

# Norme

## NF C15-160

Octobre 2018

2e tirage : 2018-11

C15-160

[www.afnor.org](http://www.afnor.org)

**Installations pour la production et l'utilisation de rayonnements X - Exigences de radioprotection**



**DOCUMENT PROTÉGÉ  
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacter :  
AFNOR – Norm'Info  
11, rue Francis de Pressensé  
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex  
Tél : 01 41 62 76 44  
Fax : 01 49 17 92 02  
E-mail : [norminfo@afnor.org](mailto:norminfo@afnor.org)

Imprimé par AFNOR le  
16 Septembre 2020

*avec l'autorisation de l'Editeur*

**afnor**

**afnor**



## norme française

NF C 15-160

Octobre 2018

Indice de classement : C 15-160

ICS : 11.040.50; 13.280; 19.100; 29.260.99

**Installations pour la production et l'utilisation de rayonnements X – Exigences de radioprotection**

E : Installations for the generation and application of X-ray – Requirements for radiation protection

D : Anlagen zur Erzeugung und Benutzung von Röntgenstrahlen – Festlegungen für Strahensicherheit

**Norme française**

homologuée par décision du Directeur Général d'AFNOR en septembre 2018.

Remplace la norme homologuée NF C 15-160 de mars 2011.

**Correspondance**

Le présent document n'a pas d'équivalent à l'IEC ou au CENELEC.

**Résumé**

Le présent document concerne les **INSTALLATIONS RADIOLOGIQUES** utilisées à poste fixe ou couramment dans un même local pour la production et l'utilisation de **RAYONNEMENTS X** quel que soit leur usage : médical (y compris dentaire), vétérinaire, industriel ou scientifique. Il concerne également les **INSTALLATIONS RADIOLOGIQUES** correspondantes sur les sites de fabrication, de contrôle et de maintenance des appareils à **RAYONS X**.

Le présent document a pour objet de définir les règles de calcul de la protection radiologique des personnes pour l'installation d'appareils électriques émettant des **RAYONS X**.

**Descripteurs**

**Thésaurus International Technique** : installation électrique, installation de première catégorie, radiologie, appareil à rayons X, matériel médical, matériel dentaire, spécification, définition, classification, conditions d'exécution, règle de sécurité, protection contre les rayonnements, rayon X, protection contre les contacts électriques, vérification, plomb, épaisseur, calcul, marquage.

**Modifications**

Par rapport au document remplacé, révision partielle du document.

**Corrections**

Par rapport à la version précédente, remplacement des Figures A.3, A.4, A.5 et A.7, ainsi que du Tableau C.1.



## La norme

**La norme** est destinée à servir de base dans les relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux.

La norme par nature est d'application volontaire. Référencée dans un contrat, elle s'impose aux parties. Une réglementation peut rendre d'application obligatoire tout ou partie d'une norme.

**La norme est un document élaboré par consensus** au sein d'un organisme de normalisation par sollicitation des représentants de toutes les parties intéressées. Son adoption est précédée d'une enquête publique.

La norme fait l'objet d'un examen régulier pour évaluer sa pertinence dans le temps. Toute norme française prend effet le mois suivant sa date d'homologation.

## Pour comprendre les normes

L'attention du lecteur est attirée sur les points suivants :

Seules les formes verbales **doit et doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Ces exigences peuvent se trouver dans le corps de la norme ou en annexe qualifiée de « normative ». Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.

Les expressions telles que, **il convient et il est recommandé** sont utilisées pour exprimer une possibilité préférée mais non exigée pour se conformer au présent document. Les formes verbales **peut et peuvent** sont utilisées pour exprimer une suggestion ou un conseil utiles mais non obligatoires, ou une autorisation.

En outre, le présent document peut fournir des renseignements supplémentaires destinés à faciliter la compréhension ou l'utilisation de certains éléments ou à en clarifier l'application, sans énoncer d'exigence à respecter. Ces éléments sont présentés sous forme de **notes ou d'annexes informatives**.

## Commission de normalisation

Une commission de normalisation réunit, dans un domaine d'activité donné, les expertises nécessaires à l'élaboration des normes françaises et des positions françaises sur les projets de norme européenne ou internationale. Elle peut également préparer des normes expérimentales et des fascicules de documentation.

La composition de la commission de normalisation qui a élaboré le présent document est donnée ci-après. Lorsqu'un expert représente un organisme différent de son organisme d'appartenance, cette information apparaît sous la forme : organisme d'appartenance (organisme représenté).



**Vous avez utilisé ce document, faites part de votre expérience à ceux qui l'ont élaboré.**

**Scannez le QR Code pour accéder au questionnaire de ce document ou retrouvez-nous sur <https://norminfo.afnor.org/norme/123091>.**



**Composition de la commission de normalisation**

Secrétariat : AFNOR

AIR LIQUIDE SANTE INTERNATIONAL (SNITEM)  
ALARA RISK  
ANAXI TECHNOLOGY  
APAVE  
BIOMEDICAL SERVICES  
BOSCH SENSORTEC  
BUREAU VERITAS CERTIFICATION HOLDING  
C2I SANTE - CAB CONSULTANTS EN INGENIERIE SANTE  
CAPSULE TECHNOLOGIE  
CEA CESTA (COMMISARIAT ENERGIE ATOMIQUE)  
CEGELEC NDT-PES - ACTEMIUM NDT-PES  
CEISO MANAGEMENT  
CHU LA MILETRIE  
CORNING SAS  
CTE - CHAUDRONNERIE TUYAUTERIE EUROPEENNE (SGS FRANCE)  
ECHOSENS  
EMITECH SAS (GIFAS)  
FRESENIUS VIAL (SNITEM)  
GE HEALTHCARE SAS (SNITEM)  
GE MEDICAL SYSTEMS (SNITEM)  
GE MEDICAL SYSTEMS SCS (SNITEM)  
GROUPE WINNCARE (SNITEM)  
HEALTIS  
HILL ROM SAS (SNITEM)  
HTDS INTERNATIONAL  
IMASONIC  
IRSN - INST RADIOPROTECTION SURETE NUCLEAIRE  
LCIE  
LIVANOVA FRANCE SAS (SNITEM)  
LNE - LABO NAL DE METROLOGIE ET D'ESSAIS  
MAQUET SAS (SNITEM)  
MEDIPREMA (SNITEM)  
MILLIPORE SAS

NOEL ALAIN

OLYMPUS FRANCE SAS (SNITEM)

PHILIPS FRANCE (SNITEM)

RAFFOUX YANN

RESMED PARIS (SNITEM)

SCHILLER MEDICAL SAS (SNITEM)

SIEMENS SAS (SNITEM)

SMITHS DETECTION INTERNATIONAL LLC

SNITEM

STERIS

STRYKER FRANCE (SNITEM)

SURGIRIS SAS

THUASNE (SNITEM)

TROPHY (SNITEM)

UNM

VISIONM

WANDERCRAFT

---

## AVANT-PROPOS

*Il n'existe pas de norme internationale, ni de norme européenne spécifique aux calculs de la protection radiologique des installations pour la production et l'utilisation de rayonnements X.*

*Le présent document a été préparé par la commission UF 62, Equipements électromédicaux – Techniques et matériels associés.*

*Le présent document annule et remplace la norme NF C 15-160, de mars 2011.*

*Le présent document a pour objet de définir les règles de calcul de protection pour les locaux radiologiques hébergeant une installation radiologique pour la production et l'utilisation des rayons X.*

*Le présent document a été adopté après enquête publique des diverses parties, l'examen des observations reçues au cours de cette enquête et l'homologation.*

*La révision de la norme NF C 15-160 était nécessaire pour les raisons suivantes :*

- Supprimer les exigences concernant la protection électrique qui sont définies dans d'autres normes nationales ou internationales ;*
  - Tenir compte de l'évolution des appareils et de leurs applications ;*
  - Mieux cerner le champ d'application de la norme ;*
  - Compléter les abaques et les données fournies par la norme ;*
  - Prendre en compte les retours d'expérience sur le terrain.*
-



## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	5
1 Domaine d'application .....	9
2 Références normatives.....	9
3 Termes et définitions .....	9
4 Principes généraux concernant les locaux radiologiques .....	14
4.1 Généralités .....	14
4.2 Personnel chargé de la conception et de l'exécution .....	14
5 Règles de protection contre les rayons X .....	14
5.1 Données de base .....	14
5.2 Méthode de calcul.....	15
5.2.1 Pour un seul appareil émetteur de rayons X .....	15
5.2.2 Multiplicité des appareils émetteurs de rayons X .....	15
5.3 Charge de travail $W$ .....	15
5.3.1 Production intermittente de rayons X.....	16
5.3.2 Production permanente de rayons X.....	16
5.4 Détermination de la protection radiologique pour le rayonnement primaire .....	16
5.4.1 Calcul du facteur d'atténuation $F_p$ du rayonnement primaire .....	16
5.4.2 Détermination des épaisseurs nécessaires pour le rayonnement primaire.....	17
5.5 Détermination de la protection radiologique pour les rayonnements diffusé et de fuite .....	17
5.5.1 Calcul du facteur d'atténuation $F_s$ du rayonnement diffusé .....	17
5.5.2 Calcul du facteur d'atténuation $F_g$ du rayonnement de fuite .....	18
5.5.3 Détermination des épaisseurs nécessaires pour les rayonnements diffusé et de fuite .....	18
5.6 Atténuation par les parois .....	19
5.6.1 Généralités .....	19
5.6.2 Lieux à protéger .....	19
5.7 Equivalence en plomb de divers matériaux .....	19
6 Dossier de conformité – Vérification des installations .....	20
6.1 Note de calcul.....	20
6.2 Plan du local radiologique .....	20
6.3 Vérification de l'efficacité des protections radiologiques.....	21
Annexe A (informative) Figures .....	22
Annexe B (informative) Tableaux.....	36
Annexe C (informative) Equivalence en plomb de certains matériaux atténuants .....	39
Annexe D (informative) Note de calcul.....	44
Bibliographie .....	45

## Figures

Figure A.1 – Schémas d'une installation et indication des paramètres de mesure utilisés dans les calculs .....	22
Figure A.2 – Rendement $I_R$ (en mSv.m <sup>2</sup> /mA.min) à 1 m de la cible d'un tube à anode de molybdène ou tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 0,03 mm Mo pour des hautes tensions continues de 25 kV à 35 kV (d'après Nicolas Peron, Aurore Pillot (2017) Dimensionnement des locaux de mammographie, problématique de radioprotection) .....	23
Figure A.3 – Rendement $I_R$ (en mSv.m <sup>2</sup> /mA.min) à 1 m de la cible d'un tube à anode de tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 3 mm Cu pour des hautes tensions continues de 50 kV à 100 kV (d'après Antoni R, Bourgois L 2017 Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection Springer International publishing AG) .....	24
Figure A.4 – Rendement $I_R$ (en mSv.m <sup>2</sup> /mA.min) à 1 m de la cible d'un tube à anode de tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 3 mm Cu pour des hautes tensions continues de 100 kV à 400 kV (d'après Antoni R, Bourgois L 2017 Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection Springer International publishing AG) .....	25
Figure A.5 – Rendement $I_R$ (en mSv.m <sup>2</sup> /mA.min) à 1 m de la cible d'un tube à anode de tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 3 mm Cu pour des hautes tensions continues de 400 kV à 900 kV (d'après Antoni R, Bourgois L 2017 Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection Springer International publishing AG) .....	26
Figure A.6 – Valeurs du coefficient $\alpha$ (en cm <sup>-2</sup> ) caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire, pour des hautes tensions de 25 kV à 35 kV (d'après les données du rapport NCRP n°147) .....	27
Figure A.7 – Valeurs du coefficient $\alpha$ (en cm <sup>-2</sup> ) caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire, pour des hautes tensions de 50 kV à 800 kV (d'après Laurent Bourgois, Stéphanie Ménard (2017) Évaluation par calcul Monte-Carlo des facteurs de diffusion en termes d'équivalent de dose, des rayonnements issus d'un générateur X, pour le calcul des équivalents de dose secondaires. Constitution d'une base de données. Rapport CEA-R-6452) .....	28
Figure A.8 – Dépendance en fonction de la haute tension maximale utilisée du facteur de correction du rayonnement de fuite pour différentes valeurs de hautes tensions nominales (50 kV, 75 kV, 100 kV, 125 kV ou 150 kV) (d'après ÖNORM S 5212 - Installations médicales aux rayons X jusqu'à 300 kV – Règles de radioprotection pour l'installation, 01/10/2005) .....	29
Figure A.9 – Facteurs d'atténuation $F_P$ et $F_S$ dans le plomb pour les RAYONS X générés par des hautes tensions de 35 kV à 150 kV (d'après DIN 6812 – Installations médicales radiologiques jusqu'à 300 kV – Règles pour la conception structurelle de la radioprotection, juin 2013) .....	30
Figure A.10 – Facteurs d'atténuation $F_P$ et $F_S$ dans le plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 200 kV à 400 kV (d'après les données de Bourgois L., Ménard S. Dose equivalent transmission data for shielding industrial x-ray facilities up to 800 kV J. Radiol. Prot. 38 (2018) 471–479) .....	31
Figure A.11 – Facteurs d'atténuation $F_P$ et $F_S$ dans le plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 0,5 MV à 1 MV (d'après les données de la publication 33 de la CIPR) .....	32
Figure A.12 – Facteurs d'atténuation $F_g$ pour du rayonnement fortement filtré par du plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 35 kV à 150 kV (d'après les données du rapport NCRP n°147 et de la publication 33 de la CIPR) .....	33
Figure A.13 – Facteurs d'atténuation $F_g$ pour du rayonnement fortement filtré par du plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 200 kV à 400 kV (d'après les données de la publication 33 de la CIPR) .....	34
Figure A.14 – Facteurs d'atténuation $F_g$ pour du rayonnement fortement filtré par du plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 0,5 MV à 1 MV (d'après les données de la publication 33 de la CIPR) .....	35



## Tableaux

Tableau B.1 – Valeurs indicatives du facteur d'occupation, $T$ .....	36
Tableau B.2a – Valeurs indicatives du coefficient $k$ caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire selon différents types d'application (valeurs d'après ÖNORM S 5212 – Installations médicales aux rayons X jusqu'à 300 kV – Règles de radioprotection pour l'installation, 01/10/2005) .....	36
Tableau B.2b – Valeurs du coefficient $k$ caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire, selon différents valeurs de la haute tension pour un angle de diffusion de $135^\circ$ pour un usage médical(d'après Tableau B.2 NCRP 49 Structural shielding design and evaluation for medical use of X-ray and Gamma ray of energies up to 10 MeV, 1972) .....	37
Tableau B.3 – Epaisseurs de demi-atténuation et de déci-atténuation pour du rayonnement X fortement filtré (cas du rayonnement de fuite) dans des conditions de faisceau large, pour le plomb .....	37
Tableau B.4 – Valeurs indicatives du facteur $Q$ (en $\text{mA} \cdot \text{min} \cdot \text{h}^{-1}$ ) .....	37
Tableau B.5 – Valeurs indicatives du facteur $C_2$ (en $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ ) .....	38
Tableau C.1 .....	39
Tableau C.2 .....	41
Tableau C.3 .....	42



## 1 Domaine d'application

Le présent document concerne les **LOCAUX RADIOLOGIQUES** dans lesquels des **INSTALLATIONS RADIOLOGIQUES** sont utilisées à poste fixe ou couramment pour la production et l'utilisation de **RAYONNEMENTS X** quel que soit leur usage : médical, dentaire, vétérinaire, industriel ou scientifique.

Il concerne également les **LOCAUX RADIOLOGIQUES** correspondants sur les sites de fabrication, de contrôle et de maintenance des appareils à **RAYONS X**.

La présente norme a pour objet de dimensionner les protections des **PAROIS** des **LOCAUX RADIOLOGIQUES** pour assurer à tout moment la sécurité des personnes contre les risques résultant de l'exposition aux **RAYONNEMENTS X**.

Elle ne se substitue pas à la réglementation applicable.

Elle ne s'applique pas aux **LOCAUX RADIOLOGIQUES** comportant des **INSTALLATIONS RADIOLOGIQUES** utilisées conformément aux recommandations du constructeur et fonctionnant :

- sous une **HAUTE TENSION NOMINALE** inférieure ou égale à 5 kV ;
- sous une **HAUTE TENSION NOMINALE** inférieure ou égale à 30 kV et dont le **DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE** reste inférieur ou égal à 1  $\mu\text{Sv/h}$  à 0,1 m de toute surface accessible de l'appareil à **RAYONS X** en fonctionnement normal ;
- sous une **HAUTE TENSION NOMINALE** supérieure à 1 MV.

Elle ne s'applique pas :

- aux **LOCAUX RADIOLOGIQUES** dans lesquels sont utilisés exclusivement des appareils de **RADIOGRAPHIE** médicale au lit du patient excluant toute utilisation en mode scopie ;
- aux **LOCAUX RADIOLOGIQUES** dans lesquels sont utilisés exclusivement des accélérateurs de particules ainsi que les éventuels dispositifs d'imagerie médicale ou vétérinaire associés à ces accélérateurs ;
- aux **LOCAUX RADIOLOGIQUES** dans lesquels sont utilisés des appareils émettant uniquement des **RAYONNEMENTS X PARASITES**.

## 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document les termes et définitions suivants s'appliquent :

Les références indiquées entre parenthèses se rapportent à la norme Radiologie médicale – Terminologie (NF C 74-000 Ed. 1989) (références rm ...), au Vocabulaire Electrotechnique – Radiologie (IEC 60050-881 Ed. 1983) (références VE ...-...) ou IEC (International Electrotechnical Commission).

### 3.1

#### **absorption d'énergie**

phénomène dans lequel un rayonnement traversant une matière communique à celle-ci une partie ou la totalité de son énergie

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 12-05, rm 12-06]

Note 1 à l'article : La **DIFFUSION**, accompagnée d'un transfert d'énergie à la matière, par exemple l'effet Compton et le ralentissement des neutrons, est considérée comme étant une absorption d'énergie.

**3.2****débit d'équivalent de dose (symbole :  $\dot{H}$ )**

quotient de  $dH$  par  $dt$ , où  $dH$  est l'accroissement de l'équivalent de dose pendant l'intervalle de temps  $dt$

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

Note 1 à l'article L'unité SI de DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE est le joule par kilogramme et par seconde, dont le nom est le sievert par seconde; les sous-multiples tels que  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  sont utilisés en pratique.

[SOURCE : VE 881-14-02]

**3.3****diaphragme (collimateur)**

dispositif de limitation du faisceau comportant une ouverture fixe ou variable dans un seul plan

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.4****diffusion**

processus par lequel un changement de direction ou d'énergie d'une particule incidente ou d'un rayonnement incident est provoqué par une collision avec une particule ou un système de particules

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 12-03]

**3.5****écran de protection radiologique**

barrière de protection radiologique sous forme d'un matériau absorbant prévu pour la protection radiologique

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.6****épaisseur de déci-atténuation**

épaisseur d'un matériau spécifié qui transmet dans les conditions de **FAISCEAU LARGE** un rayonnement X ayant une énergie de rayonnement particulière ou un spectre particulier, en réduisant l'équivalent de dose au dixième de la valeur que l'on mesurerait au même point en l'absence du matériau considéré

L'**ÉPAISSEUR DE DECI-ATTÉNUATION** est exprimée en sous-multiples appropriés du mètre, suivis de l'indication de la nature du matériau et si nécessaire de l'indication de sa densité.

**3.7****épaisseur de demi-atténuation**

épaisseur d'un matériau spécifié qui transmet dans les conditions de **FAISCEAU LARGE** un rayonnement X ayant une énergie de rayonnement particulière ou un spectre particulier, en réduisant l'équivalent de dose à la moitié de la valeur que l'on mesurerait au même point en l'absence du matériau considéré

L'**ÉPAISSEUR DE DEMI-ATTÉNUATION** est exprimée en sous-multiples appropriés du mètre, suivis de l'indication de la nature du matériau et si nécessaire de l'indication de sa densité.



**3.8****équivalent d'atténuation (symbole :  $\delta$ )**

épaisseur d'un matériau de référence qui, substituée au matériau considéré dans un faisceau de qualité de rayonnement spécifiée et dans les conditions géométriques spécifiées, donne le même degré d'atténuation

L'**EQUIVALENT D'ATTENUATION** est exprimé en sous-multiples appropriés du mètre, suivis de l'indication du matériau de référence et de la qualité de rayonnement du faisceau incident.

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 13-37 modifiée]

**3.9****équivalent de dose ambiant (symbole :  $H^*$ )**

équivalent de dose en un point du champ de rayonnement qui serait produit par le champ expansé et unidirectionnel correspondant, dans la sphère de la Commission internationale des unités et mesures de radiation (ICRU), à une profondeur  $d$ , sur le rayon opposé à la direction du champ unidirectionnel

Unité: J kg<sup>-1</sup>

Le nom spécial de l'unité d'**EQUIVALENT DE DOSE AMBIANT** est le sievert (Sv) (ICRU 51) [19].

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.10****équivalent en plomb (symbole :  $\delta_{Pb}$ )**

équivalent d'atténuation, exprimé en épaisseur de plomb comme matériau de référence pour une qualité de faisceau donnée

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 13-38 modifiée]

**3.11****faisceau de rayonnement**

en **RADIOLOGIE**, région de l'espace limitée à un angle solide et contenant un flux de rayonnement ionisant, provenant d'une source de rayonnement considérée comme une source ponctuelle

Le rayonnement de fuite et le rayonnement diffusé ne sont pas considérés comme constituant un faisceau de rayonnement.

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.12****faisceau étroit**

**FAISCEAU DE RAYONNEMENT** compris dans un angle solide aussi petit que possible pour mesurer une grandeur liée au rayonnement, en minimisant ainsi la contribution du **RAYONNEMENT DIFFUSE** et en assurant, si nécessaire, l'équilibre électronique latéral

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 37-22]

**3.13****faisceau large**

**FAISCEAU DE RAYONNEMENT** compris dans un angle solide tel qu'un accroissement de cet angle n'augmente pas de façon appréciable la grandeur liée au rayonnement que l'on mesure, incorporant ainsi dans la mesure le **RAYONNEMENT DIFFUSE**

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 37-24]



**3.14****filtration**

modification des caractéristiques d'un rayonnement ionisant traversant la matière

Note 1 à l'article : La **FILTRATION** peut consister en :

- une absorption préférentielle de certaines composantes du rayonnement x polyénergétique accompagnant son atténuation ;
- une modification de la distribution de l'intensité du rayonnement sur la section transversale d'un **FAISCEAU DE RAYONNEMENT**.

**3.15****filtration inhérente**

dans un **TUBE RADIOGENE**, épaisseur et matériau qui par conception appliquent une **FILTRATION** minimale inamovible du **FAISCEAU DE RAYONNEMENT**

**3.16****filtre**

dans un équipement radiologique, matériau ou dispositif destiné à effectuer une **FILTRATION** du **FAISCEAU DE RAYONNEMENT**

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.17****gaine**

enveloppe comportant une fenêtre et destinée à recevoir un **TUBE RADIOGENE** en assurant la protection contre les chocs électriques et les rayonnements X

Elle peut éventuellement contenir d'autres composants.

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.18****gaine équipée**

ensemble d'une **GAINE** avec un **TUBE RADIOGENE** incorporé

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.19****générateur radiologique**

dans un **GROUPE RADIOGENE**, ensemble de tous les éléments nécessaires à la commande et à la production de l'énergie électrique à fournir à un **TUBE RADIOGENE**, comprenant habituellement un ensemble transformateur haute tension et un ensemble de commande

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 21-01]

**3.20****groupe radiogène**

ensemble de tous les composants nécessaires à la production et à la commande de rayonnements X, comprenant au moins le **GENERATEUR RADIOLOGIQUE** relié à un ensemble radiogène à rayonnement X

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.21****haute tension nominale**

haute tension radiogène la plus élevée admise pour des conditions de fonctionnement spécifiques

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.22****installation radiologique**

équipement radiologique installé de façon permanente ou temporaire avec tous les moyens nécessaires à l'utilisation prévue

[SOURCE : rm 20-24, modifiée]

**3.23****local radiologique**

structure architecturale ou espace à l'intérieur d'une structure architecturale dans lequel au moins une **INSTALLATION RADIOLOGIQUE** est utilisée

**3.24 2.24****paroi**

limite d'un local radiologique

**3.25****radiographie**

technique d'obtention, d'enregistrement, et éventuellement de traitement direct ou après transfert, d'informations contenues dans une image radiologique potentielle au niveau d'une surface réceptrice de l'image destinées à être analysées pendant un temps indépendant du temps d'irradiation

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.26****radiologie**

science et application des rayonnements ionisants

[SOURCE : NF C 74-000 Ed. 1989 rm 40-01]

**3.27****rayonnement diffusé**

rayonnement ionisant émis lors de l'interaction d'un rayonnement ionisant avec la matière, l'interaction étant accompagnée d'une diminution de l'énergie de rayonnement et/ou d'un changement de direction de rayonnement

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.28****rayonnement de fuite**

rayonnement ionisant ayant traversé la barrière de protection radiologique de la source de rayonnement, ainsi que, pour certains **GROUPES RADIOGENES**, le rayonnement ayant traversé la fenêtre avant et après l'application de la charge (par exemple dans le cas des **TUBES RADIOGENES** à grille)

[SOURCE : IEC 60601-1-3 Ed. 2.0]

**3.29****rayonnement primaire**

rayonnement ionisant émis directement par une source de rayonnement, sans autre obstacle que la **FILTRATION INHERENTE**

[SOURCE : IEC 62709 Ed. 1.0]

**3.30****rayons X (rayonnement X)**

rayonnement, autre que le rayonnement d'annihilation, constitué de photons, prenant naissance dans la partie extranucléaire de l'atome et ayant des longueurs d'ondes beaucoup plus courtes que celles de la lumière visible

[SOURCE : VE 881-02-16]

**3.31****tête radiogène**

structure d'où émerge le **FAISCEAU DE RAYONNEMENT**

[SOURCE : IEC 60601-2-64 Ed. 1.0]

**3.32****tube radiogène**

tube à vide, destiné à la production d'un **RAYONNEMENT X** par bombardement d'une cible, habituellement portée par une anode, par des électrons émis par une cathode et accélérés par un champ électrique

Exemples : **TUBE RADIOGENE** à anode tournante ;

**TUBE RADIOGENE** à double foyer.

[SOURCE : IEC 60601-1-3 ed 2.0]

**4 Principes généraux concernant les locaux radiologiques****4.1 Généralités**

Les **LOCAUX RADIOLOGIQUES** sont secs ou temporairement humides et selon les spécifications du fabricant de l'appareil

Les sas, orifices techniques et toutes autres ouvertures doivent être prévus de telle sorte que la protection radiologique requise soit maintenue.

En cas de présence de matériaux toxiques (plomb...), les **LOCAUX RADIOLOGIQUES** doivent être aménagés de façon à respecter la réglementation en vigueur concernant l'utilisation de ces matériaux.

La surface du **LOCAL RADIOLOGIQUE** doit respecter les exigences d'installation et permettre d'assurer les interventions techniques de maintenance conformément aux instructions écrites du fabricant de l'appareil ou de son représentant.

Un espace libre de tout objet sans utilité pour les examens ou contrôles effectués, doit être assuré autour de l'appareil afin de prendre en compte la nature de l'activité et les modalités d'utilisation des appareils. Cet espace, dit zone d'intervention, doit également intégrer les principes généraux de prévention des risques professionnels et les obligations réglementaires inhérentes.

Les dimensions du **LOCAL RADIOLOGIQUE** et de la zone d'intervention doivent être justifiées dans le dossier de conformité mentionné au 5.

**4.2 Personnel chargé de la conception et de l'exécution**

La conception et l'exécution des **LOCAUX RADIOLOGIQUES** doivent être confiées à des personnes qui ont les connaissances techniques, pratiques et réglementaires leur permettant de concevoir et d'exécuter ce travail conformément aux présentes exigences. Le fabricant ou son représentant et l'exploitant doivent leur fournir toutes les informations nécessaires à la mise en œuvre de la présente norme.

**5 Règles de protection contre les rayons X****5.1 Données de base**

La protection d'un **LOCAL RADIOLOGIQUE** est à établir en fonction des caractéristiques suivantes :

- a) les paramètres d'exposition de l'**INSTALLATION RADIOLOGIQUE** utilisée ;
- b) les positions du **TUBE RADIOGENE** et l'orientation du faisceau ;
- c) les **PAROIS** (murs, plancher et plafond, y compris les ouvertures) à considérer en fonction des caractéristiques de l'irradiation (**RAYONNEMENTS PRIMAIRE, DIFFUSE ET DE FUITE**) ;
- d) le facteur d'occupation des espaces et des locaux attenants ;
- e) les limites d'exposition fixées par voie réglementaire.



Les points de calcul sont à déterminer de façon à être représentatifs de l'exposition des personnes présentes dans les locaux attenants au **LOCAL RADIOLOGIQUE**.

Certaines hypothèses de conception peuvent être envisagées pour définir des points de calcul représentatifs de l'exposition du corps entier (Voir Figure A.1):

- points de calcul au même niveau que le **LOCAL RADIOLOGIQUE** : pris à 0,3 m derrière la paroi ;
- points de calcul au-dessus du **LOCAL RADIOLOGIQUE** : pris à 0,5 m au-dessus du plancher du niveau supérieur ;
- points de calcul en-dessous du **LOCAL RADIOLOGIQUE** : pris à 2 m au-dessus du plancher du niveau inférieur.

Si la configuration le nécessite, des hypothèses plus contraignantes devront être prises en compte.

## 5.2 Méthode de calcul

La méthode de calcul qui suit, a pour but de déterminer des épaisseurs de plomb ou des épaisseurs équivalentes d'autres matériaux appropriés à la protection radiologique (Voir Annexe C).

### 5.2.1 Pour un seul appareil émetteur de rayons X

Pour déterminer la protection radiologique nécessaire en un point donné derrière une **PAROI**, il y a lieu de tenir compte de trois types différents de rayonnements :

- le rayonnement primaire (indice  $p$ ) ;
- le **RAYONNEMENT DIFFUSE** (indice  $s$  comme *secondaire / diffusé, scattered* en anglais) ;
- le rayonnement de fuite (indice  $g$  comme gaine).

Le raisonnement est basé sur trois étapes:

- la détermination de l'équivalent de dose tel qu'il existe en un point de calcul, en l'absence de protection :  $H_p$ ,  $H_s$  et  $H_g$  ;
- la détermination des facteurs d'atténuation  $F_p$ ,  $F_s$  ou  $F_g$ , nécessaires pour réduire l'équivalent de dose dû aux rayonnements incidents  $H_p$ ,  $H_s$  et  $H_g$  à une valeur  $H_{\max}$  inférieure, ou au plus égale, à la valeur déduite de la réglementation applicable ;
- la détermination de l'épaisseur théorique de plomb déduite des facteurs  $F_p$ ,  $F_s$  ou  $F_g$ .

En pratique :

- lorsque la **PAROI** est exposée au **RAYONNEMENT PRIMAIRE**, la contribution des **RAYONNEMENTS DIFFUSE** et de **FUITE** devient négligeable devant celle du **RAYONNEMENT PRIMAIRE**, alors seul  $F_p$  est considéré ;
- lorsque la **PAROI** n'est exposée qu'aux **RAYONNEMENTS DIFFUSES ET DE FUITE**, compte tenu des différences de qualité de ces deux types de rayonnement, il est nécessaire de déterminer séparément les protections vis-à-vis de chacun d'eux.

### 5.2.2 Multiplicité des appareils émetteurs de rayons X

Pour déterminer la protection radiologique nécessaire en un point donné derrière une **PAROI** soumise aux rayonnements de plusieurs **INSTALLATIONS RADIOLOGIQUES** (utilisées simultanément ou pas), il convient de tenir compte de l'ensemble des contributions de ces installations pour atteindre les objectifs de radioprotection.

## 5.3 Charge de travail $W$

La charge de travail  $W$  est déterminée pour la période de référence où la production de **RAYONS X** est la plus élevée.

### 5.3.1 Production intermittente de rayons X

$W$  correspond :

- soit à la somme des charges, exprimées en mAs, de toutes les expositions réalisées pendant le mois de référence et divisée par 60 pour l'exprimer en mA.min par mois ;
- soit à la somme des charges, exprimées en mA.min, de toutes les expositions réalisées pendant le mois de référence pour l'exprimer en mA.min par mois.

$H_{\max}$ ,  $H_p$ ,  $H_s$  et  $H_g$  seront exprimés en mSv par mois.

### 5.3.2 Production permanente de rayons X

$W$  est calculé par la formule suivante :

$$W = 60 \times I$$

où

$W$  est la charge de travail en mA.min en une heure ;

$I$  est l'intensité maximale utilisée du courant dans le **TUBE RADIOGENE** en mA.

$H_{\max}$ ,  $H_p$ ,  $H_s$  et  $H_g$  seront exprimés en mSv en une heure.

## 5.4 Détermination de la protection radiologique pour le rayonnement primaire

### 5.4.1 Calcul du facteur d'atténuation $F_p$ du rayonnement primaire

Le facteur d'atténuation  $F_p$  est calculé par la formule :

$$F_p = \frac{H_p \cdot T}{H_{\max}} = \frac{\Gamma_R \cdot W \cdot R \cdot T}{H_{\max} \cdot a^2}$$

où

$F_p$  est le facteur d'atténuation pour le **RAYONNEMENT PRIMAIRE** (sans dimension) ;

$H_{\max}$  est l'équivalent de dose maximal issu des valeurs réglementaires au point de calcul en mSv par mois ou en une heure (Voir 4.3) ;

$H_p$  est l'équivalent de dose, dû au **RAYONNEMENT PRIMAIRE**, au point de calcul en l'absence de protection en mSv par mois ou en une heure (Voir 4.3) ;

$T$  est le facteur d'occupation du local attenant vis-à-vis duquel est calculée la protection (Voir Tableau B.1) sans unité ;

$a$  est la distance en m du foyer du tube au point de calcul derrière la **PAROI** à dimensionner (Voir Figures A.1) ;

$\Gamma_R$  est le rendement du tube. C'est l'équivalent de dose produit à 1 m de la cible par unité de charge (en mSv.m<sup>2</sup>/mA.min). Il dépend de la haute tension maximale utilisée et de la **FILTRATION** (Voir données constructeurs/fournisseurs ou à défaut Figures A.2, A.3, A.4 et A.5).

NOTE Il est recommandé de retenir la **FILTRATION** la plus faible susceptible d'être présente.

$W$  est la charge de travail en mA.min par mois ou en une heure (Voir 4.3)

$R$  est le facteur d'orientation (sans dimension). Il correspond à la fraction de la charge de travail  $W$  pour laquelle le faisceau primaire est dirigé vers la paroi considérée.

Le facteur d'orientation  $R$  prend en considération le fait que les orientations possibles du faisceau primaire et prévues de façon opérationnelle ne sont pas appliquées simultanément.

Les valeurs de  $R$  représentatives de l'utilisation du faisceau sont définies et justifiées pour chaque paroi, selon les indications du responsable de l'activité. La somme des  $R$  doit être au moins égale à 1.



A défaut, les valeurs suivantes sont utilisées :

- a)  $R = 1,0$  utilisation du faisceau avec plus de 30 % de la charge de travail  $W$  dirigée vers la **PAROI** considérée ;
- b)  $R = 0,3$  utilisation avec au plus 30 % de la charge de travail  $W$  dirigée vers la **PAROI** considérée et dans le cas d'appareils à poste fixe émettant un **FAISCEAU DE RAYONNEMENT X** animé d'un mouvement de rotation ;
- c)  $R = 0,1$  utilisation avec au plus 10 % de la charge de travail  $W$  dirigée vers la **PAROI** considérée.

#### 5.4.2 Détermination des épaisseurs nécessaires pour le rayonnement primaire

L'épaisseur minimale de plomb,  $e_p$ , vis-à-vis du **RAYONNEMENT PRIMAIRE** est obtenue à partir des Figures A.9, A.10 et A.11, selon la haute tension maximale utilisée, pour le facteur  $F_p$  calculé.

Si  $F_p$  inférieur ou égal 1, alors  $e_p$  est nulle.

Lorsque la haute tension maximale effectivement utilisée n'est pas présente dans les Figures A.9, A.10 et A.11, il convient d'utiliser par défaut l'épaisseur correspondant à la haute tension immédiatement supérieure.

### 5.5 Détermination de la protection radiologique pour les rayonnements diffusé et de fuite

#### 5.5.1 Calcul du facteur d'atténuation $F_s$ du rayonnement diffusé

Le facteur d'atténuation  $F_s$  est calculé par la formule :

$$F_s = \frac{H_s \cdot T}{H_{\max}} = \frac{\Gamma_R \cdot W \cdot k \cdot T}{H_{\max} \cdot b^2 \cdot d^2}$$

où

- $F_s$  est le facteur d'atténuation pour le **RAYONNEMENT DIFFUSE** (sans dimension) ;
- $H_{\max}$  est l'équivalent de dose maximal issu des valeurs réglementaires au point de calcul en mSv par mois ou en une heure (Voir 4.3) ;
- $H_s$  est l'équivalent de dose dû au **rayonnement diffusé** au point de calcul en l'absence de protection, en mSv par mois ou en une heure (Voir 4.3) ;
- $T$  est le facteur d'occupation du local attenant vis-à-vis duquel est calculée la protection (Voir Tableau B.1) sans unité ;
- $b$  est la distance en mètre du foyer au centre du milieu de **DIFFUSION** (Voir Figures A.1) ;
- $d$  est la distance en mètre du centre du milieu de **DIFFUSION** au point de calcul derrière la paroi à dimensionner (Voir Figures A1) ;
- $\Gamma_R$  est le rendement du tube. C'est l'équivalent de dose produit à 1 m de la cible par unité de charge (en mSv.m<sup>2</sup>/mA.min). Il dépend de la haute tension maximale utilisée et de la **FILTRATION** (Voir données constructeurs/fournisseurs ou à défaut Figures A.2, A.3, A.4 et A.5).

NOTE il est recommandé de retenir la **FILTRATION** la plus faible susceptible d'être présente.

$W$  est la charge de travail en mA.min par mois ou en une heure (Voir 4.3)

$k$  est le coefficient caractérisant la contribution du **RAYONNEMENT DIFFUSE** à 1 mètre du milieu de **DIFFUSION** par rapport à la contribution du **RAYONNEMENT PRIMAIRE**.

Le coefficient  $k$  est défini par :

$$k = \alpha \times S$$

où

- $\alpha$  est le facteur de **DIFFUSION** en cm<sup>-2</sup> dépendant du matériau diffusant et de la haute tension utilisée (Voir Figures A.6 et A.7).
- $S$  est la surface exposée du milieu de **DIFFUSION** en cm<sup>2</sup> avec le foyer à la distance  $b$ .



Si ces valeurs ne sont pas connues, des valeurs par défaut du coefficient  $k$  sont données dans les Tableaux B.2a et B.2b. Lorsque la haute tension maximale utilisée n'est pas présente dans le Tableau B.2b, il convient d'utiliser par défaut le facteur  $k$  correspondant à la haute tension immédiatement supérieure.

### 5.5.2 Calcul du facteur d'atténuation $F_g$ du rayonnement de fuite

Le facteur d'atténuation  $F_g$  est calculé d'après la formule :

$$F_g = \frac{H_g \cdot T}{H_{\max}} = \frac{C_g \cdot W \cdot f \cdot T}{H_{\max} \cdot c^2 \cdot Q}$$

où

$F_g$  est le facteur d'atténuation du **RAYONNEMENT DE FUITE** (sans dimension) ;

$H_{\max}$  est l'équivalent de dose maximal issu des valeurs réglementaires au point de calcul en mSv par mois ou en une heure (Voir 4.3) ;

$H_g$  est l'équivalent de dose dû au **RAYONNEMENT DE FUITE**, en l'absence de protection, en mSv par mois ou en une heure (Voir 4.3) ;

$T$  est le facteur d'occupation du local attenant vis-à-vis duquel est calculée la protection (Voir Tableau B.1) sans unité ;

$c$  est la distance en mètre du foyer au point de calcul derrière la **PAROI** à dimensionner (Voir Figure A.1) ;

$Q$  est le produit intensité-temps maximal par heure pour la **HAUTE TENSION NOMINALE** en mA·min·h<sup>-1</sup>, ne conduisant pas à une exigence thermique inadmissible de l'appareil à **RAYONNEMENT X**. (Voir données constructeurs/fournisseurs ou à défaut Tableau B.5) ;

$C_g$  est le **DEBIT D'EQUIVALENT DE DOSE** à 1 m pour le **RAYONNEMENT DE FUITE** en mSv·m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup> ;

$C_g$  peut être :

- soit donné par le constructeur/fournisseur ;
- soit tiré des valeurs données dans le Tableau B.6, qui sont des valeurs maximales à n'utiliser qu'au cas où la valeur relative à l'appareil n'est pas disponible.

$W$  est la charge de travail en mA·min par mois ou en une heure (Voir 4.3)

$f$  Lorsque la **HAUTE TENSION NOMINALE** n'est pas utilisée, le facteur  $f$  est déterminé d'après le Tableau A.8 en fonction de la haute tension maximale réellement utilisée. Si la **HAUTE TENSION NOMINALE** n'est pas présente sur la courbe, il convient de choisir la **HAUTE TENSION NOMINALE** inférieure. A défaut le facteur  $f$  est égal à 1.

### 5.5.3 Détermination des épaisseurs nécessaires pour les rayonnements diffusé et de fuite

L'épaisseur minimale de plomb,  $e_s$ , vis-à-vis du **RAYONNEMENT DIFFUSE** est obtenue à partir des Figures A.9, A.10 et A.11, selon la haute tension maximale utilisée, pour le facteur  $F_s$  calculé.

Si  $F_s$  inférieur ou égal 1, alors  $e_s$  est nulle.

L'épaisseur minimale de plomb,  $e_g$ , vis-à-vis du **RAYONNEMENT DE FUITE** est obtenue à partir des Figures A.12, A.13 et A.14 selon la haute tension maximale utilisée, pour le facteur  $F_g$  calculé.

Si  $F_g$  inférieur ou égal 1, alors  $e_g$  est nulle.

Lorsque la haute tension maximale effectivement utilisée n'est pas présente dans les Figures A.9, A.10, A.11, A.12, A.13, A.14, il convient d'utiliser par défaut l'épaisseur correspondant à la haute tension immédiatement supérieure.

Si les deux facteurs  $F_s$  et  $F_g$  sont inférieurs ou égaux à 1, alors les épaisseurs des écrans de protection ( $e_s$  et  $e_g$ ) déduites des facteurs  $F_s$  et  $F_g$  sont nulles : aucune protection particulière n'est à ajouter.

Si un seul des facteurs,  $F_s$  ou  $F_g$ , est supérieur à 1, alors c'est l'épaisseur de l'écran de protection déduite du facteur supérieur à 1 qui est retenue.

Si les deux facteurs  $F_s$  et  $F_g$  sont supérieurs à 1,

- si les épaisseurs des écrans de protection,  $e_s$  et  $e_g$ , déduites des facteurs  $F_s$  et  $F_g$  sont égales ou diffèrent par moins d'une **EPAISSEUR DE DECI-ATTENUATION**, une **EPAISSEUR DE DEMI-ATTENUATION** doit être ajoutée à la plus élevée des deux valeurs pour obtenir l'épaisseur de l'écran de protection nécessaire ;
- si les épaisseurs des écrans de protection,  $e_s$  et  $e_g$ , déduites des facteurs  $F_s$  et  $F_g$  diffèrent par une épaisseur de **DECI-ATTENUATION** ou plus, la plus élevée des deux épaisseurs suffit.

## 5.6 Atténuation par les parois

### 5.6.1 Généralités

Les équivalents de dose aux points pour lesquels la protection radiologique est calculée doivent être au plus égaux aux valeurs réglementaires, définies pour chaque local attenant, à ne pas dépasser, aucun des aménagements postérieurs à la détermination des protections ne devant réduire leur efficacité.

Quelle que soit la configuration du **LOCAL RADIOLOGIQUE**, la continuité de la protection doit être assurée.

### 5.6.2 Lieux à protéger

Pour protéger ces lieux, il convient de considérer l'ensemble des **PAROIS** (parois latérales, plancher et plafond) :

- a) pour le faisceau primaire, les **PAROIS** interceptant celui-ci, **DIAPHRAGME** ouvert dans les conditions réelles d'utilisation les plus pénalisantes et en tenant compte des positions extrêmes du tube ;
- b) pour les **RAYONNEMENTS DIFFUSES ET DE FUITE**, l'ensemble des parois, en tenant compte, éventuellement, des éléments atténuants existants ou des **RAYONNEMENTS DIFFUSES** multiples.

Pour le calcul de la protection, il sera tenu compte de tous les éléments fixes pouvant concourir à une protection permanente, que ces éléments soient liés à la **TETE RADIOGENE**, à la **GAINE EQUIPEE** ou qu'ils fassent partie de l'**INSTALLATION RADIOLOGIQUE**.

Les distances a, b, c et d, et les dimensions des protections radiologiques (hauteur en particulier) sont à préciser et à justifier dans la note de calcul prévue au 5.1.

## 5.7 Equivalence en plomb de divers matériaux

D'autres matériaux que le plomb peuvent être utilisés pour assurer la protection radiologique. Ces matériaux doivent présenter tant par leur structure que par leur mise en œuvre une homogénéité suffisante, en tous points, pour ne pas modifier l'efficacité de la protection et pour la maintenir dans le temps. Les matériaux de construction contribuent également, partiellement ou totalement, à la protection radiologique.

L'Annexe C donne les **EQUIVALENTS D'ATTENUATION** en fonction de la nature du matériau atténuateur et de la haute tension maximale utilisée.

**NOTE** Lorsque la haute tension maximale utilisée n'est pas présente dans l'Annexe C, il convient d'utiliser par défaut la haute tension la plus proche.

Par défaut, l'épaisseur équivalente retenue doit être supérieure ou égale à l'épaisseur calculée e' d'après les paragraphes 4.4.2 et 4.5.3 quels que soient les matériaux utilisés et en tenant compte des épaisseurs disponibles.



Sur les valeurs de l'épaisseur de plomb théoriquement nécessaire calculée  $e'$ , les règles suivantes peuvent être appliquées pour obtenir les valeurs de l'épaisseur réelle de plomb nécessaire  $e$  :

- $n$  étant nul ou un nombre multiple de 0,5 mm
- $n < e' \leq n + 0,1$  alors  $e = n$
- $n + 0,1 < e' \leq n + 0,6$  alors  $e = n + 0,5$

Au-delà de 3 mm,  $n$  est choisi entier.

Lorsque d'autres matériaux que ceux précisés aux annexes susmentionnées sont employés, il est impératif de s'assurer de leur équivalence en plomb pour la haute tension considérée. Cette équivalence devra être précisée dans la note de calcul.

## 6 Dossier de conformité – Vérification des installations

### 6.1 Note de calcul

Une note de calcul (Voir Annexe D) récapitule les différents paramètres ayant été utilisés pour calculer les épaisseurs des **PAROIS** de protection. Cette note précisera et justifiera, en particulier :

- l'équivalent de dose maximal  $H_{\max}$  en mSv par mois ou en une heure
- la haute tension maximale utilisée  $HT_{\max}$  utilisée en kV ;
- la charge de travail  $W$  exprimée en mA.min par mois ou en une heure ;
- le rendement du tube  $\Gamma_R$  en mSv.m<sup>2</sup> / mA.min ;
- le coefficient  $k$  ou le facteur  $\alpha$  en cm<sup>-2</sup> et la surface exposée  $S$  en cm<sup>2</sup> ;
- le facteur  $Q$  en mA.min.h<sup>-1</sup> ;
- le facteur  $C_g$  en mSv.m<sup>2</sup>.h<sup>-1</sup> ;
- Les distances  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  en m ;
- le ou les facteur(s) d'orientation  $R$  ;
- le ou les facteur(s) d'occupation  $T$  ;
- l'épaisseur, la nature et la densité des matériaux
- les dimensions des protections retenues (hauteur en particulier).

### 6.2 Plan du local radiologique

Un ou des plans du **LOCAL RADIOLOGIQUE** (vue de dessus) et, si nécessaire de côté) doit (doivent) être établi(s) et tenu(s) à jour. Les plans doivent comporter au minimum les indications suivantes :

- La date de réalisation ;
- L'échelle utilisée ;
- Les dimensions du **LOCAL RADIOLOGIQUE**, y compris la hauteur de dalle à dalle ;
- la destination des locaux ou espaces attenants ;
- la nature et l'épaisseur de chacun des matériaux constituant les **PAROIS** du local ;
- si une **PAROI** est inhomogène, les dimensions de chacun des matériaux constituant cette **PAROI** ;
- les dispositifs fixes de protection collective ;
- l'implantation des appareils et, si applicable, les positions d'utilisation des **TETES RADIOGENES**, ainsi que les limites de la zone d'intervention (Voir 3.1) ;
- la localisation des points de référence utilisés pour la réalisation des calculs.



### 6.3 Vérification de l'efficacité des protections radiologiques

Les **LOCAUX RADIOLOGIQUES** sont vérifiés selon les conditions habituelles d'utilisation de l'**INSTALLATION RADIOLOGIQUE** en prenant en compte, pour chaque **PAROI**, les paramètres les plus défavorables (Voir 5.1), et conformément à la note de calcul (Voir Annexe D).

Les points de mesures devront être en nombre suffisant pour :

- vérifier l'atténuation de la **PAROI** considérée ;
- prendre en compte les **RAYONNEMENTS DIFFUSES** multiples.

Ils seront représentatifs du risque d'exposition des personnes susceptibles d'être présentes dans les locaux attenants du **LOCAL RADIOLOGIQUE** et seront reportés sur le plan défini au 5.2.

## Annexe A (informative)

### Figures

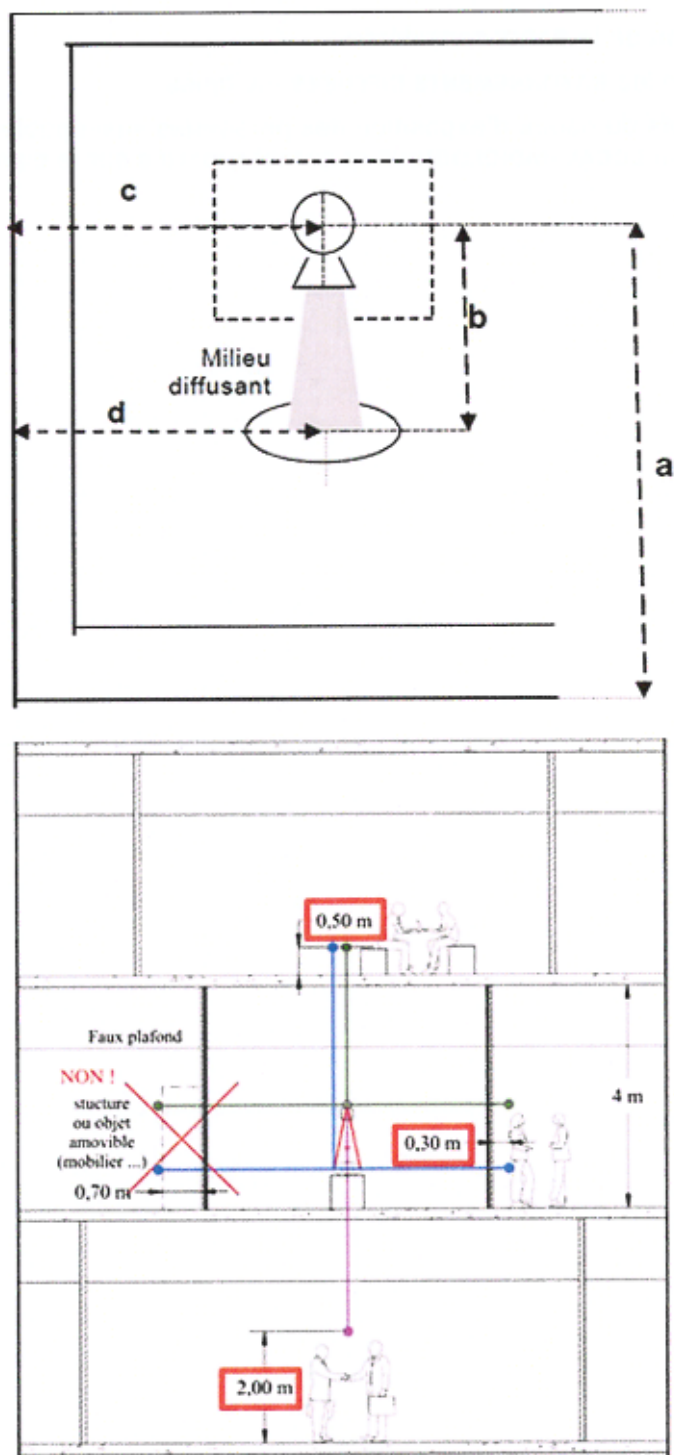


Figure A.1 – Schémas d'une installation et indication des paramètres de mesure utilisés dans les calculs

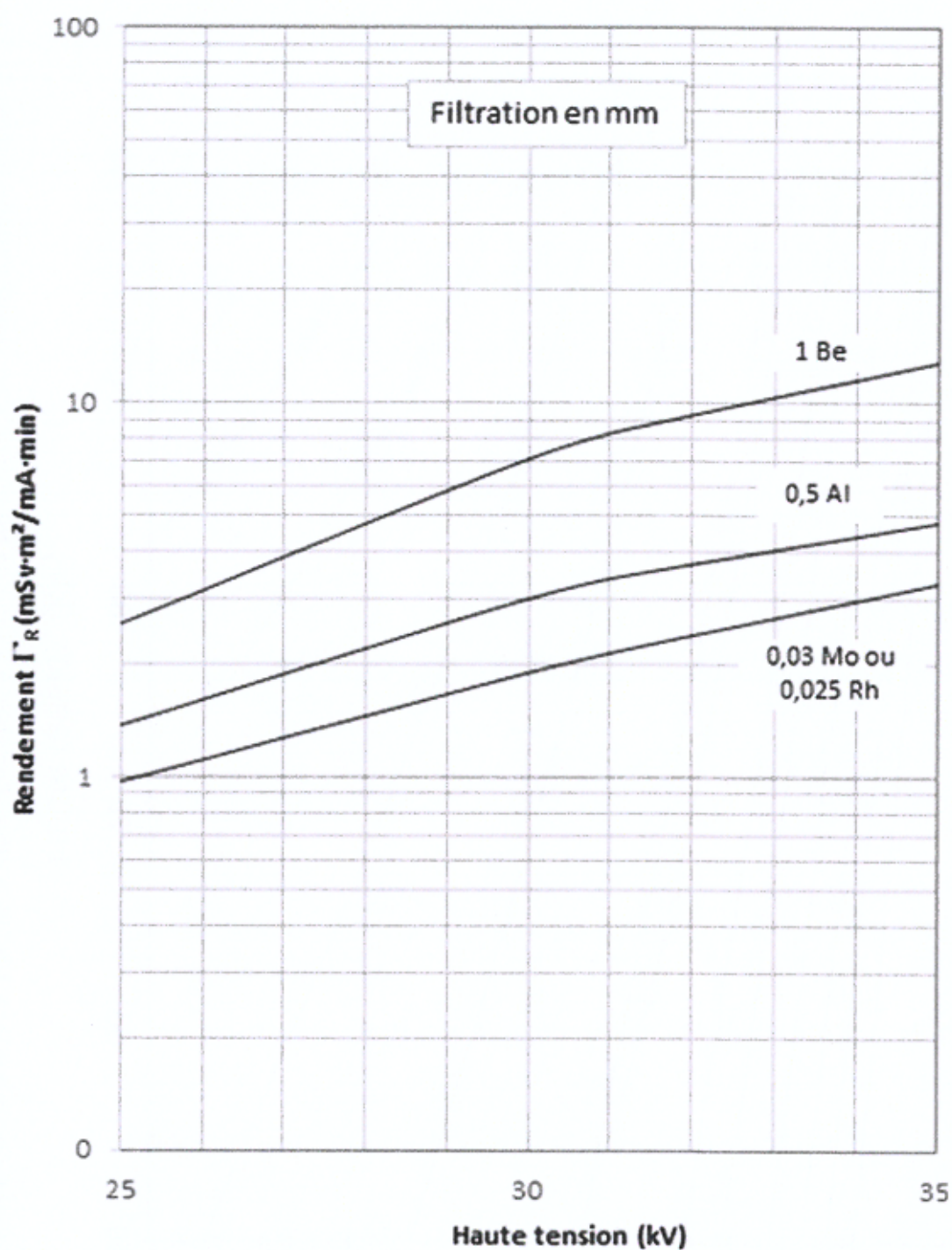


Figure A.2 – Rendement  $\Gamma_R$  (en mSv.m<sup>2</sup>/mA.min) à 1 m de la cible d'un tube à anode de molybdène ou tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 0,03 mm Mo pour des hautes tensions continues de 25 kV à 35 kV (d'après Nicolas Peron, Aurore Pillot (2017) Dimensionnement des locaux de mammographie, problématique de radioprotection)



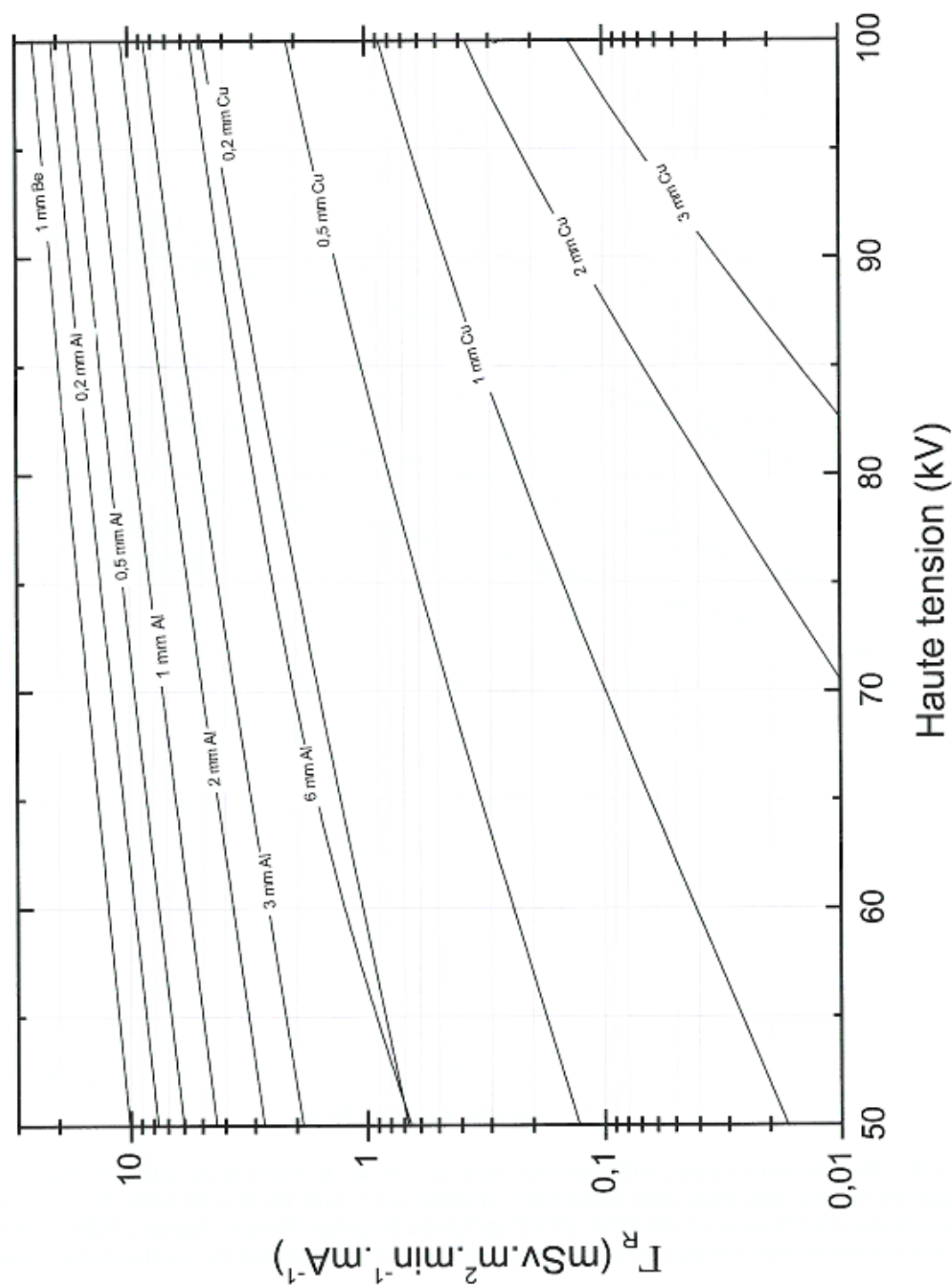


Figure A.3 – Rendement  $I_R$  (en  $\text{mSv.m}^2/\text{mA.min}$ ) à 1 m de la cible d'un tube à anode de tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 3 mm Cu pour des hautes tensions continues de 50 kV à 100 kV (d'après Antoni R, Bourgois L 2017 Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection Springer International publishing AG)

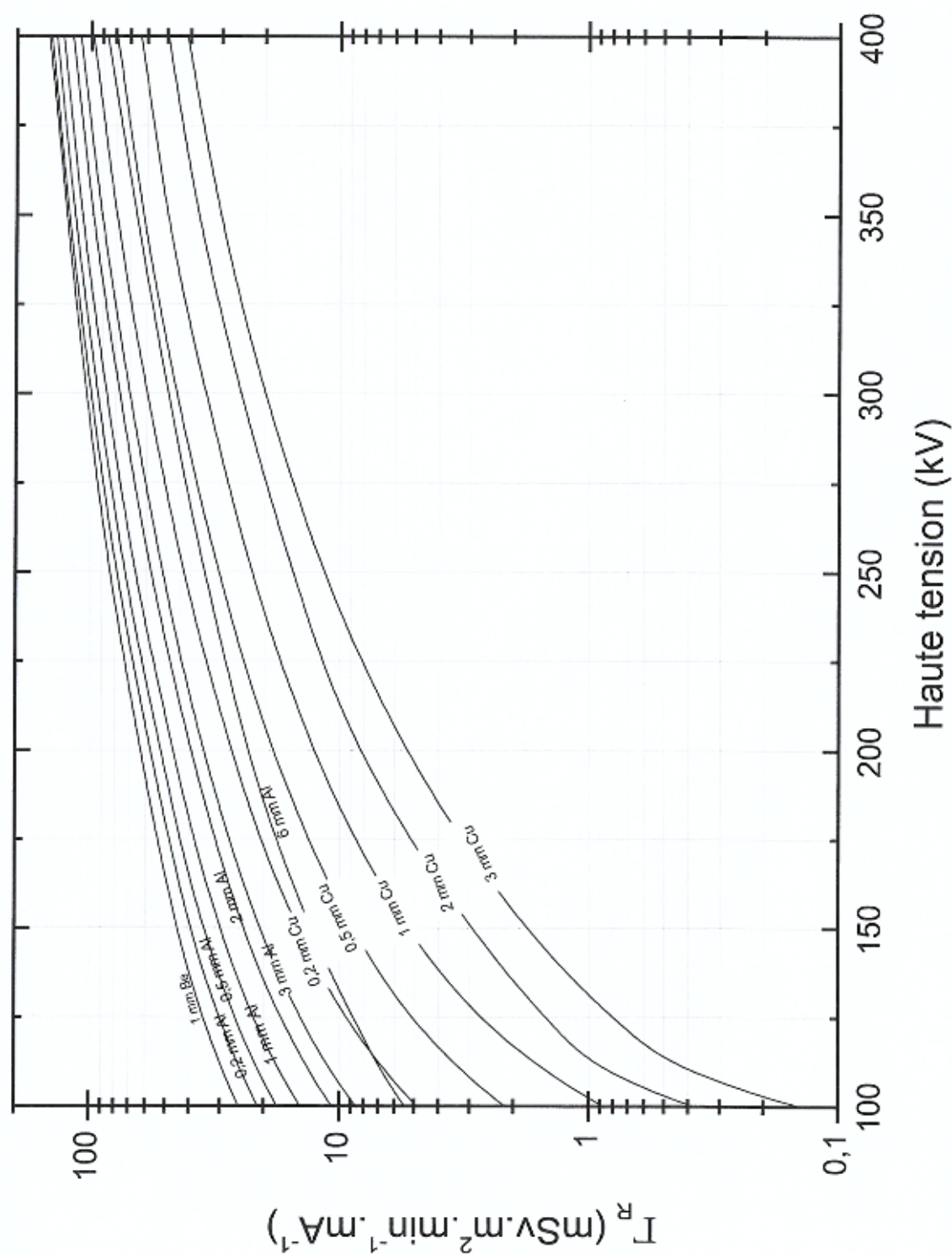


Figure A.4 – Rendement  $I_R$  (en  $\text{mSv.m}^2/\text{mA.min}$ ) à 1 m de la cible d'un tube à anode de tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 3 mm Cu pour des hautes tensions continues de 100 kV à 400 kV (d'après Antoni R, Bourgois L 2017 Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection Springer International publishing AG)

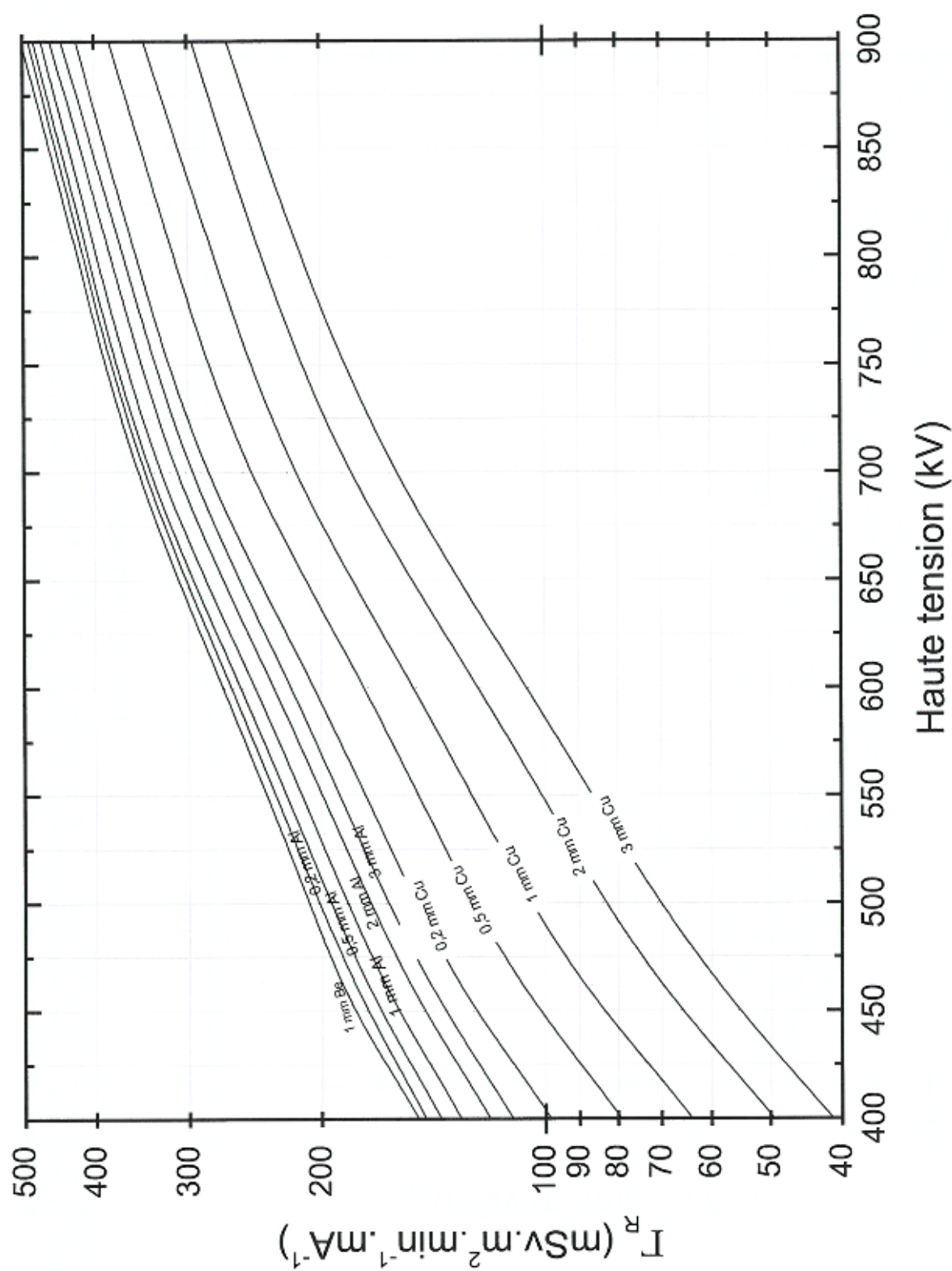


Figure A.5 – Rendement  $I_R$  (en  $\text{mSv.m}^2/\text{mA.min}$ ) à 1 m de la cible d'un tube à anode de tungstène avec des filtrations totales de 1 mm Be à 3 mm Cu pour des hautes tensions continues de 400 kV à 900 kV (d'après Antoni R, Bourgois L 2017 Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection Springer International publishing AG)



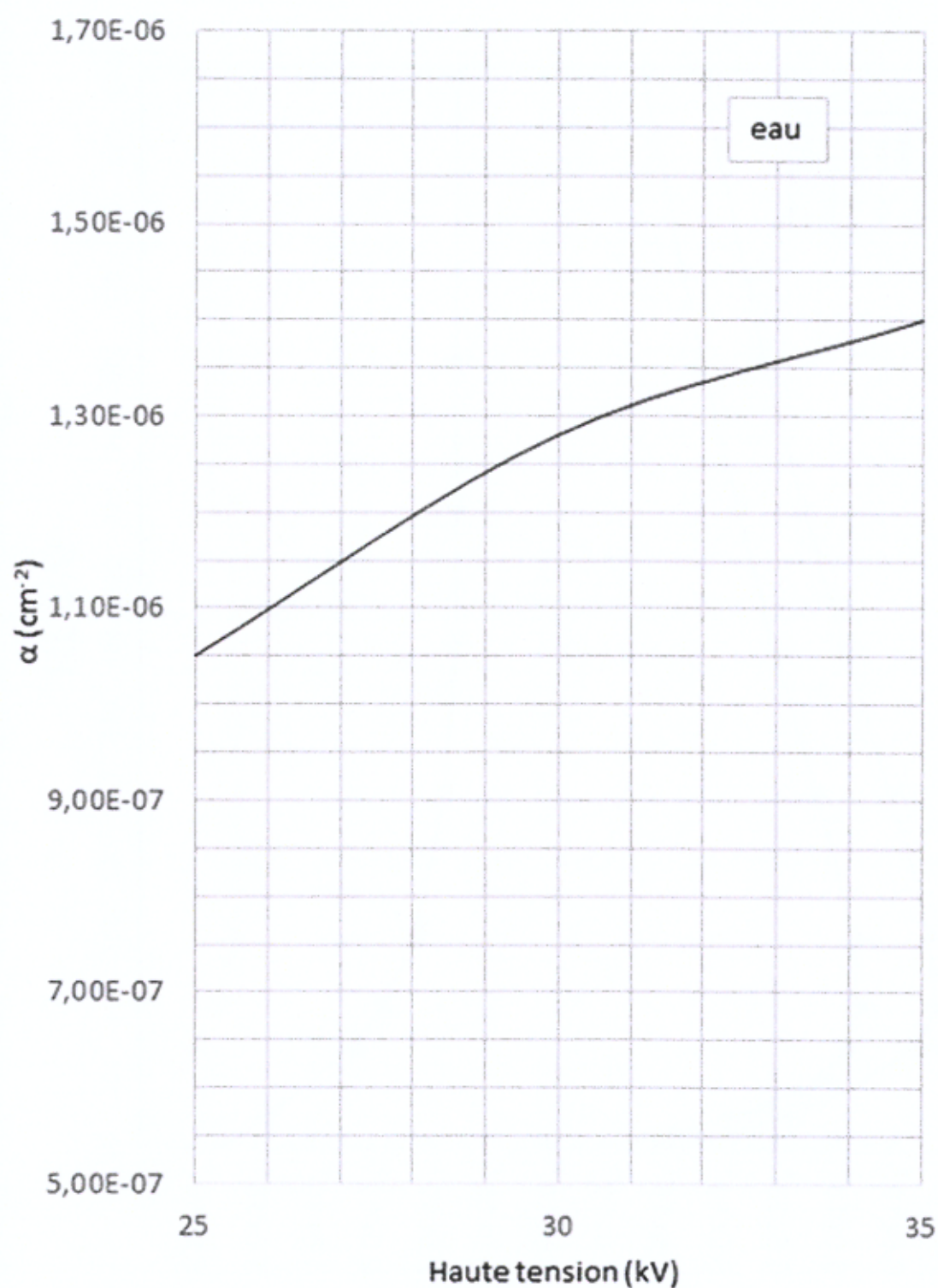


Figure A.6 – Valeurs du coefficient  $\alpha$  (en  $\text{cm}^{-2}$ ) caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire, pour des hautes tensions de 25 kV à 35 kV (d'après les données du rapport NCRP n°147)

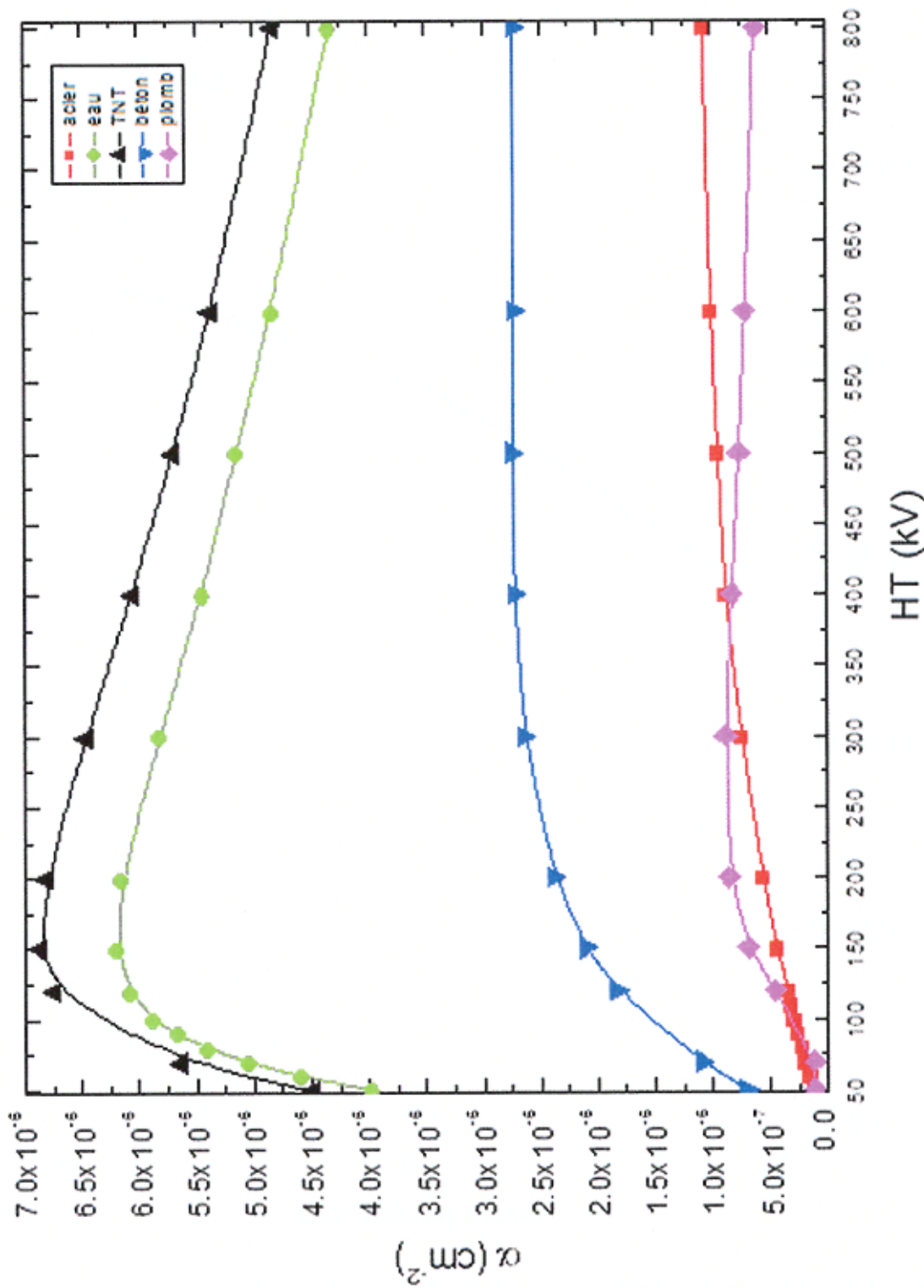


Figure A.7 – Valeurs du coefficient  $\alpha$  (en  $\text{cm}^{-2}$ ) caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire, pour des hautes tensions de 50 kV à 800 kV (d'après Laurent Bourgois, Stéphanie Ménard (2017) Évaluation par calcul Monte-Carlo des facteurs de diffusion en termes d'équivalent de dose, des rayonnements issus d'un générateur X, pour le calcul des équivalents de dose secondaires. Constitution d'une base de données. Rapport CEA-R-6452)

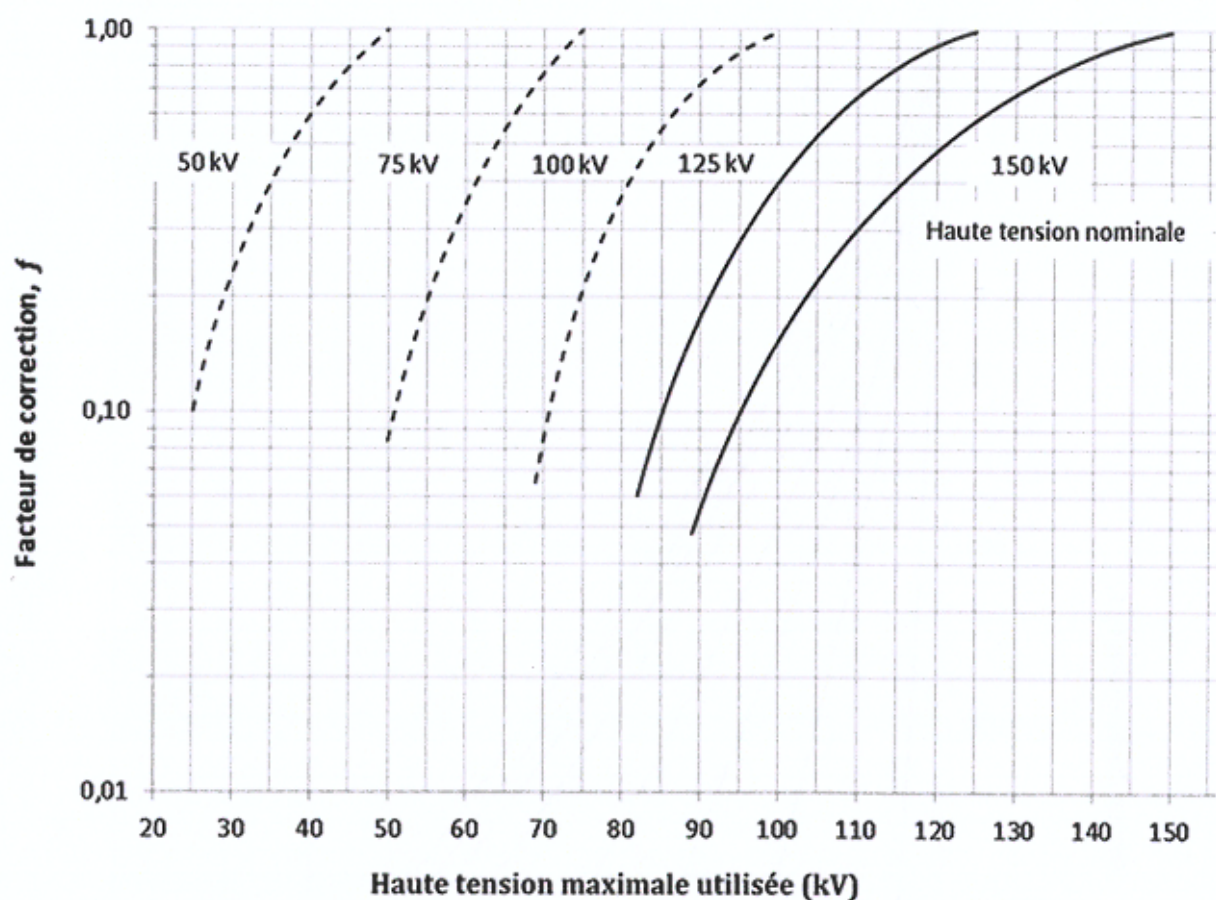
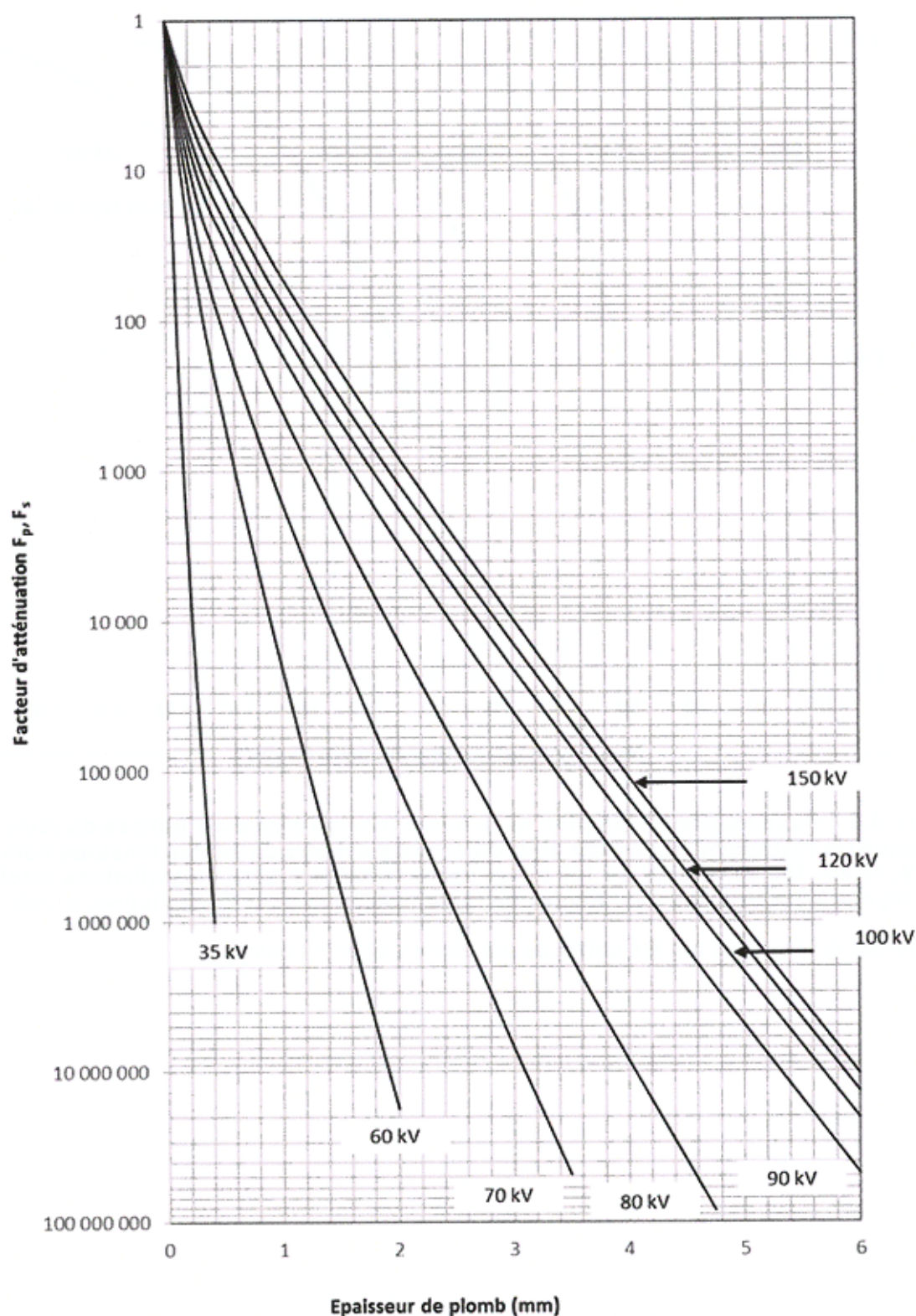


Figure A.8 – Dépendance en fonction de la haute tension maximale utilisée du facteur de correction du rayonnement de fuite pour différentes valeurs de hautes tensions nominales (50 kV, 75 kV, 100 kV, 125 kV ou 150 kV) (d'après ÖNORM S 5212 - Installations médicales aux rayons X jusqu'à 300 kV – Règles de radioprotection pour l'installation, 01/10/2005)

Les courbes en pointillés ont été obtenues par extrapolation ou calcul.





**Figure A.9 – Facteurs d'atténuation  $F_p$  et  $F_s$  dans le plomb pour les RAYONS X générés par des hautes tensions de 35 kV à 150 kV (d'après DIN 6812 – Installations médicales radiologiques jusqu'à 300 kV – Règles pour la conception structurelle de la radioprotection, juin 2013)**

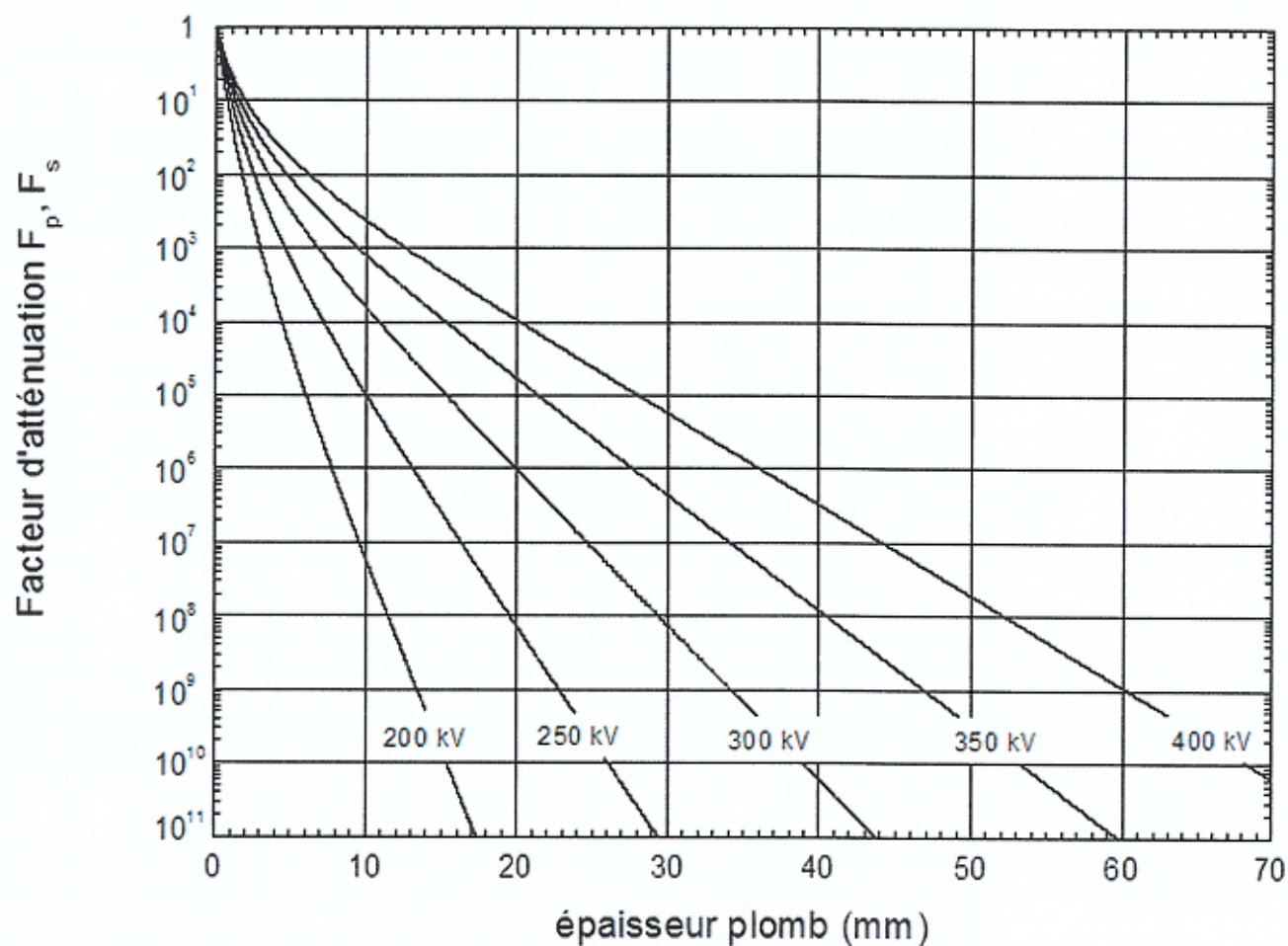


Figure A.10 – Facteurs d'atténuation  $F_p$  et  $F_s$  dans le plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 200 kV à 400 kV (d'après les données de Bourgois L., Ménard S. Dose equivalent transmission data for shielding industrial x-ray facilities up to 800 kV J. Radiol. Prot. 38 (2018) 471–479)



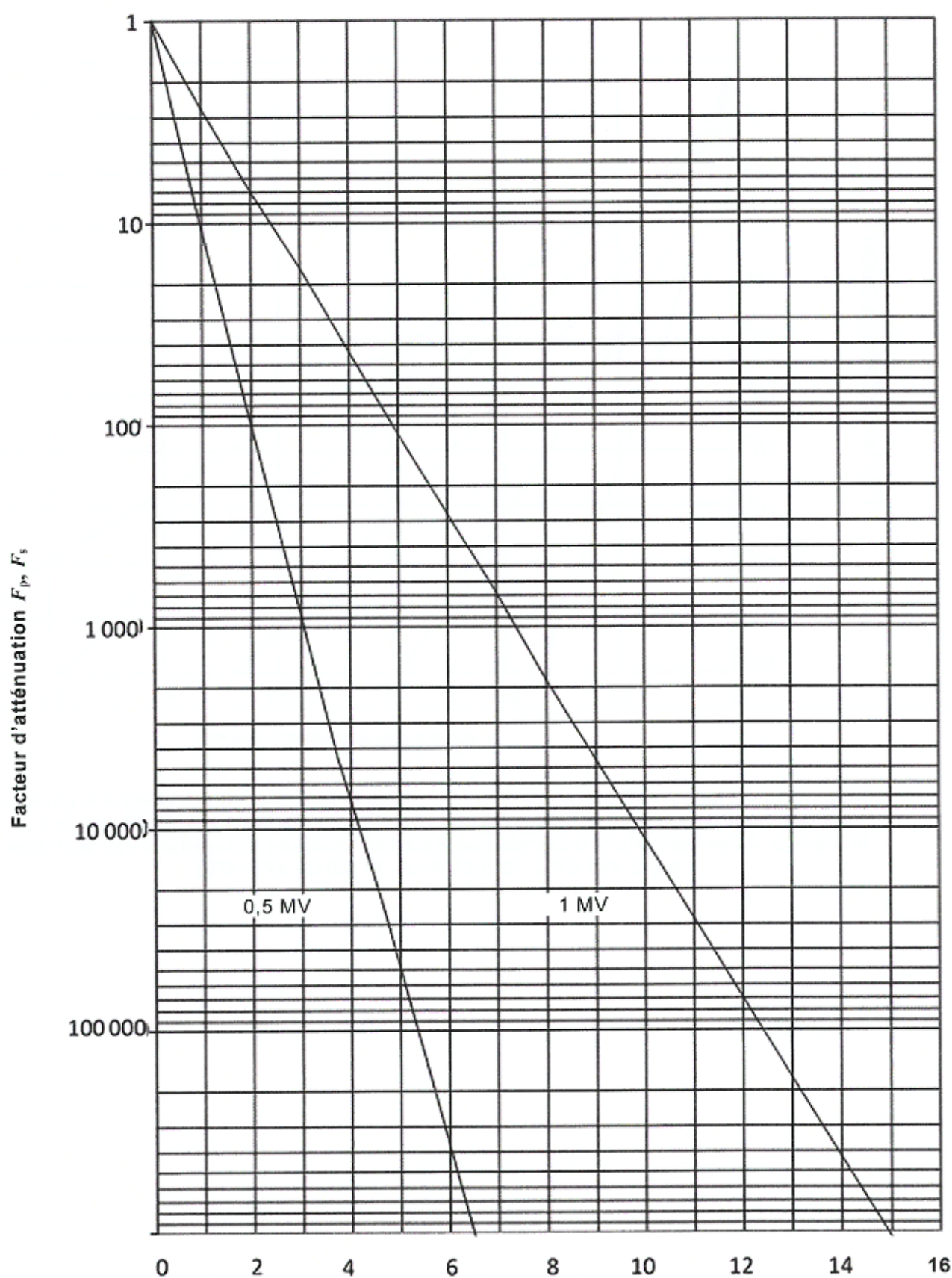


Figure A.11 – Facteurs d'atténuation  $F_p$  et  $F_s$  dans le plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 0,5 MV à 1 MV (d'après les données de la publication 33 de la CIPR)



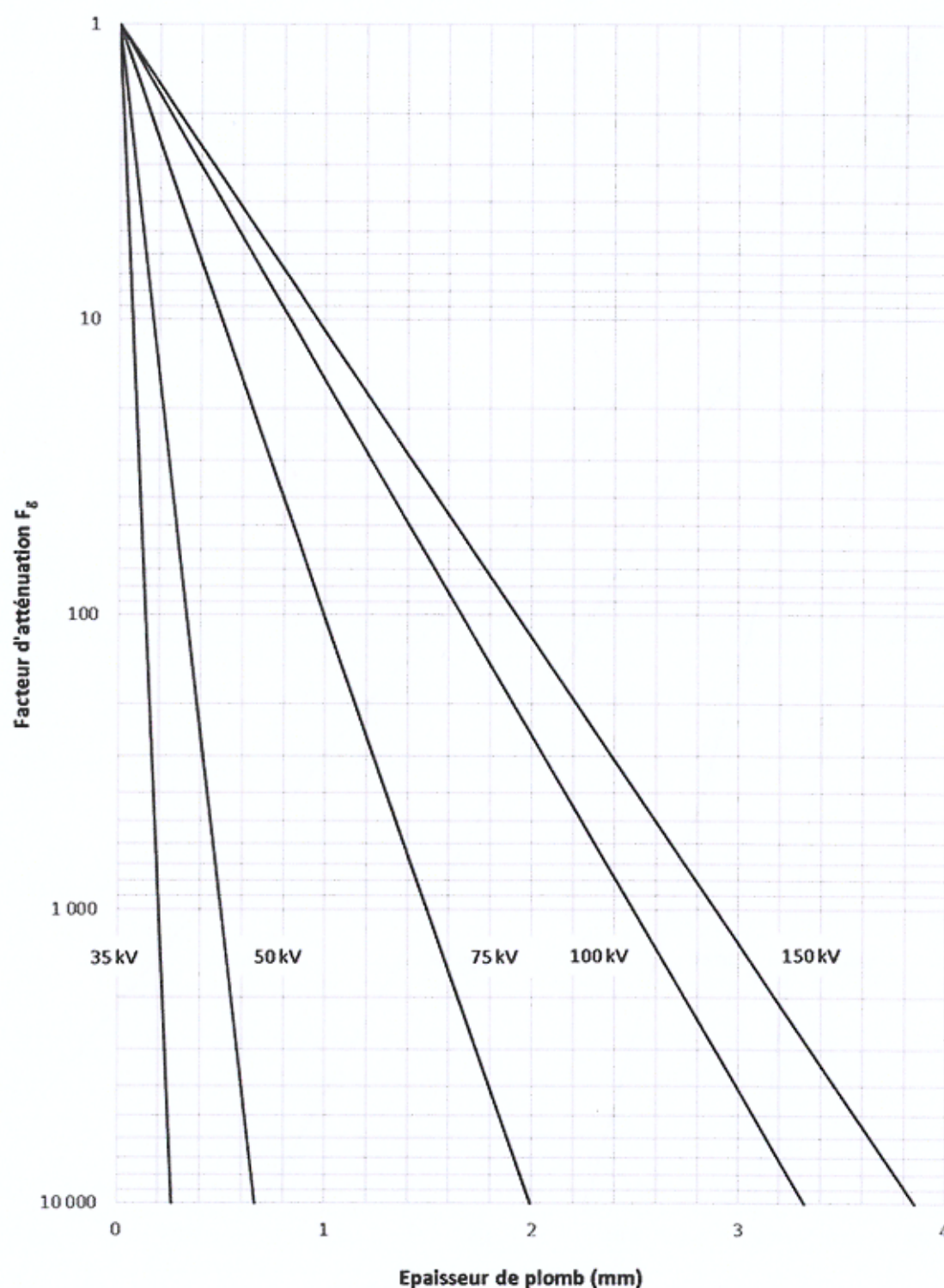


Figure A.12 – Facteurs d'atténuation  $F_g$  pour du rayonnement fortement filtré par du plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 35 kV à 150 kV (d'après les données du rapport NCRP n°147 et de la publication 33 de la CIPR)

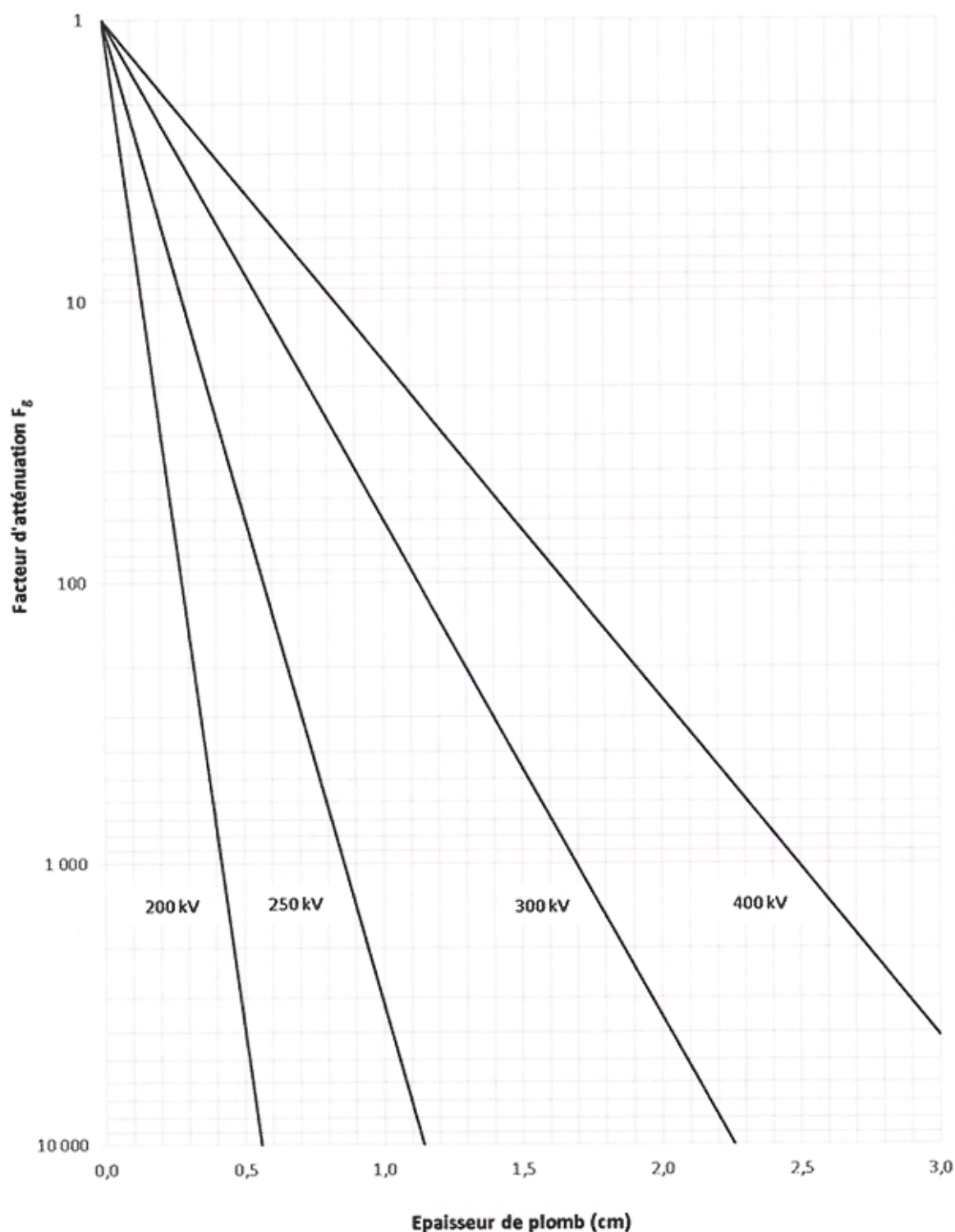


Figure A.13 – Facteurs d'atténuation  $F_g$  pour du rayonnement fortement filtré par du plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 200 kV à 400 kV (d'après les données de la publication 33 de la CIPR)

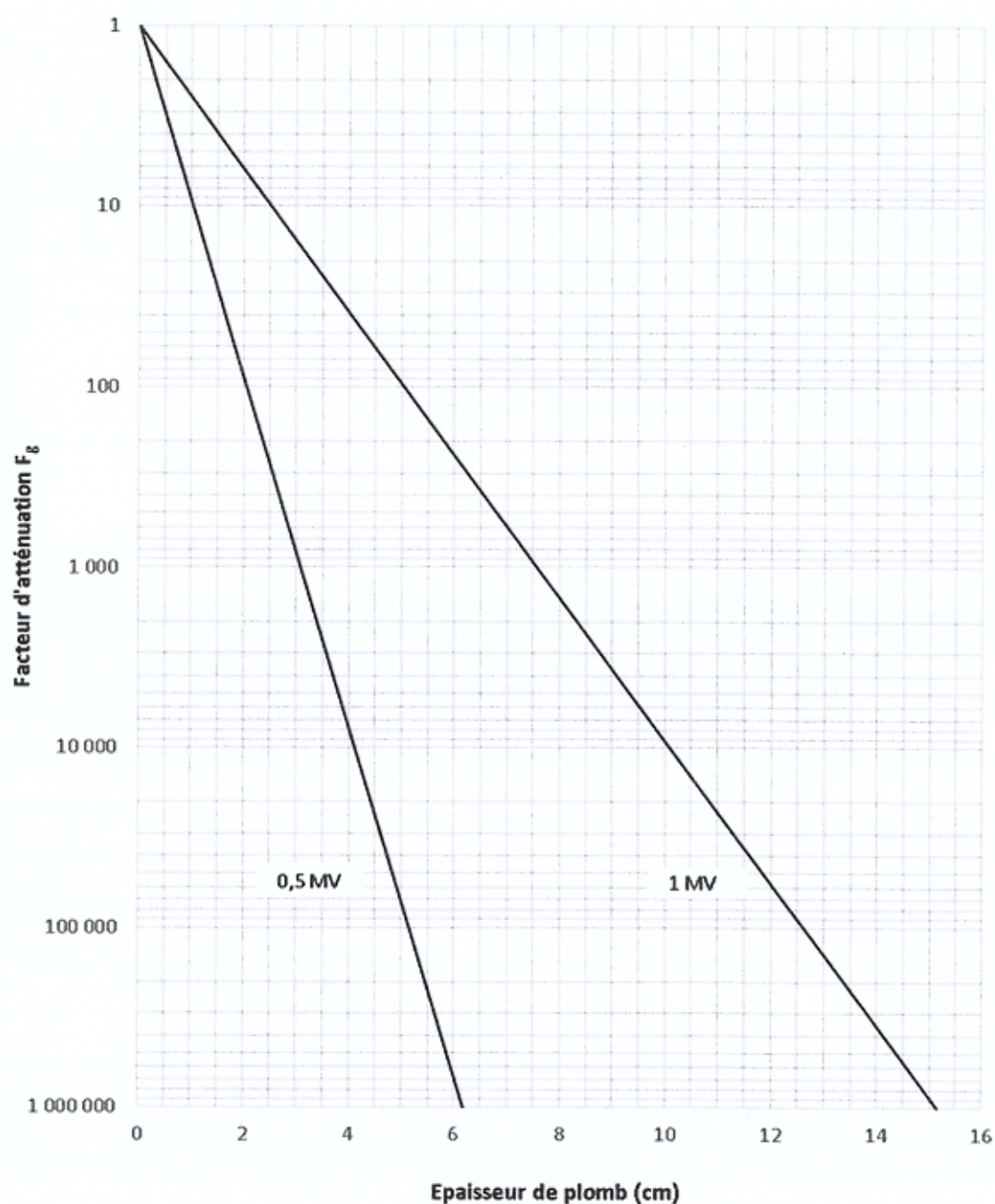


Figure A.14 – Facteurs d'atténuation  $F_g$  pour du rayonnement fortement filtré par du plomb pour les rayons X générés par des hautes tensions de 0,5 MV à 1 MV (d'après les données de la publication 33 de la CIPR)



## Annexe B (informative)

### Tableaux

**Tableau B.1 – Valeurs indicatives du facteur d'occupation,  $T$**

Type de local	Facteur d'occupation, $T$
Pièces adjacentes au local où sont produits les RAYONS X (hors cas ci-dessous) Tout autre lieu accessible avec stationnement de personnes : parking, lieu résidentiel...	1
Lieux d'occupation transitoire : dégagements couloirs, escaliers, ascenseurs, toilettes, cours, jardins, et lieux analogues Tout autre lieu accessible sans stationnement de personnes en dehors de l'établissement : voies publiques, lieux de passage sans stationnement de personnes...	0,20
Déshabillloirs et SAS Tout autre lieu réputé inaccessible	0,05

**Tableau B.2a – Valeurs indicatives du coefficient  $k$  caractérisant la contribution  
du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution  
du rayonnement primaire selon différents types d'application  
(valeurs d'après ÖNORM S 5212 – Installations médicales aux rayons X  
jusqu'à 300 kV – Règles de radioprotection pour l'installation, 01/10/2005)**

Application	$k$
Dentaire rétro-alvéolaire	0,0005
Dentaire panoramique	0,0001
Ostéodensitométrie	0,0005
Scanographie	$0,002 \times (l \text{ (cm)}/25 \text{ cm})^2$ <sup>a</sup>
Mammographie	0,001
Autres applications	voir tableau B.2b
<sup>a</sup> $l$ est la largeur maximale de la collimation du faisceau de rayons X à l'axe de rotation.	

**Tableau B.2b – Valeurs du coefficient  $k$  caractérisant la contribution du rayonnement diffusé à 1 m du milieu de diffusion par rapport à la contribution du rayonnement primaire, selon différents valeurs de la haute tension pour un angle de diffusion de 135° pour un usage médical (d'après Tableau B.2 NCRP 49 Structural shielding design and evaluation for medical use of X-ray and Gamma ray of energies up to 10 MeV, 1972)**

Haute tension (kV)	$k$
50	0,001
70	0,0013
85	0,0017
100	0,0022
125	0,0025
150	0,0026
≥ 200	0,0028

**Tableau B.3 – Epaisseurs de demi-atténuation et de déci-atténuation pour du rayonnement X fortement filtré (cas du rayonnement de fuite) dans des conditions de faisceau large, pour le plomb**

Haute tension (kV)	Epaisseur demi- atténuation (mm)	Epaisseur déci- atténuation (mm)
35	0,02	0,08
50	0,05	0,18
70	0,12	0,41
85	0,20	0,66
100	0,25	0,84
125	0,27	0,90
150	0,29	0,96
200	0,42	1,40
250	0,86	2,90
300	1,70	5,70
400	2,50	8,20
500	3,10	10,3
1 000	7,60	25,2

**Tableau B.4 – Valeurs indicatives du facteur  $Q$  (en mA·min.h<sup>-1</sup>)**

Application	$Q$ (mA·min.h <sup>-1</sup> )
Installations de radiologie dentaire rétro alvéolaire	10
Installations de radiologie dentaire panoramique	30
Installations de radiologie avec des HAUTES TENSIONS NOMINALES inférieures à 200 kV, y compris scanner volumique dentaire	180
Installations de radiologie avec des HAUTES TENSIONS NOMINALES supérieures ou égales à 200 kV et installations de scanographie	900

**Tableau B.5 – Valeurs indicatives du facteur  $C_g$  (en  $\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$ )**

Application	$C_g$ ( $\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$ )
Appareils de cristallographie et appareils analogues	0,0001
Installations de radiologie dentaire rétro-alvéolaire	0,25
Installations de radiologie avec des HAUTES TENSIONS NOMINALES inférieures ou égales à 150 kV	1
Installations de radiologie avec des HAUTES TENSIONS NOMINALES supérieures à 150 kV	10



## Annexe C (informative)

### Equivalence en plomb de certains matériaux atténuants

Tableau C.1 (1 sur 2)

Matière (densité)	Epaisseur de plomb (mm)	Epaisseur équivalente de matière, en millimètres, pour une haute tension et une filtration donnée					
		35 kV	50 kV	80 kV	100 kV	120 kV	150 kV
		0,03 Mo	2,5 mm Al				
Béton cellulaire (0,63)	0,2		84	72	66	72	82
	0,4		180	147	120	136	160
	0,6		280	220	170	194	230
	0,8		380	287	220	244	280
	1,0		480	360	270	298	340
	1,2				310	346	400
	1,4				350	390	450
	1,6				390	434	500
	1,8				430	482	560
	2,0				470	522	600
Plâtre (0,84)	0,2	62	50	49	48	54	63
	0,4	129	110	100	89	101	120
	0,6	196	170	150	130	148	175
	0,8	262	230	195	165	187	220
	1,0	329	290	245	200	228	270
Brique pleine (1,8)	0,5		100	75	70	76	84
	1		200	160	120	132	150
	2			342	195	221	260
	3			534	260	292	340
	4				330	366	420
	6				450	498	570
Béton (2,3)	0,5	59	62	52	44	50	60
	1	118	130	112	80	90	105
	2			237	140	156	180
	3			371	190	214	250
	4				240	264	300
	6				340	368	420
	8				440	476	530
	10				540	576	630
Verre (2,5)	0,2	26	20	19	18	18	18
	0,4			38	36	36	36
	0,6						45

Tableau C.1 (2 sur 2)

Matière (densité)	Epaisseur de plomb (mm)	Epaisseur équivalente de matière, en millimètres, pour une haute tension et une filtration donnée					
		35 kV	50 kV	80 kV	100 kV	120 kV	150 kV
		0,03 Mo	2,5 mm Al				
Aluminium (2,7)	0,2		15		16	16	17
	0,4		31		30	32	34
	0,6						44
Béton baryté (3,2)	0,5		15	10	4,0	5,0	7,3
	1		31	20	8,5	11	15
	2				17	23	33
	3				24	35	51
	4				30	45	67
	6				44	66	100
	8				57	86	130
	10				70	108	165
	12				82	127	195
Fer (7,9)	0,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,7	2,4
	0,4	2,1	2,4	2,4	2,4	3,5	5,2
	0,6	3,2	3,8	3,9	4,0	5,6	8,0
	0,8	4,2	5,2	5,2	5,2	7,5	11
	1,0	5,2	6,5	6,5	6,4	9,4	14
	1,2				8,0	12	17
	1,4				9,2	14	20
	1,6				10	15	23
	1,8				12	18	26
	2,0				13	19	28

Tableau C.2

Matière (densité)	Épaisseur de plomb (mm)	Épaisseur équivalente de matière, en millimètres, pour une haute tension et une filtration donnée		
		50 Kv <sup>*</sup>	75 kV <sup>*</sup>	100 kV <sup>*</sup>
Carreau plâtre (1,0)	0,2	50	35	30
	0,3	70	50	50
	0,4	85	70	65
	0,5	100	85	80
	0,6	125	100	95
Cloison alvéolée en plâtre <sup>a</sup> (1,0)	0,10	50	50	50
Bois dense <sup>b</sup>	0,10	50	50	50
<sup>a</sup> Les cloisons alvéolées de plâtre sont généralement constituées de 2 plaques de plâtre de 1 cm d'épaisseur chacune espacées de quelques cm de carton ondulé. <sup>*</sup> Les filtrations des tensions comprises entre 50 kV et 150 kV correspondent aux filtrations actuellement utilisées dans le domaine médical. <sup>b</sup> Voir NCRP 147.				



Tableau C.3 (1 sur 2)

Matière (densité)	Epaisseur de plomb (mm)	Epaisseur équivalente de matière, en millimètres, pour une haute tension et une filtration donnée					
		200 kV	250 kV	300 kV	400 kV	500 kV	1000 kV
		2,5 mm Al	0,5 mm Cu	3 mm Cu			
Plâtre (0,84)	0,2	62	60	56	51		
	0,4	110	105	95	86		
	0,6	155	145	130	117		
	0,8	200	180	165	149		
	1,0	240	220	190	171		
Brique pleine (1,8)	0,5	76	68	62	54		
	1	130	120	105	91		
	2	230	190	165	143		
	3	310	250	210	171		
	4	370	300	250	203		
	6	490	390	330	268		
	8	600	470	450	317		
	10		540	510	338		
	12		610	570	383		
	14			620	428		
	16				466		
Béton (2,3)	0,5	56	52	50	47		
	1	96	85	80	60	37	28
	2	165	135	125	110	59	44
	3	220	180	155	130	71	58
	4	270	220	185	150	83	66
	6	360	280	240	190	105	86
	8	440	350	290	240	128	100
	10	530	400	330	260	148	110
	12	610	460	370	290	171	122
	14		520	420	325	194	136
	16		580	460	350	217	147
	18		640	500	375	241	159
	20			550	400	264	171
	22			590	425	290	181
Verre (2,5)	0,2	15	15	15			
	0,4	32	27	24			
	0,6	44	39	34			
	0,8	50	45	38			
	1,0		47	42			

Tableau C.3 (2 sur 2)

Matière (densité)	Épaisseur de plomb (mm)	Épaisseur équivalente de matière, en millimètres, pour une haute tension et une filtration donnée					
		200 kV	250 kV	300 kV	400 kV	500 kV	1000 kV
		2,5 mm Al	0,5 mm Cu	3 mm Cu			
Aluminium (2,7)	0,2	15	14	12			
	0,4	30	26	20			
	0,6	40	37	32			
	0,8	46	42	37			
	1,0		46	42			
Béton baryté (3,2)	0,5	9,0	10	11	12		
	1	19	19	21	21		
	2	38	37	37	35		
	3	57	53	50	44		
	4	74	68	64	57		
	6	105	96	88	78		
	8	135	120				
	10	170	145				
	12	195	170				
	14	230	190				
	16	260	220				
	18		240				
Fer (7,9)	0,2	3,2	3,4	3,8	4,4		
	0,4	6,0	6,4	7,2	8,0		
	0,6	9,2	9,4	10	11		
	0,8	12	12	13	14		
	1,0	16	16	16	16		
	1,2	19	18	18	18		
	1,4	23	21	20	18		
	1,6	26	23	22	20		
	1,8	29	26	24	21		
	2,0	32	29	26	21		

## Annexe D (informative)

### Note de calcul

Tableau D.1

Etablissement /Raison sociale :										Date :											
Adresse :																					
Interlocuteur rencontré :																					
Tel : courriel :																					
Service : Local : Installateur : Appareil : Type : Scanner : l (cm) :			Type d'activité : $Q$ : $C_x$ : $k$ : $a$ : $S$ :			HT nominale (KV) : HT max utilisée (kV) : Filtration : $\Gamma_R$ : $f$ : Epaisseur demi atténuation Pb : Epaisseur déci atténuation Pb :			Mode d'utilisation : $I$ (mA) : $W$ (mA·min par mois ou en une heure) :												
Paroi		$H_{max}$	$T$	Rayonnement primaire $F_p = \frac{H_p \cdot T}{H_{max}} = \frac{\Gamma_R \cdot W \cdot R \cdot T}{H_{max} \cdot a^2}$				Rayonnement diffusé $F_s = \frac{H_s \cdot T}{H_{max}} = \frac{\Gamma_R \cdot W \cdot k \cdot T}{H_{max} \cdot b^2 \cdot d^2}$				Rayonnement de fuite $F_g = \frac{H_g \cdot T}{H_{max}} = \frac{C_g \cdot W \cdot f \cdot T}{H_{max} \cdot c^2 \cdot Q}$				Epaisseur Pb calculée		Protection existante Nature mm Eq. Pb mm		Protection à ajouter Nature mm Hauteur m ou Surf. m²	
				R	a	F <sub>p</sub>	Pb mm	b	d	F <sub>s</sub>	Pb mm	c	F <sub>g</sub>	Pb mm							
Commentaire :																					
Commentaire :																					



## Bibliographie

ANTONI R., BOURGOIS L. (2017), *Applied Physics of external radiation exposure dosimetry and radiation protection* Springer International publishing AG

BOURGOIS L., MÉNARD S. (2017), *Évaluation par calcul Monte-Carlo des facteurs de diffusion en termes d'équivalent de dose, des rayonnements issus d'un générateur X, pour le calcul des équivalents de dose secondaires. Constitution d'une base de données.* Rapport CEA-R-6452

PERON N., PILLOT A. (2017), *Dimensionnement des locaux de mammographie, problématique de radioprotection*

BOURGOIS L., MÉNARD S., (2018), *Dose equivalent transmission data for shielding industrial X-ray facilities up to 800 kV* J. Radiol. Prot. 38 (2018) 471–479

DIN 6812:2013-06, *Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes*

ÖNORM S 5212:2005, *Installations médicales aux rayons X jusqu'à 300 kV – Règles de radioprotection pour l'installation*

NCRP Report 147 (2005), *National Council on Radiation Protection and Measurements - Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*

NCRP 49, *Structural shielding design and evaluation for medical use of X-ray and Gamma ray of energies up to 10 MeV*

NF C 74-000:1989, *Radiologie médicale – Terminologie*

ICRP PUBLICATION 33 (1981), *International Commission on Radiological Protection*

ICRP PUBLICATION 3:1, *Protection against X-rays up to energies of 3 MeV and beta- and gamma-rays from sealed sources*

IEC 60050-881, *Vocabulaire Electrotechnique International – Radiologie et physique radiologique*

NF EN 60601-1-3, *Appareils électromédicaux – Partie 1-3 : Exigences générales pour la sécurité de base et les performances essentielles – Norme collatérale : Radioprotection dans les appareils à rayonnement X de diagnostic (indice de classement : C 74-014)*







