



DOSIMEX-GX 3.0

✓ **APPLICATION NORME NF C15-160 (2018)**

✓ **DOSSIER DE VALIDATION**

| | | | | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------|
| Secteur d'activité : | Medical | Calcul effectué par : | DOSIMEX | | | | |
| Domaine : | imagerie radiologique générale | Date : | 04/05/2019 09:59:50 | | | | |
| Appareil : | Appareil | | | | | | |
| HT utilisée (kV) : | 100 | Local adjacent : | Lieux d'occupation transitoire | | | | |
| Filtration : | Aluminium 1mm | T occupation : | 0.2 | | | | |
| Γ_R (mGy.m2/min/mA) : | 1.59E+01 | Paroi : | Béton cellulaire | Equivalent Pb | | | |
| Largeur Faisceau l (cm) : | | Epaisseur (mm) : | 10 | 0 | | | |
| W mA.min/mois : | 1600 | Hmax μ Sv/mois : | 80 | | | | |
| Rayonnement primaire | R 1 | a 1 | Hp×T μ Sv/mois 5.09E+03 | Fp 6.36E+04 | Xpb 3.5 | | |
| Rayonnement diffusé | k (m²) 0.0022 | b 1 | d 1 | Hs×T μ Sv/mois 1.12E+01 | Fs 1.40E+02 | Xpb 1.1 | |
| Rayonnement de fuite | f 1 | c 1 | Q 180 | Cg 1 | Hg×T μ Sv/mois 1.78E+00 | Fg 2.23E+01 | Xpb 0.66 |
| Epaisseur équivalente de protection de plomb calculée (mm) | | | | | 3.5 | | |

Alain VIVIER, Gérald LOPEZ

SEPTEMBRE 2019

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| PARTIE I. APPLICATION « FEUILLE DE CALCUL NF C15-160 » | 3 |
| I- 1 : PREAMBULE : UN PETIT MOT SUR LA VERSION 2018 DE LA NORME NF C 15-1603 | |
| I- 2 : LES LACUNES DE LA NORME NF C 15-160 (2018) | 5 |
| I- 3 : MISE EN ŒUVRE DE L'APPLICATION DE LA NF C 15-160 | 8 |
| <i>1.3.1 Choix de l'application NF C 15-160.....</i> | <i>8</i> |
| I- 4 : ONGLET « ACTIVITE & LOCAL ADJACENT » | 9 |
| I- 5 : ONGLET « GENERATEUR X » | 14 |
| I- 6 : ONGLET « IMPACT DU AU RAYONNEMENT PRIMAIRE » | 16 |
| I- 7 : ONGLET « IMPACT DU AU RAYONNEMENT DIFFUSE » | 17 |
| I- 8 : ONGLET « IMPACT DU AU RAYONNEMENT DE FUITE » | 18 |
| I- 9 : ONGLET « RESULTATS » | 19 |
| PARTIE II. VALIDATION | 20 |
| II- 1 : METHODE DE VALIDATION | 20 |
| II- 2 : RESULTATS AVANT MODIFICATION DU TABLEAUX D'EQUIVALENCE..... | 22 |
| II- 3 : RESULTATS APRES MODIFICATION DU TABLEAUX D'EQUIVALENCE..... | 28 |
| II- 4 : ANNEXE : TABLEAU D'EQUIVALENCE ENRICHI | 33 |

Partie I. APPLICATION « FEUILLE DE CALCUL NF C15-160 »

I- 1 : PREAMBULE : UN PETIT MOT SUR LA VERSION 2018 DE LA NORME NF C 15-160

Tout d'abord nous tenons à remercier :

- ❖ **Dr Dominique SCHIEDTS, Chirurgienne orthopédiste ? responsable du Service de Radioprotection
Centre Hospitalier Public de Cherbourg**
- ❖ **pour le réseau PCR Dentaire GoogleGroup : Yann RAFFOUX dentiste et conseiller en radioprotection**
 - ❖ **Benjamin MENARD, PCR , Service de Radiophysique, CLCC François BACLESSE**

Pour leur aide indispensable apportée pour la phase de validation de cet utilitaire

Les différences avec la version 2011 sont relativement nombreuses et d'importances variables. Parmi les plus importantes on peut citer :

- L'utilisation de l'équivalent de dose $H^*(10)$ en sievert en lieu et place du kerma air en gray. Cette modification n'est pas explicité dans la nouvelle norme et reste peu visible car la version de 2011 utilisait déjà l'unité « sievert » au lieu de « gray » pour des valeurs en kerma air. Cette modification est importante car elle modifié parfois significativement, notamment pour les faibles filtrations, les valeurs de rendement et d'atténuation. Notons aussi que sur l'aspect radioprotection, cette modification va dans le bon sens, le kerma air n'étant pas une grandeur de protection, mais une grandeur métrologique
- Les charges W pour les domaines médicaux et vétérinaires sont maintenant calculées sur 1 mois. (§ 5.3.1). Pour le domaine industriel, et en particuliers pour les utilisations en continus des générateurs X, la charge est rapportée à 1 heures (§ 5.3.2). Par contre la norme a omis de donner les tableaux des valeurs indicatives pur ces charges. Nous avons repris dans cette application les valeurs de la norme de 2011 et les avons rapporté respectivement à 1 mois ($\times 4$) pour le domaine médical et vétérinaire et à 1 heure ($/40$) pour le domaine industriel)
- La prise en compte de la surface éclairée pour calculer le débit d'équivalent de dose en rétrodiffusé. La norme propose un jeu de coefficient alpha (*voir manuel 2 sur le modèle physique du générateur X*) tiré du rapport CEA R-6452 (*Laurent Bourgois, Stéphanie Ménard, CEA 2017*) . Ces coefficients sont donnés pour 5 milieux - eau, TNT, Béton, fer, plomb- pour une filtration de 6

mm d'aluminium et 1 mm de béryllium. Cette dernière modification, même si elle reste assez limitée en données, représente une amélioration notable par rapport à la version de 2011

- Une extension des Hautes Tensions de 25 kV à 1 MV au lieu de 50 kV à 600 MV pour la version 2011.

I- 2 : LES LACUNES DE LA NORME NF C 15-160 (2018)

La norme comportent quelques lacunes qu'il nous a fallut combler pour pouvoir réaliser une application automatisée qui réponde aux attentes et usages des utilisateurs :

- **Lacune 1** : les valeurs indicatives W ont été ni plus ni moins oubliées ! Elles devaient apparaître dans le § 4.3 cité en référence, mais ce chapitre n'existe pas (voir § 5.3.2). Nous avons repris pour l'application de la version 2018 les valeurs indicatives de la version 2011 (tableau 1) en rapportant les valeurs à 1 mois pour le domaine médical et 1 h pour le domaine industriel
- **Lacune 2** : la règle d'arrondi introduite au § 5.7 est incomplète : la règle d'arrondi n'est pas précisée pour $e > 3$ mm. Pour les valeurs inférieures à 3 on a par exemple 2,1 mm arrondi à 2 mm et 2,11 mm arrondi à 2,5 mm.

Cette règle n'est pas précisée pour les valeurs supérieures à 3 où le pas d'arrondi est égal à 1 mm
Nous avons alors adopté la règle suivante pour n entier :

$$n \leq e' \leq n+0,1 \Rightarrow e = n$$

$$n+0,1 < e' \leq n+1,1 \Rightarrow e = n+1$$

Exemple : $e' = 3,1$ mm alors $e = 3$ mm
 $e' = 3,11$ mm alors $e = 4$ mm

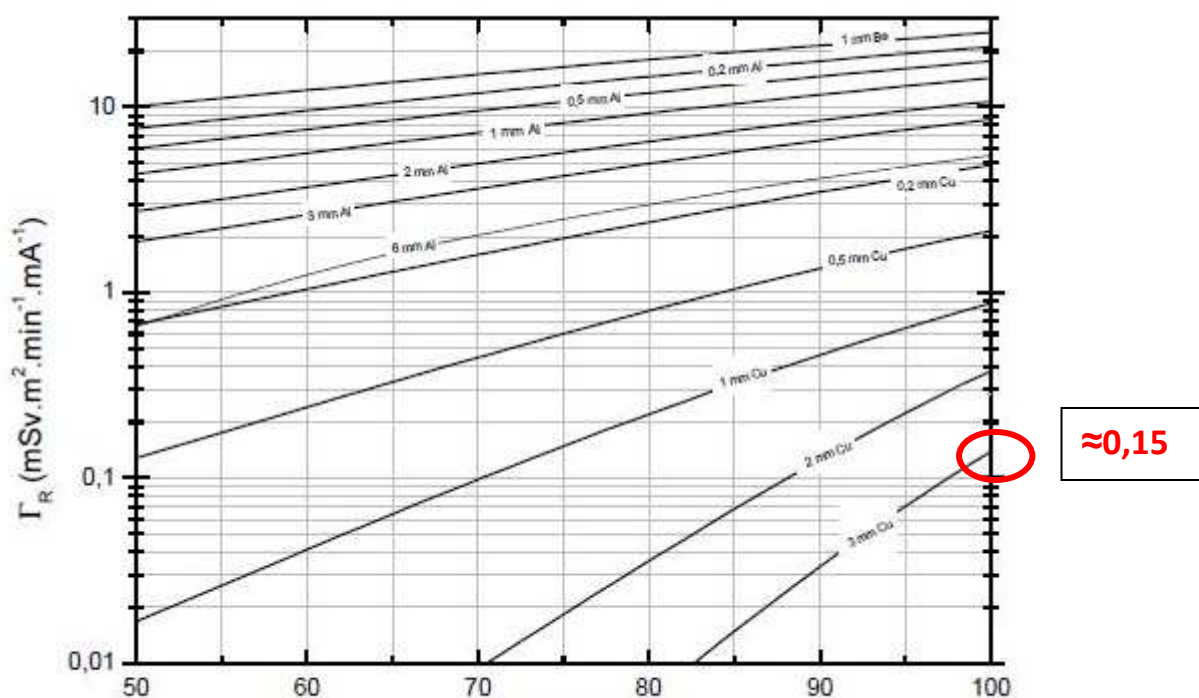
Cette règle est discutable il nous fallait trancher en attendant une éventuelle et hypothétique correction. A noter qu'un tel arrondi va dans le sens de la surprotection donc respecte le principe fondamental de la surestimation en radioprotection

- **Lacune 3** : La norme propose des équivalence plomb pour certains matériaux (tableaux C1, C2 et C3). Cette étape impacte fortement le résultat final. Mais un problème apparaît lorsque l'épaisseur réelle n'existe pas dans les tableaux, par exemple 200 mm de béton. Deux options sont alors possibles pour l'utilisateur : il peut choisir de prendre l'équivalence plomb pour l'épaisseur tabulée la plus proche, au risque de surestimer ou sous-estimer l'épaisseur équivalente. Si l'on prend le cas à 120 kV, on a pour 214 mm de béton : 3 mm de Pb et pour 156 mm de béton : 2 mm de Pb. Quelle valeur choisir pour 200 mm ? La norme ne dit strictement rien là-dessus. Il peut aussi choisir d'interpoler linéairement entre les deux valeurs existantes, ce qui semble justifié en analysant l'évolution des valeurs. L'étape de validation nous a permis de constater que les pratiques pouvaient effectivement varier d'un utilisateur à l'autre. Nous avons alors choisi d'implémenter une méthode réalisant un mix de ces différentes pratiques : tout d'abord nous avons fortement enrichi le tableau d'équivalence en réduisant le pas des épaisseurs de plomb en calculant des valeurs intermédiaires par interpolation linéaire. Ensuite nous prenons comme épaisseur équivalente l'épaisseur correspondante à la valeur inférieure. Dans l'exemple précédent nous obtenons alors 2,7 mm de plomb pour 200 mm de béton amené à appliquer

- **Lacune 4** : il existe des écarts entre les différentes représentations pour certaines valeurs de références pour les rendements

Par exemple des différences apparaissent entre certaines valeurs des abaques des rendements présentées dans la norme et les valeurs numériques des références indiquées, ici l'ouvrage *Applied Physics of External Radiation Exposure* (Rodolphe Antoni et Laurent Bourgois, Springer 2017)

A cette date (septembre 2019) ce défaut, qui proviendrait d'une erreur de fit, a été transmis aux auteurs de la norme, dans l'attente d'une solution



Ambient dose equivalent rate—H*(10)—to 1 m due to bremsstrahlung photons of a tungsten target bombarded with energy electron E and intensity 1 mA

| Filtration | None | 0.2 mm Al | 0.5 mm Al | 1 mm Al | 2 mm Al | 3 mm Al | 0.2 mm Cu | 0.5 mm Cu | 1 mm Cu | 2 mm Cu | 3 mm Cu |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| E(KV) | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min |
| 50 | 1.01E + 01 | 7.69E + 00 | 6.00E + 00 | 4.35E + 00 | 2.75E + 00 | 1.87E + 00 | 6.75E + 00 | 1.28E - 01 | 1.69E - 02 | 5.72E - 04 | 2.92E - 05 |
| 100 | 2.73E + 01 | 2.31E + 01 | 1.94E + 01 | 1.59E + 01 | 1.22E + 01 | 9.94E + 00 | 5.97E + 00 | 3.02E + 00 | 1.46E + 00 | 6.41E - 01 | 2.79E - 01 |
| 120 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.31E + 00 | 6.91E - 01 |
| 150 | 4.60E + 01 | 4.07E + 01 | 3.63E + 01 | 3.13E + 01 | 2.53E + 01 | 2.18E + 01 | 1.57E + 01 | 9.50E + 00 | 5.78E + 00 | 3.05E + 00 | 1.89E + 00 |
| 200 | 6.28E + 01 | 5.74E + 01 | 5.24E + 01 | 4.67E + 01 | 3.97E + 01 | 3.57E + 01 | 2.76E + 01 | 1.90E + 01 | 1.32E + 01 | 8.92E + 00 | 5.63E + 00 |
| 250 | 8.44E + 01 | 7.95E + 01 | 7.38E + 01 | 6.72E + 01 | 5.82E + 01 | 5.21E + 01 | 4.29E + 01 | 3.11E + 01 | 2.30E + 01 | 1.56E + 01 | 1.20E + 01 |
| 300 | 1.04E + 02 | 9.97E + 01 | 9.40E + 01 | 8.67E + 01 | 7.68E + 01 | 7.03E + 01 | 6.01E + 01 | 4.56E + 01 | 3.48E + 01 | 2.52E + 01 | 2.02E + 01 |
| 350 | 1.25E + 02 | 1.23E + 02 | 1.17E + 02 | 1.10E + 02 | 9.93E + 01 | 9.14E + 01 | 8.02E + 01 | 6.28E + 01 | 5.06E + 01 | 3.78E + 01 | 3.08E + 01 |
| 400 | 1.46E + 02 | 1.44E + 02 | 1.37E + 02 | 1.29E + 02 | 1.18E + 02 | 1.10E + 02 | 9.74E + 01 | 7.86E + 01 | 6.30E + 01 | 4.91E + 01 | 4.12E + 01 |
| 450 | 1.83E + 02 | 1.74E + 02 | 1.67E + 02 | 1.58E + 02 | 1.46E + 02 | 1.37E + 02 | 1.25E + 02 | 1.02E + 02 | 8.42E + 01 | 6.61E + 01 | 5.52E + 01 |
| 500 | 2.07E + 02 | 2.02E + 02 | 1.94E + 02 | 1.85E + 02 | 1.72E + 02 | 1.63E + 02 | 1.50E + 02 | 1.26E + 02 | 1.05E + 02 | 8.37E + 01 | 7.09E + 01 |
| 600 | 2.69E + 02 | 2.62E + 02 | 2.54E + 02 | 2.43E + 02 | 2.30E + 02 | 2.18E + 02 | 2.03E + 02 | 1.73E + 02 | 1.49E + 02 | 1.22E + 02 | 1.05E + 02 |
| 700 | 3.55E + 02 | 3.48E + 02 | 3.43E + 02 | 3.33E + 02 | 3.17E + 02 | 3.02E + 02 | 2.88E + 02 | 2.54E + 02 | 2.22E + 02 | 1.87E + 02 | 1.61E + 02 |
| 800 | 4.22E + 02 | 4.15E + 02 | 4.07E + 02 | 3.97E + 02 | 3.79E + 02 | 3.65E + 02 | 3.52E + 02 | 3.13E + 02 | 2.77E + 02 | 2.41E + 02 | 2.14E + 02 |
| 900 | 5.02E + 02 | 4.91E + 02 | 4.84E + 02 | 4.73E + 02 | 4.59E + 02 | 4.44E + 02 | 4.24E + 02 | 3.81E + 02 | 3.43E + 02 | 2.95E + 02 | 2.66E + 02 |

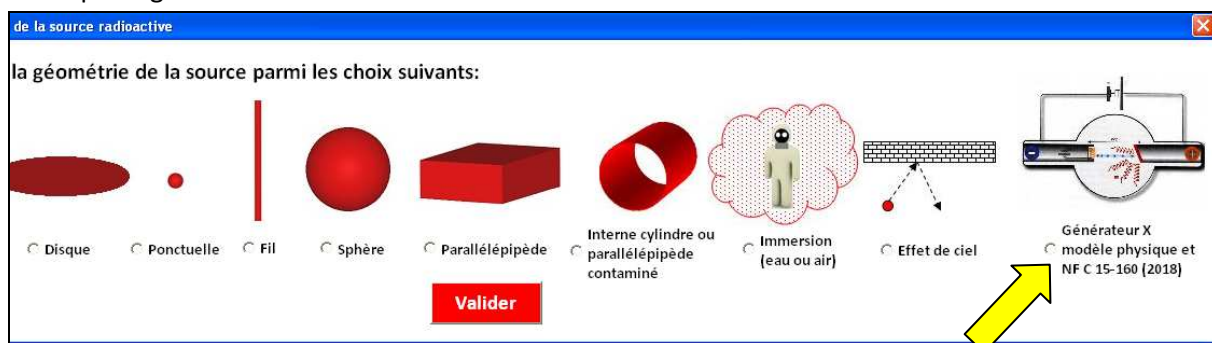
Exemple : pour une filtration de 3 mm de cuivre et une HT de 100 kV le rendement « abaque » est de l'ordre de $0,15 \text{ mSv.m}^2.\text{min}^{-1}.\text{mA}^{-1}$ et égal exactement à $0,279 \text{ mSv.m}^2.\text{min}^{-1}.\text{mA}^{-1}$ dans le tableau de référence, soit 100 % d'écart.

Pour l'application de la norme 15-160 nous avons conservé les valeurs tableaux, proche des valeurs calculées avec le modèle physique (voir dossier de validation générateur X pour le primaire)

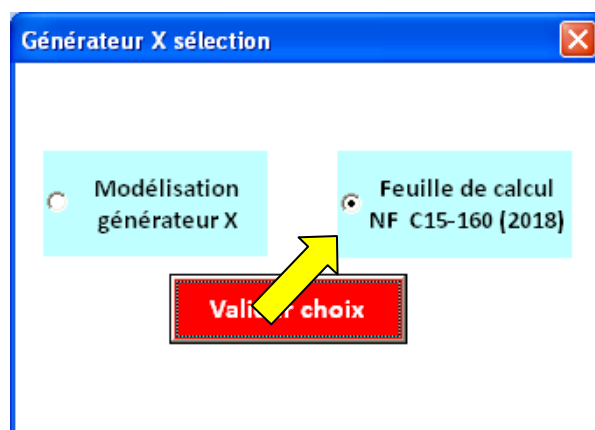
I- 3 : MISE EN ŒUVRE DE L'APPLICATION DE LA NF C 15-160

I.3.1 CHOIX DE L'APPLICATION NF C 15-160

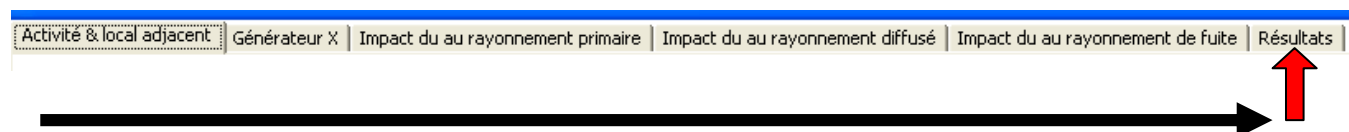
Cliquez sur l'option générateur X :



Puis choisir l'option NF C 15-160



Une boîte de dialogue avec 6 onglets apparaît. Il faut renseigner les 5 premiers onglets avant de pouvoir lancer le calcul automatique :



I- 4 : ONGLET « ACTIVITE & LOCAL ADJACENT »

Cet onglet propose, après saisie de l'activité (1) et du domaine d'emploi (2) i, une valeur indicative de charge de travail W en mA.min

Activité

Domaine d'activité

Medical

Application

Medical
Vétérinaire
Industriel

Valeur indicative NFC 15-160 de 2011
Ramenée à 1 mois pour le médical et 1 h pour l'industriel

Activité

Domaine d'activité

Medical

Application

imagerie radiologique générale avec scopie et graphie
imagerie radiologique générale avec graphie uniquement
imagerie radiologique pulmonaire seule
imagerie radiologique diagnostique en angiographie et cardiologie
imagerie radiologique au bloc opératoire
imagerie radiologique interventionnelle (hors bloc opératoire)
Mammographie
scanographie

NFC 15-160 de 2011
Ramenée à 1 mois pour le médical et 1 h pour l'industriel

. Les valeurs données (3) ici sont extrapolées de la norme de 2011, les valeurs ayant été omises dans la version 2018 (voir préambule) :

Activité

Domaine d'activité

Medical

Application

imagerie radiologique générale avec scopie et graphie

Charge de travail

1600

sur 1 mois

Valeur indicative NFC 15-160 de 2011
Ramenée à 1 mois pour le médical et 1 h pour l'industriel

Cette valeur est ajustable par l'opérateur en fonction de sa charge réelle de travail qu'il lui revient de déterminer.

La saisie du domaine d'activité conditionne la durée sur laquelle la dose est intégrée

Une dose maximale de 80 μSv :intégrée sur 1 mois pour les domaine médicaux et vétérinaire :

Activité


Domaine d'activité **Medical**

Application **imagerie radiologique générale avec scopie et graphie**

Charge de travail **1600** mA.min sur 1 mois

*Valeur indicative NFC 1
Ramenée à 1 mois pour l'industriel*

Hmax (μSv sur 1 mois) **80**



Une dose maximale de 0,5 μSv :intégrée sur 1 heure pour le domaine industriel :

Activité


Domaine d'activité **Industriel**

Application **Imagerie radiologique industrielle**

Charge de travail **225** mA.min sur 1 h

*Valeur indicative NFC 15-160 de 2011
Ramenée à 1 mois pour le médical et 1 h pour l'industriel*

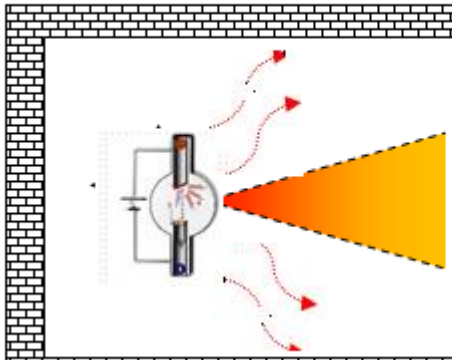
Hmax (μSv sur 1 h) **0.5**



L'utilisateur a toutefois la possibilité de modifier, sous sa responsabilité, ces valeurs de doses

Il faut ensuite caractériser le local adjacent (4) que l'on cherche à protéger (cf tableau B 1)

Caractéristique du local où doit être déterminée la protection

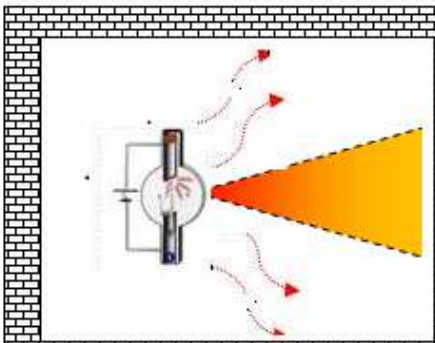


| | |
|--------------------------------|--|
| Nature du local | |
| Lieux d'occupation transitoire | |
| Déshabilloirs et sas | |
| Autres pièces adjacentes | |
| Epaisseur (mm) | |

(4)

On notera que la dénomination des locaux a été modifiée : 3 types de locaux pour 6 dans la version 2011

Le choix d'un local conditionne la valeur du facteur d'occupation, modifiable si l'opérateur le souhaite:



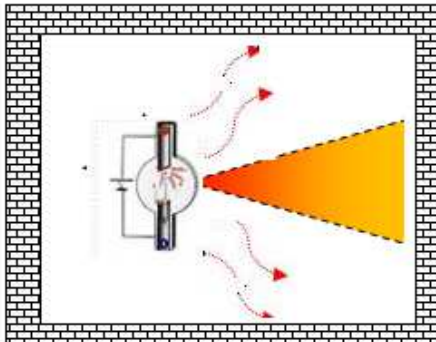
| | |
|--------------------------|--|
| Nature du local | |
| Autres pièces adjacentes | |
| Cloison | |
| Epaisseur (mm) | |

Facteur d'occupation du local

1

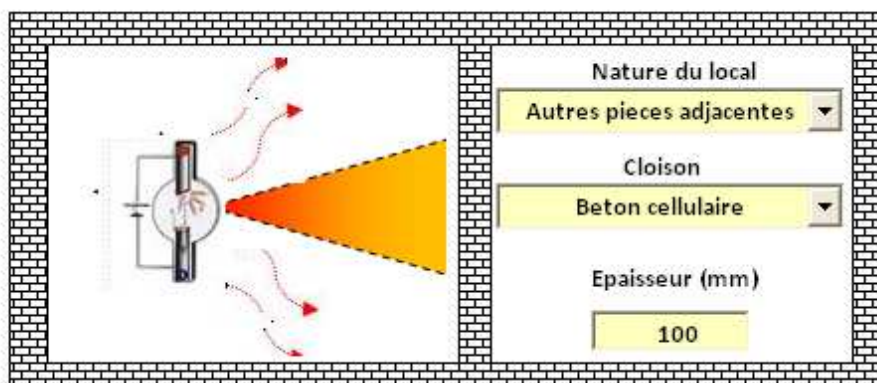
(val. indicative NFC 15-160/ 2018)

Il faut ensuite choisir la nature (5) et l'épaisseur (6) de la cloison existante. On notera que la version 2018 propose un matériau supplémentaire : le béton cellulaire



| | |
|--------------------------|--|
| Nature du local | |
| Autres pièces adjacentes | |
| Cloison | |
| Béton cellulaire | |
| Béton cellulaire | |
| Plâtre | |
| Brique pleine | |
| Béton | |
| Verre | |
| Aluminium | |
| Béton barite | |
| Fer | |

(5)



(6)

(7)

Dans la calcul final, cette cloison sera convertie en « équivalent plomb » en fonction de la HT choisie, et retranchée à l'épaisseur totale de plomb nécessaire, en l'absence de la cloison, pour tenir la contrainte de dose. Ces équivalences sont données dans les tableaux C1, C2 et C3 de la norme NF C 15-160 (2018). On peut noter que la norme précise que ces équivalences sont données pour une filtration donnée, mais que cette filtration n'est pas précisée.

L'épaisseur équivalente est donnée dans la feuille finale de calcul, mais un module indépendant (7) a été implémenté et permet d'avoir immédiatement la valeur équivalente donnée* par la norme :

Calcul d'équivalent d'écran

Détermination selon les tableaux C1, C2 et C3 de la norme 15-160 (2018)

HT utilisation (kV)

Cloison

Calculer

Epaisseur de Pb équivalente (mm)

0.2

Si les valeurs de HT et d'épaisseurs ne correspondent pas exactement aux valeurs des tableaux, les règles sont les suivantes :

Règle 1 : si la HT n'existe pas, on prend la HT immédiatement supérieure

Règle 2 : si l'épaisseur n'existe pas, on prend la valeur d'équivalence plomb inférieure.

Attention : si l'épaisseur est plus faible que l'épaisseur minimale donnée dans le tableau, l'équivalence plomb est alors prise à 0

Pour des épaisseurs de cloison n'existant pas dans la norme, l'épaisseur équivalente de plomb est obtenue par interpolation linéaire. Voir partie 2

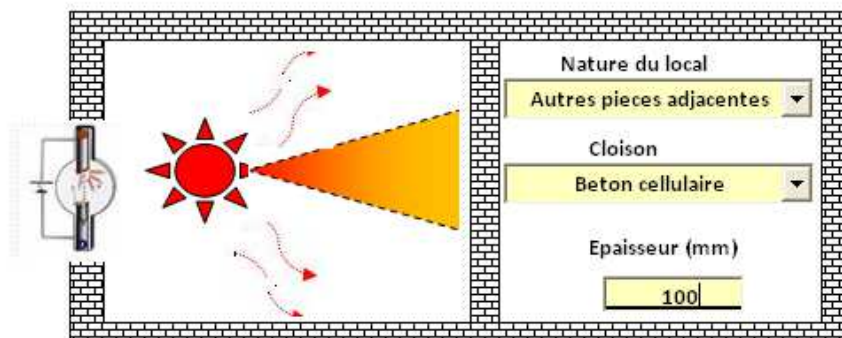
La dernière étape sur cet onglet consiste à choisir les modes d'irradiation de la cloison :

Mode 1 : Par le faisceau primaire

Et/ou

Mode 2 : Le rayonnement diffusé et les fuites de gaine

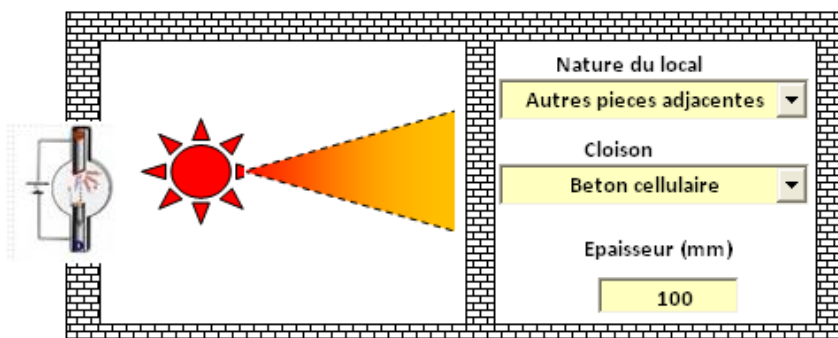
Mode 1 + 2 :



☒ Local exposé par le rayonnement primaire

☒ Local exposé par le rayonnement diffusé et le rayonnement de fuite

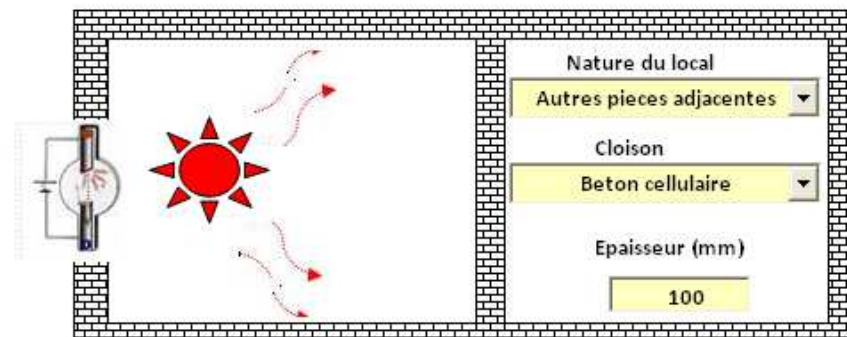
Mode 1 seul :



☒ Local exposé par le rayonnement primaire

☐ Local exposé par le rayonnement diffusé et le rayonnement de fuite

Mode 2 seul



☐ Local exposé par le rayonnement primaire

☒ Local exposé par le rayonnement diffusé et le rayonnement de fuite

I- 5 : ONGLET « GENERATEUR X »

Les informations saisies dans cet onglet serviront principalement au calcul du rendement Γ_x associé au générateur X. Il faut tout d'abord pour cela saisir la valeur de la haute tension d'utilisation (HT en kV) :

Alimentation

HT utilisation (kV)

HTnominal (kV)

HT utilisation < HT nominal impacte le facteur f (rayonnement de fuite) voir fig.A8 NF c15-160

☐ Filtration inhérente ou gaine (Acier)

La HT nominale est prise par défaut égale à la valeur d'utilisation. Mais elle peut être supérieure, diminuant alors le débit de fuite de gaine via le facteur f (cf 15-160 fig. A 8). Une utilisation à une tension inférieure à la tension nominale du générateur X permet de limiter le risque d'exposition en diminuant le paramètre de fuite f , il est donc préférable de saisir la valeur vraie de la tension nominale pour éviter de surdimensionner inutilement la protection.

On peut alors saisir les caractéristiques de la filtration (nature et épaisseur en mm). La valeur de la HT conditionne la nature possible de la filtration (NF C 15-160 fig A 2 et A 3):

HT < 50 kV

☒ Filtration inhérente ou gaine (Acier)

| | |
|-----------|--|
| Nature | <input type="text" value="Molybdene"/> |
| Epaisseur | <input type="text" value="Beryllium"/> <input type="text" value="Aluminium"/> <input type="text" value="Molybdene"/> <input type="text" value="Rhodium"/> |

HT > 50 kV

☒ Filtration inhérente ou gaine (Acier)

| | |
|-----------|---|
| Nature | <input type="text" value="Aluminium"/> |
| Epaisseur | <input type="text" value="Beryllium"/> <input type="text" value="Aluminium"/> <input type="text" value="Cuivre"/> |

☑ Filtration inhérente ou gaine (Acier)

Nature Aluminium

Epaisseur

0.2

0.5

1

2

3

5

Pour une nature de filtration donnée, un jeu d'épaisseurs possibles est proposé, conformément aux valeurs de rendement disponibles dans la norme

Les valeurs de rendements mis sous formes d'abaques dans la norme (fig A.3 et A.4) sont tirés de l'ouvrage *Applied Physics of External Exposure (Rodolphe Antoni, Laurent Bourgois, Springer 2017)* :

Ambient dose equivalent rate— $H^*(10)$ —to 1 m due to bremsstrahlung photons of a tungsten target bombarded with energy electron E and intensity 1 mA

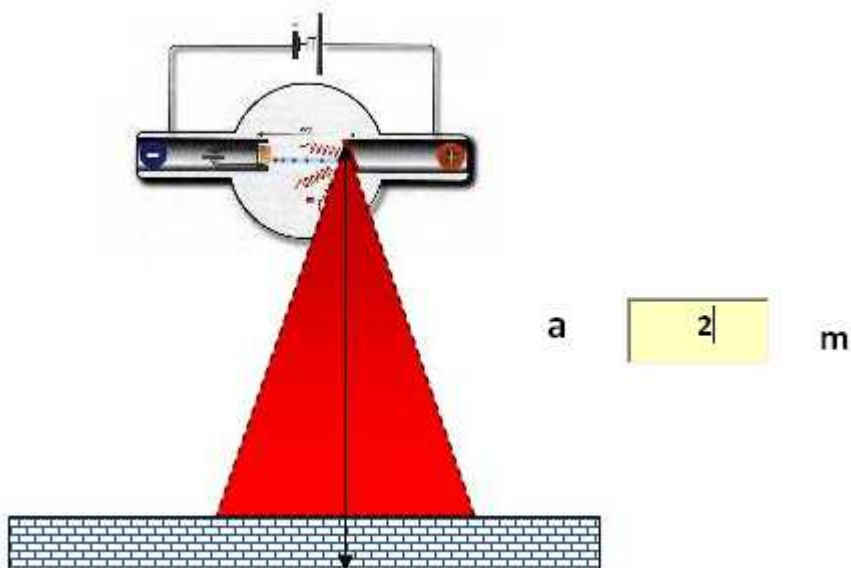
| Filtration | None | 0.2 mm Al | 0.5 mm Al | 1 mm Al | 2 mm Al | 3 mm Al | 0.2 mm Cu | 0.5 mm Cu | 1 mm Cu | 2 mm Cu | 3 mm Cu |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| E(KV) | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min | mSv/min |
| 50 | 1.01E + 01 | 7.69E + 00 | 6.00E + 00 | 4.35E + 00 | 2.75E + 00 | 1.87E + 00 | 6.75E + 01 | 1.28E + 01 | 1.69E + 02 | 5.72E + 04 | 2.92E + 05 |
| 100 | 2.73E + 01 | 2.31E + 01 | 1.94E + 01 | 1.59E + 01 | 1.22E + 01 | 9.94E + 00 | 5.97E + 00 | 3.02E + 00 | 1.46E + 00 | 6.41E + 01 | 2.79E + 01 |
| 120 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.31E + 00 | 6.91E + 01 |
| 150 | 4.60E + 01 | 4.07E + 01 | 3.63E + 01 | 3.13E + 01 | 2.53E + 01 | 2.18E + 01 | 1.57E + 01 | 9.50E + 00 | 5.78E + 00 | 3.05E + 00 | 1.89E + 00 |
| 200 | 6.28E + 01 | 5.74E + 01 | 5.24E + 01 | 4.67E + 01 | 3.97E + 01 | 3.57E + 01 | 2.76E + 01 | 1.90E + 01 | 1.32E + 01 | 8.92E + 00 | 5.63E + 00 |
| 250 | 8.44E + 01 | 7.95E + 01 | 7.38E + 01 | 6.72E + 01 | 5.82E + 01 | 5.21E + 01 | 4.29E + 01 | 3.11E + 01 | 2.30E + 01 | 1.56E + 01 | 1.20E + 01 |
| 300 | 1.04E + 02 | 9.97E + 01 | 9.40E + 01 | 8.67E + 01 | 7.68E + 01 | 7.03E + 01 | 6.01E + 01 | 4.56E + 01 | 3.48E + 01 | 2.52E + 01 | 2.02E + 01 |
| 350 | 1.25E + 02 | 1.23E + 02 | 1.17E + 02 | 1.10E + 02 | 9.93E + 01 | 9.14E + 01 | 8.02E + 01 | 6.28E + 01 | 5.06E + 01 | 3.78E + 01 | 3.08E + 01 |
| 400 | 1.46E + 02 | 1.44E + 02 | 1.37E + 02 | 1.29E + 02 | 1.18E + 02 | 1.10E + 02 | 9.74E + 01 | 7.86E + 01 | 6.30E + 01 | 4.91E + 01 | 4.12E + 01 |
| 450 | 1.83E + 02 | 1.74E + 02 | 1.67E + 02 | 1.58E + 02 | 1.46E + 02 | 1.37E + 02 | 1.25E + 02 | 1.02E + 02 | 8.42E + 01 | 6.61E + 01 | 5.52E + 01 |
| 500 | 2.07E + 02 | 2.02E + 02 | 1.94E + 02 | 1.85E + 02 | 1.72E + 02 | 1.63E + 02 | 1.50E + 02 | 1.26E + 02 | 1.05E + 02 | 8.37E + 01 | 7.09E + 01 |
| 600 | 2.69E + 02 | 2.62E + 02 | 2.54E + 02 | 2.43E + 02 | 2.30E + 02 | 2.18E + 02 | 2.03E + 02 | 1.73E + 02 | 1.49E + 02 | 1.22E + 02 | 1.05E + 02 |
| 700 | 3.55E + 02 | 3.48E + 02 | 3.43E + 02 | 3.33E + 02 | 3.17E + 02 | 3.02E + 02 | 2.88E + 02 | 2.54E + 02 | 2.22E + 02 | 1.87E + 02 | 1.61E + 02 |
| 800 | 4.22E + 02 | 4.15E + 02 | 4.07E + 02 | 3.97E + 02 | 3.79E + 02 | 3.65E + 02 | 3.52E + 02 | 3.13E + 02 | 2.77E + 02 | 2.41E + 02 | 2.14E + 02 |
| 900 | 5.02E + 02 | 4.91E + 02 | 4.84E + 02 | 4.73E + 02 | 4.59E + 02 | 4.44E + 02 | 4.24E + 02 | 3.81E + 02 | 3.43E + 02 | 2.95E + 02 | 2.66E + 02 |

Les valeurs comprises entre 50 kV et 100 kV , ont été interpolés linéairement par pas de 10 keV



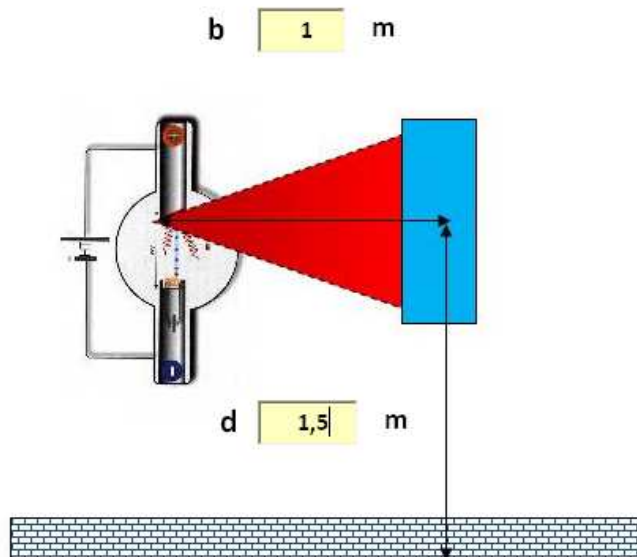
I- 6 : ONGLET « IMPACT DU AU RAYONNEMENT PRIMAIRE »

Si le local où doit être déterminée la protection est concerné par ce type de rayonnement (option préalablement sélectionnée dans l'onglet « *Activité & local adjacent* ») cet onglet sera alors visible, l'opérateur aura uniquement à saisir la distance **en mètre** séparant le générateur X du point de mesure considéré cette distance est notée « a » s'exprime en mètre.



I- 7 : ONGLET « IMPACT DU AU RAYONNEMENT DIFFUSE »

Si le local où doit être déterminé la protection est concerné par ce type de rayonnement (option préalablement sélectionnée dans l'onglet « *Activité & local adjacent* ») cet onglet sera alors visible, l'opérateur aura à saisir la distance « b » séparant le générateur X de l'élément radiographié et la distance « c » séparant l'objet radiographié du point de mesure considéré. Ces distances s'expriment en mètre.



Une différence notable (voir préambule) apparaît ici dans la version 218. Il est possible de prendre en considération la surface éclairée, lorsqu'elle est connue, par le faisceau primaire pour estimer l'intensité du rayonnement diffusé via le coefficient alpha (fig A.7) :

Détermination coefficient de diffusion k

Connaissez-vous la nature et la surface du milieu de diffusion ?

☒ Oui

Nature

Surface éclairée (cm²)

☐ Non

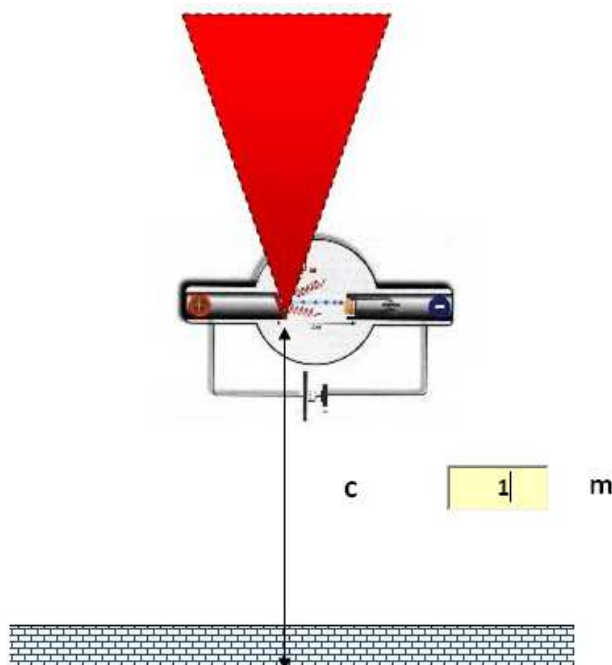
Ces coefficients alpha proviennent du rapport CEA R-6452

Pour approfondir cet aspect, voir aussi le dossier de validation du générateur X.

Lorsque la surface n'est pas connue, le calcul utilise les valeurs par défaut du coefficient k donnée dans les tableaux B.2a et B.2b de la norme NF C 15-160

I- 8 : ONGLET « IMPACT DU AU RAYONNEMENT DE FUITE »

Si le local où doit être déterminée la protection est concerné par ce type de rayonnement (option préalablement sélectionnée dans l'onglet « *Activité & local adjacent* ») cet onglet sera alors visible, l'opérateur aura à saisir la distance « c » séparant le générateur X du point de mesure considéré.



De son côté l'application propose en fonction des données préalablement saisie par l'opérateur (domaine d'utilisation et haute tension) les valeurs indicatives de rendement de rayonnement de fuite (C_g^1), ainsi que la valeur « Q » correspondant au produit de l'intensité maximum d'alimentation du générateur X par le temps maximum d'utilisation par heure. Ces données indicatives données par la norme NF C 15-160 sont modifiables si nécessaire par l'opérateur.

**Q : produit intensité.temps maximal par
heure de fonctionnement (mA.min.h-1)**

180

(valeur indicative NF C 15-160 tableau B4)

**C_g : Débit d'équivalent de dose à 1 m pour le
rayonnement de fuite (mSv.m².h-1)**

1

(valeur indicative NF C 15-160 tableau B 5)

¹ Outre les exceptions liées au domaine d'utilisation, la valeur de C_g est égale à 1 pour toutes les HT ≤ 150kV

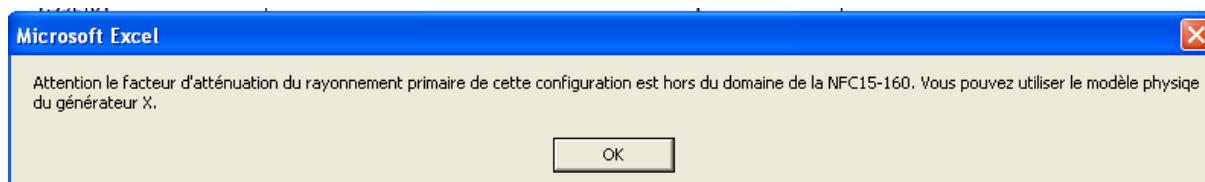
I- 9 : ONGLET « RESULTATS »

Après avoir rentré toutes les données nécessaires, les calculs s'effectuent à partir de cet onglet et présentent les résultats dans un tableau intégré à la boîte de dialogue. Il est possible de modifier les paramètres d'entrés et relancer les calculs sans sortir de la boîte de dialogue. Les mêmes résultats sont reportés sur la feuille de synthèse

| | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------|
| Secteur d'activité : | Medical | Calcul effectué par : | DOSIMEX | | | | |
| Domaine : | imagerie radiologique générale | Date : | 04/05/2019 19:04:08 | | | | |
| Appareil : | Appareil | | | | | | |
| HT utilisée (kV) : | 100 | Local adjacent : | Lieux d'occupation transitoire | | | | |
| Filtration : | Aluminium 1mm | T occupation : | 0.2 | | | | |
| Γ_R (mGy.m2/min/mA) : | 1.59E+01 | Paroi : | Beton cellulaire | Equivalent Pb | | | |
| Largeur Faisceau l (cm) : | | Epaisseur (mm) : | 100 | 0.2 | | | |
| W mA.min/mois : | 1600 | Hmax μ Sv/mois : | 80 | | | | |
| Rayonnement primaire | R 1 | a 2 | Hp×T μ Sv/mois 1.27E+03 | Fp 1.59E+04 | Xpb 2.9 | | |
| Rayonnement diffusé | k (m²) 22.96E-04 | b 1 | d 1,5 | Hs×T μ Sv/mois 5.19E+00 | Fs 6.49E+01 | Xpb 0.9 | |
| Rayonnement de fuite | f 1 | c 1 | Q 180 | Cg 1 | Hg×T μ Sv/mois 1.78E+00 | Fg 2.23E+01 | Xpb 0.66 |
| Epaisseur équivalente de protection de plomb calculée (mm) | | | | | 2.9 | | |
| Epaisseur arrondie (§ 5.7) réelle de plomb nécessaire e' (mm) | | | | | 3 | | |

On notera qu'un dernier paramètre, le facteur d'orientation R, peut être modifié dans la feuille de calcul. Il est pris par défaut égal à 1

Si les facteurs d'atténuations sont supérieurs aux valeurs maximales des abaques (variables suivant les HT), le calcul n'est pas réalisé. L'utilisateur peut alors utiliser le modèle physique proposé qui lui n'est pas limité en facteur d'atténuation



Partie II. VALIDATION

II- 1 : METHODE DE VALIDATION

La seule référence pour l'utilisateur mettant en œuvre la norme « papier » reste l'application manuelle de la norme en question. Mais cette étape de validation doit prendre en compte la perception de la norme par les utilisateurs, notamment les lectures assez délicates des abaques en échelle logarithmiques, les règles d'arrondissement, la détermination des épaisseurs équivalentes etc.

Nous avons donc constitué une équipe de bêta-testeurs avec des utilisateurs qui ont accepté de jouer le jeu.

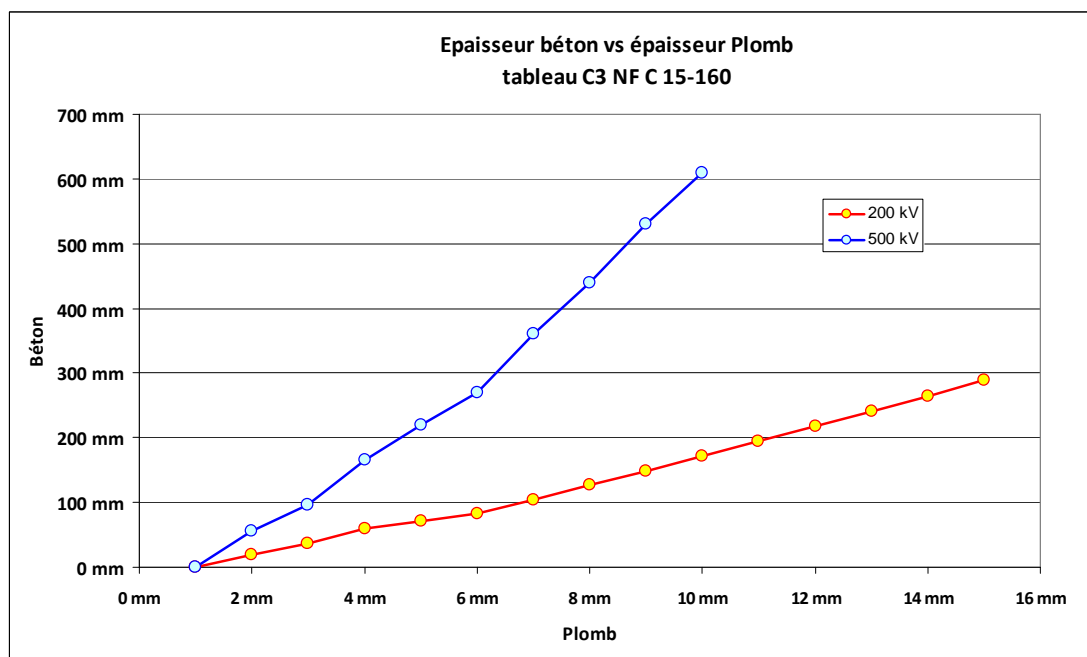
- ❖ **Dr Dominique SCHIEDTS, Chirurgienne orthopédiste ? responsable du Service de Radioprotection Centre Hospitalier Public de Cherbourg**
- ❖ **pour le réseau PCR Dentaire GoogleGroup : Yann RAFFOUX dentiste et conseiller en radioprotection**
- ❖ **Benjamin MENARD, PCR, Service de Radiophysique, CLCC François BACLESSE**

Cette étape a été importante et nous a permis de supprimer un certains nombres de bug ou de défauts dus à la norme elle-même. Notamment dans l'étape de détermination des épaisseurs équivalentes, cette campagne de validation nous a amené à modifier significativement cette détermination en raison de la « lacune » 3 citée en préambule, que nous rappelons ici

- **Lacune 3 :** *La norme propose des équivalence plomb pour certains matériaux (tableaux C1, C2 et C3). Cette étape impacte fortement le résultat final. Mais un problème apparaît lorsque l'épaisseur réelle n'existe pas dans les tableaux, par exemple 200 mm de béton. Si l'on prend le cas à 120 kV, on a pour 214 mm de béton : 3 mm de Pb et pour 156 mm de béton : 2 mm de béton. Quelle valeur choisir pour 200 mm ? La norme ne dit strictement rien là-dessus !*

On ne peut prendre 3 mm de plomb, car cela revient à surestimer la protection présente..Dans un premier temps nous avons décidé de prendre la valeur immédiatement inférieure (**solution 1**), ce qui est légitime dans le sens d'une surestimation des épaisseurs à rajouter.

Il se trouve qu'une interpolation linéaire (**solution 2**), légitime ici lorsque l'on regarde l'évolution des équivalences (graphe ci-dessous), donne une épaisseur de 2,75 m de plomb pour 200 mm de béton.



La campagne de validations réalisée avec une équipe de bêta-testeurs a montré d'une part que certains d'entre eux faisaient naturellement cette interpolation, et les écarts obtenus en fin de calculs après arrondissement, amenaient à des écarts significatifs : 4 mm de Pb à rajouter pour la solution 1 et 2,5 mm pour la solution 2 (*cas « scanner »*). Rappelons ici qu'en raison de l'arrondissement final, la valeur de 2,5 mm est déjà une surestimation.

Pour cette raison là nous avons décidé à l'issue de cette étape de validation de mettre en œuvre la solution 2, à savoir l'interpolation linéaire entre les 2 valeurs tableaux encadrant l'épaisseur réelle de la cloison

Nous présentons dans les pages suivantes quelques essais réalisés, dans un premier temps avec la solution 1, puis ensuite avec la solution 2

II- 2 : RESULTATS AVANT MODIFICATION DU TABLEAUX D'EQUIVALENCE

CAS 1

Calcul des protections selon norme NFC 15-160 pour :

100 kV

Paramètres d'entrée (ordre appli Dosimex)

Application manuelle
15-160

DOSIMEX Appli 15-
160

| | |
|--------------------|---|
| Domaine d'activité | Médical |
| Application | Imagerie radiologique au bloc opératoire |
| W | 2400 mA.min |
| Nature du local | Autre |
| Cloison | Béton |
| Epaisseur | 100 mm |

| | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| Hmax | 80 μ Sv | 80 μ Sv |
| Facteur R | 1 | 1 |
| Facteur d'occupation | 1 | 1 |
| Equivalent Pb (solution 1) | 1.0 mm | 1.0 mm |

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Tension Nominale: | 100 kV |
| <i>Tension d'utilisation:</i> | <i>140 kV</i> |
| filtration | Al 1 mm |

| | | |
|-----------|------------------|-----------------------|
| facteur f | 0.18 | 0.15 |
| Rendement | 15 mSv.m2/min/mA | 15.9 mSv.m2/min/mA |

| | |
|------------|--------|
| primaire | |
| Distance a | 2.00 m |

| | | |
|---------------------------|--------------|--------------|
| Calcul primaire(§ 5.4.1) | | Appli |
| HpxT | 9.00E+03 mSv | 9.54E+03 mSv |
| Fp | 1.13E+05 | 1.19E+05 |
| Pb Calculé | 3.60 mm | 3.8 mm |

Calcul final primaire seul

| | | |
|-----------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 3.6 mm | |
| Epaisseur Pb à rajouter | 2.6 mm | Appli |
| Arrondi à | 2.50 mm | 3.00 mm |

| | |
|------------|--------|
| Diffusé | |
| Distance b | 0.80 m |

| | | |
|---------------------------|----------|-------|
| Calcul diffusé (§ 5.5.1) | | Appli |
| Alpha | 5.75E-06 | |

| | |
|--------------------|---------------------|
| Distance d | 2.00 m |
| calcul alpha (O/N) | oui |
| Surface | 500 cm ² |
| milieu diffuseur | eau |

| | | |
|------------------------------|----------|----------|
| k=alpha*surf ou valeur norme | 2.88E-03 | 2.70E-03 |
| HsxT | 40.4 mSv | 42.8 mSv |
| Fs | 5.05E+02 | 5.35E+02 |
| Pb calculé(es) | 1.6 mm | 1.60 mm |

| Fuite | |
|------------|--------|
| Distance c | 2.00 m |

| Calcul fuite (§ 5.5.2) | | Appli |
|------------------------|----------|----------|
| Q | 180 | 180 |
| Cg | 1 | 1 |
| HgxT | 0.60 mSv | 0.50 mSv |
| Fg | 7.50 | 6.25 |
| Pb calculé (eg) | 0.7 mm | 0.66 mm |

| | |
|---------------------------------|---------|
| Abs(es-eg) | 0.9 mm |
| Couche déci : | 0.84 mm |
| eg-es <= c.déci? | NON |
| Couche demi: | 0.25 mm |
| épaisseur retenue diffusé+fuite | 1.6 mm |

| | | Appli |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 1.6 mm | 1.6 |
| Epaisseur Pb à rajouter | 0.6 mm | |
| Arrondi à | 1.00 mm | 1.00 mm |

Calcul final diffusé + fuite seul

On constate pour le calcul primaire un écart lié dans un premier temps à une différence de rendement conduisant à une différence dans le facteur d'atténuation puis l'épaisseur de plomb (écart 0,2 mm), écart accentué par la règle d'arrondissage, passant à 0,5 mm
Aucune différence dans le calcul diffusé+ fuite de gaine

CAS 2

Calcul des protections selon norme NFC 15-160 pour :

140 kV

Paramètres d'entrée (ordre appli Dosimex)

Application
manuelle 15-
160

DOSIMEX Appli
15-160

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Domaine d'activité | médical |
| Application | Imagerie radiologique |
| W | 1400 mA.min |
| Nature du local | autre |
| Cloison | brique 150mm |
| Epaisseur | 150 |

| | |
|-------------------------------|--------|
| Tension Nominale: | 150kV |
| <i>Tension d'utilisation:</i> | 140 kV |
| filtration | Al 2mm |

| | |
|------------|--------|
| primaire | |
| Distance a | 3.00 m |

| | | |
|----------------------|-------------|-------------|
| Hmax | 80 μ Sv | 80 μ Sv |
| Facteur R | 0.3 | 0.3 |
| Facteur d'occupation | 1 | 1 |
| Equivalent Pb | 1.0 mm | 1.0 mm |

| | | |
|-----------|-----|------|
| facteur f | 0.8 | 0.87 |
| Rendement | 24 | 23 |

| | | |
|---------------------------|----------|----------|
| Calcul primaire(§ 5.4.1) | | Appli |
| Hp | 1120 mSv | 1070 mSv |
| Fp | 1.40E+04 | 1.30E+04 |
| Pb Calculé | 3.20 mm | 3.2 mm |

| | | |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 3.2 mm | |
| Epaisseur Pb à rajouter | 2.2 mm | Appli |
| Arrondi à | 2.50 mm | 2.50 mm |

Calcul final primaire seul

| | |
|------------|--------|
| Diffusé | |
| Distance b | 1.20 m |
| Distance d | 3.00 m |

| | | |
|------------------------------|----------|----------|
| Calcul diffusé (§ 5.5.1) | | Appli |
| Alpha | 6.20E-06 | |
| k=alpha*surf ou valeur norme | 9.92E-03 | 9.64E-05 |

| | |
|------------------|----------------------|
| calcul alpha | oui |
| Surface | 1600 cm ² |
| milieu diffuseur | eau |

| | | |
|-----------------|----------|---------|
| Hs | 25.7 mSv | 24 mSv |
| Fs | 321 | 300 |
| Pb calculé(es) | 1.8 mm | 1.70 mm |

| Fuite | |
|------------|--------|
| Distance c | 3.00 m |

| Calcul fuite (§ 5.5.2) | | Appli |
|------------------------|----------|----------|
| Q | 180 | 180 |
| Cg | 1 | 1 |
| Hg | 0.69 mSv | 0.75 mSv |
| Fg | 8.64 | 9.40 |
| Pb calculé (eg) | 1.59 mm | 0.95 mm |

| | |
|---------------------------------|---------|
| Abs(es-eg) | 0.21 mm |
| Couche déci : | 0.96 mm |
| eg-es <= c.déci? | OUI |
| Couche demi: | 0.29 mm |
| épaisseur retenue diffusé+fuite | 2.09 mm |

| | | Appli |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 2.09 mm | 1.99 |
| Epaisseur Pb à rajouter | 1.09 mm | |
| Arrondi à | 1.00 mm | 1.00 mm |

Calcul final diffusé + fuite seul

CAS 3 « SCANNER »

Calcul des protections selon norme NFC 15-160 pour :

120 kV

Paramètres d'entrée (ordre appli Dosimex)

Application
manuelle 15-
160

DOSIMEX Appli
15-160

| | |
|--------------------|-------------------|
| Domaine d'activité | medical |
| Application | conventionnelle |
| W | 40000 mA.min |
| Nature du local | poste de commande |
| Cloison | béton |
| Epaisseur | 20cm |

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Tension Nominale: | 150 kV |
| <i>Tension d'utilisation:</i> | <i>120 kV</i> |
| filtration | 2 mm alu |

| | |
|------------|--------|
| primaire | |
| Distance a | 2.00 m |

Calcul final primaire seul

| | |
|------------|--------|
| Diffusé | |
| Distance b | 0.50 m |
| Distance d | 1.00 m |

| | | |
|----------------------|----------|----------|
| Hmax | 0.08 µSv | 0.08 µSv |
| Facteur R | 1 | 1 |
| Facteur d'occupation | 1 | 1 |
| Equivalent Pb | 2.8 mm | 2.0 mm |

| | | |
|-----------|-----|------|
| facteur f | 0.5 | 0.49 |
| Rendement | 16 | 17.9 |

| | | |
|---------------------------|----------|---------|
| Calcul primaire(§ 5.4.1) | | Appli |
| Hp | | 179 mSv |
| Fp | 2.00E+06 | 2240000 |
| Pb Calculé | 5.10 mm | 5.2 mm |

| | | |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 5.1 mm | |
| Epaisseur Pb à rajouter | 2.3 mm | Appli |
| Arrondi à | 2.50 mm | 4.00 mm |

| | | |
|------------------------------|----------|----------|
| Calcul diffusé (§ 5.5.1) | | Appli |
| Alpha | | |
| k=alpha*surf ou valeur norme | 2.50E-03 | 2.50E-03 |

| | |
|------------------|--|
| calcul alpha | |
| Surface | |
| milieu diffuseur | |

| | | |
|-----------------|--------|----------|
| Hs | | 7.16 mSv |
| Fs | 80000 | 89500 |
| Pb calculé(es) | 3.7 mm | 3.80 mm |

| Fuite | |
|------------|--------|
| Distance c | 1.00 m |

| Calcul fuite (§ 5.5.2) | | Appli |
|------------------------|---------|----------|
| Q | 180 | |
| Cg | 1 | 10 |
| Hg | | 0.11 mSv |
| Fg | 1389.00 | 1360.00 |
| Pb calculé (eg) | 3 mm | 2.58 mm |

| | |
|---------------------------------|---------|
| Abs(es-eg) | 0.7 mm |
| Couche déci : | 0.96 mm |
| eg-es <=c.déci? | OUI |
| Couche demi: | 0.29 mm |
| épaisseur retenue diffusé+fuite | 3.3 mm |

| | | Appli |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 4 mm | 3.8 |
| Epaisseur Pb à rajouter | 1.2 mm | |
| Arrondi à | 1.50 mm | 2.00 mm |

Calcul final diffusé + fuite seul

Ce cas montre l'écart significatif lié à la méthode d'estimation de l'équivalent plomb pour 200 mm de béton: 2,8 mm estimé par le bêta-testeur par interpolation linéaire dans une démarche qui nous paraît légitime et qui de toute façon montre que le manque de précision de la norme ne peut que générer des écarts d'interprétation d'un utilisateur à l'autre.

A partir de ce cas nous avons décidé d'interpoler linéairement les équivalences plomb, ce qui en dehors de toute appréciation « intuitive », est plus juste sur un plan physique.

II- 3 : RESULTATS APRES MODIFICATION DU TABLEAUX D'EQUIVALENCE

CAS 3BIS « SCANNER »

Calcul du cas précédent avec un tableau d'équivalence affiné (voir annexe)

| | |
|--|--------|
| Calcul des protections selon norme NFC 15-160 pour : | 120 kV |
|--|--------|

| |
|---|
| Paramètres d'entrée (ordre appli Dosimex) |
|---|

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Calculation manuelle 15-160 | MEX Appli 15-160 |
|--------------------------------|------------------|

| | |
|--------------------|-------------------|
| Domaine d'activité | medical |
| Application | conventionnelle |
| W | 40000 mA.min |
| Nature du local | poste de commande |
| Cloison | béton |
| Epaisseur | 20cm |

| | | |
|----------------------|---------------|---------------|
| Hmax | 0.08 μ Sv | 0.08 μ Sv |
| Facteur R | 1 | 1 |
| Facteur d'occupation | 1 | 1 |
| Equivalent Pb | 2.8 mm | 2.0 mm |

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Tension Nominale: | 150 kV |
| <i>Tension d'utilisation:</i> | <i>120 kV</i> |
| filtration | 2 mm alu |

| | | |
|-----------|-----|------|
| facteur f | 0.5 | 0.49 |
| Rendement | 16 | 17.9 |

| | |
|------------|--------|
| primaire | |
| Distance a | 2.00 m |

| Calcul primaire(§ 5.4.1) | | Appli |
|---------------------------|----------|---------|
| Hp | | 179 mSv |
| Fp | 2.00E+06 | 2240000 |
| Pb Calculé | 5.10 mm | 5.2 mm |

Calcul final primaire seul

Arrondir

| | | |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 5.1 mm | |
| Epaisseur Pb à rajouter | 2.3 mm | Appli |
| Arrondi à | 2.50 mm | 2.50 mm |

| Diffusé | |
|------------------|--------|
| Distance b | 0.50 m |
| Distance d | 1.00 m |
| calcul alpha | |
| Surface | |
| milieu diffuseur | |

| Calcul diffusé (§ 5.5.1) | | Appli |
|----------------------------|----------|----------|
| Alpha | | |
| alpha*surf ou valeur norme | 2.50E-03 | 2.50E-03 |
| Hs | | 7.16 mSv |
| Fs | 80000 | 89500 |
| Pb calculé(es) | 3.7 mm | 3.80 mm |

| Fuite | |
|------------|--------|
| Distance c | 1.00 m |

| Calcul fuite (§ 5.5.2) | | Appli |
|------------------------|---------|----------|
| Q | 180 | |
| Cg | 1 | 10 |
| Hg | | 0.11 mSv |
| Fg | 1389.00 | 1360.00 |
| Pb calculé (eg) | 3 mm | 2.58 mm |

| | |
|---------------------------------|---------|
| Abs(es-eg) | 0.7 mm |
| Couche déci : | 0.96 mm |
| eg-es <=c.déci? | OUI |
| Couche demi: | 0.29 mm |
| épaisseur retenue diffusé+fuite | 3.3 mm |

Calcul final diffusé + fuite seul

Arrondir

| | | Appli |
|--------------------------|---------|---------|
| épaisseur totale retenue | 4 mm | 3.8 |
| épaisseur Pb à rajouter | 1.2 mm | |
| Arrondi à | 1.50 mm | 1.50 mm |

On constate que les écarts ont disparus, ce qui montre qu'il est nécessaire d'utiliser un table « interpolé », ce qui est conforme à l'usage des utilisateurs ainsi qu'à la logique physique

| | |
|--|-------|
| Calcul des protections selon norme NFC 15-160 pour : | 90 kV |
|--|-------|

| |
|---|
| Paramètres d'entrée (ordre appli Dosimex) |
|---|

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| Application manuelle 15-160 | DOSIMEX Appli 15- 160 |
|--------------------------------|--------------------------|

| | |
|--------------------|-----------------|
| Domaine d'activité | MEDICAL |
| Application | INTERVENTIONNEL |
| W | 800 mA.min |
| Nature du local | AUTRES |
| Cloison | BRIQUE |
| Epaisseur | 150 mm |

| | | |
|------------------------|-------------|-------------|
| Hmax | 80 μ Sv | 80 μ Sv |
| Facteur R | 0.1 | 0.1 |
| Facteur d'occupation T | 1 | 1 |
| Equivalent Pb | 1.5 mm | 1.4 |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Tension Nominale: | 110 kV |
| <i>Tension d'utilisation:</i> | <i>90 kV</i> |
| filtration | 3 |

| | | |
|-----------|-------------------|------|
| facteur f | 0.8 | 0.44 |
| Rendement | 6.5 mSv.m2/min/mA | 8.41 |

CALCUL PRIMAIRE

| | |
|------------|--------|
| primaire | |
| Distance a | 2.00 m |

| Calcul primaire(§ 5.4.1) | | Appli |
|---------------------------|--------------|--------------|
| HpxT | 1.30E+02 mSv | 1.68E+02 mSv |
| Fp | 1.63E+03 | 2.10E+03 |
| Pb Calculé | 1.90 mm | 2.0 mm |

Calcul final primaire seul

Arrondir

| | | |
|--------------------------|---------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 1.9 mm | |
| Epaisseur Pb à rajouter | 0.4 mm | Appli |
| Arrondi à | 1.00 mm | 1.00 mm |

CALCUL DIFFUSE+ FUITE

| Diffusé | |
|---|---------------------|
| Distance b | 0.30 m |
| Distance d | 2.00 m |
| calcul alpha (O/N) | 0 |
| Surface | 270 cm ² |
| milieu diffuseur | eau |
| <i>Cas scannographie largeur faisceau</i> | <i>0 cm</i> |
| <i>k scanographie</i> | <i>0</i> |

| Calcul diffusé (§ 5.5.1) | | Appli |
|---------------------------------|----------|----------|
| Alpha | 5.90E-06 | |
| k=alpha*surf ou valeur norme | 1.59E-03 | 2.20E-03 |
| HsxT | 23.0 mSv | 41.1 mSv |
| Fs | 2.88E+02 | 5.14E+02 |
| Pb calculé(es) | 1.2 mm | 1.4 |

| Fuite | |
|------------|--------|
| Distance c | 2.00 m |

| Calcul fuite (§ 5.5.2) | | Appli |
|------------------------|----------|----------|
| Q | 180 | 180 |
| Cg | 1 | 1 |
| HgxT | 0.89 mSv | 0.49 mSv |
| Fg | 11.11 | 6.11 |
| Pb calculé (eg) | 1 mm | 0.66 mm |

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Abs(es-eg) | 0.2 mm |
| Couche déci : | 0.84 mm |
| eg-es <=c.déci? | OUI |
| Couche demi: | 0.25 mm |
| épaisseur retenue diffusé+fuite | 1.45 mm |

Calcul final diffusé + fuite seul

Arrondir

| | | Appli |
|-----------------------------|----------|---------|
| Epaisseur totale retenue | 1.45 mm | 1.3 |
| Epaisseur Pb à rajouter | -0.05 mm | |
| Arrondi à | 0,00 mm | 0.00 mm |

II- 4 : ANNEXE : TABLEAU D'EQUIVALENCE ENRICHI

(EN BLEU : VALEURS INTERPOLEES, EN ROUGE : VALEURS EXTRAPOLEES)

| Matiere | Epaisseur équivalente de Plomb | Epaisseur en mm | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------------------|-----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 35 kV | 50 kV | 80 kV | 100 kV | 120 kV | 150 kV | 200 kV | 250 kV | 300 kV | 400 kV | 500 kV | |
| Beton cellulaire | 0,0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | 0,1 | | 42 | 36 | 33 | 36 | 41 | 46 | 39 | 43 | | | |
| | 0,2 | | 84 | 72 | 66 | 72 | 82 | 92 | 77 | 86 | | | |
| | 0,3 | | 132 | 110 | 93 | 104 | 121 | 119 | 106 | 108 | | | |
| | 0,4 | | 180 | 147 | 120 | 136 | 160 | 145 | 135 | 130 | | | |
| | 0,5 | | 230 | 183 | 145 | 165 | 195 | 172 | 157 | 150 | | | |
| | 0,6 | | 280 | 220 | 170 | 194 | 230 | 200 | 180 | 170 | | | |
| | 0,7 | | 330 | 253 | 195 | 219 | 255 | 230 | 205 | 190 | | | |
| | 0,8 | | 380 | 287 | 220 | 244 | 280 | 260 | 230 | 210 | | | |
| | 0,9 | | 430 | 323 | 245 | 271 | 310 | 285 | 250 | 225 | | | |
| | 1,0 | | 480 | 360 | 270 | 298 | 340 | 310 | 270 | 240 | | | |
| | 1,1 | | | | 290 | 322 | 370 | 335 | 290 | 255 | | | |
| | 1,2 | | | | 310 | 346 | 400 | 360 | 310 | 270 | | | |
| | 1,3 | | | | 330 | 368 | 425 | 385 | 325 | 285 | | | |
| | 1,4 | | | | 350 | 390 | 450 | 410 | 340 | 300 | | | |
| | 1,5 | | | | 370 | 412 | 475 | 430 | 360 | 315 | | | |
| | 1,6 | | | | 390 | 434 | 500 | 450 | 380 | 330 | | | |
| | 1,7 | | | | 410 | 458 | 530 | 475 | 395 | 345 | | | |
| | 1,8 | | | | 430 | 482 | 560 | 500 | 410 | 360 | | | |
| | 1,9 | | | | 450 | 502 | 580 | 515 | 425 | 370 | | | |
| | 2,0 | | | | 470 | 522 | 600 | 530 | 440 | 380 | | | |
| Platre | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 0,1 | 31 | 25 | 24 | 24 | 27 | 31 | 31 | 30 | 28 | 25 | | |
| | 0,2 | 62 | 50 | 49 | 48 | 54 | 63 | 62 | 60 | 56 | 51 | | |
| | 0,3 | 95 | 80 | 74 | 68 | 77 | 91 | 86 | 82 | 75 | 68 | | |
| | 0,4 | 129 | 110 | 100 | 89 | 101 | 120 | 110 | 105 | 95 | 86 | | |
| | 0,5 | 162 | 140 | 125 | 109 | 124 | 147 | 132 | 125 | 112 | 101 | | |
| | 0,6 | 196 | 170 | 150 | 130 | 148 | 175 | 155 | 145 | 130 | 117 | | |
| | 0,7 | 229 | 200 | 172 | 147 | 167 | 197 | 177 | 162 | 147 | 133 | | |
| | 0,8 | 262 | 230 | 195 | 165 | 187 | 220 | 200 | 180 | 165 | 149 | | |
| | 0,9 | 295 | 260 | 220 | 182 | 207 | 245 | 220 | 200 | 177 | 160 | | |
| | 1,0 | 329 | 290 | 245 | 200 | 228 | 270 | 240 | 220 | 190 | 171 | | |

Brique pleine

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 0,0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 0,1 | | 20 | 15 | 14 | 15 | 17 | 15 | 14 | 12 | 11 | | |
| 0,2 | | 40 | 30 | 28 | 30 | 34 | 30 | 27 | 25 | 22 | | |
| 0,3 | | 60 | 45 | 42 | 46 | 50 | 46 | 41 | 37 | 32 | | |
| 0,4 | | 80 | 60 | 56 | 61 | 67 | 61 | 54 | 50 | 43 | | |
| 0,5 | | 100 | 75 | 70 | 76 | 84 | 76 | 68 | 62 | 54 | | |
| 0,6 | | 120 | 92 | 80 | 87 | 97 | 86 | 78 | 70 | 61 | | |
| 0,7 | | 140 | 109 | 90 | 98 | 110 | 97 | 88 | 79 | 68 | | |
| 0,8 | | 160 | 126 | 100 | 109 | 123 | 108 | 99 | 87 | 76 | | |
| 0,9 | | 180 | 143 | 110 | 120 | 136 | 119 | 109 | 96 | 83 | | |
| 1,0 | | 200 | 160 | 120 | 132 | 150 | 130 | 120 | 105 | 91 | | |
| 1,2 | | | 196 | 135 | 150 | 172 | 150 | 134 | 117 | 101 | | |
| 1,4 | | | 233 | 150 | 168 | 194 | 170 | 148 | 129 | 112 | | |
| 1,6 | | | 269 | 165 | 185 | 216 | 190 | 162 | 141 | 122 | | |
| 1,8 | | | 306 | 180 | 203 | 238 | 210 | 176 | 153 | 133 | | |
| 2,0 | | | 342 | 195 | 221 | 260 | 230 | 190 | 165 | 143 | | |
| 2,2 | | | 380 | 208 | 235 | 276 | 246 | 202 | 174 | 148 | | |
| 2,4 | | | 418 | 221 | 249 | 292 | 262 | 214 | 183 | 154 | | |
| 2,6 | | | 457 | 234 | 263 | 308 | 278 | 226 | 192 | 159 | | |
| 2,8 | | | 495 | 247 | 277 | 324 | 294 | 238 | 201 | 165 | | |
| 3,0 | | | 534 | 260 | 292 | 340 | 310 | 250 | 210 | 171 | | |
| 3,5 | | | | 295 | 329 | 380 | 340 | 275 | 230 | 187 | | |
| 4,0 | | | | 330 | 366 | 420 | 370 | 300 | 250 | 203 | | |
| 5,0 | | | | 390 | 432 | 495 | 430 | 345 | 290 | 236 | | |
| 6,0 | | | | 450 | 498 | 570 | 490 | 390 | 330 | 268 | | |
| 7,0 | | | | | | | 545 | 430 | 390 | 293 | | |
| 8,0 | | | | | | | 600 | 470 | 450 | 317 | | |
| 9,0 | | | | | | | | 505 | 480 | 328 | | |
| 10,0 | | | | | | | | 540 | 510 | 338 | | |
| 11,0 | | | | | | | | 575 | 540 | 361 | | |
| 12,0 | | | | | | | | 610 | 570 | 383 | | |
| 13,0 | | | | | | | | | 586 | 398 | | |
| 14,0 | | | | | | | | | 603 | 413 | | |
| 15,0 | | | | | | | | | 620 | 428 | | |
| 16,0 | | | | | | | | | | 466 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Béton | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,1 | 11 | 12 | 10 | 8 | 10 | 12 | 11 | 10 | 10 | 9 | 3 | 2 |
| | 0,2 | 23 | 24 | 20 | 17 | 20 | 24 | 22 | 20 | 20 | 18 | 7 | 5 |
| | 0,3 | 35 | 37 | 31 | 26 | 30 | 36 | 33 | 31 | 30 | 28 | 11 | 8 |
| | 0,4 | 47 | 49 | 41 | 35 | 40 | 48 | 44 | 41 | 40 | 37 | 14 | 11 |
| | 0,5 | 59 | 62 | 52 | 44 | 50 | 60 | 56 | 52 | 50 | 47 | 19 | 14 |
| | 0,6 | 70 | 75 | 64 | 51 | 58 | 69 | 64 | 58 | 56 | 49 | 22 | 16 |
| | 0,7 | 82 | 89 | 76 | 58 | 66 | 78 | 72 | 65 | 62 | 52 | 25 | 19 |
| | 0,8 | 94 | 102 | 88 | 65 | 74 | 87 | 80 | 71 | 68 | 54 | 29 | 22 |
| | 0,9 | 106 | 116 | 100 | 72 | 82 | 96 | 88 | 78 | 74 | 57 | 33 | 25 |
| | 1,0 | 118 | 130 | 112 | 80 | 90 | 105 | 96 | 85 | 80 | 60 | 37 | 28 |
| | 1,1 | | | 124 | 86 | 96 | 112 | 102 | 90 | 84 | 65 | 39 | 29 |
| | 1,2 | | | 137 | 92 | 103 | 120 | 109 | 95 | 89 | 70 | 41 | 31 |
| | 1,3 | | | 149 | 98 | 109 | 127 | 116 | 100 | 93 | 75 | 43 | 32 |
| | 1,4 | | | 162 | 104 | 116 | 135 | 123 | 105 | 98 | 80 | 45 | 34 |
| | 1,5 | | | 174 | 110 | 123 | 142 | 130 | 110 | 102 | 85 | 48 | 36 |
| | 1,6 | | | 187 | 116 | 129 | 150 | 137 | 115 | 107 | 90 | 50 | 37 |
| | 1,7 | | | 199 | 122 | 136 | 157 | 144 | 120 | 111 | 95 | 52 | 39 |
| | 1,8 | | | 212 | 128 | 142 | 165 | 151 | 125 | 116 | 100 | 54 | 40 |
| | 1,9 | | | 224 | 134 | 149 | 172 | 158 | 130 | 120 | 105 | 56 | 42 |
| | 2,0 | | | 237 | 140 | 156 | 180 | 165 | 135 | 125 | 110 | 59 | 44 |
| | 2,1 | | | 250 | 145 | 161 | 187 | 170 | 139 | 128 | 112 | 60 | 45 |
| | 2,2 | | | 263 | 150 | 167 | 194 | 176 | 144 | 131 | 114 | 61 | 46 |
| | 2,3 | | | 277 | 155 | 173 | 201 | 181 | 148 | 134 | 116 | 62 | 48 |
| | 2,4 | | | 290 | 160 | 179 | 208 | 187 | 153 | 137 | 118 | 63 | 49 |
| | 2,5 | | | 304 | 165 | 185 | 215 | 192 | 157 | 140 | 120 | 65 | 51 |
| | 2,6 | | | 317 | 170 | 190 | 222 | 198 | 162 | 143 | 122 | 66 | 52 |
| | 2,7 | | | 330 | 175 | 196 | 229 | 203 | 166 | 146 | 124 | 67 | 53 |
| | 2,8 | | | 344 | 180 | 202 | 236 | 209 | 171 | 149 | 126 | 68 | 55 |
| | 2,9 | | | 357 | 185 | 208 | 243 | 214 | 175 | 152 | 128 | 69 | 56 |
| | 3,0 | | | 371 | 190 | 214 | 250 | 220 | 180 | 155 | 130 | 71 | 58 |
| | 3,2 | | | | 200 | 224 | 260 | 230 | 188 | 161 | 134 | 73 | 59 |
| | 3,4 | | | | 210 | 234 | 270 | 240 | 196 | 167 | 138 | 75 | 61 |
| | 3,6 | | | | 220 | 244 | 280 | 250 | 204 | 173 | 142 | 78 | 62 |
| | 3,8 | | | | 230 | 254 | 290 | 260 | 212 | 179 | 146 | 80 | 64 |
| | 4,0 | | | | 240 | 264 | 300 | 270 | 220 | 185 | 150 | 83 | 66 |
| | 4,5 | | | | 265 | 290 | 327 | 292 | 235 | 198 | 160 | 88 | 71 |
| | 5,0 | | | | 290 | 316 | 355 | 315 | 250 | 212 | 170 | 94 | 76 |
| | 5,5 | | | | 315 | 342 | 382 | 337 | 265 | 226 | 180 | 99 | 81 |
| | 6,0 | | | | 340 | 368 | 410 | 360 | 280 | 240 | 190 | 105 | 86 |
| | 7,0 | | | | 390 | 422 | 470 | 400 | 315 | 265 | 215 | 117 | 93 |
| | 8,0 | | | | 440 | 476 | 530 | 440 | 350 | 290 | 240 | 128 | 100 |
| | 9,0 | | | | 490 | 526 | 580 | 485 | 375 | 310 | 250 | 138 | 105 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 10,0 | | | | 540 | 576 | 630 | 530 | 400 | 330 | 260 | 148 | 110 |
| | 11,0 | | | | | | | 570 | 430 | 350 | 275 | 160 | 116 |
| | 12,0 | | | | | | | 610 | 460 | 370 | 290 | 171 | 122 |
| | 13,0 | | | | | | | | 490 | 395 | 308 | 183 | 129 |
| | 14,0 | | | | | | | | 520 | 420 | 325 | 194 | 136 |
| | 15,0 | | | | | | | | 550 | 440 | 337 | 205 | 141 |
| | 16,0 | | | | | | | | 580 | 460 | 350 | 217 | 147 |
| | 17,0 | | | | | | | | 610 | 480 | 362 | 229 | 153 |
| | 18,0 | | | | | | | | 640 | 500 | 375 | 241 | 159 |
| | 19,0 | | | | | | | | | 525 | 387 | 252 | 165 |
| | 20,0 | | | | | | | | | 550 | 400 | 264 | 171 |
| | 21,0 | | | | | | | | | 570 | 413 | 277 | 176 |
| | 22,0 | | | | | | | | | 590 | 425 | 290 | 181 |
| Verre | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | 0,1 | 14 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | | | |
| | 0,2 | 26 | 20 | 19 | 18 | 18 | 18 | 15 | 15 | 15 | | | |
| | 0,3 | | | 28 | 27 | 26 | 27 | 23 | 21 | 19 | | | |
| | 0,4 | | | 38 | 36 | 35 | 36 | 32 | 27 | 24 | | | |
| | 0,5 | | | | | | 40 | 38 | 33 | 29 | | | |
| | 0,6 | | | | | | 45 | 44 | 39 | 34 | | | |
| | 0,7 | | | | | | | 47 | 42 | 36 | | | |
| | 0,8 | | | | | | | 50 | 45 | 38 | | | |
| | 0,9 | | | | | | | | 46 | 40 | | | |
| | 1,0 | | | | | | | | 47 | 42 | | | |
| Aluminium | 0,0 | | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | 0,1 | | 7,5 | | 8 | 8 | 8,5 | 7,5 | 7 | 6 | | | |
| | 0,2 | | 15 | | 16 | 16 | 17 | 15 | 14 | 12 | | | |
| | 0,3 | | 23 | | 23 | 24 | 25 | 22 | 20 | 16 | | | |
| | 0,4 | | 31 | | 30 | 32 | 34 | 30 | 26 | 20 | | | |
| | 0,5 | | | | | | 39 | 35 | 31 | 26 | | | |
| | 0,6 | | | | | | 44 | 40 | 37 | 32 | | | |
| | 0,7 | | | | | | | 43 | 39 | 34 | | | |
| | 0,8 | | | | | | | 46 | 42 | 37 | | | |
| | 0,9 | | | | | | | | 44 | 39 | | | |
| | 1,0 | | | | | | | | 46 | 42 | | | |

Beton barite

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 0,0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 0,1 | | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | | |
| 0,2 | | 6 | 4 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | | |
| 0,3 | | 9 | 6 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | | |
| 0,4 | | 12 | 8 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 8 | 9 | | |
| 0,5 | | 15 | 10 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 0,6 | | 18 | 12 | 4 | 6 | 8 | 11 | 11 | 13 | 13 | | |
| 0,7 | | 21 | 14 | 5 | 7 | 10 | 13 | 13 | 15 | 15 | | |
| 0,8 | | 24 | 16 | 6 | 8 | 11 | 15 | 15 | 17 | 17 | | |
| 0,9 | | 27 | 18 | 7 | 9 | 13 | 17 | 17 | 19 | 19 | | |
| 1,0 | | 31 | 20 | 9 | 11 | 15 | 19 | 19 | 21 | 21 | | |
| 1,1 | | | | 9 | 12 | 16 | 20 | 20 | 22 | 22 | | |
| 1,2 | | | | 10 | 13 | 18 | 22 | 22 | 24 | 23 | | |
| 1,3 | | | | 11 | 14 | 20 | 24 | 24 | 25 | 25 | | |
| 1,4 | | | | 11 | 15 | 22 | 26 | 26 | 27 | 26 | | |
| 1,5 | | | | 12 | 17 | 24 | 28 | 28 | 29 | 28 | | |
| 1,6 | | | | 13 | 18 | 25 | 30 | 29 | 30 | 29 | | |
| 1,7 | | | | 14 | 19 | 27 | 32 | 31 | 32 | 30 | | |
| 1,8 | | | | 15 | 20 | 29 | 34 | 33 | 33 | 32 | | |
| 1,9 | | | | 16 | 21 | 31 | 36 | 35 | 35 | 33 | | |
| 2,0 | | | | 17 | 23 | 33 | 38 | 37 | 37 | 35 | | |
| 2,2 | | | | 18 | 25 | 36 | 41 | 40 | 39 | 36 | | |
| 2,4 | | | | 19 | 27 | 40 | 45 | 43 | 42 | 38 | | |
| 2,6 | | | | 21 | 30 | 43 | 49 | 46 | 44 | 40 | | |
| 2,8 | | | | 22 | 32 | 47 | 53 | 49 | 47 | 42 | | |
| 3,0 | | | | 24 | 35 | 51 | 57 | 53 | 50 | 44 | | |
| 3,2 | | | | 25 | 37 | 54 | 60 | 56 | 52 | 46 | | |
| 3,4 | | | | 26 | 39 | 57 | 63 | 59 | 55 | 49 | | |
| 3,6 | | | | 27 | 41 | 60 | 67 | 62 | 58 | 51 | | |
| 3,8 | | | | 28 | 43 | 63 | 70 | 65 | 61 | 54 | | |
| 4,0 | | | | 30 | 45 | 67 | 74 | 68 | 64 | 57 | | |
| 4,5 | | | | 33 | 50 | 75 | 81 | 75 | 70 | 62 | | |
| 5,0 | | | | 37 | 55 | 83 | 89 | 82 | 76 | 67 | | |
| 5,5 | | | | 40 | 60 | 91 | 97 | 89 | 82 | 72 | | |
| 6,0 | | | | 44 | 66 | 100 | 105 | 96 | 88 | 78 | | |
| 7,0 | | | | 51 | 76 | 115 | 120 | 108 | 100 | 88 | | |
| 8,0 | | | | 57 | 86 | 130 | 135 | 120 | 112 | 99 | | |
| 9,0 | | | | 63 | 97 | 147 | 152 | 132 | 124 | 109 | | |
| 10,0 | | | | 70 | 108 | 165 | 170 | 145 | 136 | 120 | | |
| 11,0 | | | | 76 | 117 | 180 | 182 | 157 | 148 | 130 | | |
| 12,0 | | | | 82 | 127 | 195 | 195 | 170 | 160 | 141 | | |
| 13,0 | | | | | | | 212 | 180 | 172 | 151 | | |
| 14,0 | | | | | | | 230 | 190 | 184 | 162 | | |
| 15,0 | | | | | | | 245 | 205 | 196 | 172 | | |
| 16,0 | | | | | | | 260 | 220 | 208 | 183 | | |
| 17,0 | | | | | | | | 230 | 220 | 193 | | |
| 18,0 | | | | | | | | 240 | 232 | 204 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Fer | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 0,1 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,600 | 0,900 | 1,200 | 1,600 | 1,700 | 1,900 | 2,200 | | |
| | 0,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | | |
| | 0,3 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 2,6 | 3,8 | 4,6 | 4,9 | 5,5 | 6,2 | | |
| | 0,4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | | |
| | 0,5 | 2,7 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 4,6 | 6,6 | 7,6 | 7,9 | 8,6 | 9,5 | | |
| | 0,6 | 3 | 4 | 4 | 4 | 6 | 8 | 9 | 9 | 10 | 11 | | |
| | 0,7 | 3,7 | 4,5 | 4,6 | 4,6 | 6,6 | 9,5 | 10,6 | 10,7 | 11,5 | 12,5 | | |
| | 0,8 | 4 | 5 | 5 | 5 | 8 | 11 | 12 | 12 | 13 | 14 | | |
| | 0,9 | 4,7 | 5,9 | 5,9 | 5,8 | 8,5 | 12,5 | 14 | 14 | 14,5 | 15 | | |
| | 1,0 | 5 | 7 | 7 | 6 | 9 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | | |
| | 1,1 | | | | 7 | 11 | 16 | 18 | 17 | 17 | 17 | | |
| | 1,2 | | | | 8 | 12 | 17 | 19 | 18 | 18 | 18 | | |
| | 1,4 | | | | 9 | 14 | 20 | 23 | 21 | 20 | 18 | | |
| | 1,6 | | | | 10 | 15 | 23 | 26 | 23 | 22 | 20 | | |
| | 1,8 | | | | 12 | 18 | 26 | 29 | 26 | 24 | 21 | | |
| | 2,0 | | | | 13 | 19 | 28 | 32 | 29 | 26 | 21 | | |
| Carreau platre | 0,0 | | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| | 0,1 | | 25 | 17 | 15 | | | | | | | | |
| | 0,2 | | 50 | 35 | 30 | | | | | | | | |
| | 0,3 | | 70 | 50 | 50 | | | | | | | | |
| | 0,4 | | 85 | 70 | 65 | | | | | | | | |
| | 0,5 | | 100 | 85 | 80 | | | | | | | | |
| Cloison alvéolée en platre | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| | 0,1 | 50 | 50 | 50 | 50 | | | | | | | | |
| Bois dense | 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| | 0,1 | 50 | 50 | 50 | 50 | | | | | | | | |