle », c'est-à-dire la matière solide peu dense et constituée d'éléments légers comme le carbone, l'oxygène et l'azote. Ils sont absorbés par la « matière dure », c'est-à-dire la matière solide dense dont le numéro atomique est élevé.

On a donc conçu des appareils émettant des rayons  $\chi$  afin de vérifier à partir d'une image radiographique, l'intégrité de structures, d'un organisme ou de composants. Cette image permet d'obtenir des clichés qui traduisent l'opacité plus ou moins marquée par une teinte plus ou moins claire.

Cette technique s'applique à la radiographie médicale, à la recherche et à l'industrie. Dans l'application médicale, les rayons  $\chi$  traversent les chairs et sont arrêtés par les os. Dans le cas d'applications industrielles liées aux contrôles de pièces mécaniques, la radiographie est une technique de contrôle non destructif qui permet de détecter des défauts comme des porosités ou des fissures internes dans une pièce.

### **II.4.1/ Les générateurs fixes**

Ce sont les plus utilisés et l'application la plus courante est la radiographie médicale humaine ou animale. On les trouve dans :

- les hôpitaux et les cliniques,
- les cabinets radiologiques,
- les cabinets dentaires,
- les cabinets vétérinaires,
- les laboratoires de recherche.

Ils sont aussi beaucoup utilisés dans le domaine industriel et on les retrouve dans :

- les usines de fabrication mécanique,
- les usines agro-alimentaires,
- les usines de construction aéronautique,
- les laboratoires de recherche.

Des installations fixes peuvent aussi se rencontrer dans d'autres domaines :

- contrôle douaniers,
- contrôle des bagages à l'embarquement dans les ports et aéroports,
- contrôle d'œuvre d'art ou archéologique.

### **II.4.2/ Les générateurs mobiles**

Les appareils dénommés mobiles, portables ou portatifs sont faciles à utiliser sur un site de travail temporaire. Certains peuvent même être actionnés par un seul employé.

#### **II.4.2.1/ Les différents domaines**

Les appareils mobiles générateurs de rayons  $\chi$  sont moins courants et sont utilisés dans le cas où c'est l'appareil qui doit se déplacer sur le terrain pour des raisons diverses et variées :

- dans le domaine médical il existe des appareils mobiles qui se déplacent sur roulettes pour aller au chevet des patients que l'on ne peut pas déplacer,
- pour effectuer des radiographies pour les animaux de grandes tailles (équidés, bovins, ou animaux sauvages dans les zoo) que l'on ne peut pas déplacer facilement dans les cabinets, les vétérinaires utilisent des appareils portatifs,
- de nombreux appareils mobiles sont aussi utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics comme les chantiers de construction en tous genres, les ponts, les oléoducs, les plates-formes de forage en mer, etc....,
- on utilise aussi les appareils mobiles sur les sites archéologiques et dans les musées pour radiographier des œuvres d'art.

Dans le domaine des services publics, domaine qui nous concerne principalement, les générateurs de rayons  $\gamma$  servent aux différents services de l'état pour effectuer des levées de doute sur les objets et colis suspects qu'il est souhaitable de ne pas déplacer. Ces services sont principalement :

- Les services du déminage de la Sécurité Civile,
- La Police Scientifique dans le cadre d'enquêtes judiciaires spécifiques,
- Les militaires spécialisés en déminage (NEDEX).

Au même titre que les utilisateurs d'appareils fixes, ces services sont soumis à la réglementation détaillée précédemment que cela soit pour la détention des appareils, de la formation des personnels et pour les règles d'application de la radioprotection.

#### II.4.2.2/ Les appareils

Les caractéristiques des appareils utilisés le plus couramment par exemple par les services de sécurité publique sont les suivantes :

<b>Energie photons maxi</b>	150 keV à 300 keV
<b>Poids</b>	2 à 6 kg
<b>Performance moyenne dans l'acier</b>	1 à 2,5 cm
<b>Alimentation batterie Ni-Cad</b>	7,2 à 14,4 v rechargeable en 1h
<b>Durée des impulsions</b>	50 nanosecondes
<b>Nbre d'impulsions réglable par tir</b>	1 à 99
<b>Fréquence des impulsions</b>	10 à 25 par seconde
<b>Nbre maxi de impulsions</b>	100 à 200 puis repos 3 à 4min
<b>Autonomie maxi</b>	1h soit de 2 500 à 4 000 impulsions
<b>Angle d'émission des rayons X</b>	40 degré vers l'avant
<b>Durée de vie du tube</b>	50.000 à 200.000 impulsions

Ces appareils peuvent fonctionner selon 2 types de système d'imagerie :

- sur film radiographique,
- en radioscopie à vision directe sur écran d'ordinateur.

Les appareils se pilotent par des commandes à distance à fil ou sans fil par liaison radio. Afin de répondre à la norme C74-100, les retardateurs ont été supprimés afin d'assurer plus de sécurité pour les opérateurs (Le risque pouvait être présent si l'opérateur avait un problème après le déclenchement du retardateur et ne pouvait pas se mettre à l'abri).

Les appareils utilisés par les unités du Ministère de la défense et du Ministère de l'intérieur ont une dérogation par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour maintenir l'utilisation de ce retardateur pour des raisons opérationnelles.

## **II.4.3/ Risques liés à l'emploi de générateurs de rayons X mobiles**

### **II.4.3.1/ Risques liés aux générateurs de rayons $\chi$**

En installation fixe, les appareils générateurs de rayons  $\chi$  représentent certes des risques pour les utilisateurs mais sont implantés dans des environnements adéquats et balisés. L'accès est réglementé et seul le personnel habilité est autorisé à pénétrer dans la zone et à s'en servir. Les accidents les plus fréquents sont liés à la mauvaise utilisation de l'appareil par les opérateurs. Il est à noter que les appareils utilisés pour la recherche peuvent être particulièrement dangereux dans le cas d'installation ancienne ou sur des montages expérimentaux.

Pour les appareils mobiles, les risques résident dans le fait qu'ils sont utilisés dans des environnements divers et non conventionnels, parfois urbains où la population peut être exposée. Il n'y a pas de zone prévue et un périmètre improvisé doit être mis en place au cas par cas. De plus les appareils qui fonctionnent sous une différence de potentielle inférieure ou égale à 150 Kv peuvent être utilisés par du personnel non formé (pas de CAMARI obligatoire).

### **II.4.3.2/ Moyens de détection et de calcul du rayonnement**

Le principal inconvénient tient du fait que les générateurs portables fonctionnent à flux pulsé. Un tir est composé de plusieurs impulsions (de 1 à 99 impulsions) qui permettent d'atteindre un niveau d'énergie plus important et par conséquent la capacité de traverser des milieux plus dense.

Dans les appareils mobiles couramment utilisés, le temps théorique d'une impulsion est de l'ordre de 50 nanosecondes. Hors les temps d'incrémentation de tous les appareils de détection portables sont supérieurs au temps d'une impulsion (plutôt de l'ordre de la microseconde) ; le détecteur ne voit presque rien.

Pour utiliser le bon appareil de mesure, il faut définir ce que l'on veut mesurer. Veut-on faire de la détection ou de la mesure ?

Pour effectuer une détection, il faut utiliser un scintillateur fin capable de mesurer les rayonnements  $\chi$ , à partir d'une énergie de 5 KeV. Les principaux détecteurs de rayonnements  $\chi$ , utilisés par les services de secours sont les sondes  $\chi$  à scintillateurs fins.

Pour assurer la radioprotection du personnel, il faut travailler avec des appareils fonctionnant avec des chambres d'ionisation. Pour estimer un débit de dose, il faut intégrer plusieurs tir consécutifs afin d'estimer à plusieurs distances de l'appareils, des valeurs de débit de dose.

Par expérimentations effectuées par des organismes publics et privés, les appareils mesurant des gammes d'énergie inférieure à 10 KeV se sont révélés les plus efficaces soient :

- la Babyline 81 sans capot ( $E > 8$  KeV) en mode intégration,
- la Victoreen type ASM-990 + sonde X à fenêtre très fine ( $E > 6$  KeV) en mode intégration.

Toutefois si l'on ne dispose pas de d'appareils de détection suffisamment sensibles, il est possible d'estimer le débit de dose par un calcul théorique qui répond à la formule suivante :

$$\text{Débit d'équivalent de dose} = \frac{I \times E \times R}{e \times 4\pi \times d^2} \times C$$

Avec I = courant en Ampère

E = la tension en MV

R = rendement de freinage du matériau constituant l'anode (ou anticathode) à la tension (2E/3)

e = la charge d'un électron ( $1,6.10^{-19}C$ )

d = distance en cm du point de calcul

C = coefficient de conversion en débit d'équivalent de dose par débit de fluence énergétique.

*Ce calcul ne tient pas compte de l'atténuation due à la fenêtre de sortie du tube*

Pour obtenir rapidement un ordre de grandeur, il est possible de faire certaines approximations :

- coefficient de conversion constant égal à  $0,02 \mu Sv.h^{-1}$  par  $MeV.cm^{-2}.s^{-1}$  de 60 KeV à 10MeV
- $R = (Z \times E)/1200$

$$\text{Débit d'équivalent de dose à 1 mètre} = 8,3.10^8 \times Z \times I \times E^2$$

Avec Z = le numéro atomique de l'élément constituant la cible

### II.4.3.3/ La dosimétrie

Toute personne susceptible d'être exposée aux rayonnements provenant d'un appareil émettant des rayons  $\chi$  doit être équipé d'un dispositif individuel de mesure d'irradiation :

- dosimètre passif (obligatoire)
- dosimètre opérationnel (simplement conseillé par les protocoles de travail instaurer par les agents de la sécurité publique)

Pour les mêmes raisons qu'évoquées ci-dessus :

Les dosimètres passifs à film photographique ou à thermoluminescence (TLD) sont remplacés progressivement depuis 2008 par le nouveau dosimètre radio photoluminescent (RPL) qui repose sur l'utilisation de verres « dopés » à l'argent qui, placés sous un faisceau ultraviolet, émettent de la lumière dont l'intensité est proportionnelle à la dose. Plus performant dans beaucoup de domaines (traitement des résultats, seuils plus bas, réponse en énergie, linéarité), il permet dans notre cas de mesurer des photons de faible énergie.

Les dosimètres opérationnels en fonctionnement de débitmètre ou intégrateur électronique de type DMC2000 (E > 20 Kev), Dosicard (E > 30 Kev), ou saphydose (E > 50 Kev) ne permettent pas d'évaluer la dose délivrée. Le plus sensible reste toutefois les DMC2000 qui permettent de mesurer les équivalents de dose en Hp(10) et Hp(0,07) pour les modèles XB Les seuls appareils qui semble efficaces sont ceux d'anciennes générations tels que :

- Le Styldosimètre SEQ6 (E > 10 Kev) avec un détecteur à chambre d'ionisation.

Il est donc nécessaire de garder dans les CMIR des sapeurs-pompiers, ce genre de matériel considéré souvent aujourd'hui comme obsolète mais qui pourrait être utile pour toute intervention concernant des appareils mobiles générateurs de rayons  $\chi$ .

#### II.4.3.4/ Périmètres de sécurité

Les principales mesures réalisées ont été obtenues au cours d'essais menés par des organismes publics et privés. Les mesures d'intégrations sont réalisées par accumulation d'un grand nombre de tir, tous réglés au maximum d'impulsions (soit 99 impulsions par tirs) avec un appareil délivrant 150 KeV.

Ces essais traduiraient une situation accidentelle puisque en réalité, au moins pour le service de déminage de la sécurité civile, le nombre de tirs réalisés par colis est de trois maximum avec un réglage de 25 impulsions (en moyenne) par tirs.

Les valeurs moyennes en fonction du type de matériel à radiographier sont les suivantes :

- de 1 à 5 impulsions pour les matières tels que le carton, le bois et le plastique,
- d'environ 10 impulsions pour les alliages,
- d'environ 50 impulsions pour l'acier.

En considérant un tir à 99 impulsions, ce dernier va durer :

$99 \times 60 \text{ nanosecondes} = 5,94.10^{-6} \text{ secondes}$
---

Les résultats d'intégration obtenus avec une Babyline 81 sont de l'ordre de 3mGy à 4mGy pour un tir à 99 impulsions à une distance de 30 cm de l'appareil dans l'axe du faisceau. A un mètre de l'appareil (toujours dans l'axe du faisceau) cette valeur est d'environ 0,25 mGy.

	distance 30 cm	distance 100 cm
<b>1 tir à 99 impulsions</b>	4 mGy	0,25 mGy
<b>1 tir à 1 impulsion</b>	0,04 mGy	0,0025 mGy
<b>1 tir à 25 impulsions</b>	1 mGy	0,06 mGy

Ce type d'appareil est prévu pour réaliser un maximum de 3000 impulsions par heure (temps de mesures et temps d'arrêts entre les mesures pour laisser refroidir l'appareil)

Dans ces conditions à 100 cm de la source le débit d'équivalent de dose serait de 7,5 mGy/h et par conséquent le balisage public (2,5  $\mu$ Gy/h) serait de 55 mètres.

Toujours dans les mêmes conditions, le rayonnement  $\chi$  se mesure aussi sur les côtés de l'appareil et à l'arrière. Toutefois ces valeurs sont beaucoup plus faibles et on estime la valeur de 2,5  $\mu$ Sv/h à l'arrière de l'appareil à une distance d'environ 4 mètres.

Le périmètre de sécurité étant effectué d'office à 100 m pour les risques d'explosion des colis et les conséquences des « effets missiles », il englobe largement le périmètre qui serait mis en place pour le risque radiologique sachant que ces calculs sont basés sur 1 heure de travail et qu'en général seulement trois tirs sont réalisés par colis.

## IV/ SYNTHÈSE

Le guide d'intervention sur les incidents mettant en cause des générateurs de rayons  $\chi$  mobiles est avant tout destiné aux spécialistes du risque radiologique, mais les actions réflexes qu'il propose pourront être facilement mises en œuvre par les premiers intervenants (si l'opérateur n'a pas été dans la possibilité de les faire). Il doit en plus fournir des connaissances (ou au moins des rappels) sur l'utilisation et la mise en œuvre des générateurs mobiles.

Une seconde partie plus opérationnelle permettra aux spécialistes de gérer la zone d'intervention et de mettre en œuvre les appareils opérationnels dans les meilleures conditions tout en respectant la réglementation en vigueur.

### IV.1.1/ Connaissances théoriques et techniques du guide

Il est indispensable qu'un intervenant connaisse le principe de fonctionnement du générateur de rayons  $\chi$  afin de pouvoir intervenir dans les meilleures conditions de sécurité. Comme ce guide s'adresse principalement à des spécialistes du risque radiologique il ne semble pas nécessaire de s'attarder sur la théorie de la radioactivité mais préférer à cela le principe de fonctionnement des appareils et les circonstances d'utilisation.

### IV.1.2/ Outils opérationnels

Les interventions concernant les appareils mobiles générateurs de rayons  $\chi$  se traiteront comme toute autre intervention à caractère radiologique. On utilisera les moyens des CMIR et les outils de la gestion opérationnelle et commandement (GOC) appliqués aux risques radiologiques.

#### IV.1.2.1/ Réactions immédiates

Le problème le plus important qui pourrait se produire lors de l'utilisation d'un générateur de rayons  $\chi$  serait :

*L'opérateur est seul, il n'a plus les facultés de gérer son appareil (malaise ou autre) et en même temps l'appareil serait bloqué dans la position tir.*

Après avoir pris le maximum de renseignements auprès du CODIS, il faut penser pendant le temps de déplacement vers le lieu de l'incident à contrôler le bon état de marche des appareils, les faire chauffer (surtout la Babyline) et noter leur bruit de fond.

En arrivant sur les lieux, le risque classique primant sur le risque radiologique, il faut mettre immédiatement les tiers et primo-intervenants en sécurité.

Il faut s'assurer rapidement de :

- la mise hors tension de l'appareil générateur de rayons  $\chi$ . Pour les appareils fixes, cela ne pose en général aucun problème, il suffit de couper à distance le sectionneur électrique de l'installation. Pour les appareils mobiles, l'interrupteur d'arrêt se trouve sur l'appareil puisque il est autonome avec une batterie interne (1h d'autonomie), pour l'atteindre ne surtout pas passer devant le faisceau. Même si l'appareil n'est pas en phase de tir ou est hors tension, il reste un risque

d'émission d'énergie résiduelle durant quelques secondes. (toujours se rapprocher des appareils vers l'arrière).

- la mise en place du balisage de sécurité. L'opérateur aidé par les forces de police l'auront certainement déjà fait mais il faut vérifier la distance mise en place qui est à priori de 100 m.

#### **IV.1.2.2/ Choix de la tenue de protection**

Sur ce type d'intervention, on a la certitude qu'il n'y aura pas de risques de contamination donc comme il s'agit uniquement d'un problème d'irradiation, la tenue type F1 est suffisante.

Seul bémol, si le « colis suspect » pour lequel l'appareil mobile générateurs de rayons  $\chi$  a été mis en œuvre pour la levée de doute est une bombe « sale », on peut avoir malgré tout une présence des substances radioactives. Dans cette hypothèse là, il faudra reconsidérer l'intervention et dimensionner les moyens de secours en conséquence.

#### **IV.1.2.3/ Choix du matériel de détection**

Pour assurer la radioprotection du personnel, les intervenants doivent se munir d'un débitmètre et d'un appareil de détection de photons. Dans notre cas particulier, très peu d'appareils sont compatibles.

Il faut prioritairement travailler avec des appareils fonctionnant avec des chambres d'ionisation et faire avec le matériel présent dans les CMIR c'est-à-dire principalement la Babyline 81 sans capot en mode intégration ou par défaut un « CAB » ou un « MIP 10 » avec une sonde  $\chi$  à scintillateur fin ( $E > 5 \text{ Kev}$ )

#### **IV.1.2.4/ Dosimétrie**

Afin d'assurer le suivi dosimétrique des opérateurs publics et des sapeurs-pompiers, il faudra relever toutes les informations nécessaires à la réalisation d'une cartographie.

Les opérateurs et les sapeurs-pompiers doivent porter des appareils de dosimétrie active et passive.

En ce qui concerne la dosimétrie active, c'est plutôt ceux d'anciennes générations dont certaines CMIR se sont débarrassées ou n'ont plus assuré leur suivi et l'entretien qui convient. Toutefois le port d'une dosimétrie opérationnelle reste obligatoire, il faut juste prendre en compte que l'on peut être soumis à un rayonnement sans que le dosimètre ne puisse le mesurer.

En ce qui concerne la dosimétrie passive, c'est plutôt les nouvelles générations de film dosimètre que toutes les CMIR de France n'ont pas encore qui sont les plus efficaces c'est-à-dire le dosimètre radio photoluminescent (RPL) plus performant que l'ancien film photographique ou à thermoluminescence (TLD) et qui permet dans notre cas de mesurer des photons de plus faible énergie.

#### **IV.1.2.5/ Reconnaissance**

Il est nécessaire d'effectuer une reconnaissance approfondie pour compléter les informations sur l'incident afin de faire l'analyse de la situation.

Pour cela, dès le début on peut se poser les questions suivantes :

- Quelles sont les circonstances de l'accident ?
- A quoi sommes-nous confrontés ?
- Qu'est-ce qui a été déjà fait avant notre arrivée ?
- Quels sont les objectifs ?

- Comment faire pour revenir à une situation normale ?
- Quels sont les besoins en terme de moyens et de personnels ?

Il faut également prendre en compte et recueillir les informations suivantes :

- nom et formation de l'opérateur
- nom du PCR
- caractéristique de l'appareil utilisé et sa puissance nominale
- nombre de tir effectué
- nombre d'impulsions par tirs
- fiche technique de l'appareil et ses essais de balisage normalisés

#### **IV.1.2.6/ Zone d'intervention**

Il faut vérifier la zone d'intervention en s'adaptant à la configuration du terrain surtout si on se trouve en secteur urbain ou très fréquenté (cas des levées de doute de colis piégés). Et surtout s'assurer que personne n'était présent dans cette zone pendant les tirs.

- la zone d'exclusion à 2,5  $\mu\text{Sv/h}$
- le balisage public à 0,5  $\mu\text{Sv/h}$

En outre, il faudra prendre en considération qu'il y a un risque d'explosion du colis suspect avec projection possible de « missiles » et dans ce cas, 100 m minimum est préconisé.

#### **IV.1.2.7/ Conduite d'opération**

Suite aux questions que l'on s'est posé lors de la reconnaissance, on peut définir :

- la situation précise à laquelle on a à faire,
- les objectifs principaux comme par exemple :
  - ✓ prendre en charge des victimes et primo-intervenants,
  - ✓ évaluer le risque radiologique et s'assurer qu'il a été supprimé,
    - les idées de manœuvre comme :
  - ✓ regrouper les victimes et primo-intervenants sur un point de rassemblement précis afin de recueillir un maximum d'informations,
  - ✓ évaluer les doses reçues en relevant les positions de chacun par rapport à l'appareil,
  - ✓ neutraliser la source de rayonnement (coupure de l'alimentation électrique et vérifier la mise en place du collimateur).
  - ✓ surveiller la variation de mesure sur le détecteur à chambre d'ionisation positionné devant le faisceau en mode intégration.

Une intervention sur un générateur de rayons  $\gamma$  sera surtout basée sur une évaluation dosimétrique des personnes qui auraient pu être exposées. Cela se fera après avoir procédé à la mise en sécurité de l'appareil. Dans le cadre une intervention radiologiques sapeurs-pompiers, il faudra toujours appliquer les principes de protection et disposer une double dosimétrie opérationnelle (même si le dosimètre actif ne sera pas d'une grande efficacité).



## V/ CONCLUSION

Du fait de la multiplicité des compétences qui sont demandés de nos jours aux sapeurs-pompiers, il est indispensable qu'ils puissent disposer de guides opérationnels principalement dans des domaines ou les interventions sont les moins fréquentes.

Le guide opérationnel sur les générateurs de rayons  $\chi$  a pour vocation d'être un premier appui de connaissances et d'intervention sur un matériel qui est très réglementé dans le domaine de la radioactivité mais qui reste toutefois assez mal connu car très peu intégré dans les différentes formations dispensées aux sapeurs-pompiers spécialistes du risque radiologique.

Au même titre que le CMICOSCOPE qui couvre le domaine des risques chimiques, le domaine des risques radiologiques a lui aussi besoin de fiches réflexes (ou fiches d'intervention) pour traiter une situation ou un événement mais il a aussi besoin de guides spécifiques sur des appareils tel que les gammagraphes ou les générateurs de rayons  $\chi$ . Certains départements ou certaines structures se sont plus ou moins investis dans le domaine des risques radiologiques qui peut tout simplement s'expliquer par les risques présents auxquels ils peuvent être confrontés quotidiennement (présence d'un CNPE, d'un site de traitement des déchets radioactifs, ou disposer de voies de communications fréquemment empruntées pour du transport de matières radioactives).

Il serait intéressant d'arriver à proposer pour tous les départements et autres services de sécurité civile (Unité d'Instruction et d'Intervention de la Sécurité Civile, Bataillon des Marins Pompiers de Marseille, Brigade des Sapeurs-pompiers de Paris) des documents de travail communs facilement accessible pour tous (par exemple sur un site internet sécurisé) et géré par une et même entité.

# BIBLIOGRAPHIE

## Documentation :

✓ **Manuel de Radioprotection à l'usage des sapeurs-pompiers**  
Ministère de l'intérieur – groupe de travail de Metz – 1992.

✓ **CEA-La collection n°1- L'atome- de l'infiniment grand à l'infiniment petit**  
Commissariat à l'énergie atomique,2002.

✓ **CEA-La collection n°2 - La radioactivité- Des radioéléments aux applications scientifiques**  
Commissariat à l'énergie atomique,2002.

✓ **CEA-La collection n°3 – L'homme et les rayonnements – De la radiologie à la radioprotection**  
Commissariat à l'énergie atomique,2002.

## Réglementation :

✓ **Arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons  $\gamma$ .**

✓ **Arrêté du 2 septembre 1991 déterminant les prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons X utilisés en radiologie industrielle.**

✓ **Arrêté du 20 décembre 2002 relatif au Guide National de Référence « risques radiologiques »**

✓ **Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.**

✓ **Arrêté du 26 octobre 2005 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification du formateur.**

✓ **Arrêté du 13 janvier 2006 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2005 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification du formateur.**

✓ **Arrêté du 21 décembre 2007 définissant les modalités de formation et de délivrance du Certificat d'Aptitude à Manipuler les Appareils de Radiologie Industrielle (C.A.M.A.R.I.).**  
(Journal officiel de la république française du 28 décembre 2007 texte n°34)

✓ **Arrêté du 21 décembre 2007 portant homologation de la décision n° 2007-DC-0074 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 29 novembre 2007 fixant la liste des appareils ou catégories d'appareils pour lesquels la manipulation requiert le Certificat d'Aptitude à Manipuler les Appareils de Radiologie Industrielle (C.A.M.A.R.I.) mentionné au premier alinéa de l'article R231-91 du Code du travail.**

✓ **Décret n°2001-215 du 8 mars 2001 modifiant le décret no 66-450 du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants.** (Journal officiel de la république française n° 59 du 10 mars 2001 page 3869)

✓ **décret n°2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants**

✓ **Décret n° 2003-295 du 31 mars 2003 relatif aux interventions en situation d'urgence radiologique et en cas d'exposition durable et modifiant le code de la santé publique.**

Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire-J.O.

✓ **Décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants (décret dit « travailleurs »)**

✓ **décret n°2007-1570 du 5 novembre 2007 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants et modifiant le code du travail (dispositions réglementaires).**

✓ **le décret n°2007-1582 du 7 novembre 2007 relatif à la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants et portant modification du code de la santé publique (dispositions réglementaires)**

✓ **Directive EURATOM 96/29 du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants-Journal officiel de l'Union européenne n°L-159 -29 juin 1996 page 1**

✓ **Directive EURATOM 97/43 du 30 juin 1997 relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors d'expositions à des fins médicales, remplaçant la directive EURATOM 84/466-Journal officiel de l'Union européenne n°L-180- 9 juillet 1997 page 22**

✓ **Loi n° 96-369 du 3 mai 1996 relative aux services d'incendie et de secours.**

✓ **Ordonnance n°2001-270 du 28 mars 2001 relative à la transposition des directives communautaires dans le domaine de la protection contre les rayonnements ionisants. (Journal officiel de la république française n° 77 du 31 mars 2001 texte n°10)**

#### **Sites internet :**

✓ **Commissariat à l'Energie Atomique : [www.cea.fr](http://www.cea.fr)**

✓ **Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire : [www.irsn.org](http://www.irsn.org)**

✓ **Législation Française : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)**

✓ **Société Fluke Biomédical France (Victoreen) : [www.flukebiomedical.com/rms](http://www.flukebiomedical.com/rms)**

✓ **Société golden engineering (fabriquant de générateurs mobiles) –[www.goldenengineering.com](http://www.goldenengineering.com)**

# RESUME

Les accidents ou incidents mettant en œuvre des sources radiologiques ne font pas partis des missions majoritaires des sapeurs-pompiers. Toutefois afin de répondre au mieux aux risques, les services d'incendie et de secours disposent de personnes formées dans un domaine très spécialisé. Mais un sapeur-pompier spécialiste reste un intervenant pluridisciplinaire qui doit disposer de nombreuses compétences dans des domaines très variés (secours à personnes, feux de forêts, inondations et risques technologiques).

Afin de permettre de rester compétent dans tous les domaines le personnel suit à la fois des formations initiales, des exercices et entraînement mais aussi des formations de maintien des acquis annuelles.

Au niveau de la spécialité des risques radiologiques, le Guide National de Référence Risques Radiologiques définit la formation initiale nécessaire aux sapeurs-pompiers futurs spécialistes de ce domaine. Mais ce guide n'apporte que très peu d'informations sur les générateurs à rayons  $\chi$ , sur leurs utilisations et sur leurs dangers. C'est pourquoi il est important de pouvoir leur apporter sur intervention les informations qui leur permettront de gérer au mieux la situation.

On peut regrouper les générateurs de rayons  $\chi$  en deux groupes bien distincts ; les générateurs fixes et les générateurs portables. La réglementation, l'emploi et les moyens de protection mis en place pour les générateurs fixes sont très bien définis par les textes de lois et « assez simples » à mettre en application. Par contre l'utilisation des générateurs mobiles implique des contraintes qu'il est parfois difficile de maîtriser. Le lieu et le moment de la mise en œuvre pour les services de police, gendarmerie ou pour le service du déminage n'est pas connu à l'avance.

Le guide opérationnel devra être un document facile d'utilisation qui devra permettre aux sapeurs-pompiers qui interviendront sur des générateurs de rayons  $\chi$  de disposer d'informations à la fois techniques mais aussi pratiques sur les dangers de ces appareils, sur les conduites à tenir à mettre en place (radioprotection, balisage, appareils de détections...)