Congrés ATSR 2026
Cherbourg - Cité de la Mer
du 16 au 18/09/2026

# QUELQUES PETITES HISTOIRES DE CALCULS DE RADIOPROTECTION GLANÉES DANS LE CHAMP DE LA MÉDECINE NUCLÉAIRE




*ALAIN VIVIER*
*DOSIMEX SAS*

*DIDIER PAUL*
*CH HAGUENAU*



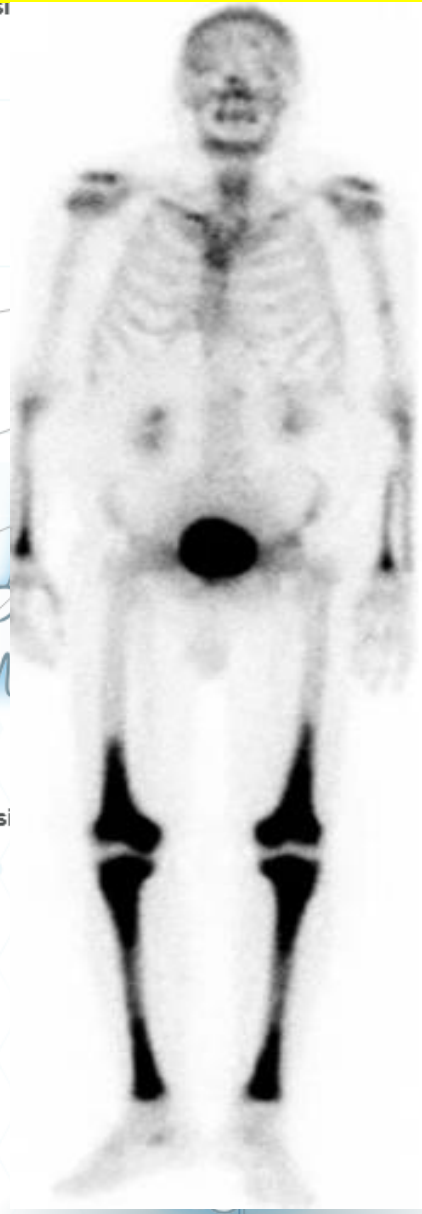

# CALCULS RADIOPROTECTION
# AVEC UNE SERINGUE AU TECHNETIUM 99-M



« DETENDEZ-VOUS, ÇA NE VA PAS FAIRE MAL »

# Environ 1 million d’examens en France utilisant le TC 99 m

## Activités utilisées :



Epilepsi

jerie des glandes salivaires
ı tractus lacrymal $^{99m}$Tc

Maladies de la thyroïde
$^{99m}$Tc

Études sanguines $^{99m}$Tc

aladies cardiaques $^{99m}$Tc

Cancer du sein $^{99m}$Tc

Maladies de la rate - Fonction biliaire $^{99m}$Tc

$^{177}$Lu

Scintigraphie osseuse $^{99m}$Tc

ıncer du col de l'utérus $^{99m}$Tc

rombose veineuse profonde $^{99m}$Tc

Scintigraphie des glandes surrénales
$^{99m}$Tc

Imagerie de la vessi

Corps entier

$^{68}$Ga

Maladies infectieuses $^{99m}$Tc

NUCL
MEDI
EURO
the industry association

## Interactive Hygieia

### Diagnostic and therapeutic isotopes

Nuclear medicine has a worldwide impact by benefitting approximately 40 million patients annually. Over 100,000 patients are diagnosed and treated with medical isotopes each day, and the therapy provided through nuclear medicine has proven to be

| | | | |
|---|---|---|---|
| $^{15}$O ☐ | $^{32}$P ☐ | $^{223}$Ra ☐ | $^{82}$Rb ☐ |
| $^{186}$Re ☐ | $^{188}$Re ☐ | $^{153}$Sm ☐ | $^{89}$Sr ☐ |
| $^{201}$Tl ☐ | $^{99m}$Tc ☑ | $^{133}$Xe ☐ | $^{90}$Y ☐ |

The displayed isotopes are all present in products that have been granted E.U. marketing authorization. Experimental molecule treatments have not been included. Further information and additional resources can be found at : whatisnuclearmedicine.com • © Nuclear Medicine Europe

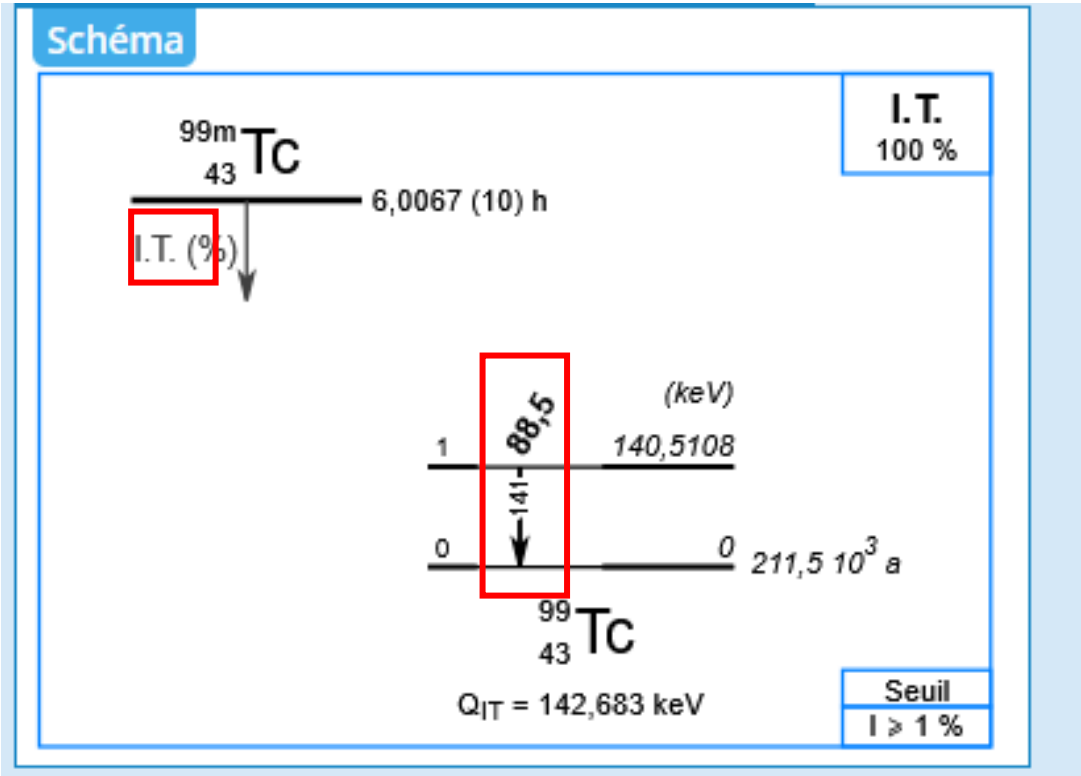

**Legal Notice for Image Usage**

By downloading and using this image, you agree to the following terms and conditions:

- **Permitted Uses:** You may not modify, edit, transform, or create derivative works from the image in any manner. The image must be used in its original downloaded form.
- **Prohibited Actions:** You are authorized to use the downloaded image solely for non-commercial purposes, including but not limited to academic presentations and research.
- **Intellectual Property:** The "Hygieia" visual is the property of Nuclear Medicine Europe and its creator. Unauthorized use, reproduction, or distribution of the image is prohibited.
- **Other Uses:** Any use of the image outside the scope of the permitted uses outlined above requires prior written permission from Nuclear Medicine Europe. For inquiries or to request permission for additional uses, please contact david.crunelle@nmeu.org directly.


LARAWEB

# Données LARAWEB (LNHB/CEA/SACLAY)




| Énergie (keV) | Intensité (%)* | Type |
|---|---|---|
| 140,511 (1) | 88,5 (2) | γ |
| 18,3672 (-) | 4,21 (12) | $X_{Kα1}$ |
| 18,251 (-) | 2,22 (7) | $X_{Kα2}$ |
| 20,669 (-) | 1,12 (4) | $X_{K'β1}$ |

# Calcul DED au contact puis à 30 cm, 1 GBq de Tc99m

**Utilisation d'un protège –seringue en tungstène *(19 g/cm²)* de 2 mm d'épaisseur**



**Limite dose extrémités atteinte en 5 h !!**

| Distance | Sans protège-seringue | Avec protège-seringue | FA |
|---|---|---|---|
| Contact | | | |
| | | | |

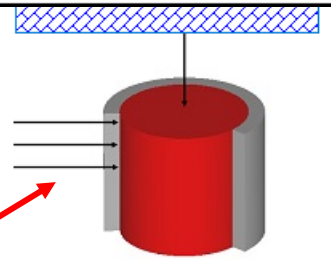
Source cylindriqu

Déc
(0 <=> n
0

(Point 1)

H*(10)

10,01 µSv/h



Hauteur
8 cm

Distance pt 1
0,2 cm

Rayon externe 0,5 cm

Rayon interne 0 cm

*Les distances source /points doses sont toujours prises à partir de la surface du cylindre source*

Ecran(s) de protection

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

Epaisseur 0,2 cm

Ecran cylindrique (vs pt 1)

Matériau source Eau Masse vol.

*Matrice source avec activité volumique constante dans tout le cylindre*
*Si le rayon interne est non nul , l'activité est répartie dans la couronne cylindrique compris entre Rint. et Rext*

Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

| Distance | Sans protège-seringue | Avec protège-seringue | FA |
|---|---|---|---|
| Contact | 100 mSv/h | 10 µSv/h | 10 000 |
| 30 cm | | | |

Source cylindriqu

Déc
(0 <=> n
0

(Point 1)

Ecran(s) de protection

H*(10)

Hauteur
8 cm

Distance pt 1
30 cm

Rayon externe 0,5 cm

Rayon interne 0 cm

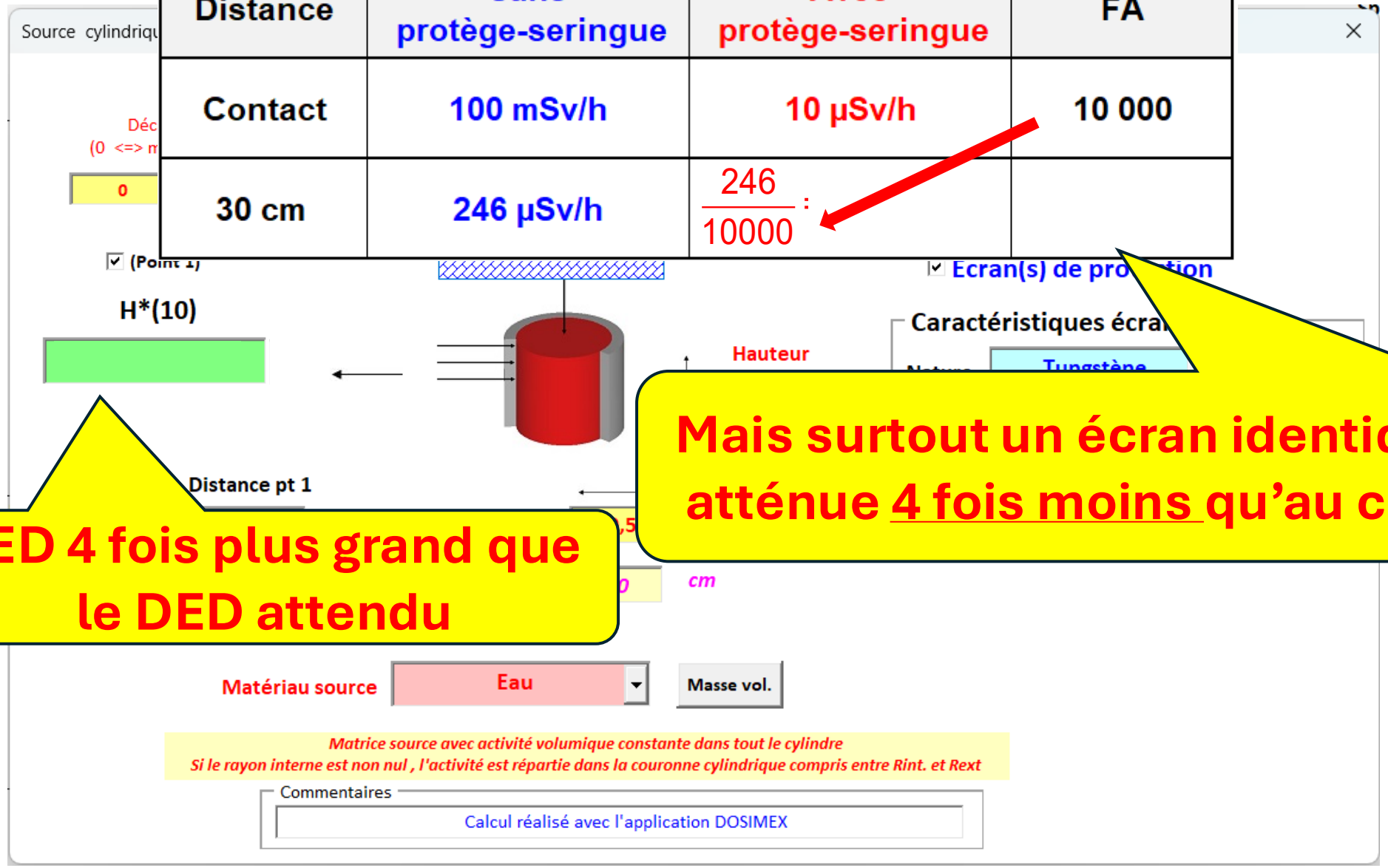
*Les distances source /points doses sont toujours prises à partir de la surface du cylindre source*

Matériau source Eau Masse vol.

*Matrice source avec activité volumique constante dans tout le cylindre*
*Si le rayon interne est non nul , l'activité est répartie dans la couronne cylindrique compris entre Rint. et Rext*

Commentaires
Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

| Distance | Sans protège-seringue | Avec protège-seringue | FA |
|---|---|---|---|
| Contact | 100 mSv/h | 10 µSv/h | 10 000 |
| 30 cm | 246 µSv/h | $\frac{246}{10000}$ : | |

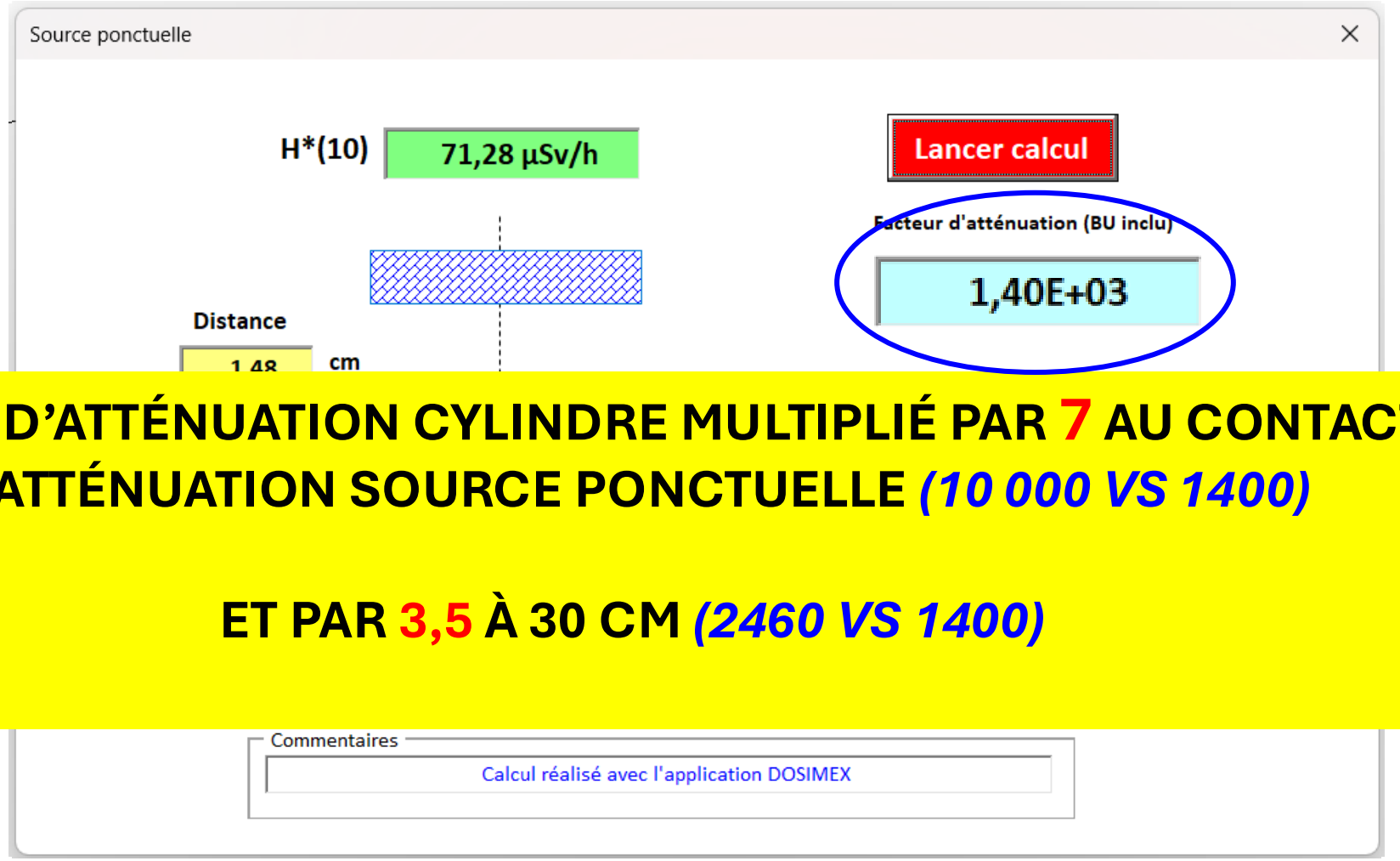



**DED 4 fois plus grand que le DED attendu**

**Mais surtout un écran identique qui atténue 4 fois moins qu'au contact**

## ATTÉNUATION NOMINALE EN LIGNE DROITE

*lpm ≈1/4 mm ⇒ 2 mm ≈ 8 lpm*



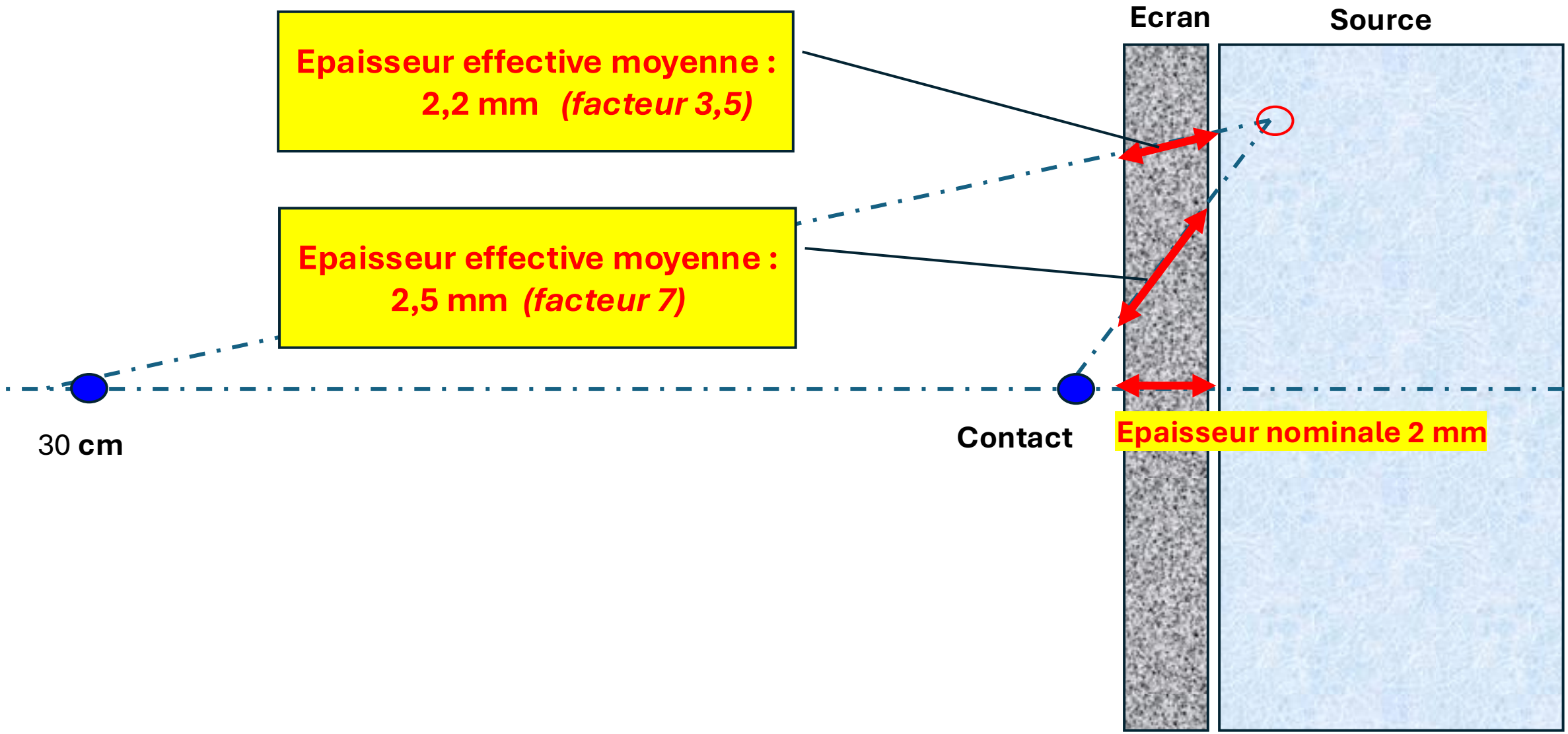

**FACTEUR D'ATTÉNUATION CYLINDRE MULTIPLIÉ PAR 7 AU CONTACT VS L'ATTÉNUATION SOURCE PONCTUELLE *(10 000 VS 1400)***

**ET PAR 3,5 À 30 CM *(2460 VS 1400)***



**NON, CE N’EST PAS UNE HISTOIRE DE BUILD-UP……**

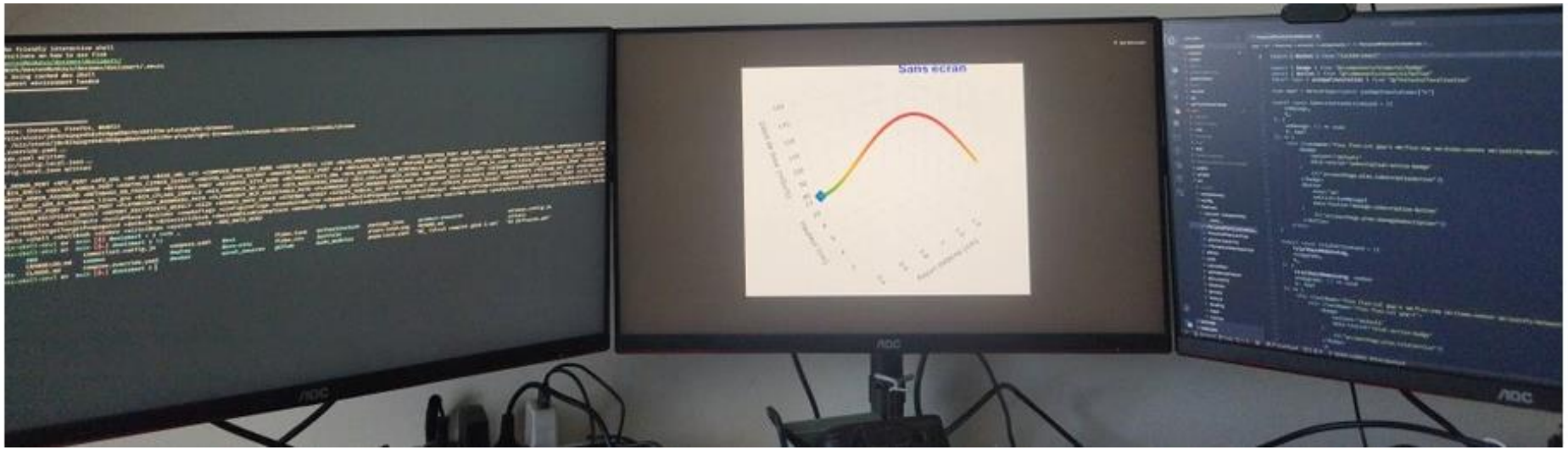
# SIMPLEMENT UN PUR EFFET GÉOMÉTRIQUE :



# Etude paramétrique à volume constant

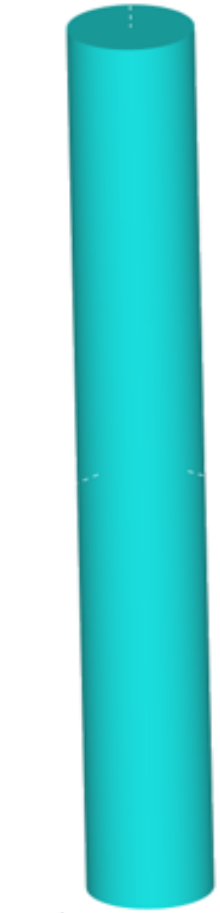
# Evolution DED vs forme seringue

DOSISMART

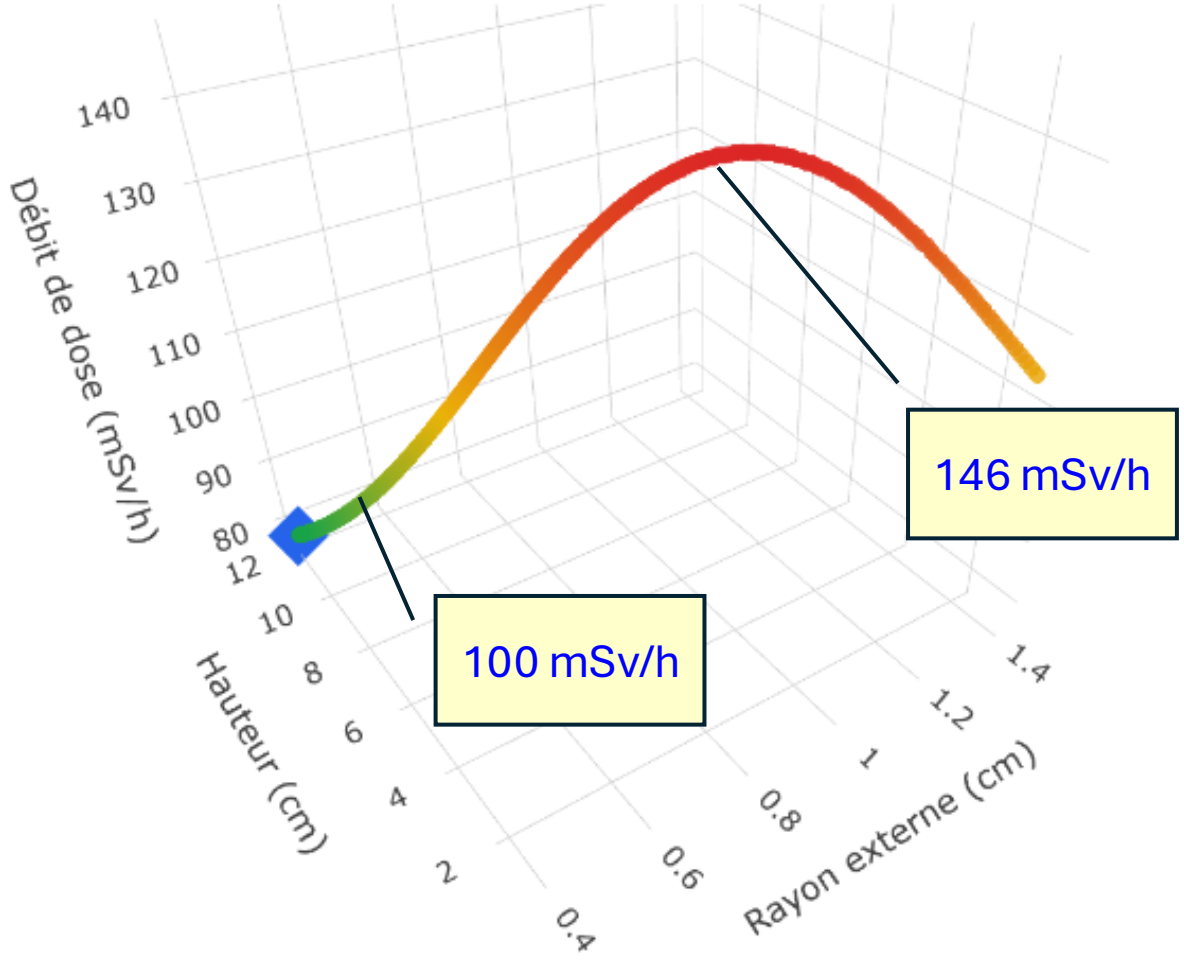


# Débit de dose au contact vs géométrie à volume constant (6 ml)

## Sans écran

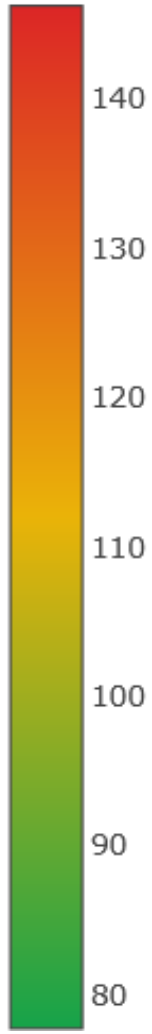


Φ 1 cm x H 8 cm





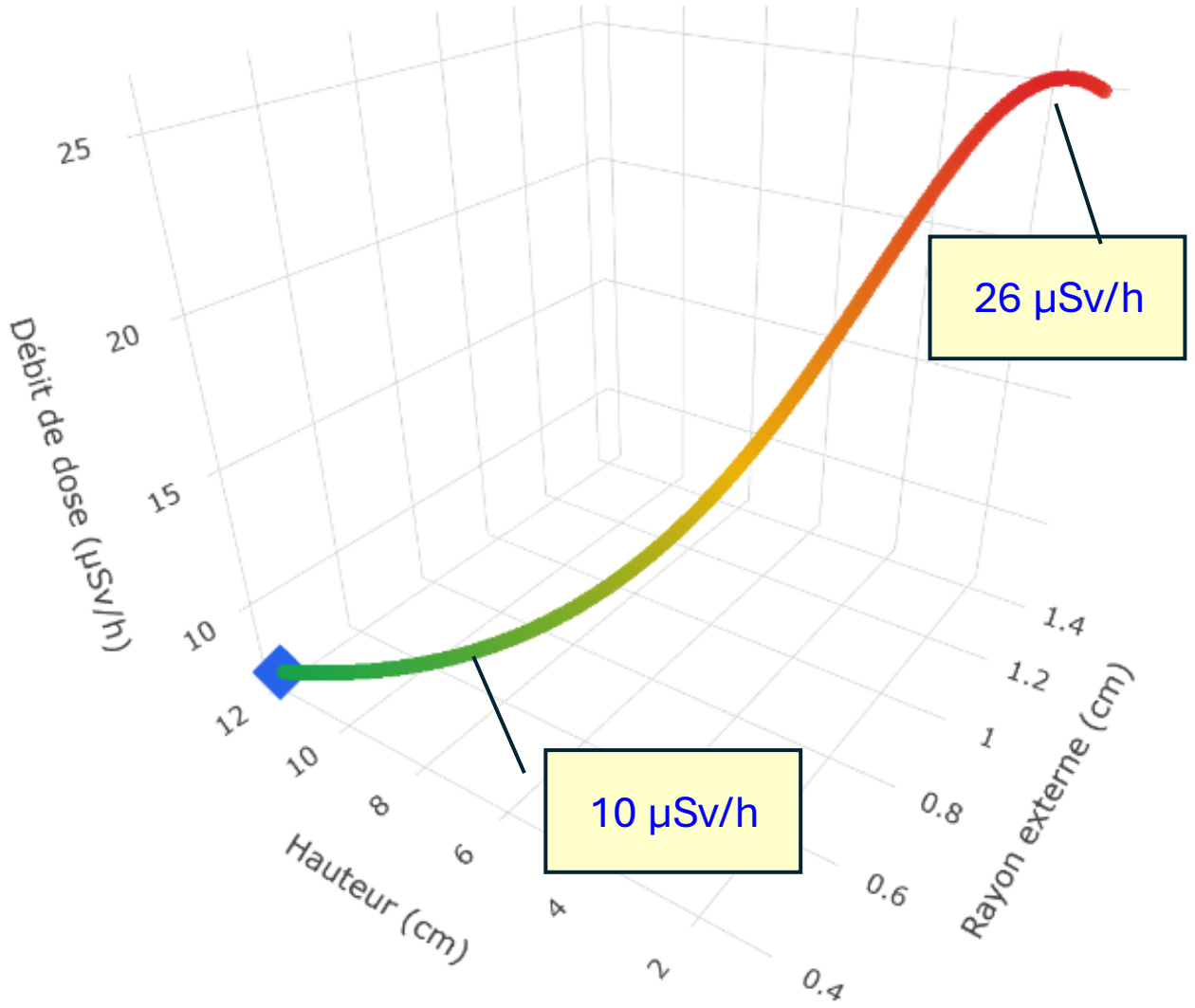

Φ1,8cm x H 2,5 cm

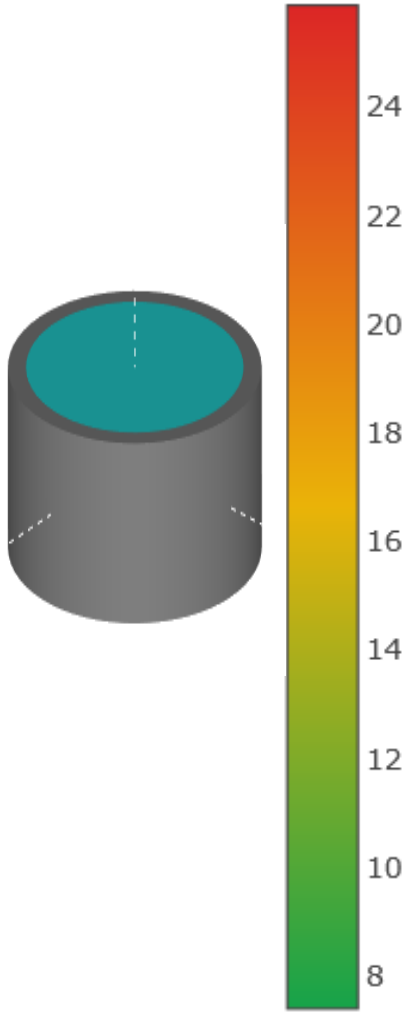


# Débit de dose au contact vs géométrie à volume constant (6 ml)

## Avec écran





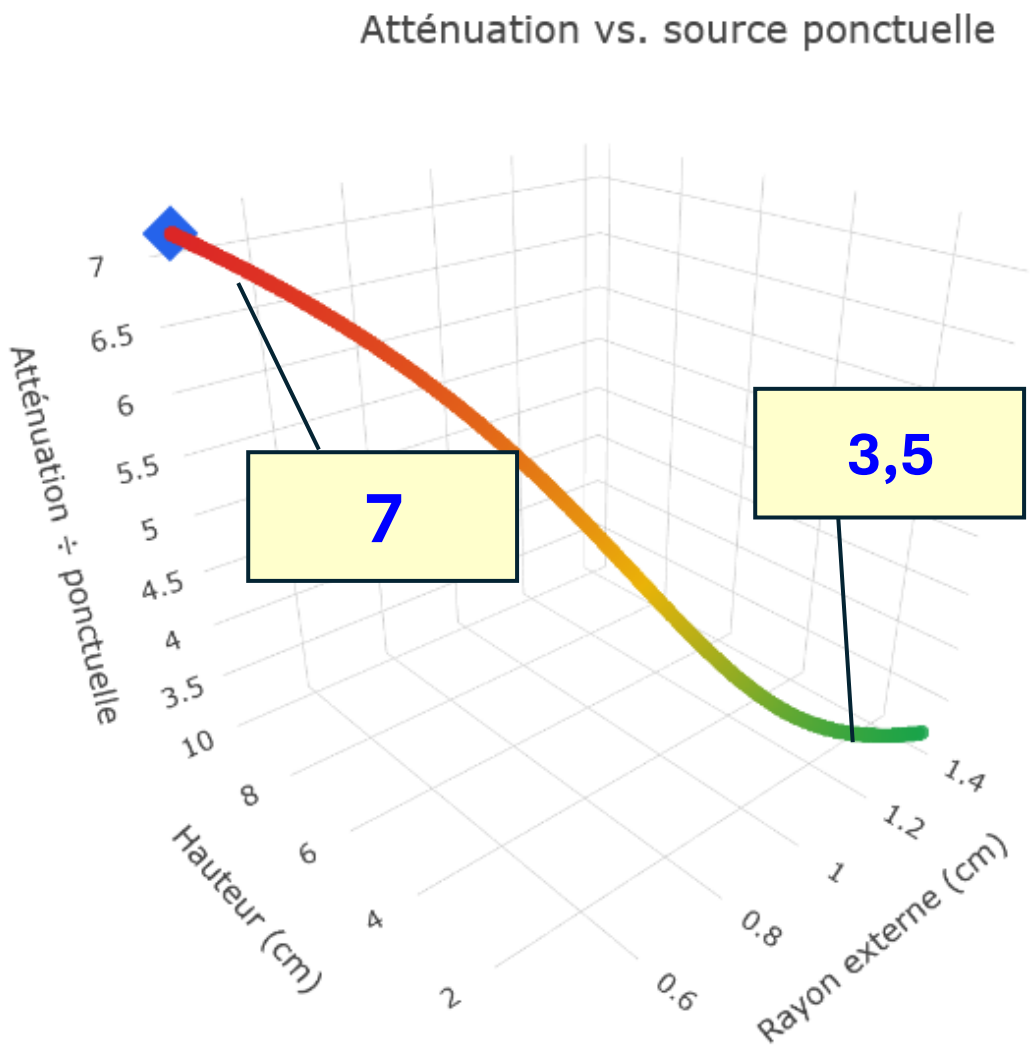



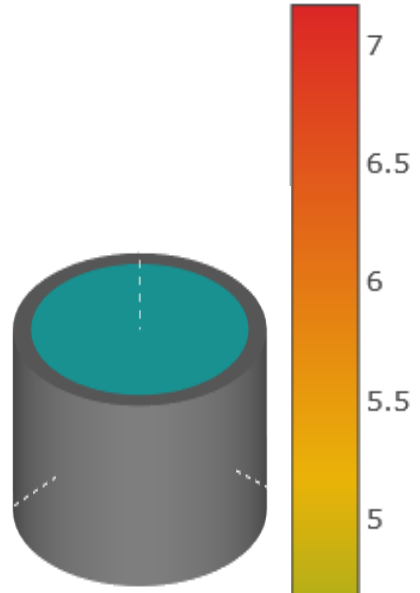
# Facteur géométrique  écran vs géométrie à volume constant



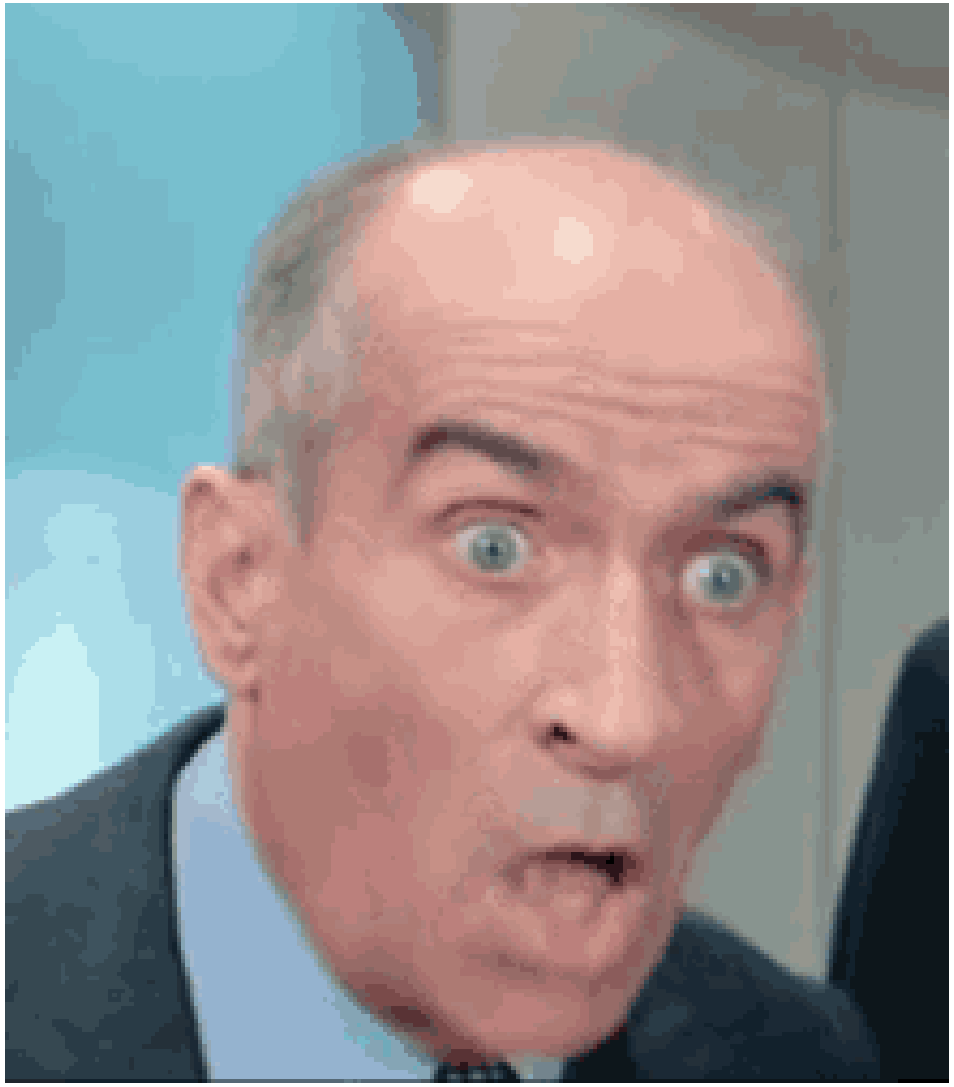
Atténuation vs. source ponctuelle

Masquer le graphique



# Un truc assez surprenant



Source disque

H*(10) 43,23 mSv/h

Lancer calcul



Ecran de protection

Distance 200 cm

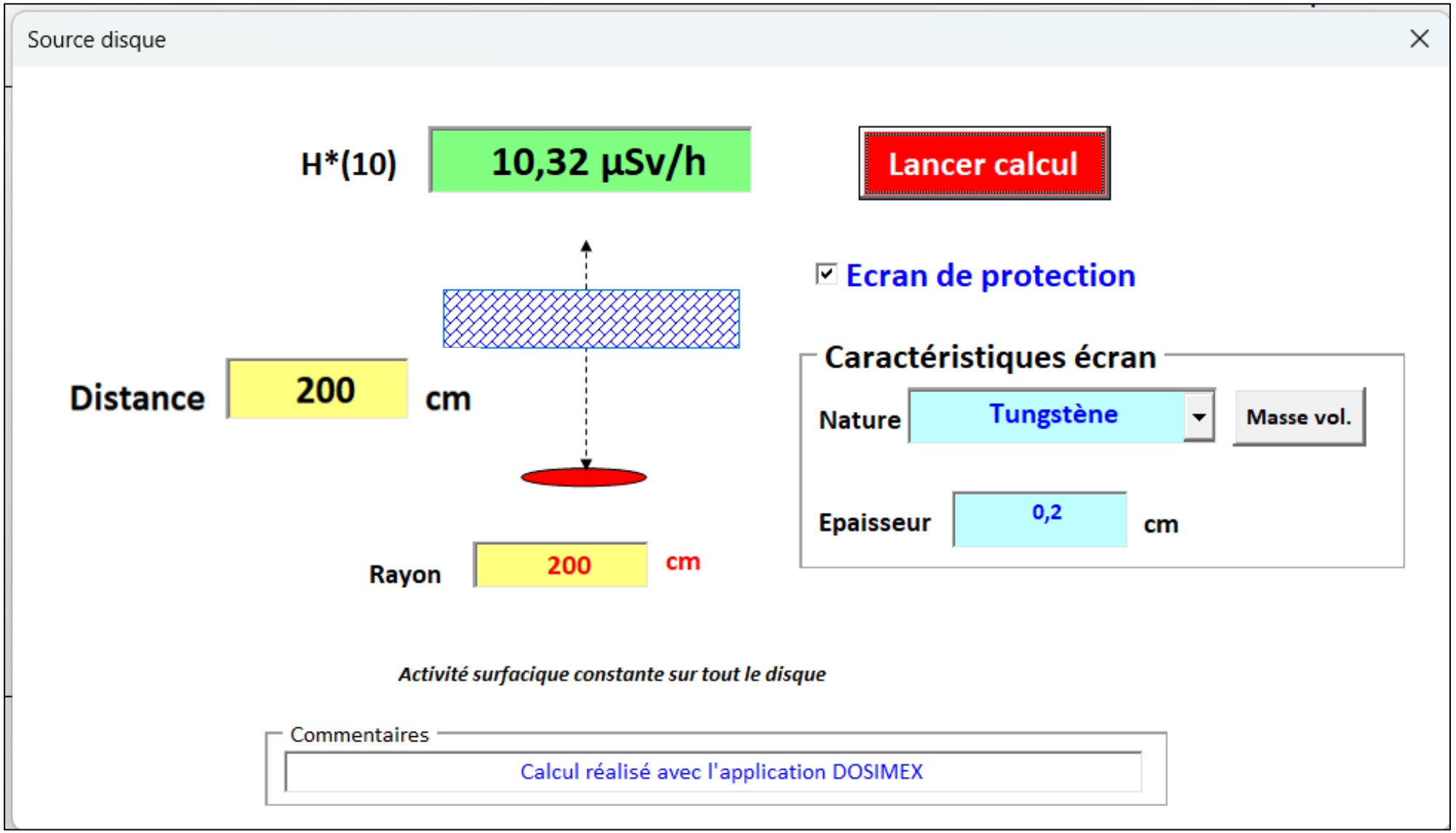
Rayon 200 cm

*Activité surfacique constante sur tout le disque*

Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

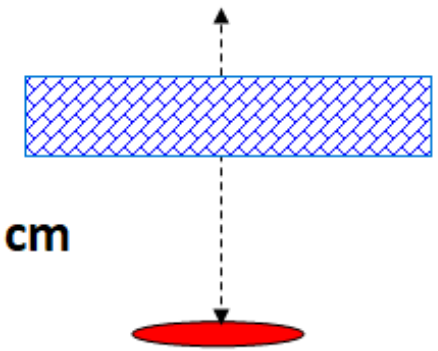
# *Facteur d'atténuation 4300 ( x 3)*



Source disque

H*(10) 10,54 µSv/h

Lancer calcul



Distance 100 cm

Rayon 200 cm

☑ Ecran de protection

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

Epaisseur 0,2 cm

*Activité surfacique constante sur tout le disque*

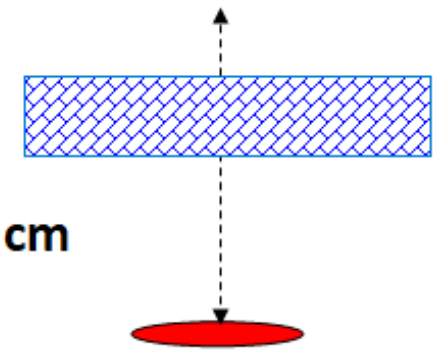
Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

Source disque

H*(10) 10,58 µSv/h

Lancer calcul



Distance 50 cm

Rayon 200 cm

☑ Ecran de protection

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

Epaisseur 0,2 cm

*Activité surfacique constante sur tout le disque*

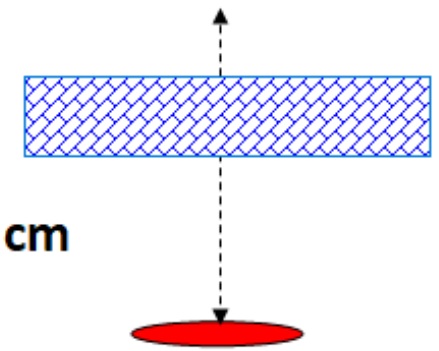
Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

Source disque

H*(10) 10,53 µSv/h

Lancer calcul



Ecran de protection

Distance 20 cm

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

Epaisseur 0,2 cm

Rayon 200 cm

*Activité surfacique constante sur tout le disque*

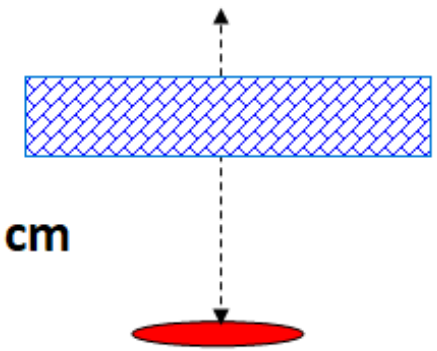
Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

Source disque

H*(10) 10,63 µSv/h

Lancer calcul



Distance 10 cm

Rayon 200 cm

☑ Ecran de protection

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

Epaisseur 0,2 cm

*Activité surfacique constante sur tout le disque*

Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

Source disque



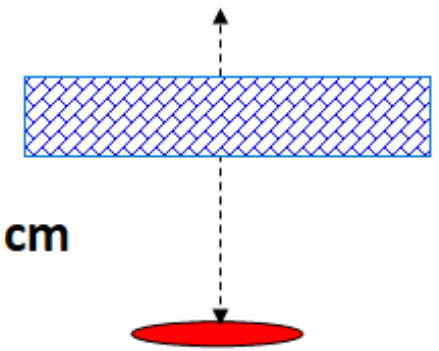
Distance

Masse vol.

Source disque

H*(10) 10,78 µSv/h

Lancer calcul



Distance 5 cm

Rayon 200 cm

☑ Ecran de protection

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

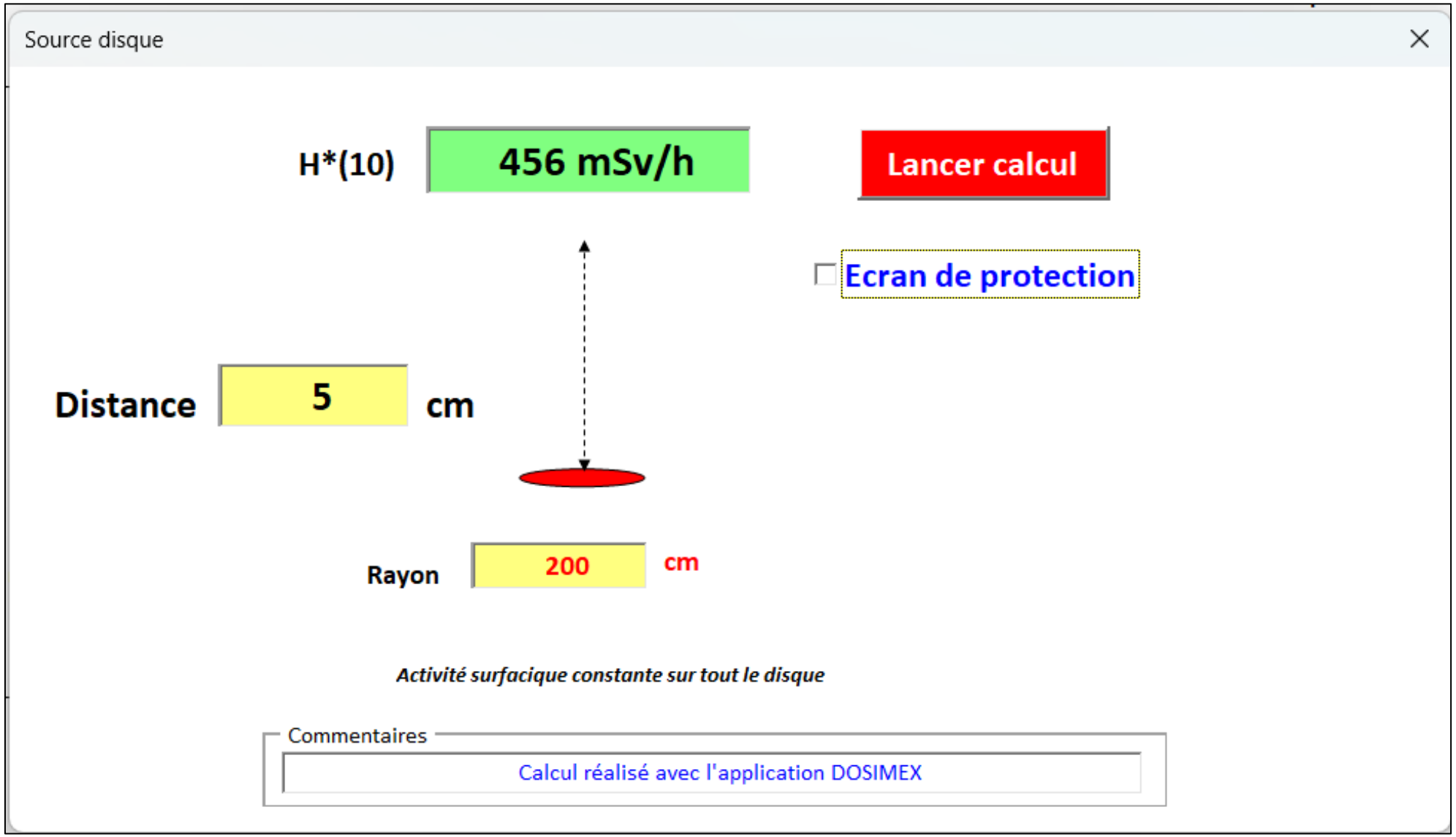
Epaisseur 0,2 cm

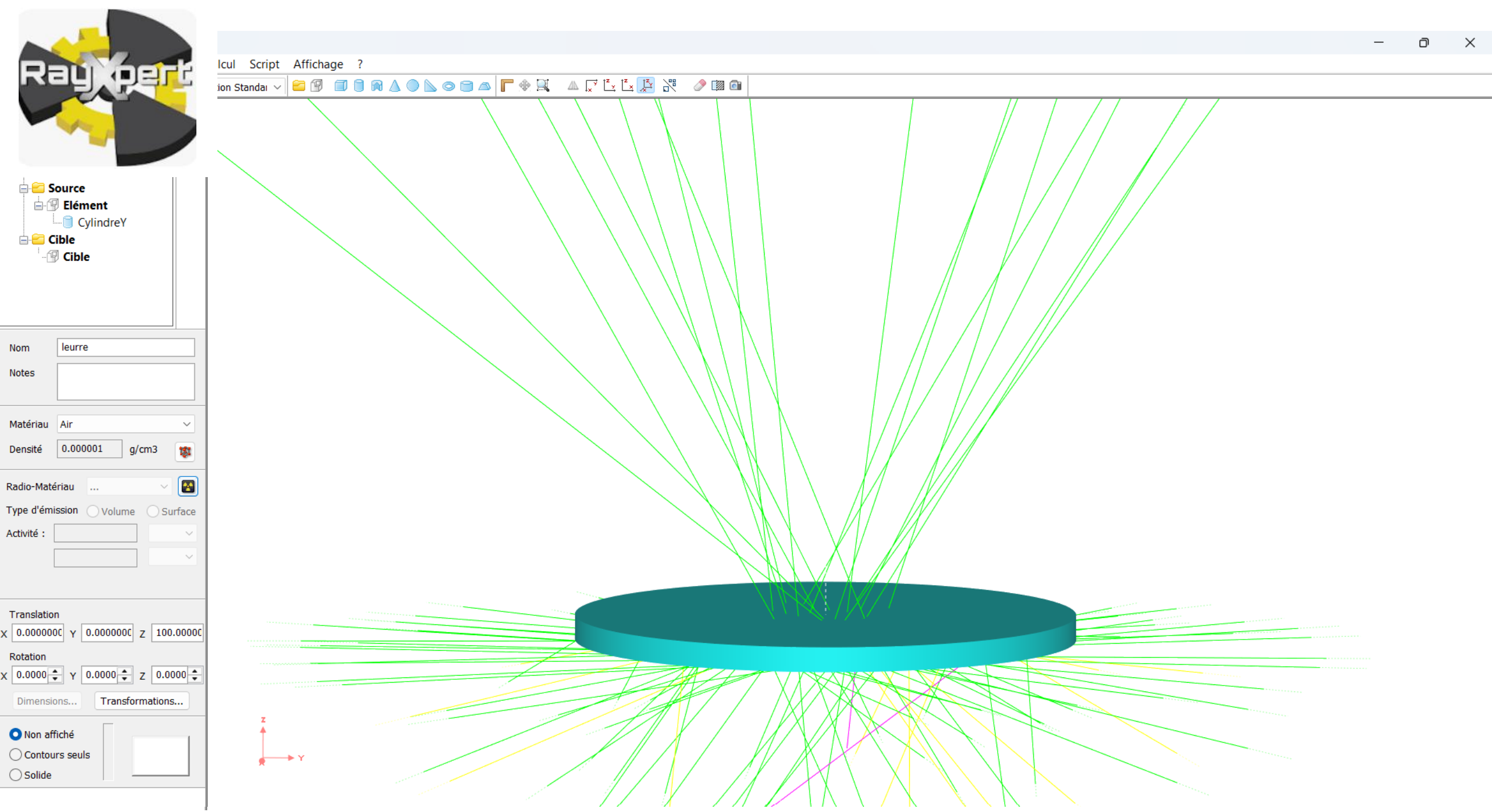
*Activité surfacique constante sur tout le disque*

Commentaires

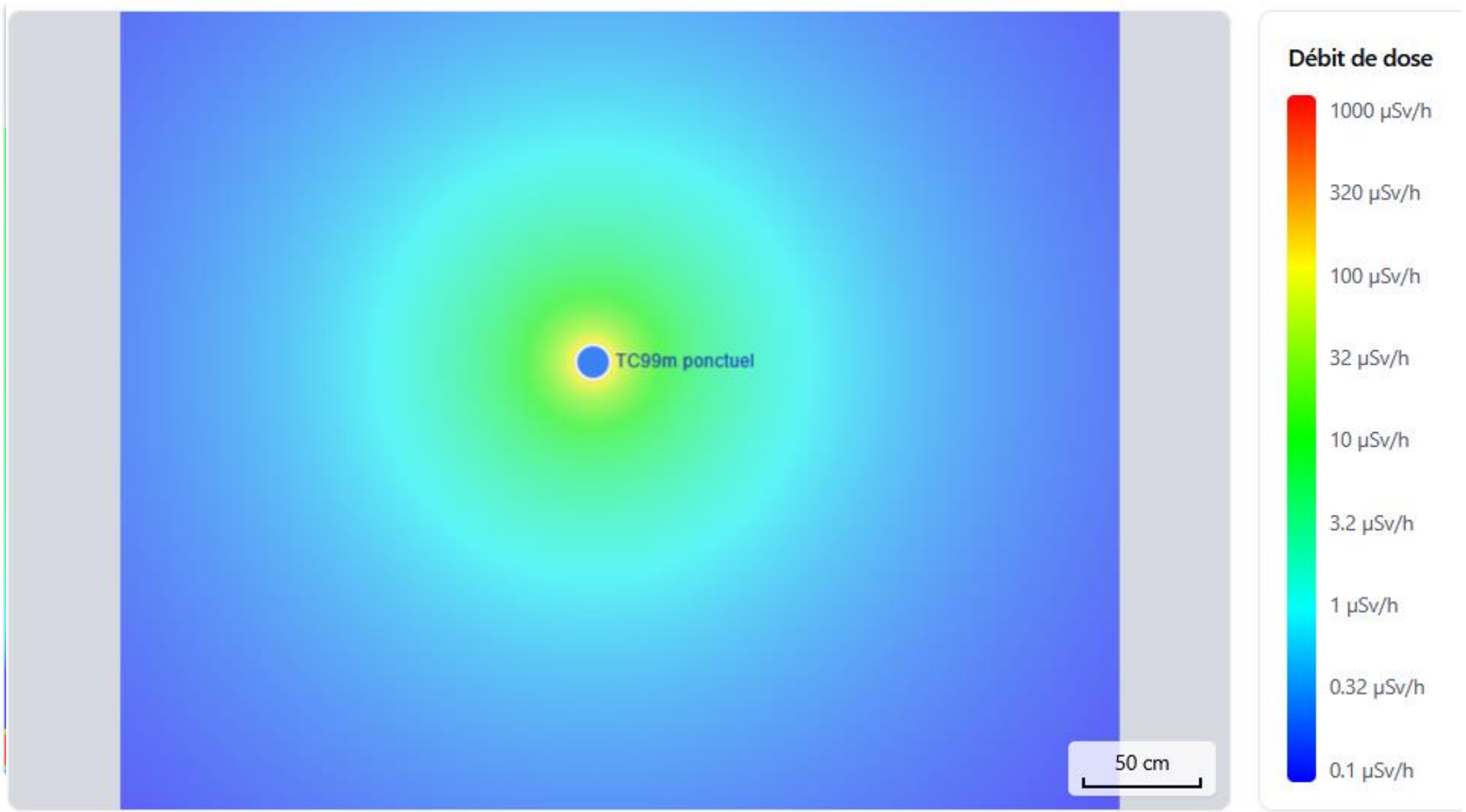
Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

# *Facteur d'atténuation 45 000 ( x 32)*




RayXpert
lcul Script Affichage ?
Source
Elément
CylindreY
Cible
Cible
Nom
leurre
Notes
Matériau
Air
Densité
0.000001
g/cm3
Radio-Matériau
Type d'émission
Volume
Surface
Activité :
Translation
X 0.000000
Y 0.000000
Z 100.0000
Rotation
X 0.0000
Y 0.0000
Z 0.0000
Dimensions...
Transformations...
Non affiché
Contours seuls
Solide
Z
Y

DOSISMART


TC99m ponctuel
50 cm
Débit de dose
1000 µSv/h
320 µSv/h
100 µSv/h
32 µSv/h
10 µSv/h
3.2 µSv/h
1 µSv/h
0.32 µSv/h
0.1 µSv/h

# CONCLUSION

**Les effets d'angles d'incidences des particules sont omniprésents en radioprotection et gagnent à être connus :**

- Spectrométrie gamma
- Contamination des sols
- RP autour de sources de grandes dimensions
- Estimation activité vs DED

oranomed

$^{212}$Pb for Targeted Alpha Therapy

# ALPHATHÉRAPIE AU PLOMB-212




LARAWEB

## Émissions

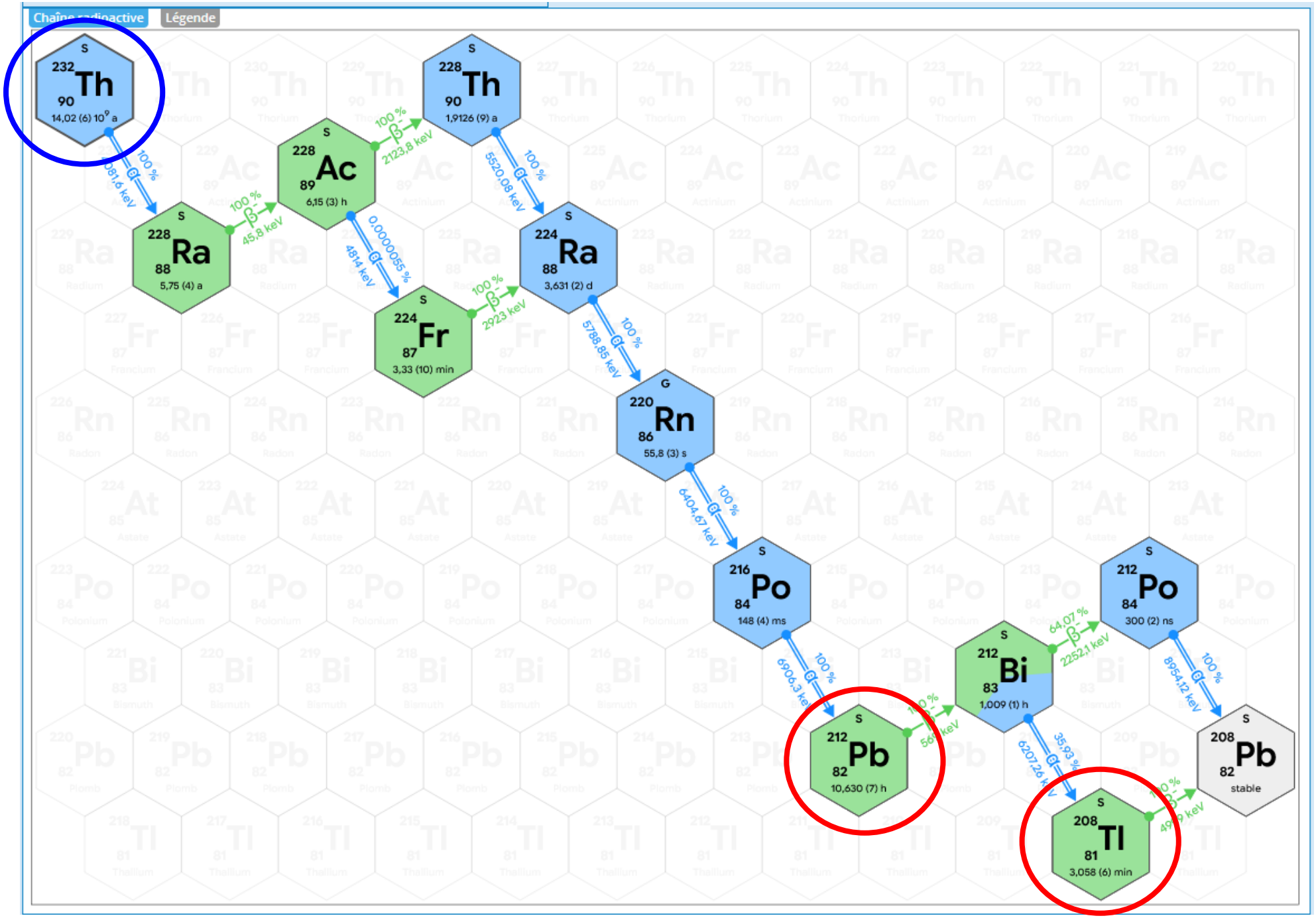
Seuil en intensité : **0,43 %**

Émissions X et gamma (**12** raies sur **34**) triées par intensité décroissante

| Énergie (keV) | Intensité (%) | Type | Origine* | Niveaux Début* | Niveaux Fin* |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 614,511 (10) | 99,755 (4) | | Pb-208 | 1 | 0 |
| [illegible] | [illegible] | | Pb-208 | 2 | 1 |
| 510,74 (2) | 22,5 (2) | γ | Pb-208 | 4 | 2 |
| 860,53 (2) | 12,4 (1) | γ | Pb-208 | 3 | 1 |
| [illegible] | 6,6 (3) | γ | Pb-208 | 3 | 2 |
| | 3,42 (7) | $X_{Kα1}$ | Pb | | |
| 12,2 (-) | 2,76 (12) | $X_{L}$ | Pb | | |
| 72,8049 (-) | 2,03 (5) | $X_{Kα2}$ | Pb | | |
| 763,45 (2) | 1,80 (2) | γ | Pb-208 | 7 | 2 |
| 84,9527 (-) | 1,17 (3) | $X_{K'β1}$ | Pb | | |
| 252,71 (2) | 0,78 (1) | γ | Pb-208 | 7 | 4 |
| 1 093,90 (2) | 0,44 (1) | γ | Pb-208 | 4 | 1 |

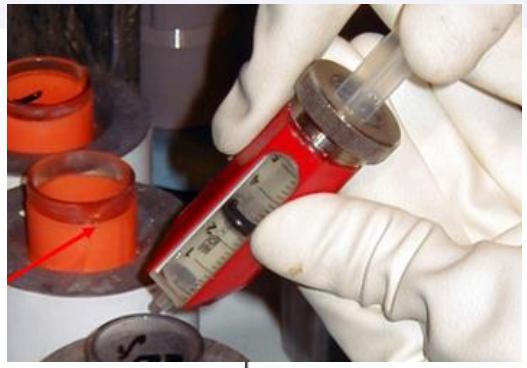
$Q_{\beta^-} = 4999\ keV$ !!




Chaîne radioactive
Légende
S
232 Th
90
14,02 (6) 10^9 a
100 %
G
4081,6 keV
S
228 Ra
88
5,75 (4) a
100 %
β-
45,8 keV
S
228 Ac
89
6,15 (3) h
100 %
β-
2123,8 keV
S
228 Th
90
1,9126 (9) a
0,0000055 %
G
4814 keV
S
224 Fr
87
3,33 (10) min
100 %
β-
2923 keV
100 %
G
5520,08 keV
S
224 Ra
88
3,631 (2) d
100 %
G
5788,85 keV
G
220 Rn
86
55,8 (3) s
100 %
G
6404,67 keV
S
216 Po
84
148 (4) ms
100 %
G
6906,3 keV
S
212 Pb
82
10,630 (7) h
100 %
β-
569 keV
S
212 Bi
83
1,009 (1) h
64,07 %
β-
2252,1 keV
S
212 Po
84
300 (2) ns
100 %
G
8954,12 keV
S
208 Pb
82
stable
35,93 %
G
6207,26 keV
S
208 Tl
81
3,058 (6) min
100 %
β-
4999 keV

# DED au contact 1GBq de Pb212-E

Source cylindrique



Décalage
(0 <=> mi-hauteur)

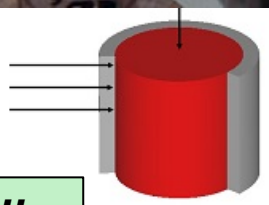
0 cm

(Point 1)

H*(10)

585,84 mSv/h

*10 µSv/h avec TC99m !!*



Hauteur

8 cm

Distance pt 1

0,2 cm

Rayon externe 0,5 cm

*Rayon interne* *0* *cm*

*Les distances source /points doses sont toujours prises à partir de la surface du cylindre source*

Matériau source Eau Masse vol.

*Matrice source avec activité volumique constante dans tout le cylindre*
*Si le rayon interne est non nul , l'activité est répartie dans la couronne cylindrique compris entre Rint. et Rext*

Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

Lancer calcul

Ecran(s) de protection

Caractéristiques écran

Nature Tungstène Masse vol.

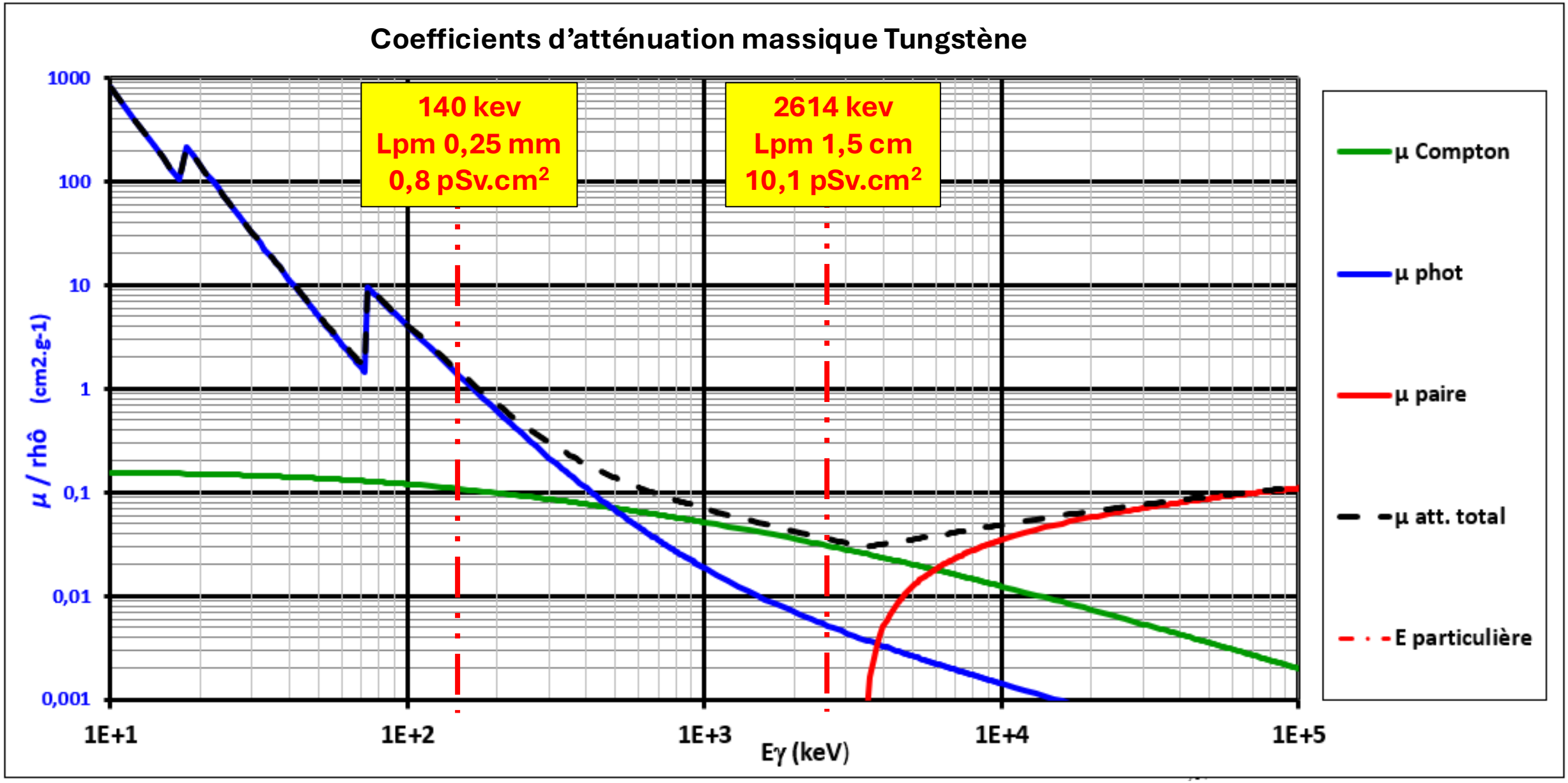
Epaisseur 0,2 cm

Ecran cylindrique (vs pt 1)

# Dimensionnement écran W pour obtenir un DED de l’ordre de 10 µSv/h au contact



## Coefficients d'atténuation massique Tungstène

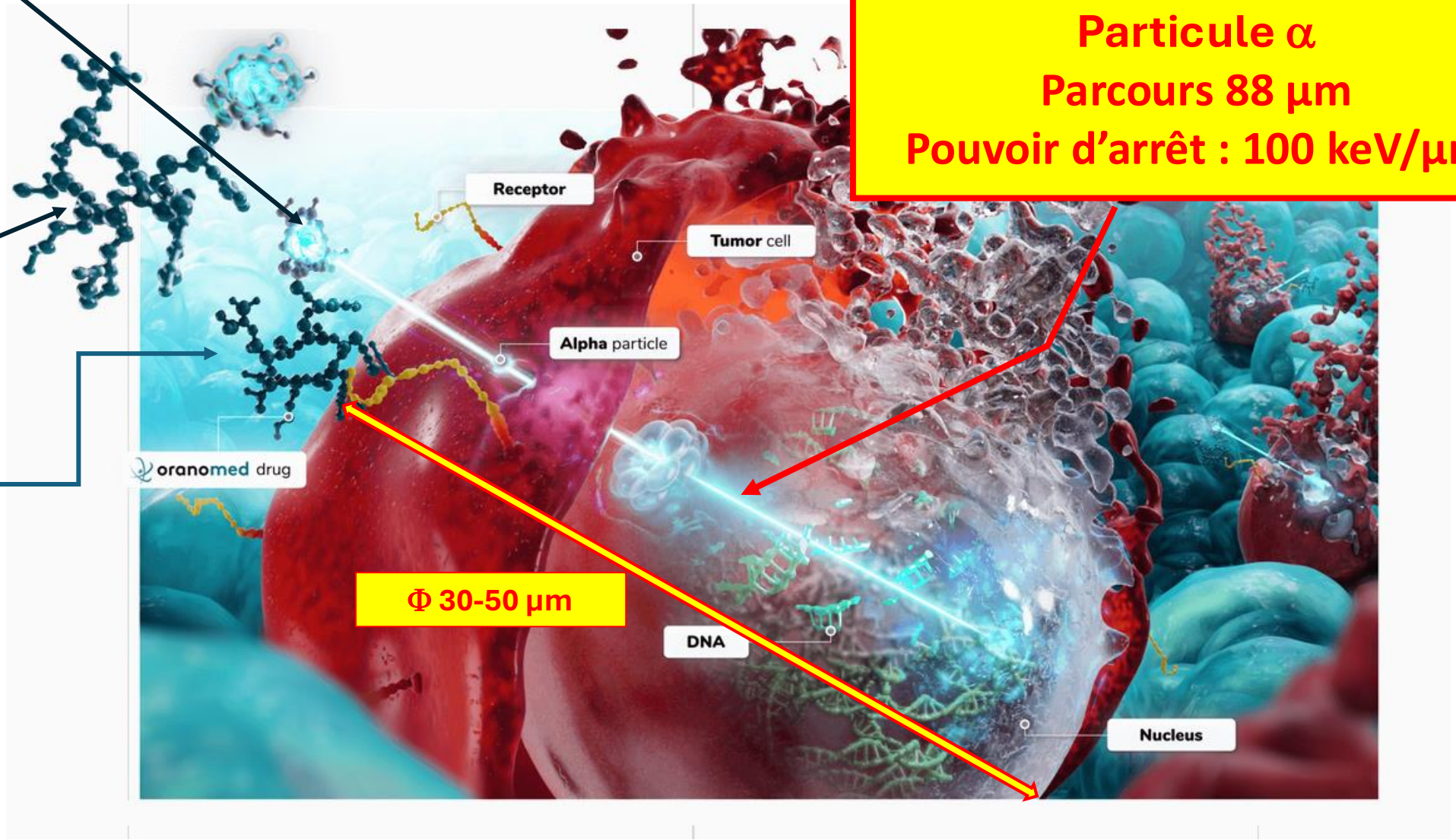


# Radiothérapie interne vectorisée (RIV) avec le Pb 212

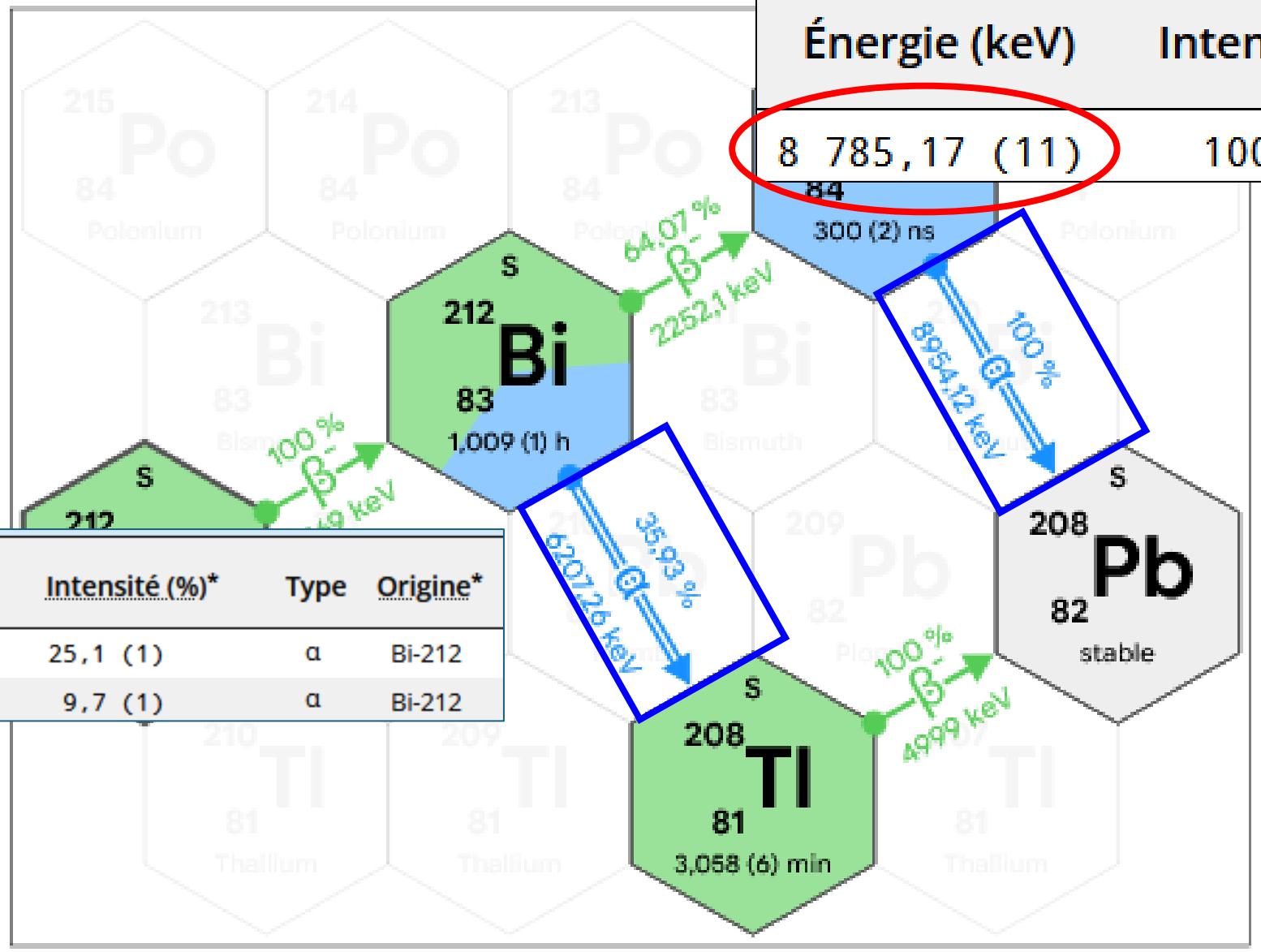
Pb 212

Ligand (anticorps)

Particule α
Parcours 88 µm
Pouvoir d'arrêt : 100 keV/µm



Chaîne radioactive | Légende




| Énergie (keV) | Intensité (%)* | Type | Origine* |
|---|---|---|---|
| 6 051,04 (3) | 25,1 (1) | α | Bi-212 |
| 6 090,14 (3) | 9,7 (1) | α | Bi-212 |

| Énergie (keV) | Intensité (%) | Type | Origine* |
|---|---|---|---|
| 8 785,17 (11) | 100 (-) | α | Po-212 |

NUCLEAR MEDICINE EUROPE
the industry association

# Interactive Hygieia

## Diagnostic and therapeutic isotopes

Nuclear medicine has a worldwide impact by benefitting approximately 40 million patients annually. Over 100,000 patients are diagnosed and treated with medical isotopes each day, and the therapy provided through nuclear medicine has proven to be especially effective in treating cancer.

Watch this 2-minute video tutorial to explore all the tool's interactive features.

Diagnosis | Therapy | Explore

EN | AR | BG | CO | CS | DA | DE | EL
ES | ET | FI | FR | HI | HU | IT | JP
NL | NO | PL | PT | RO | SV | TR | ZH

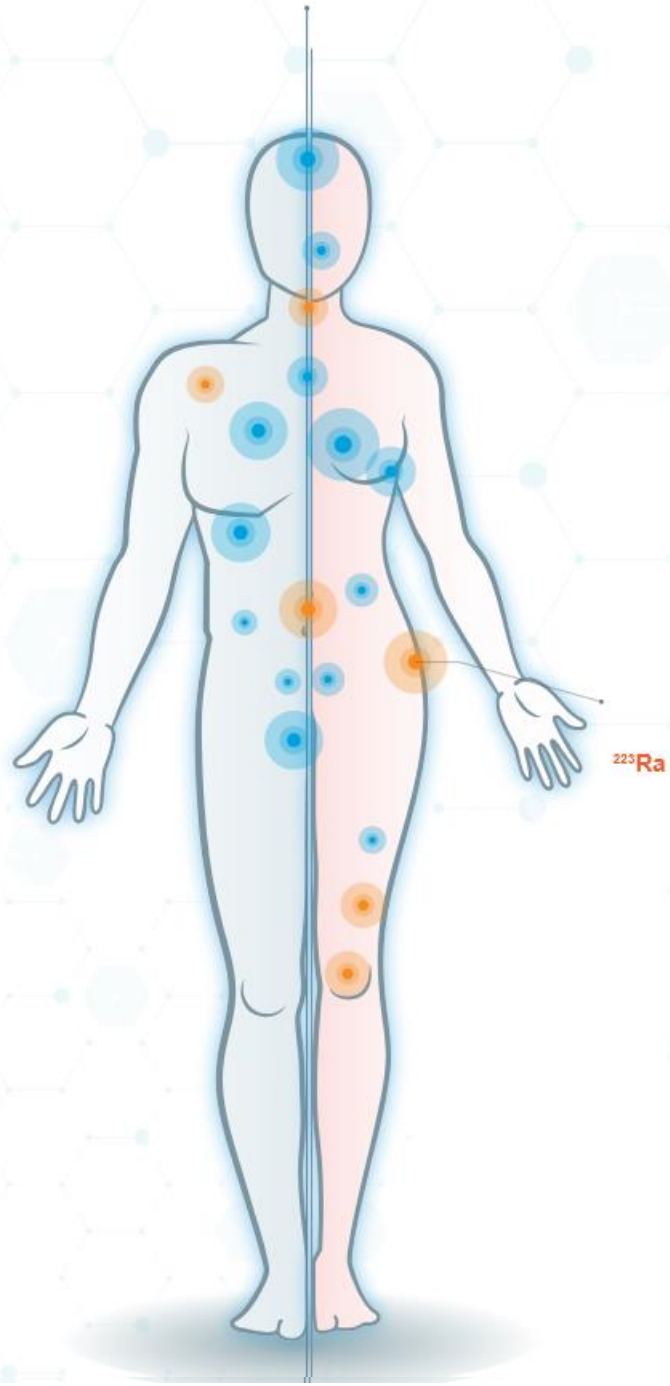
| | | | |
|---|---|---|---|
| $^{11}C$ ☐ | $^{60}Co$ ☐ | $^{51}Cr$ ☐ | $^{169}Er$ ☐ |
| $^{18}F$ ☐ | $^{59}Fe$ ☐ | $^{67}Ga$ ☐ | $^{68}Ga$ ☐ |
| $^{166}Ho$ ☐ | $^{123}I$ ☐ | $^{125}I$ ☐ | $^{131}I$ ☐ |
| $^{111}In$ ☐ | $^{81m}Kr$ ☐ | $^{177}Lu$ ☐ | $^{13}N$ ☐ |
| $^{15}O$ ☐ | $^{32}P$ ☐ | $^{223}Ra$ ☑ | $^{82}Rb$ ☐ |
| $^{186}Re$ ☐ | $^{188}Re$ ☐ | $^{153}Sm$ ☐ | $^{89}Sr$ ☐ |
| $^{201}Tl$ ☐ | $^{99m}Tc$ ☐ | $^{133}Xe$ ☐ | $^{90}Y$ ☐ |

The displayed isotopes are all present in products that have been granted E.U. marketing authorization. Experimental molecule treatments have not been included. Further information and additional resources can be found at : whatisnuclearmedicine.com • © Nuclear Medicine Europe


**Legal Notice for Image Usage**

By downloading and using this image, you agree to the following terms and conditions:

- **Permitted Uses:** You may not modify, edit, transform, or create derivative works from the image in any manner. The image must be used in its original downloaded form.
- **Prohibited Actions:** You are authorized to use the downloaded image solely for non-commercial purposes, including but not limited to academic presentations and research.
- **Intellectual Property:** The "Hygieia" visual is the property of Nuclear Medicine Europe and its creator. Unauthorized use, reproduction, or distribution of the image is prohibited.
- **Other Uses:** Any use of the image outside the scope of the permitted uses outlined above requires prior written permission from Nuclear Medicine Europe. For inquiries or to request permission for additional uses, please contact david.crunelle@nmeu.org directly.

# Les avantages de l’alphathérapie vs la bêtathérapie



# Visualisation exposition interne

## Lu 177 ($\beta^-$)

$\overline{E_\beta} = 129\,keV$

$\overline{R} = 300\ \mu m$

$R_{max} = 1700\ \mu m$

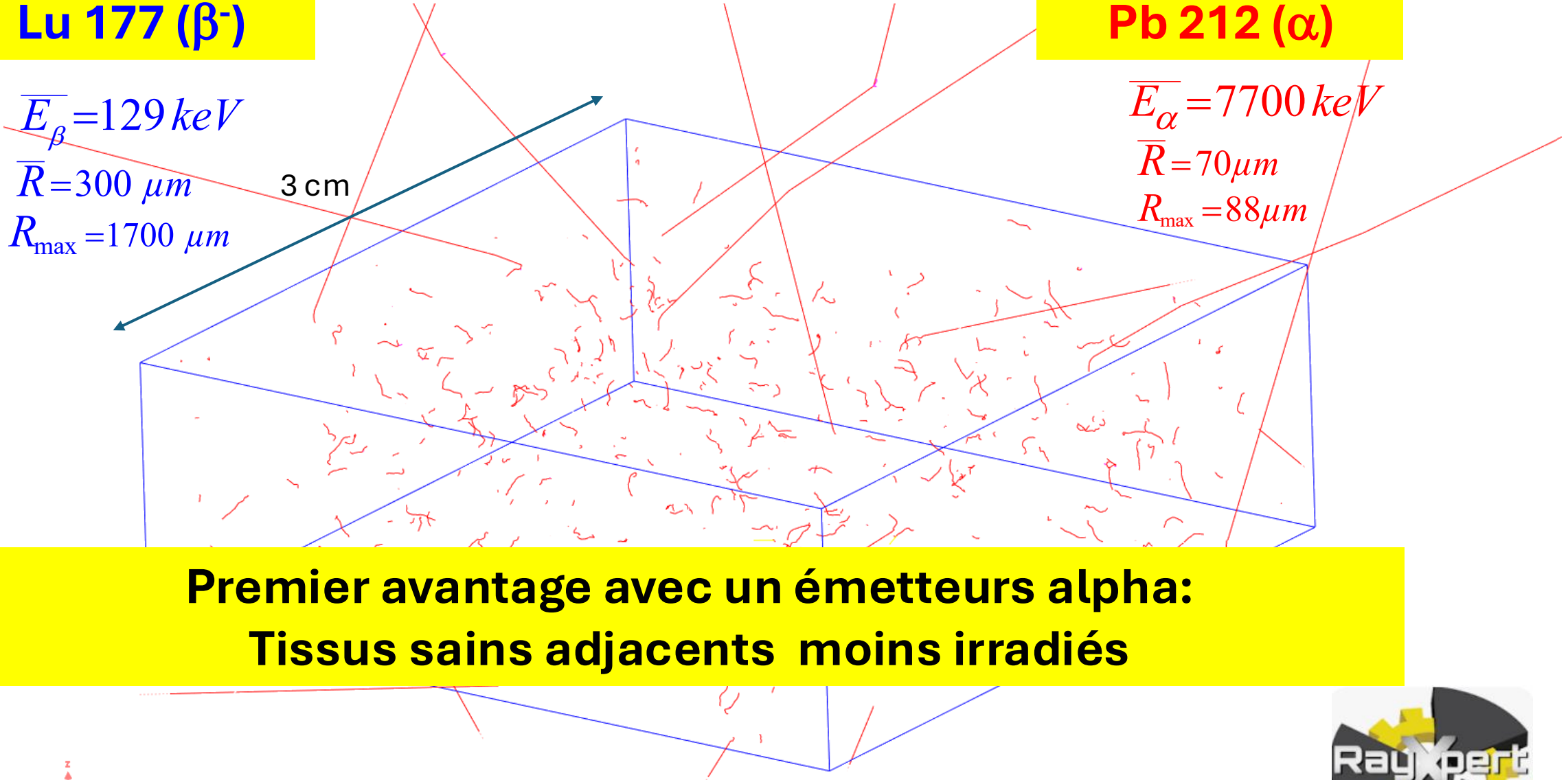
3 cm

## Pb 212 ($\alpha$)

$\overline{E_\alpha} = 7700\,keV$

$\overline{R} = 70\mu m$

$R_{max} = 88\mu m$



**Premier avantage avec un émetteurs alpha:**
**Tissus sains adjacents  moins irradiés**

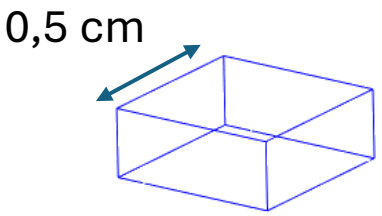
# Visualisation exposition interne

## Lu 177 ($\beta^-$)

$\overline{E_\beta} = 129\,keV$

## Pb 212 ($\alpha$)

$\overline{E_\alpha} = 7700\,keV$




**Avantage plus net avec des organes de plus faibles dimensions**

# Comparaison DED pour un organe chargé avec 1 MB/g entre Lu 177 et Pb 212 :

## Lu 177 ($\beta^-$)

$$DED_\beta = 75\,mSv/h$$

$$\overline{E_\beta} = 129\,keV$$

$$\overline{S} \approx 0{,}53\,keV/\mu m \Rightarrow FQ(EBR) = 1$$

**DED Pb212**
**300 fois plus élevé que DED Lu177**

## Pb 212 ($\alpha$)

$$DED_\alpha = 24\,Sv/h$$

$$\overline{E_\alpha} = 7700\,keV \Rightarrow facteur\ 60$$

$$\overline{S} \approx 100\,keV/\mu m \Rightarrow FQ\,(EBR) \approx 5$$

**Second avantage : pour un même effet biologique on peut prendre une activité 300 fois plus faible en Pb 212 !!**

# Exposition externe avec 1 GBq/300≈ 3 MBq

Source cylindrique

Décalage
(0 <=> mi-hauteur)

0 cm

(Point 1)

H*(10)

<< DED seringue 300 MBq F18 : 110 mSv/h

Et non plus 585 mSv/h



Lancer calcul

ran(s) de protection

téristiques écran

ungstène Masse vol.

r 0,2 cm

Ecran cylindrique (vs pt 1)

Distance pt 1

0,2 cm

Ra

*Les distances source /points doses sont toujours prises à partir de la surface du cylindre source*

Ra

Matériau source

*Matrice source avec activité volumique constante dans tout le cylindre*
*Si le rayon interne est non nul , l'activité est répartie dans la couronne cylindrique compris entre Rint. et Rext*

Commentaires

Calcul réalisé avec l'application DOSIMEX

# Exposition externe au contact émission alpha (source ponctuelle 10 kBq)

IRM PARTICULES CHARGEES 3.2 | Particules chargées monoénergétiques | Manuel +validation

Fluence | Débit de fluence | source

Alpha

Energie (keV) = 8785

taux d'émission ($p.s^{-1}.4\pi^{-1}$) = 10E3

distance source (cm) =

Tissus bio

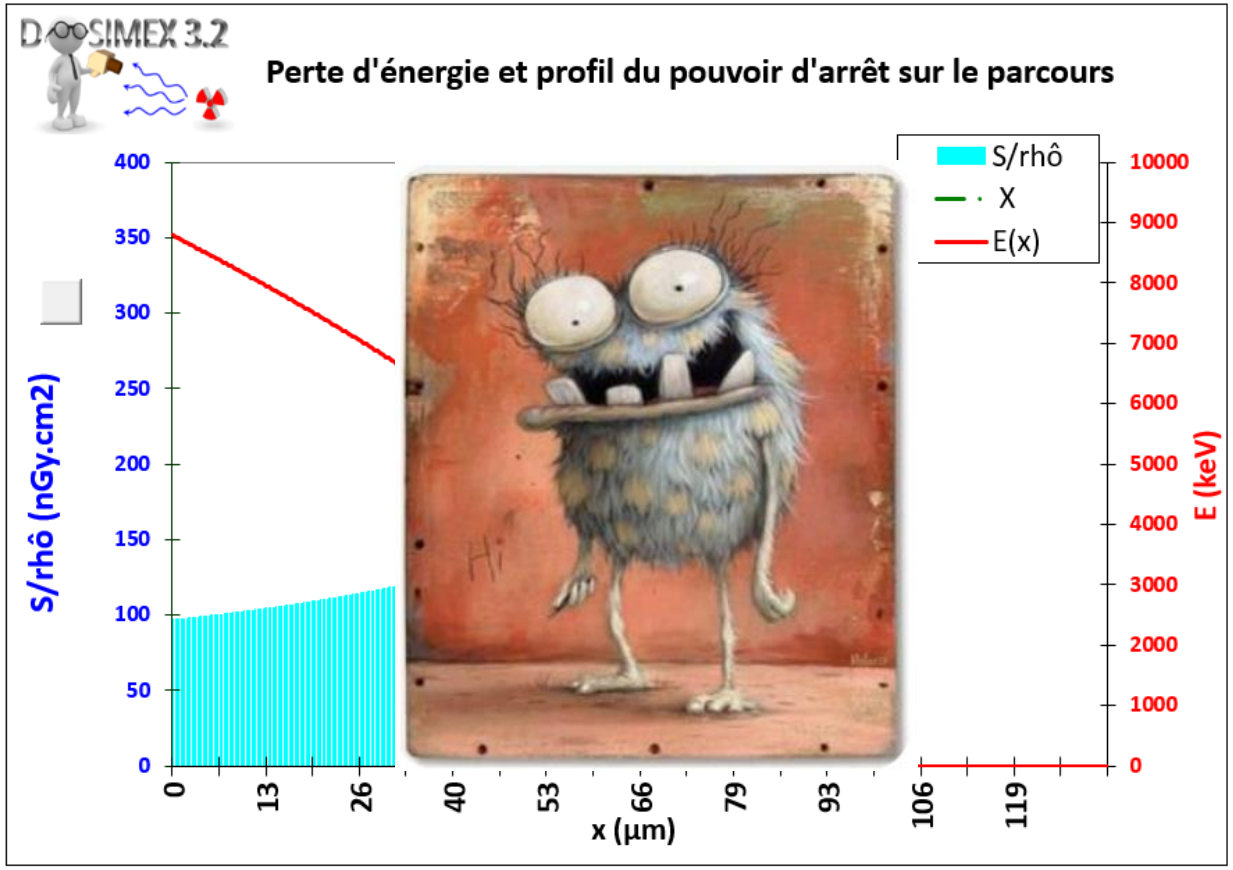
| Données moyennes sur le parcours total R | |
|---|---|
| R | 88,13 µm |
| $\overline{d_{\Phi[R]}}$ = | 160 nGy.cm² |
| | 2,87 Gy/h |
| $\overline{Q_R}$ | 23,42 |
| $\overline{h_{\Phi[R]}} = \overline{Q_R} \times \overline{d_{\Phi[R]}}$ | 3735 nSv.cm² |
| | 67,23 Sv/h |

| Données à la profondeur X | |
|---|---|
| X | 70,00 µm |

| Grandeurs opérationnelles à la profondeur X (tissus bio.) | |
|---|---|
| $Q(x)$ | 25,9 |
| $h_\Phi(x)$ | 5557 nSv.cm² |
| $\dot{H}(0,07)_{\alpha\,contact}$ | 20,6 Sv/h |

DOSIMEX 3.2

Perte d'énergie et profil du pouvoir d'arrêt sur le parcours



# CONCLUSION

**Toujours analyser les filiation avec les noyaux lourds susceptibles d'avoir en filiation un monstre radiologique**

**Th 232 ⇒ Tl 208**

**U 238 ⇒ Pa 234**

**Ra 226 ⇒ Bi 214**

**Ac 225 ⇒ Tl 209**



# Merci de votre attention

