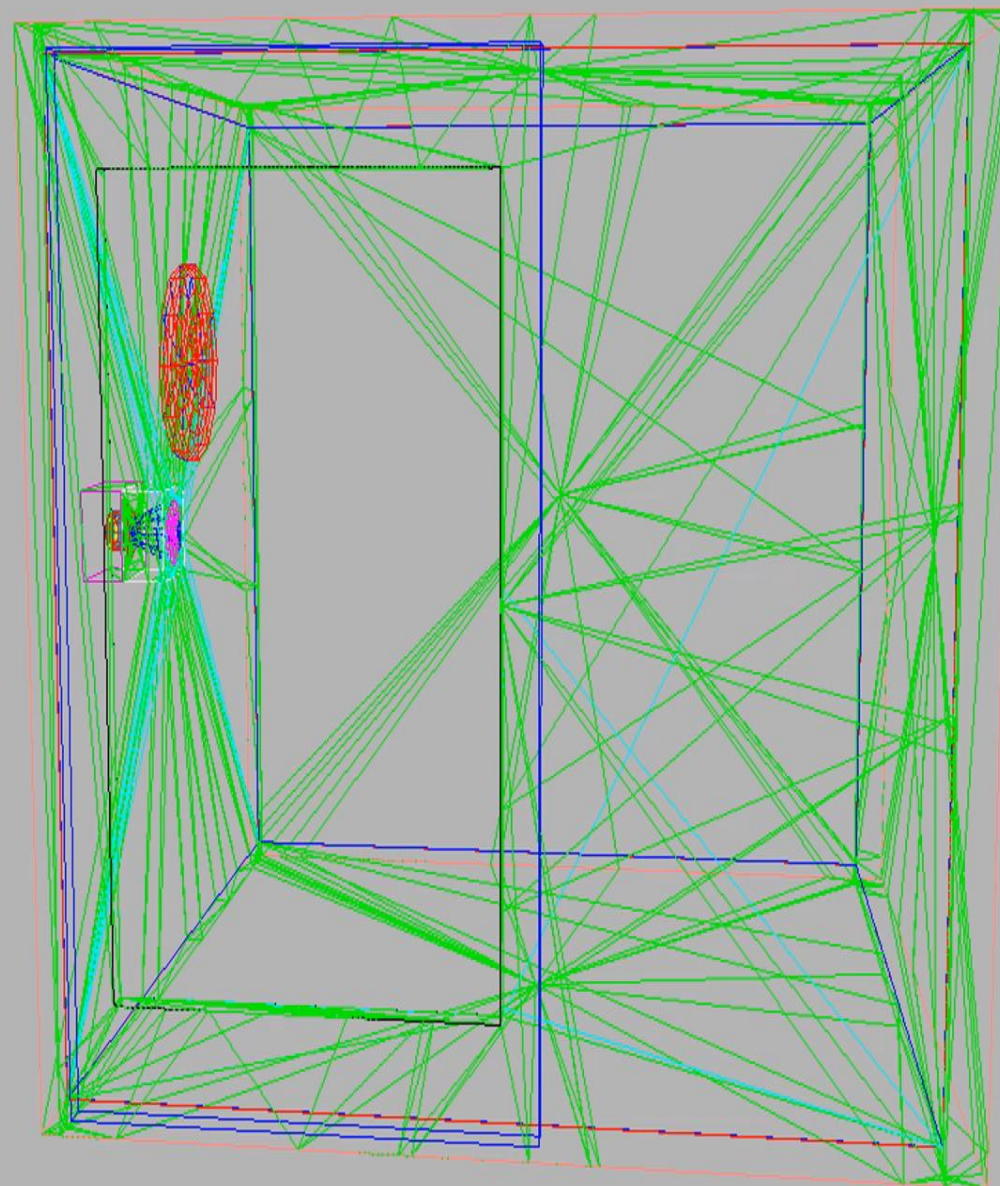




Dosimétrie d'environnement : conception et réalisation d'une installation d'étalonnage pour les faibles débits d'équivalent de dose

Ouissal Khattabi





1. Besoins

Justesse & précision

1 . Besoins (justesse & précision)

- Suivi de l'exposition aux rayonnements ionisants dans l'environnement et autour des installations nucléaires
→ Détection « d'événements » !

Enjeu vital pour la protection de l'environnement et des populations ...

- Etalonner les radiamètres dans *des conditions proches de celles d'utilisation*
- Extension du domaine d'étalonnage aux faibles débits (en deçà de $1 \mu\text{Sv/h}$ → BdF radiatif)
→ Défi au niveau de la précision des mesures → Seuil de détection des événements
- Vérifier la linéarité des radiamètres du commerce aux faibles débits
→ Défi au niveau de la justesse des mesures

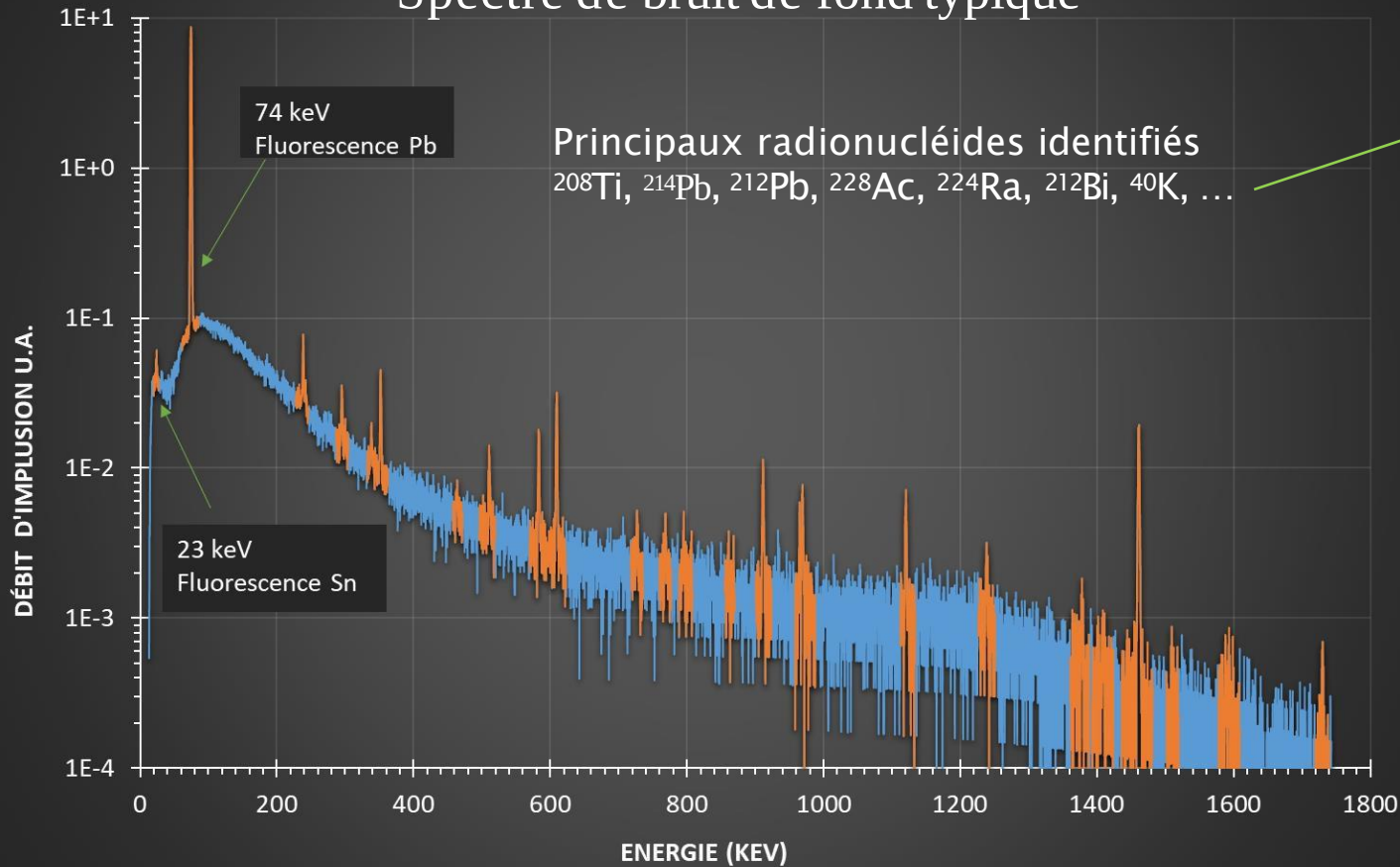


2. Design de l'enceinte blindée

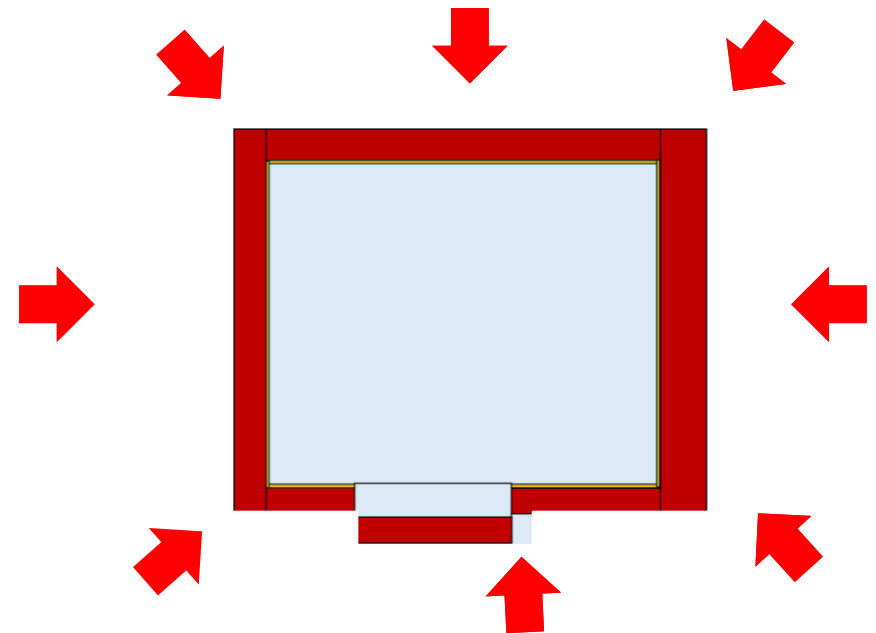
A. Design global : Etude du bruit de fond radiatif



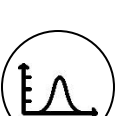
Spectre de bruit de fond typique



Source pour le modèle Monte Carlo

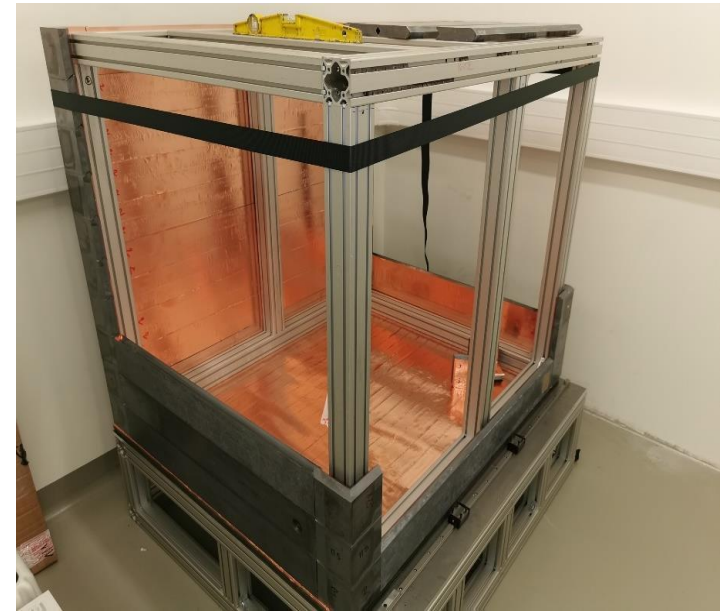


B. Optimisation

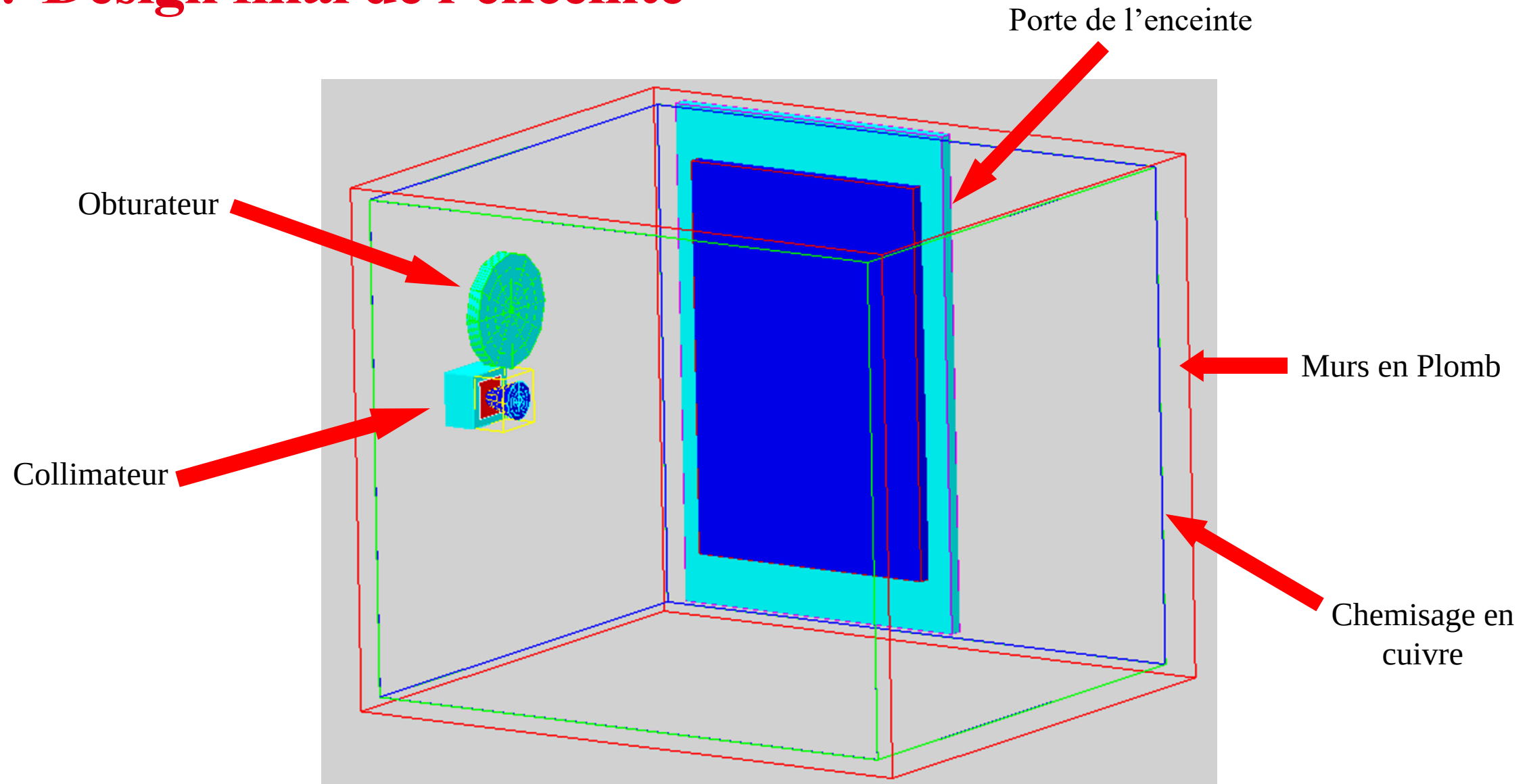
-  Diminution du bruit de fond radiatif venant de l'extérieur
-  Protection des intervenants lors des étalonnages
-  Poids
-  Coût
-  Qualité du champ de rayonnement
-  Profils des faisceaux

C. Fabrication & caractéristiques

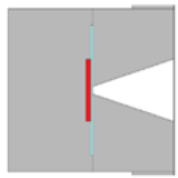
- Dimensions internes $\sim 1,2 \times 1,0 \times 1,0 \text{ m}^3$
- Épaisseur des murs :
 - 2,5 cm sur les côtés
 - 5 cm sur le mur du fond pour la radioprotection
- Chemisage de cuivre : 0,25 mm
(X de fluorescence du plomb)



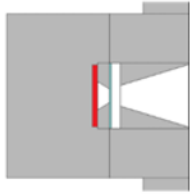
D. Design final de l'enceinte



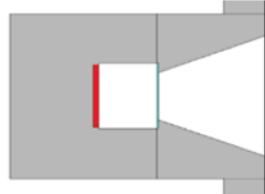
E. Optimisation collimateur



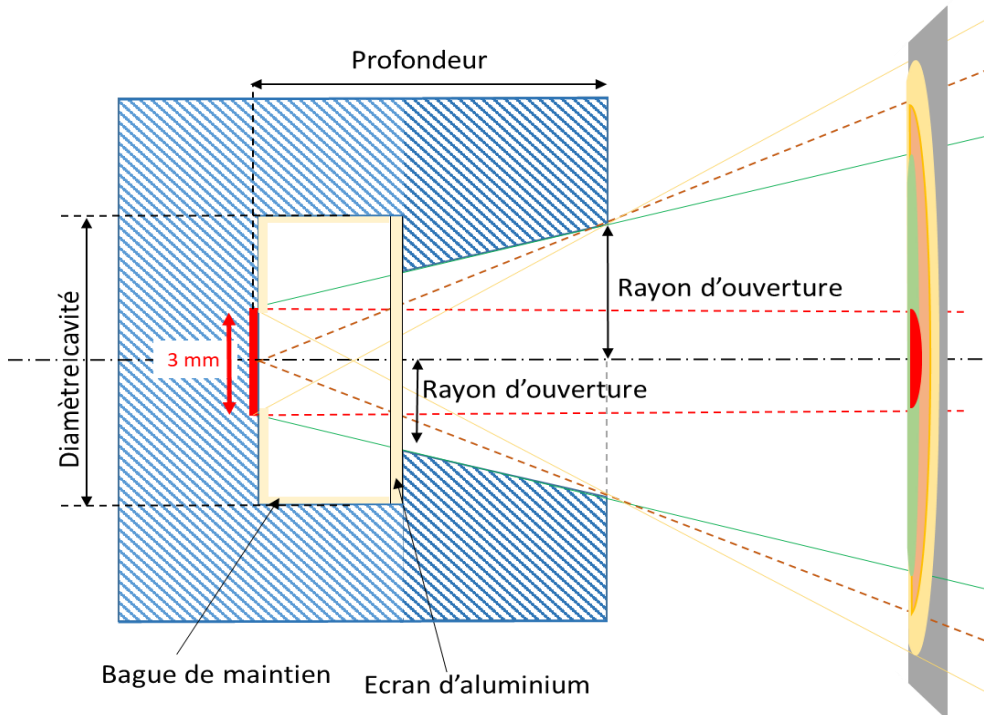
Conique simple



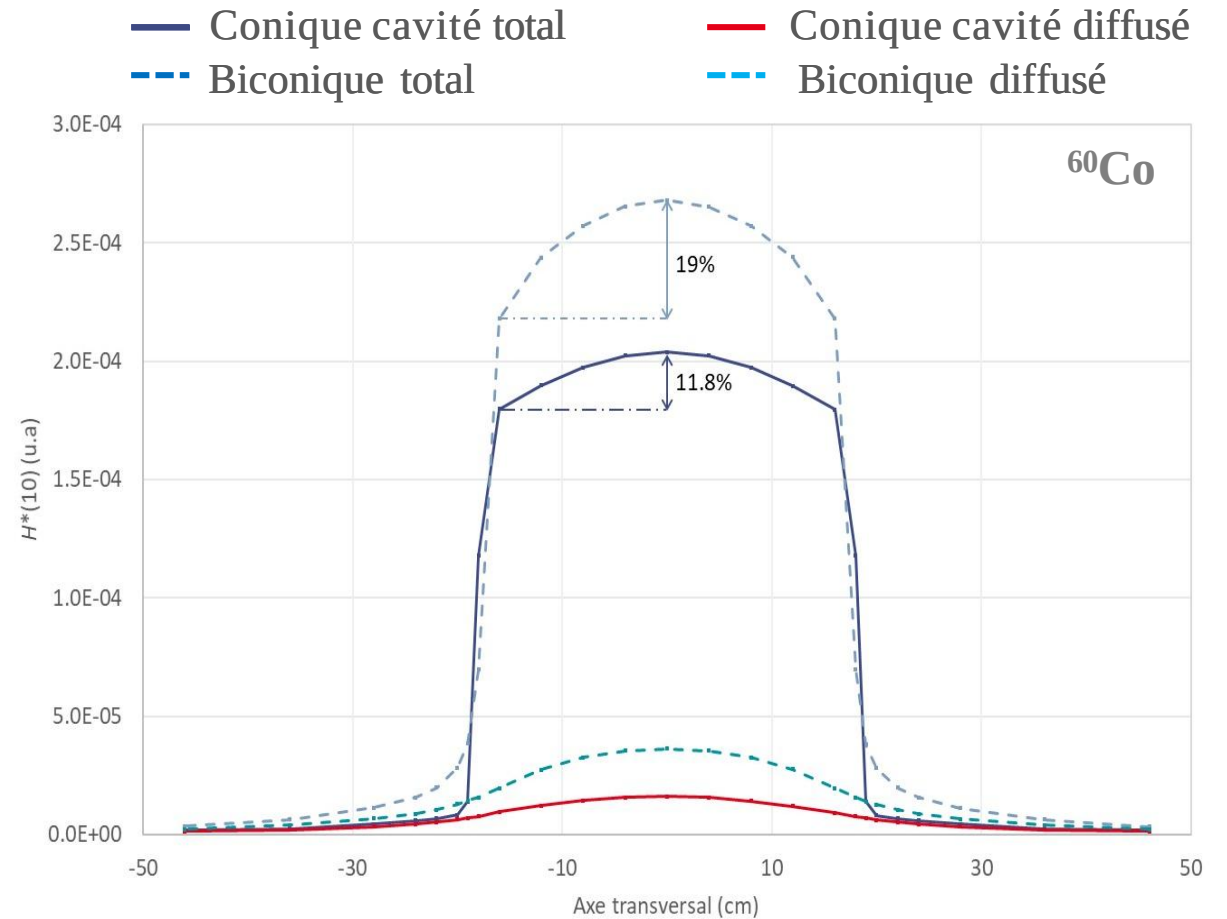
« Biconique » inversé
avec cavité intermédiaire



Conique avec
cavité interne



Comparaison des performances des collimateurs en termes de $H^*(10)$

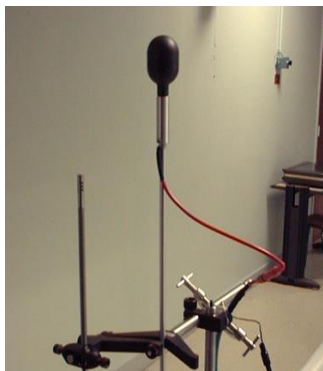




3 ■ Principe de la traçabilité

Référence bas débit en $H^(10)$*

A. Traçabilité



Étalon Primaire (chambre d'ionisation primaire à cavité, LNE LNHB)



Etalon de référence K_a (faisceau traçable à l'étalon primaire, installation LNE LNHB) 0,3 % - 0,4 %



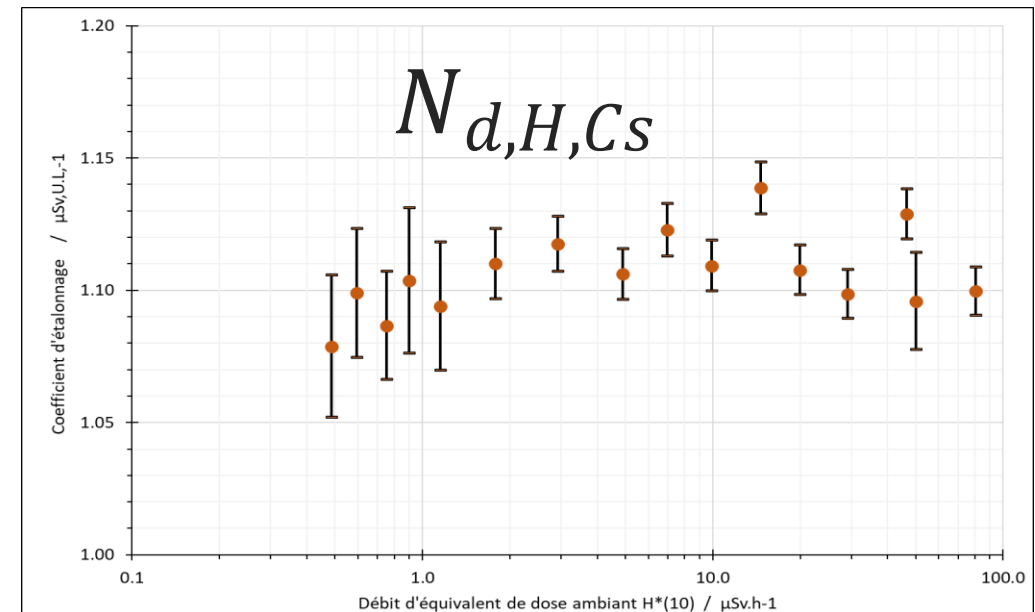
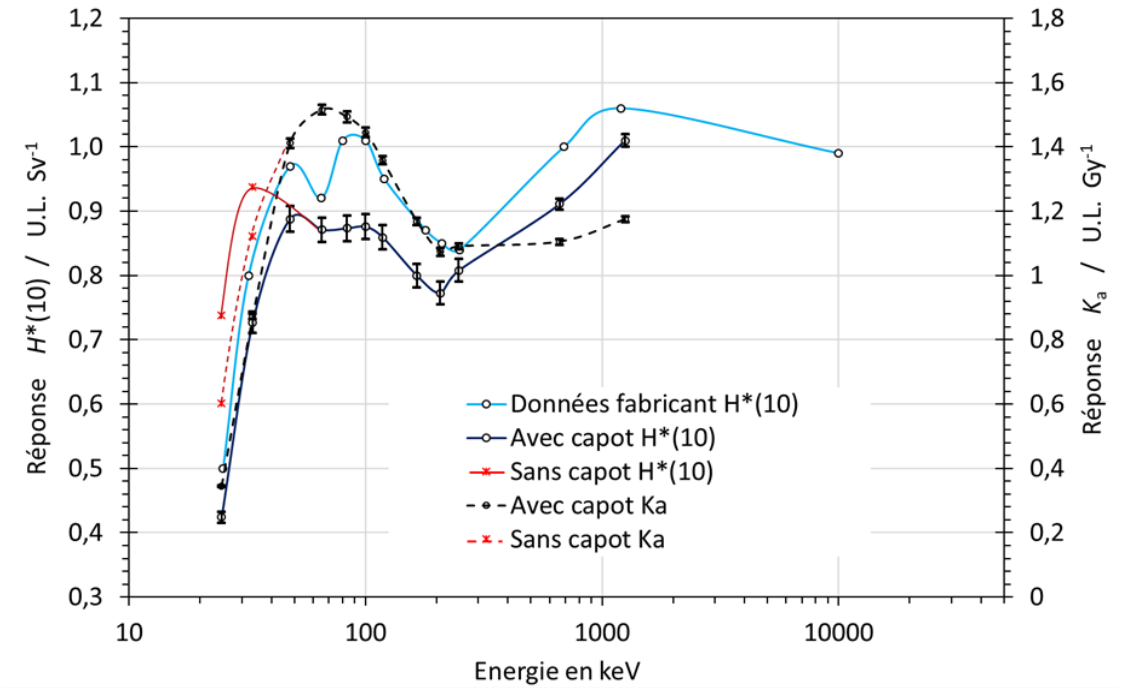
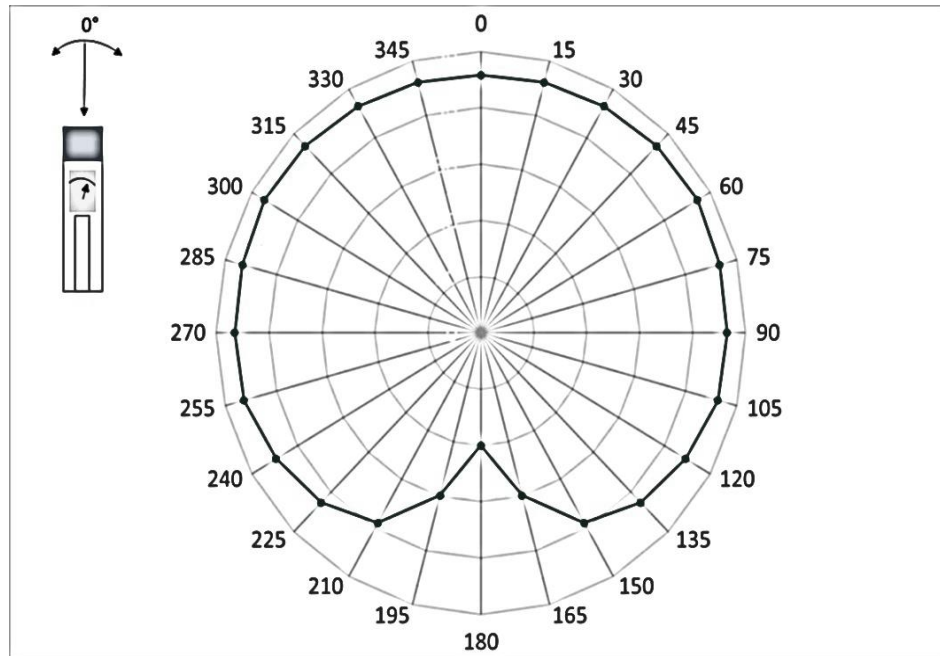
Etalon de transfert (radiamètre du commerce étalonné avec l'étalon de référence en termes de K_a)

B. Etalonnage

Sonde à scintillation 6150 AD-
b/H « BERTIN »

1nSv/h to **99,99 $\mu\text{Sv/h}$**

20 keV to **7 MeV** (NF IEC 60846-1)



C. Corrections



Mesuré avec
l'étalon de
Référence
Gy/U.L.



$$H^*(10)_{BD} = N_{d,Ka,Cs/Co} G_{corr,d,BD} k_Q \bar{h}^*$$

Lecture corrigée de
l'étalon de transfert
dans le faisceau bas débit



Données ICRU 57 Sv/Gy

$$\bar{h}^* = \frac{\int_E \phi_E h_{K,E}^* dE}{\int_E \phi_E dE}$$

Calculée

Distribution de la
fluence calculée

Correction pour la différence de
qualité de rayonnement de kerma
dans l'air entre
l'étalon de référence
(irradiateur multi-sources) et
l'étalon bas débit (enceinte
blindée).

$$k_Q = \frac{N_{Ka,d,BD}}{N_{Ka,d,Co/Cs}} = \frac{\left[\frac{\int_E \phi_{E,BD} h_{\phi,K,E} dE}{\int_E \phi_{E,BD} h_{\phi,K,E} R_{E,d} dE} \right]_{BD}}{\left[\frac{\int_E \phi_{E,534} h_{\phi,K,E} dE}{\int_E \phi_{E,534} h_{\phi,K,E} R_{E,d} dE} \right]_{Co/Cs}}$$

$h_{\phi,K,E}$
Données
ICRU 57
Gy/photon

Distribution de la
fluence calculées

Mesuré avec l'étalon
de référence U.L/Gy

D. Corrections client



Valeur de référence de l'équivalent de dose ambiant

Profil de $H^*(10)$ calculé

$$k_{profil} = \frac{\int_{x,y} H^*(10)_{x,y} dx dy}{H^*(10)_{ref}}$$

x, y : dimensions du radiamètre à étalonner

$$N_{H^*,d,Cs/Co BD,D} = \frac{H^*_{Cs/Co BD,D} k_{dec} k_{profil} k_D}{G_{corr,d,CsTCo BD,D}}$$

Mesure du radiamètre du commerce corrigée

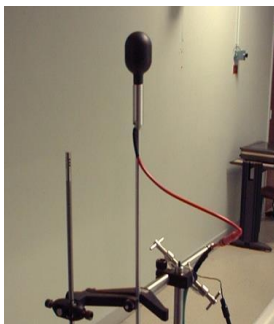


k_{dec} décroissance radioactive
 k_D distance au point de mesure

} = 1,0 aux incertitudes près

5 nSv/h

E. Schéma complet



Étalon Primaire (chambre d'ionisation primaire à cavité, LNE LNHB)



Etalon de référence K_a (faisceau traçable à l'étalon primaire, installation LNE LNHB) 0,3 % - 0,4 %



Etalon de transfert (radiamètre du commerce étalonné avec l'étalon de référence en termes de K_a)



Etalon de référence bas débit $K_a \rightarrow H^*(10)$ (Faisceau étalonné avec l'étalon de transfert)

$H^(10)$ moyen sur la surface du dosimètre de transfert*

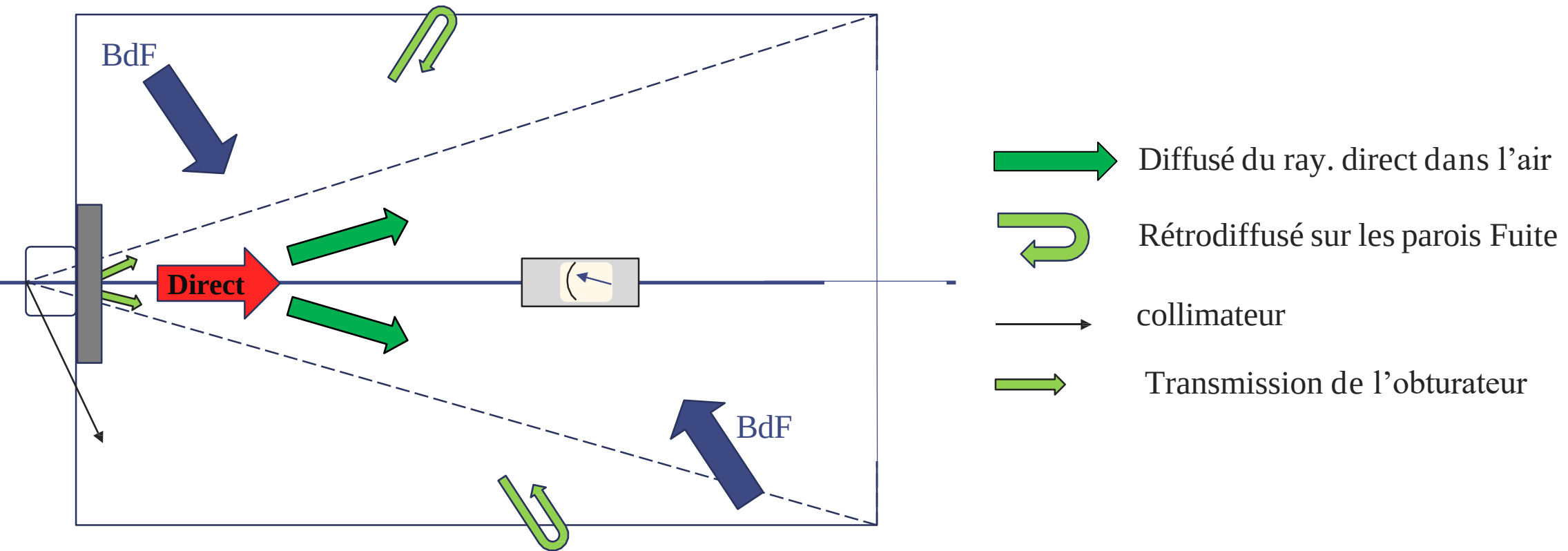




4. Définition la zone d'étalonnage dans l'enceinte blindée

Minimiser l'influence du rayonnement diffusé

A. Origine de la distribution spectrale de la fluence dans l'enceinte



Artefact de mesure (fuite et transmission obturateur fermé) ?

B. Correction de l'artefact de mesure

- Lors de la mesure avec l'obturateur fermé, on mesure :
le bruit de fond + les fuites du collimateur + la « transmission » de l'obturateur

$$H_{Cs/Co\ BD,D}^* (10) = N_{Cs/Co,534} \left(G_{brut,d,CsTCO\ BD,D} - G_{BdF,d,CsTCO\ BD,D} \right) k_Q \overline{h^*}$$

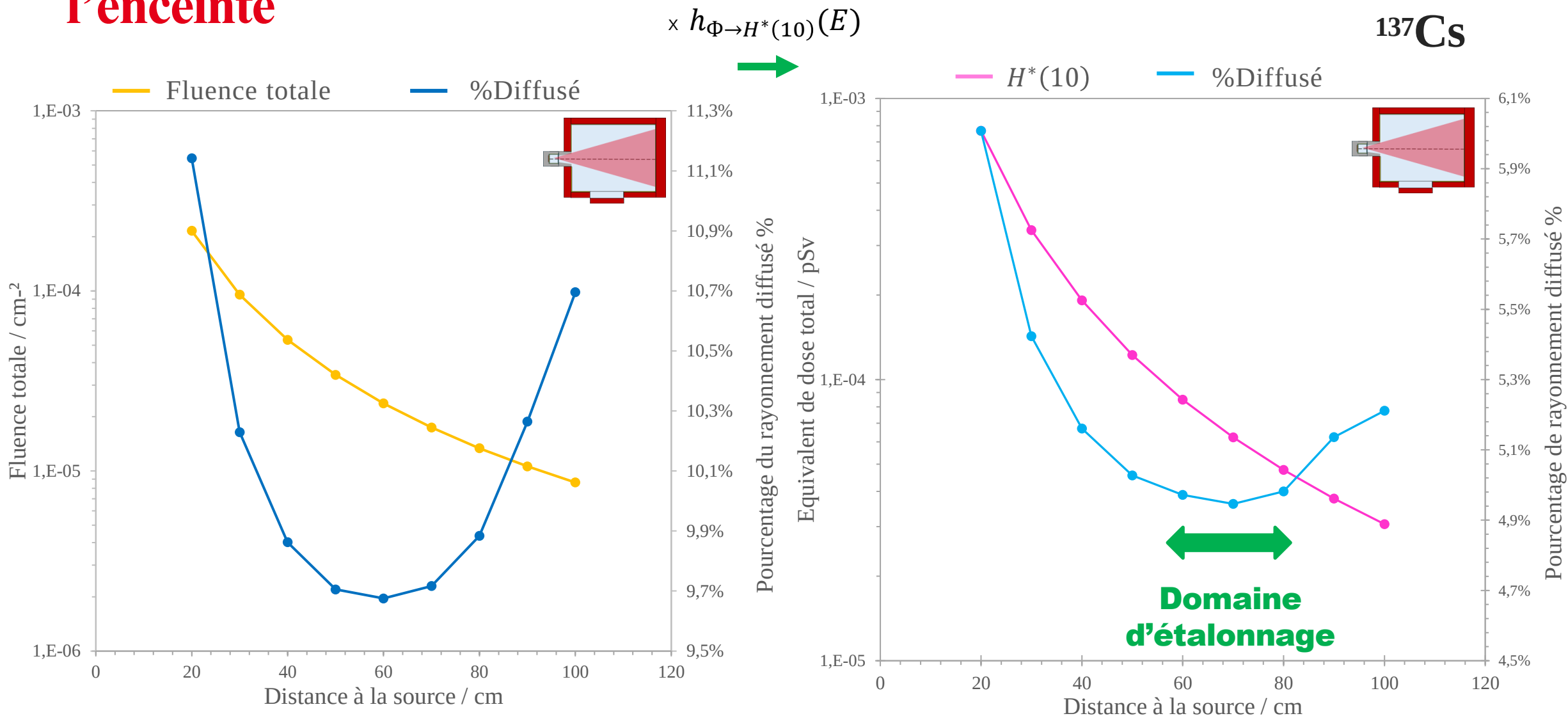
La transmission n'existe pas lorsque l'obturateur est ouvert !

- La soustraction du « bruit de fond + fuites » est donc surestimée
↳ sous-estimation de $H^*(10)$ au point de mesure.

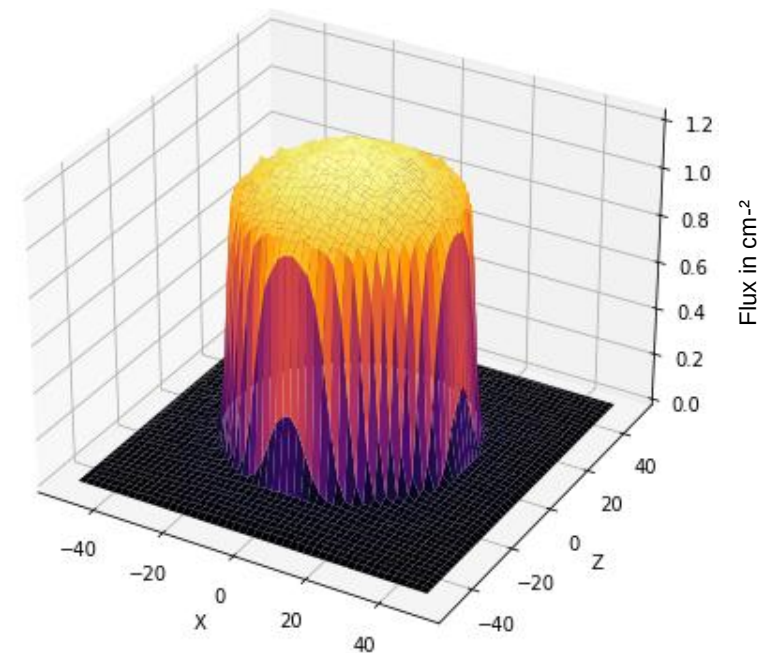
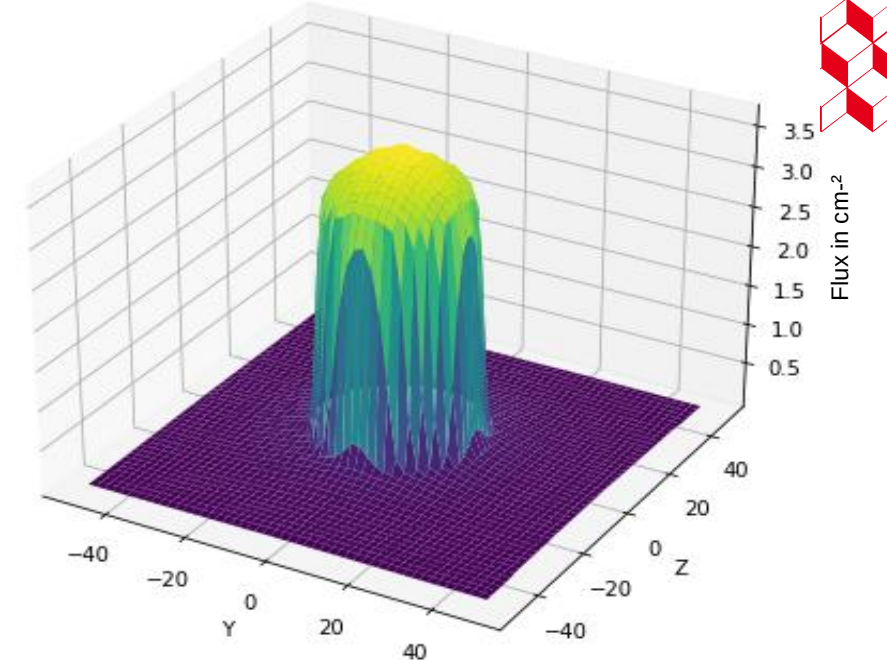
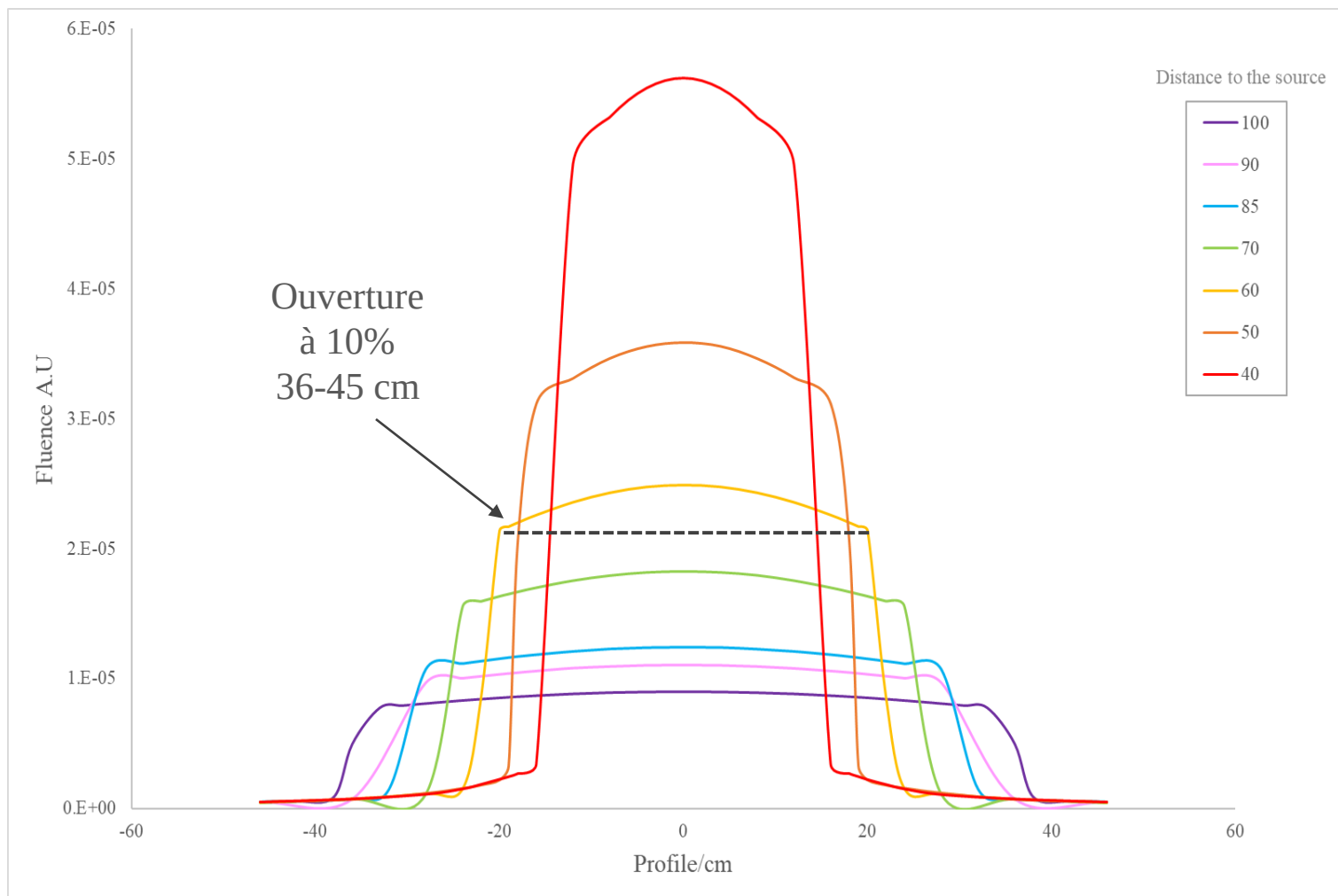
On applique un facteur de correction, k_{MC} , (5,3 % pour le Césium 137)

$$H_{CsCo\ BD,D}^* (10) = N_{CsTCO,534} \left(G_{brut,d,CsTCO\ BD,D} - G_{BdF,d,CsTCO\ BD,D} \right) k_{MC} k_Q \overline{h^*}$$

C. Fluence en profondeur : optimisation du diffusé dans l'enceinte



D. Profils dans l'enceinte





5 ■ Application à l'étalonnage d'un radiamètre du commerce

Bilan d'incertitude sur la référence bas débit

On applique pas la conversion K_a vers $H^*(10)$ de la norme ICRU (2% $k=1$!)

Notre conversion est calculée : $h_K = h^*_{ICRU57} \Phi_E$

Données conventionnelles sans incertitude

0,5% $k=1$

sur la distribution spectrale de Φ

Bilan d'incertitude sur la valeur de référence de $H^*(10)$ dans l'enceinte blindée.

Distance à la source/ cm	Ecart type mesure brute U.L.	Ecart type mesure BDF U.L.	Incrtitude type sur la mesure corrigée		$u(k_Q)$	$u(h_k)$	$u(k_{MC})$	$u(\text{coef etal.})$	$u(H^*(10))$
			U.L.	%					
60	0,80	1,24	1,48	1,12%	1,26%	0,50%	1,0%	1,29%	2,5%
70	0,70	0,91	1,14	1,22%	1,26%	0,50%	1,0%	1,29%	2,6%
80	0,52	0,81	0,96	1,30%	1,26%	0,50%	1,0%	1,29%	2,6%

On ne se ramène pas à K_a en un point pour la référence.

$u(k_{profil}) = 1.3\%$



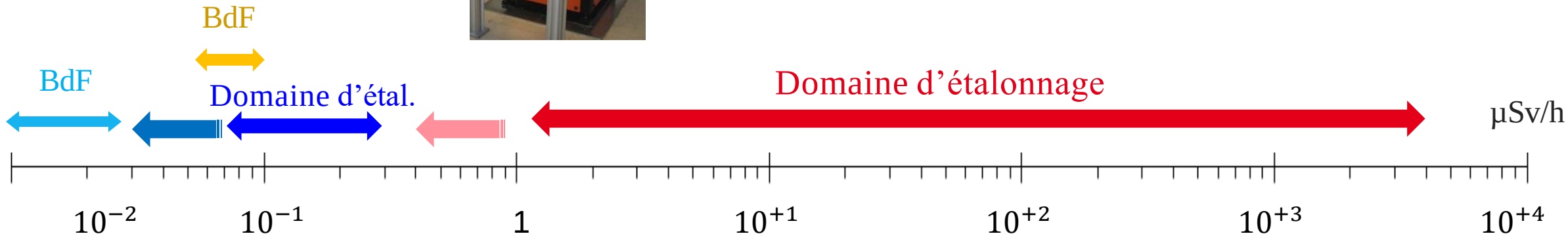
6 ■ Conclusion



Étalon de référence
 ^{60}Co ou ^{137}Cs en termes de K_a



- Champs caractérisés
- limite basse à $\sim 400 \text{ nSv/h}$



Etalon de référence bas débit ^{60}Co ou ^{137}Cs en termes de $H^*(10)$ 80 (20) nSv/h à 300 nSv/h

$$N_{H^*,d,BD} = \frac{H_{BD,D}^* k_{dec} k_{profil}}{G_{corr,d,BD,D}} k_D$$



Diminution du **Bruit de Fond**
 → Gamme de mesure étendue

Incertitude type attendue entre 5% to 10% pour un bon radiamètre (5,8%)



Je vous remercie pour votre attention

Ouissal Khattabi

CEA-List, Université Paris Saclay,

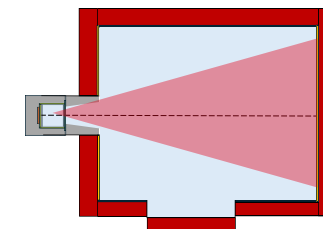
Laboratoire National Henri Becquerel (LNE-LNHB) F91120,

Palaiseau, France

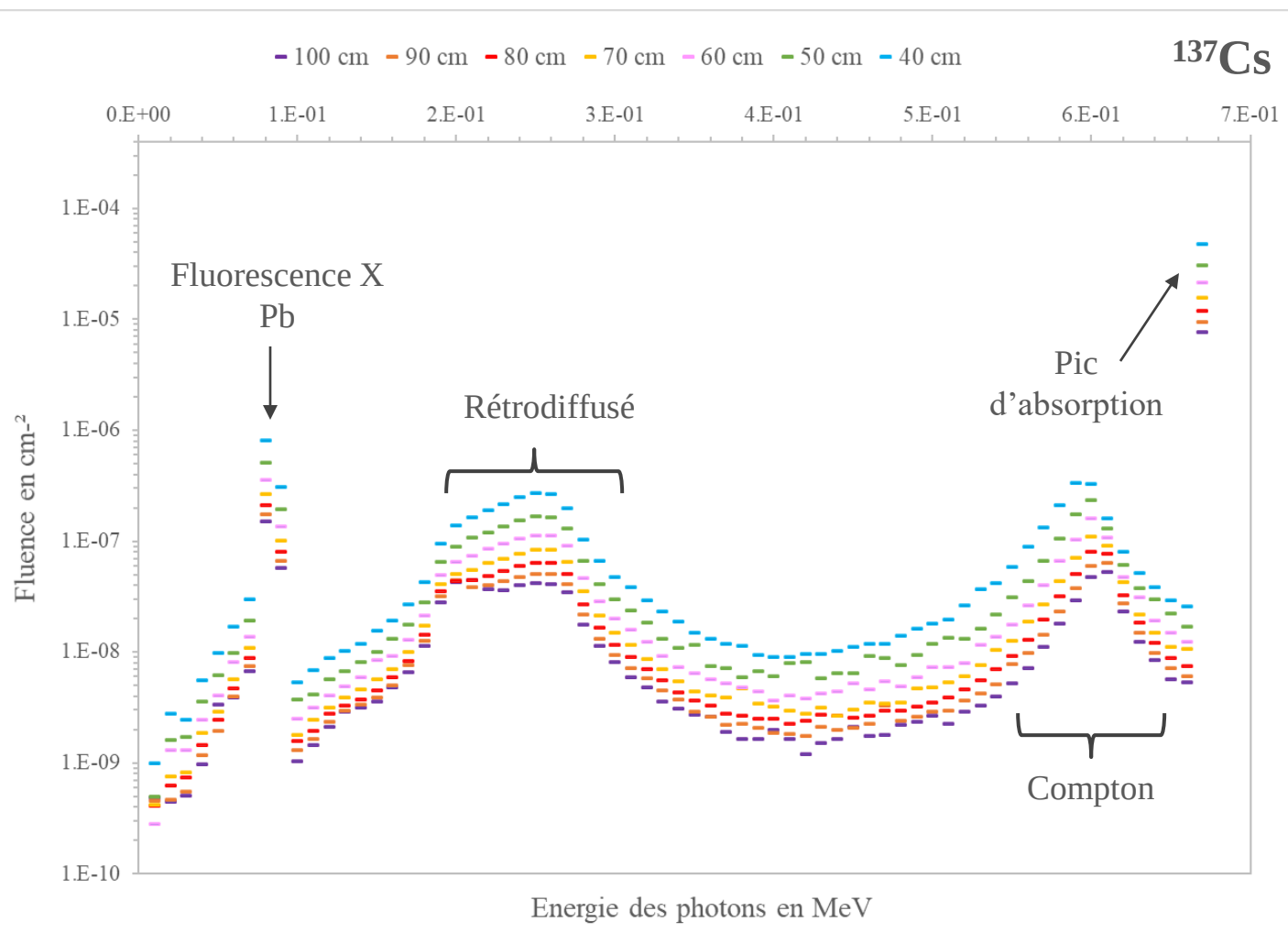
Ouissal.khattabi@cea.fr



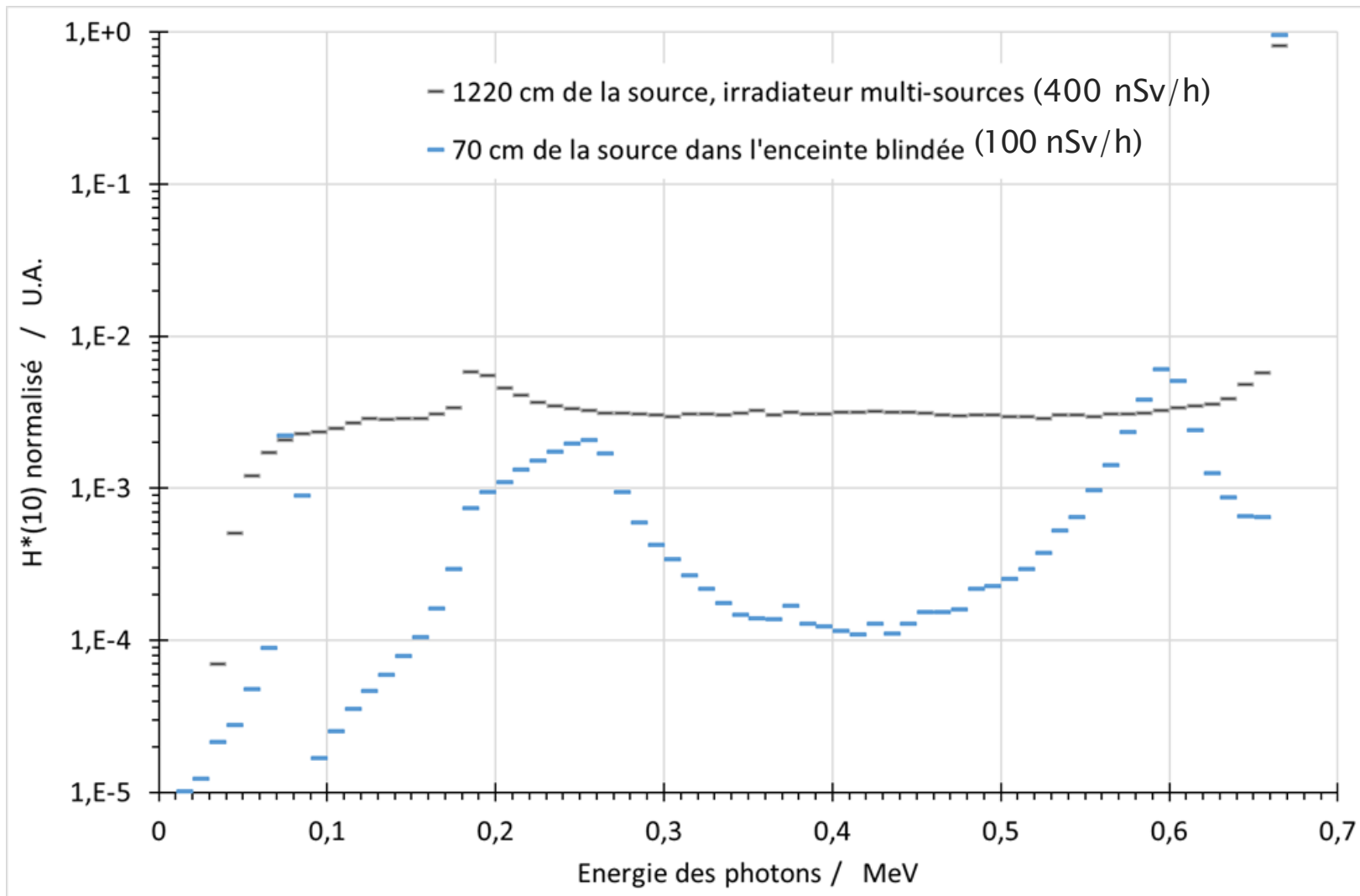
Distribution spectrale de la fluence dans l'enceinte



Lorsque la distance à la source augmente, toutes les composantes du champ de rayonnements diminuent (fluorescence, rétrodiffusion Compton, front Compton et le pic d'absorption totale)



Comparaison des distributions en fluence



A débits « comparables » le diffusé dans l'enceinte est plus faible que pour l'irradiateur multi-sources !

L'enceinte bas débit respecte le critère de 5% de diffusé en termes de K_a 😊

Reduction du bruit de fond ?

Sonde à scintillation 6150 AD-b/H « BERTIN »
1nSv/h to 99,99 μ Sv/h , 20 keV to 7 MeV (NF IEC 60846-1)

