

# Caractérisation de la Dose Efficace pour des faisceaux de photons de basse énergie et l'effet du port de vêtements plombés

**SALDARRIAGA VARGAS Clarita<sup>1</sup>**, STRUELENS Lara<sup>1</sup> et VANHAVERE Filip<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire (SCK•CEN)

Mol, Belgique

[csvargas@sckcen.be](mailto:csvargas@sckcen.be)



STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE  
CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

Journées SFRP  
Paris, 25-26 Mars 2014

- Introduction
- Objectifs de cette étude
- Matériels et méthode
- Résultats calculs
  - Dose efficace  $E$
  - Doses équivalentes  $H_o$  et  $H_u$
  - Comparaison
- Conclusion

# Introduction

## Contexte

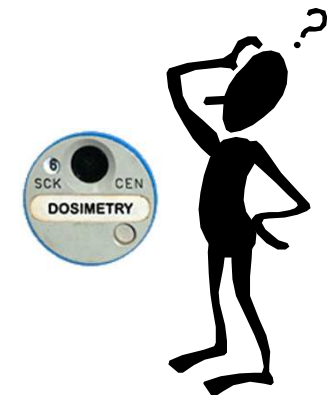
- Lors des **procédures de RI/CI**, le personnel médical port des **vêtements plombés (VP)** pour se protéger des rayonnements ionisants diffusés provenant du patient.



- **Défi** pour la dosimétrie personnelle:

Vêtements de RP portés → **dosimètre  $H_p(10)$**  ne fournis pas une **estimation acceptable** d' $E$  :

- Dose **sur tablier**,  $H_o$  ( $H_{over}$ ) → **surestimation** de  $E$  (ne tient pas compte de la protection des VP)
- Dose **au-dessous tablier**,  $H_u$  ( $H_{under}$ ) → **sous-estimation** de  $E$  (ne tient pas compte de l'exposition des parties non protégées)



- **Pas encore consensus** sur la meilleure méthode pour estimer  $E$  (facteur correctif? dosimétrie double? avec quel algorithme?)  $\rightarrow E_{estimée}$
  - Plupart des études axés sur la **corrélation entre  $E_{réelle}$  et  $E_{estimée}$** 
    - Conditions d'exposition très spécifiques (cliniques)
- 

- **Nécessité: caractérisation complète de chaque dose ( $E_{réelle}$ ,  $H_o$ ,  $H_u$ )** séparément
  - Conditions d'exposition plus générales (de référence)
  - Comprendre mieux les **causes des différences** entre  $E_{réelle}$  et  $E_{estimée}$
- **But: améliorer l'estimation** de la dose efficace

→ Caractériser pour des énergies et des angles d'intérêt en RI/CI:

**1. Dose efficace  $E$  avec et sans vêtements plombés (VP)**

- **Niveau de protection** fourni par des VP
- **Référence** pour la dosimétrie personnelle

**2. Doses équivalentes  $H_o$  et  $H_u$**

- Étudier les **conséquences** du port de VP **sur la dosimétrie individuelle**

→ Étudier la **corrélation** entre  **$E$  avec VP** et  **$H_o$  et  $H_u$**  pour les conditions d'irradiation étudiées.

## Matériels et Méthode

### 1. Dose Efficace

- **Dose efficace** / kerma dans l'air
  - Sans et avec **vêtements plombés**
  - Selon la CIPR 103
- Fantôme voxelisé de la CIPR 110
  - **Homme de référence**: 176 cm, 73 kg
  - ~2 millions de voxels
  - Taille du voxel:  $2.137 \times 2.137 \times 8 \text{ mm}^3$
- + **Tablier et protège-thyroïde**
  - Plomb, 0.5 mm d'épaisseur
  - Géométrie réaliste



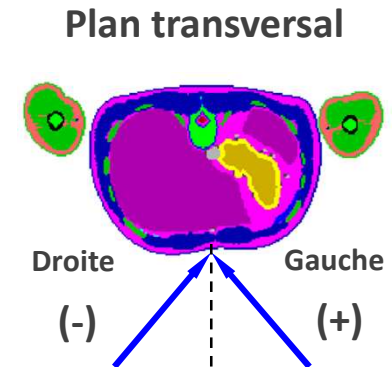
# Matériels et Méthode

## 1. Dose Efficace

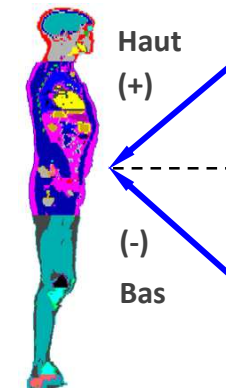
- Irradiations du corps-entier:
  - Faisceaux de **photons**
  - Mono-énergétiques: **20 – 120 keV**
  - Unidirectionnels:  $\neq$  angles d'incidence sur les **plans transversal et sagittal**

- Code de calcul Monte Carlo **MCNPX 2.7.0**

- Transport de photons
- Tally F6 (énergie déposée par unité de masse)



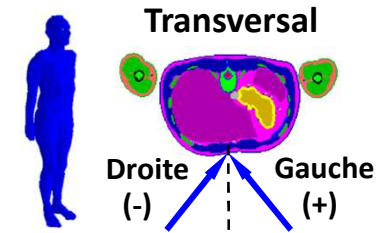
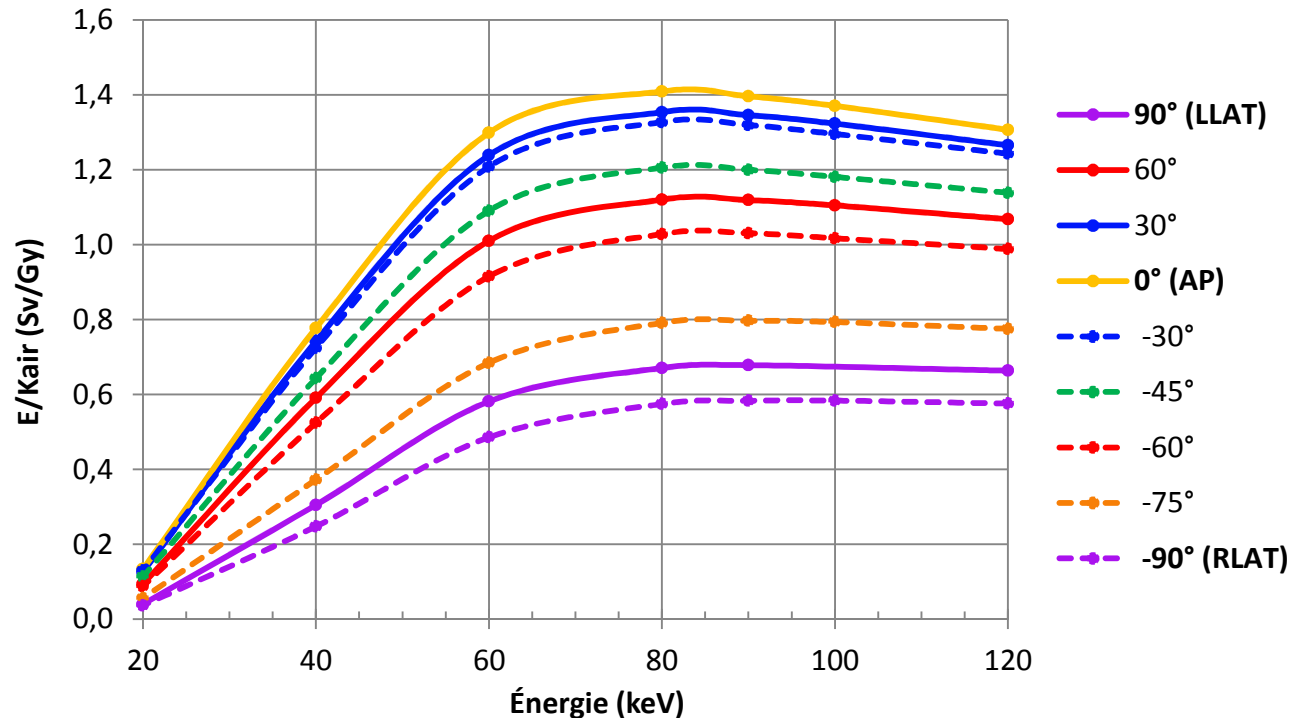
Plan sagittal



# Résultats

## Dose efficace sans VP

*E / K air* - Irradiation sur le plan transversal



- Résultats **validés** avec la **CIPR 116** (AP, LLAT et RLAT).
- Dépendance angulaire pas incluse dans la CIPR 116

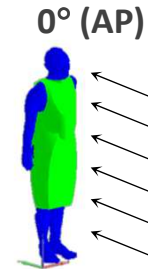
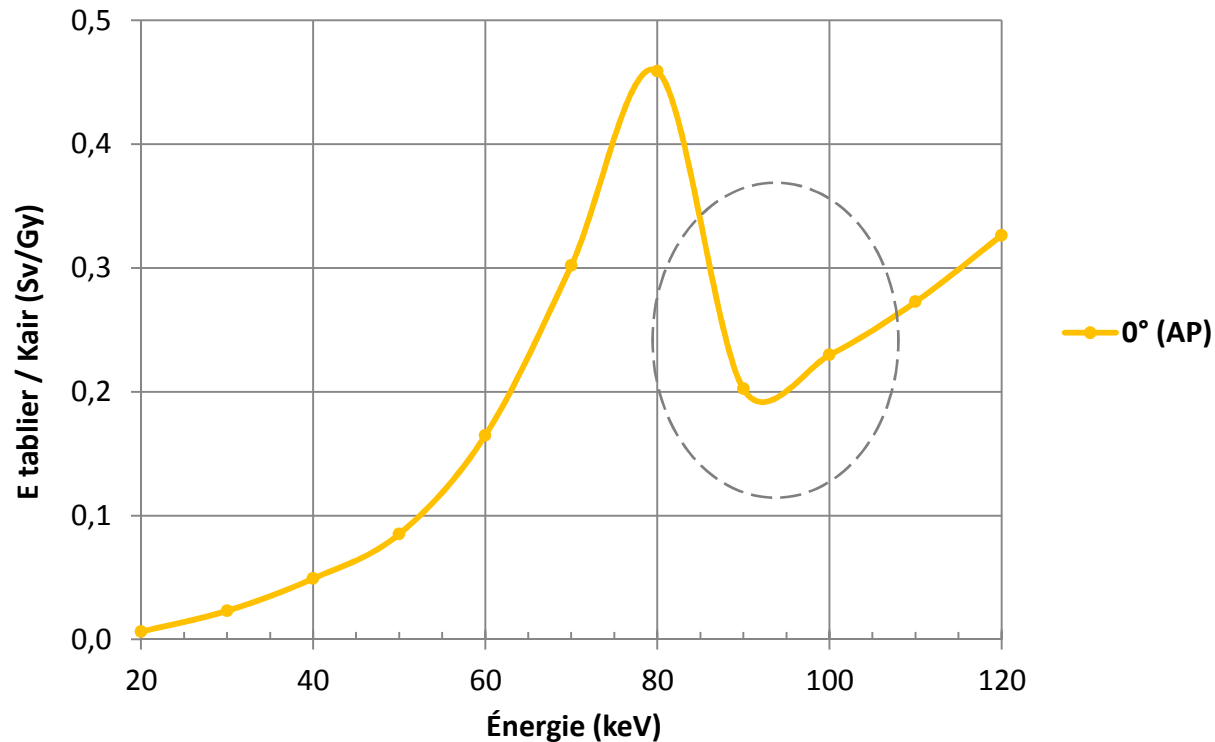
- **E diminue** (↓) lorsque **l'angle augmente** (↑) (couche + épaisse de tissus à traverser; surface effective des organes plus petite)
- **Plan sagittal** → Résultats similaires, avec **dépendance angulaire plus forte**



## Résultats

### Dose efficace avec VP

*E avec tablier / K air – 0 (AP)*

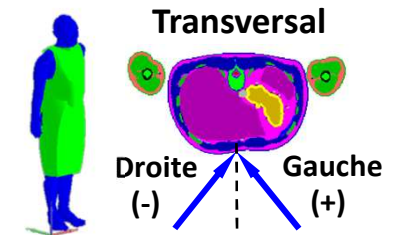
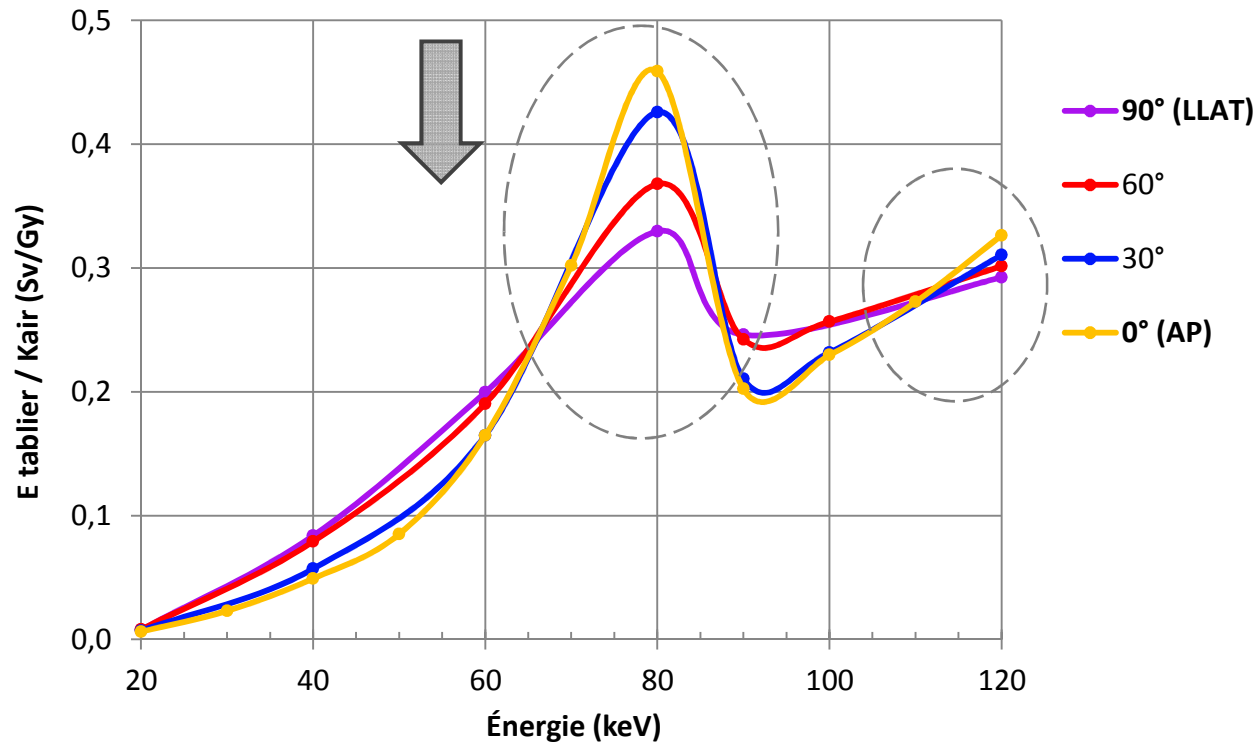


- Réponse en énergie différente par rapport à celle sans VP
- Basses énergies  $\rightarrow E_{\text{tablier}}$  très faible (plupart des photons absorbés dans le Pb)
- Effet du **pic d'absorption du Pb** à 90 (88) keV

# Résultats

## Dose efficace avec VP

### $E$ avec tablier / $K_{air}$ - Irradiation sur le plan transversal



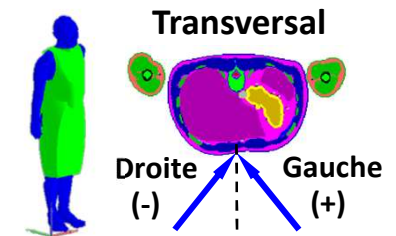
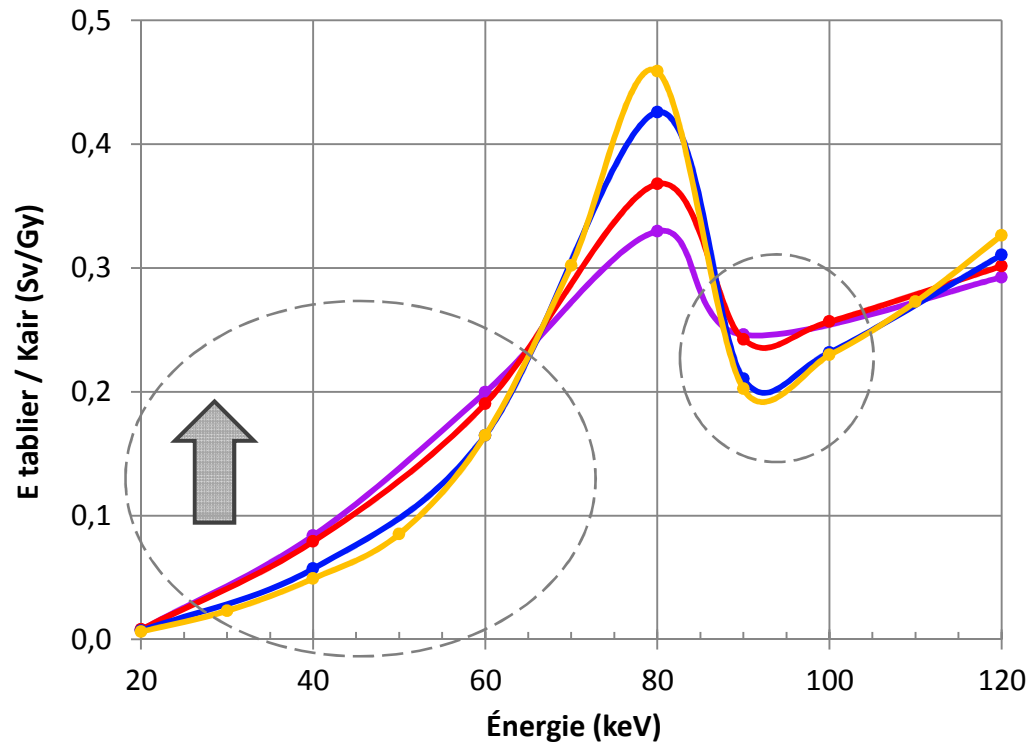
Réponse angulaire  
**différente** selon  
l'énergie des photons

- **Énergies 70-88 KeV; >100 keV:** photons énergie suffisante pour transpercer le Pb  
→ Réponse angulaire similaire à celle de  $E$  sans tablier:  $E_{tablier} \downarrow$  lorsque l'angle  $\uparrow$   
(couche + épaisse de tissus à traverser, ...)

# Résultats

## Dose efficace avec VP

### $E$ avec tablier / $K_{air}$ - Irradiation sur le plan transversal



Réponse angulaire  
**différente** selon  
l'énergie des photons

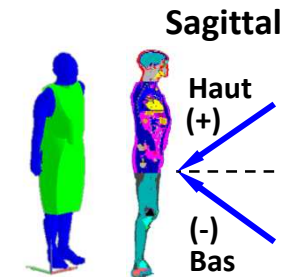
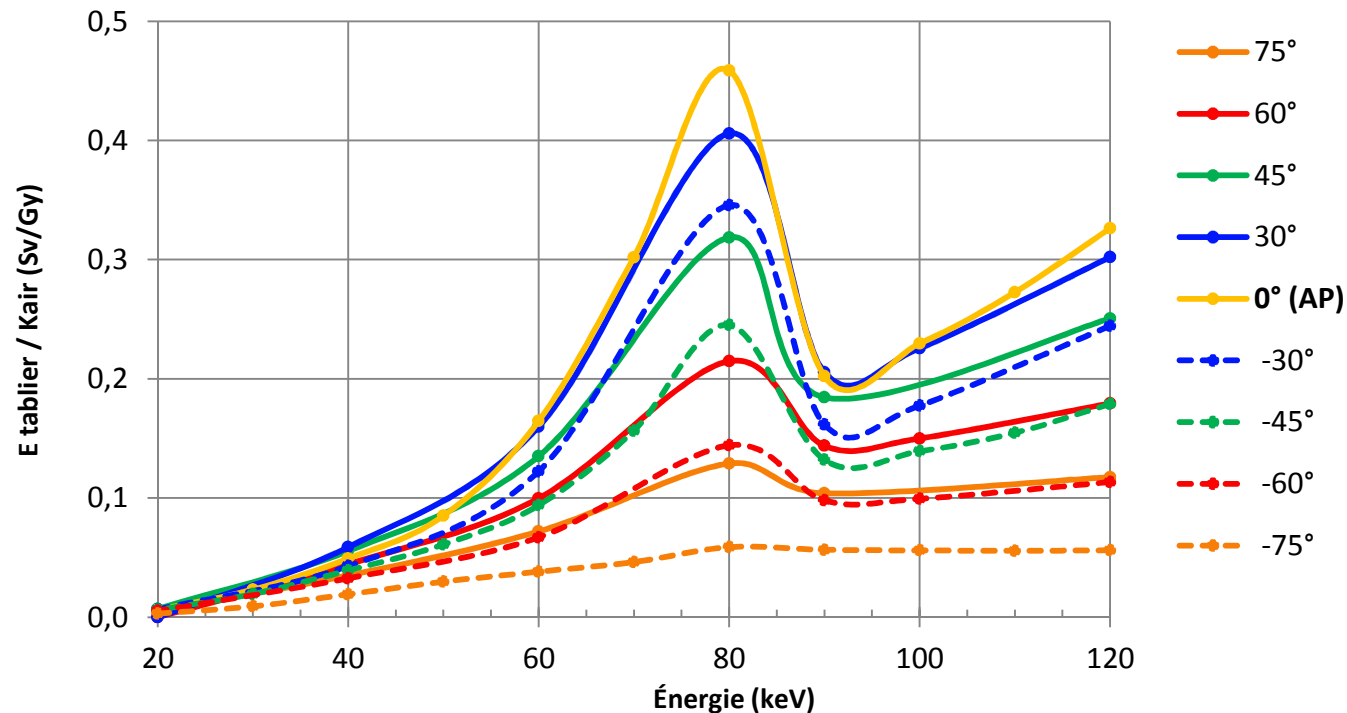
- **Énergies <70 keV; 88-100 keV:** photons ne peuvent pas transpercer le Pb  
→  $E_{tablier}$  déterminée par organes non (complètement) protégés\* par le tablier.  
Comme la dose à ces organes ↑ avec l'angle, la dose efficace ↑ aussi.

\*(cerveau, g. salivaires; poumons, MOR (espaces non couverts sur les côtés du tablier))

# Résultats

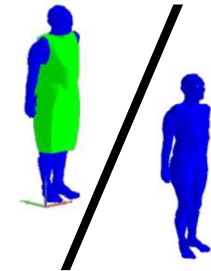
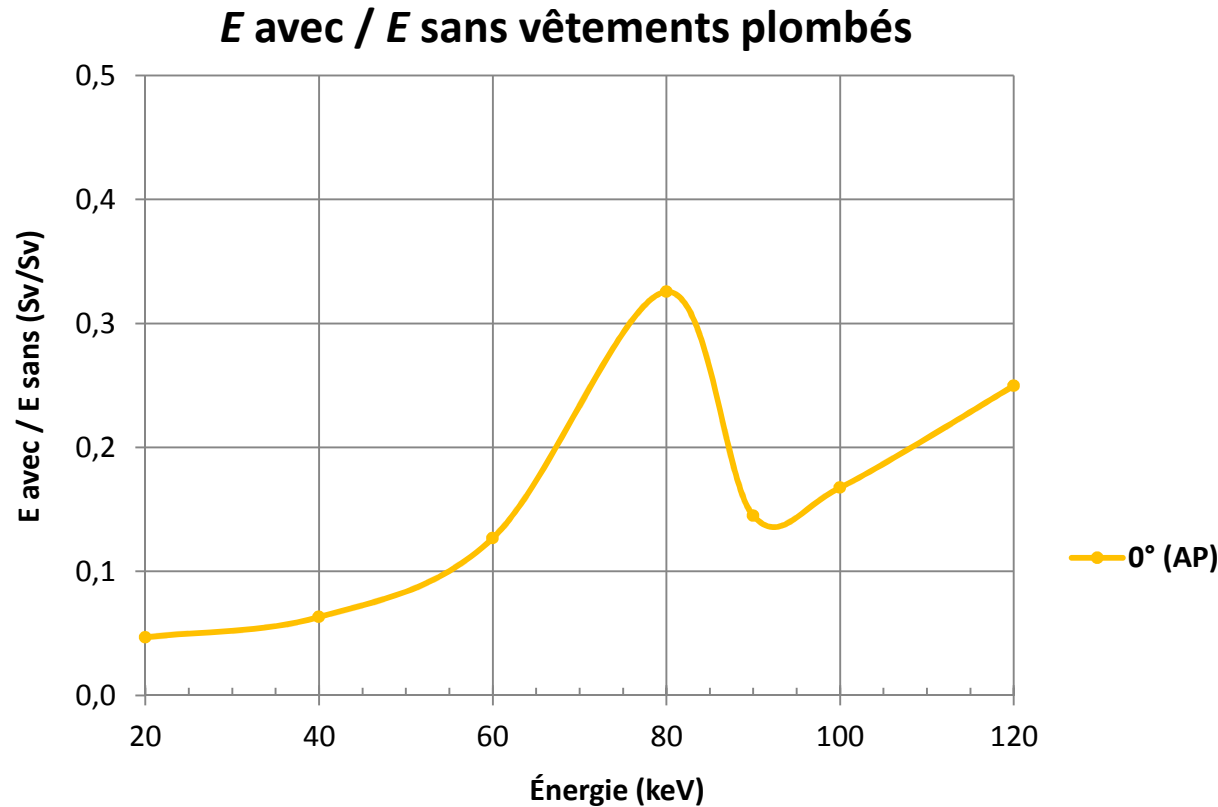
## Dose efficace avec VP

**$E$  avec tablier /  $K_{air}$  - Irradiation sur le plan sagittal**



- $E \downarrow$  avec l'angle d'incidence pour toutes les énergies.
- **Dépendance angulaire** beaucoup **plus forte** que sur le p. transversal:
  - **Géométrie du tablier** : lorsque l'angle  $\uparrow$ , l'épaisseur effective du Pb  $\uparrow$   $\rightarrow$  protection  $\uparrow$ .
- $E_{tablier}$  plus basse pour des angles négatifs (faisceaux provenant d'en bas).

## Résultats Comparaison $E$ avec/sans VP

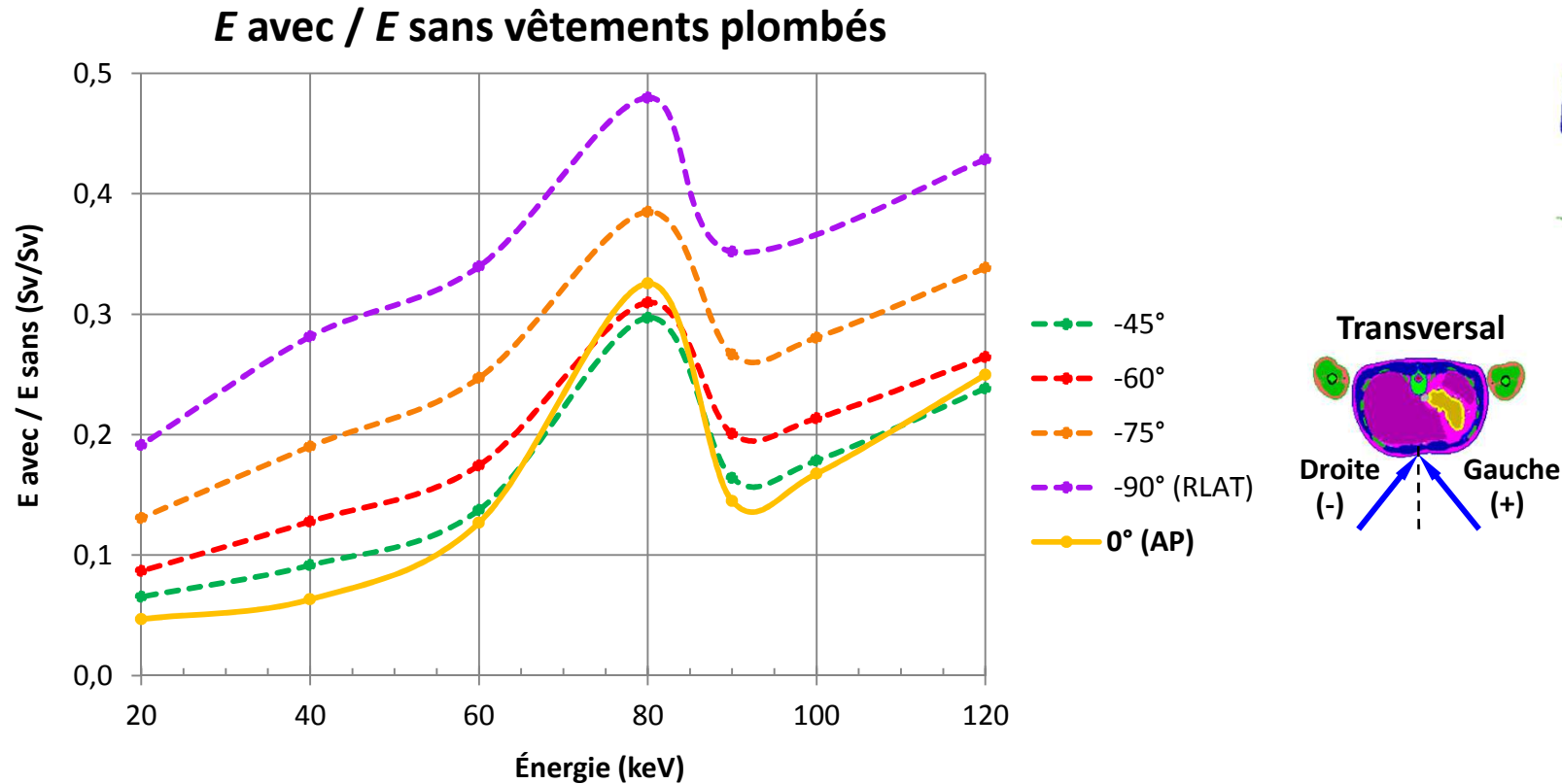


### 0° (AP):

- Le port de VP fournit une **réduction de la dose reçue de -70%** (80 keV);
- Protection plus haute pour les autres énergies.

# Résultats

## Comparaison $E$ avec/sans VP

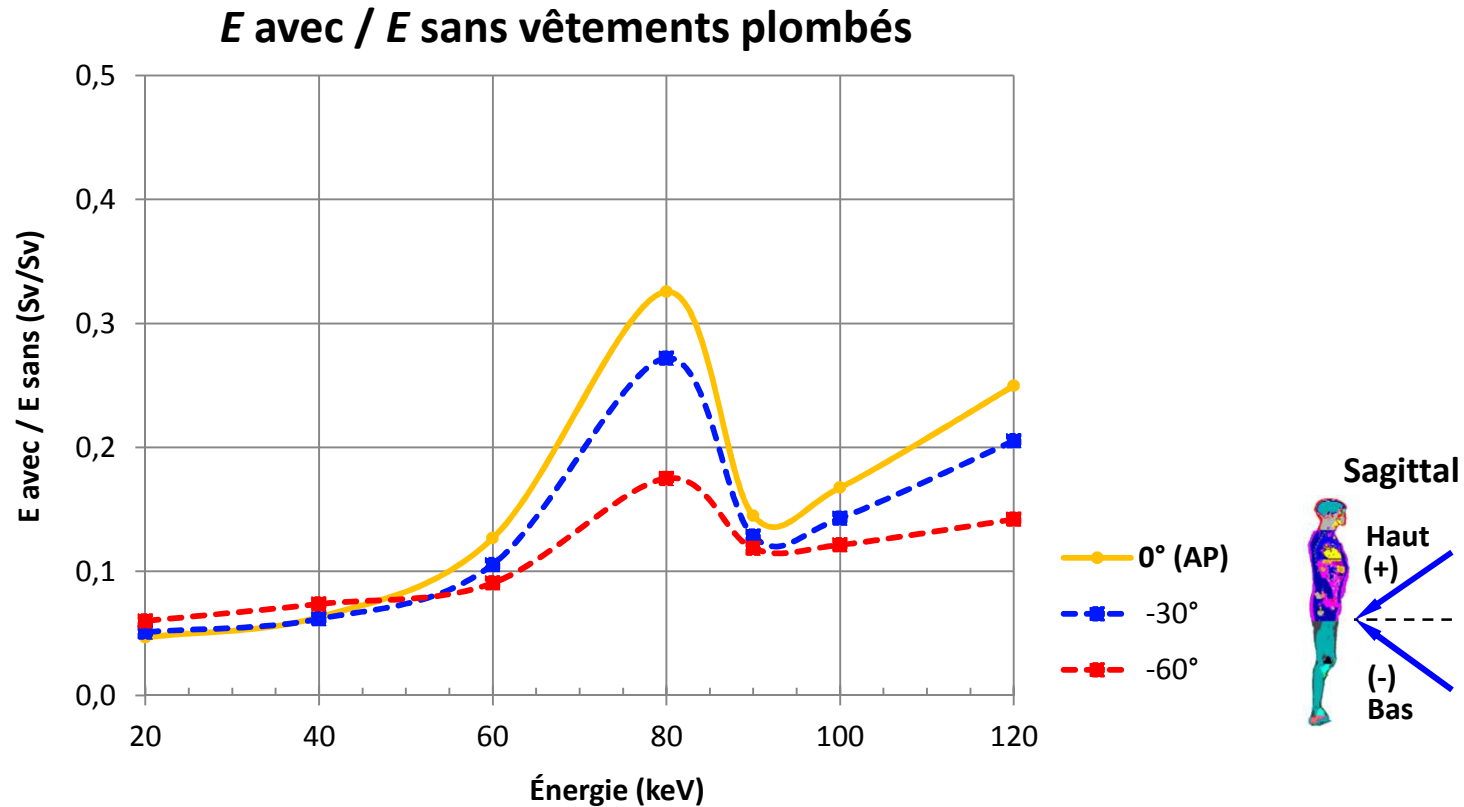


### Plan transversal:

- Lorsque l'angle  $\uparrow$ ,  $E_{avec} / E_{sans} \uparrow \rightarrow$  le niveau de protection  $\downarrow$

# Résultats

## Comparaison $E$ avec/sans VP



### Plan sagittal:

- Le contraire : pour des énergies  $> 60$  keV, la protection  $\uparrow$  avec l'angle d'incidence

→ Caractériser pour des énergies et des angles d'intérêt en RI/CI:

## 1. Dose efficace $E$ avec et sans vêtements plombés (VP)

- Niveau de protection fourni par des VP
- Référence pour la dosimétrie personnelle:

## 2. Doses équivalentes $H_o$ et $H_u$

- Étudier les conséquences du port des VP sur la dosimétrie individuelle

→ Étudier la corrélation entre  $E$  avec VP et  $H_o$  et  $H_u$  pour les conditions d'irradiation étudiées.

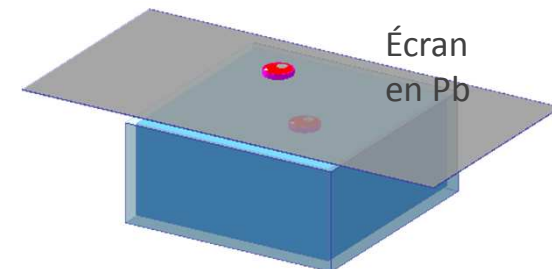
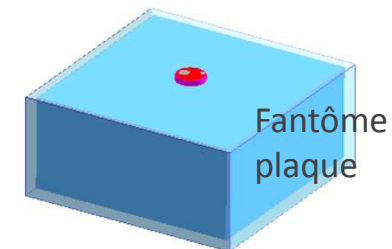


## Matériels et Méthode

### 2. Dosimétrie personnelle

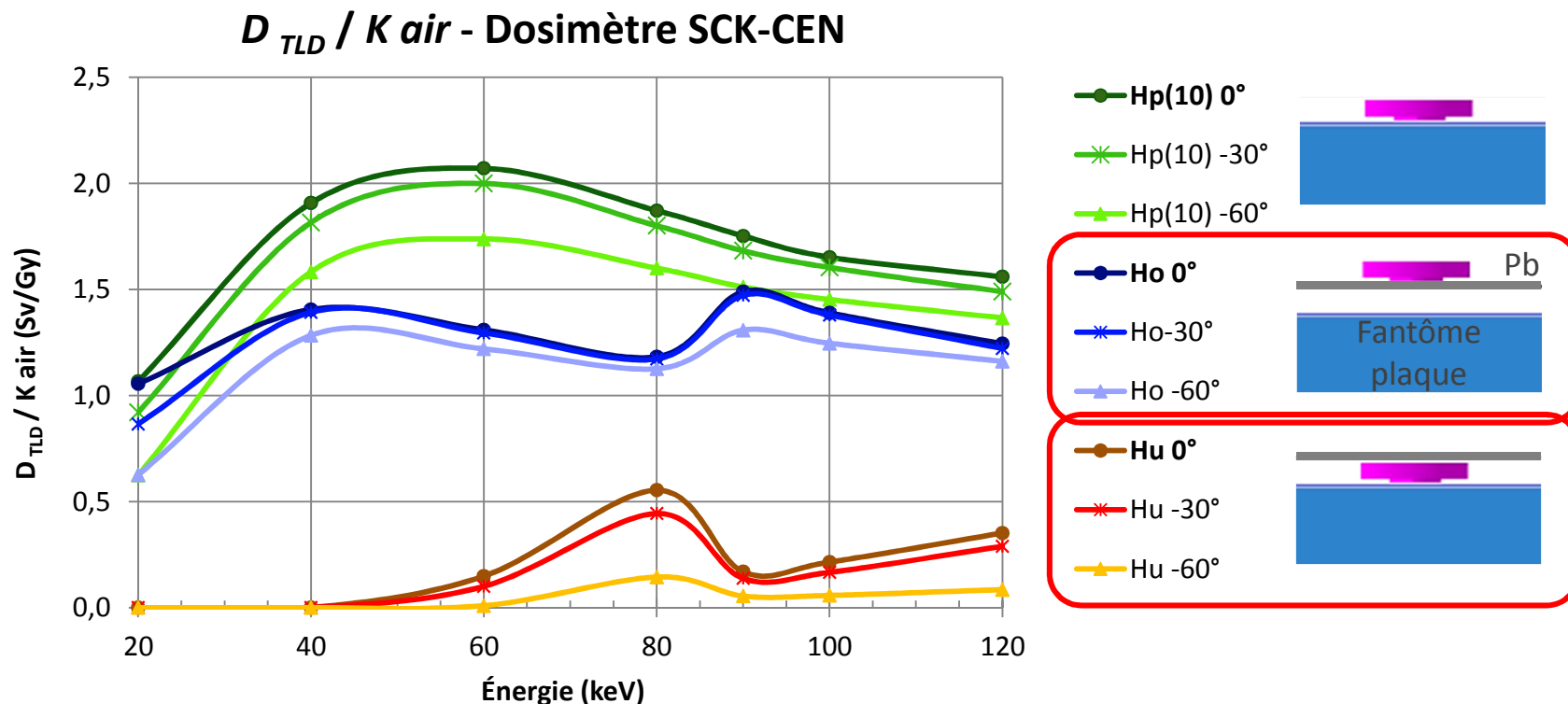
Effets du port de VP sur un dosimètre  $H_p(10)$ :

- Modèle simplifié:
  - **Fantôme plaque** ISO rempli d'eau  $\approx$  corps
  - + **écran en Pb** de 0.5 mm  $\approx$  tablier
- Dose dans TLD du **dosimètre personnel** ( $H_p(10)$ ) de SCK • CEN:
  - Sur fantôme-plaque ( $H_p(10)$ )
  - Sur écran en Pb ( $H_o$ )
  - Au-dessous écran en Pb ( $H_u$ )
- Photons 20-120 keV,  $\angle 0^\circ$ - $60^\circ$
- → **Comparaison avec  $E_{\text{tablier}}$**



# Résultats

## Effets sur la dosimétrie personnelle



Dosimètre **au-dessous Pb**,  $H_u$ :

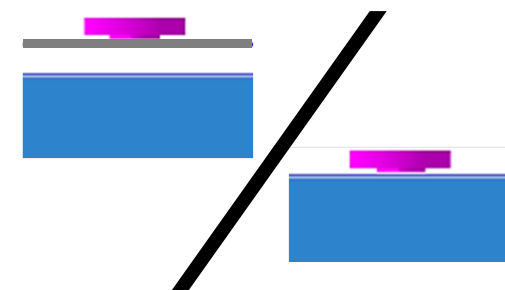
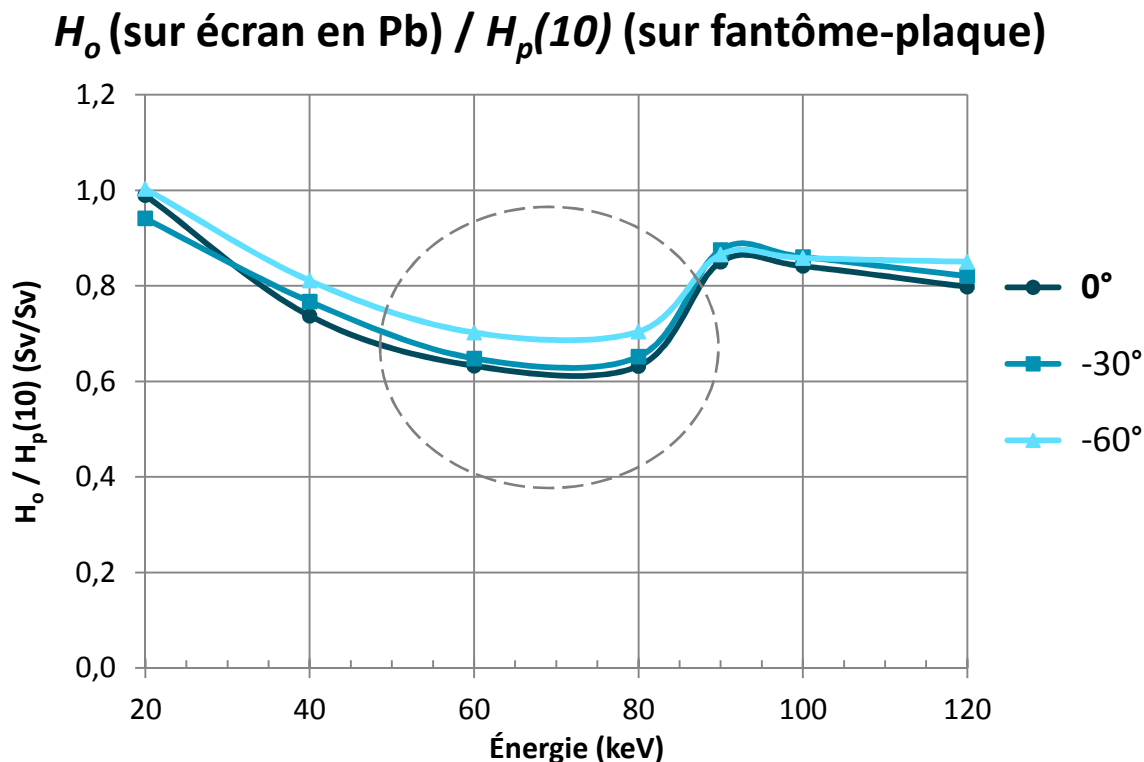
- Dose assez **faible**:
  - Aucune dose entre 20-40 keV
  - 60°: dose presque zéro (dépendance angulaire forte)
- Pic d'absorption du Pb à 90 (88) keV

Dosimètre **sur écran Pb**,  $H_o$ :

- Plus **basse** que dose sur fantôme-plaque
  - Pas de **rayonnement rétrodiffusé** du fantôme mais **du Pb**
    - Hausse de la dose à 90 (88) keV

# Résultats

## Effets sur la dosimétrie personnelle



$$H_{o, \text{calculée}} = M / FC_{\text{fantôme-plaque}}$$

$$H_{o, \text{réelle}} = M / FC_{\text{écran Pb}}$$

$$FC_{\text{écran Pb}} < FC_{\text{fantôme-plaque}}$$

$$H_{o, \text{calculée}} < H_{o, \text{réelle}}$$

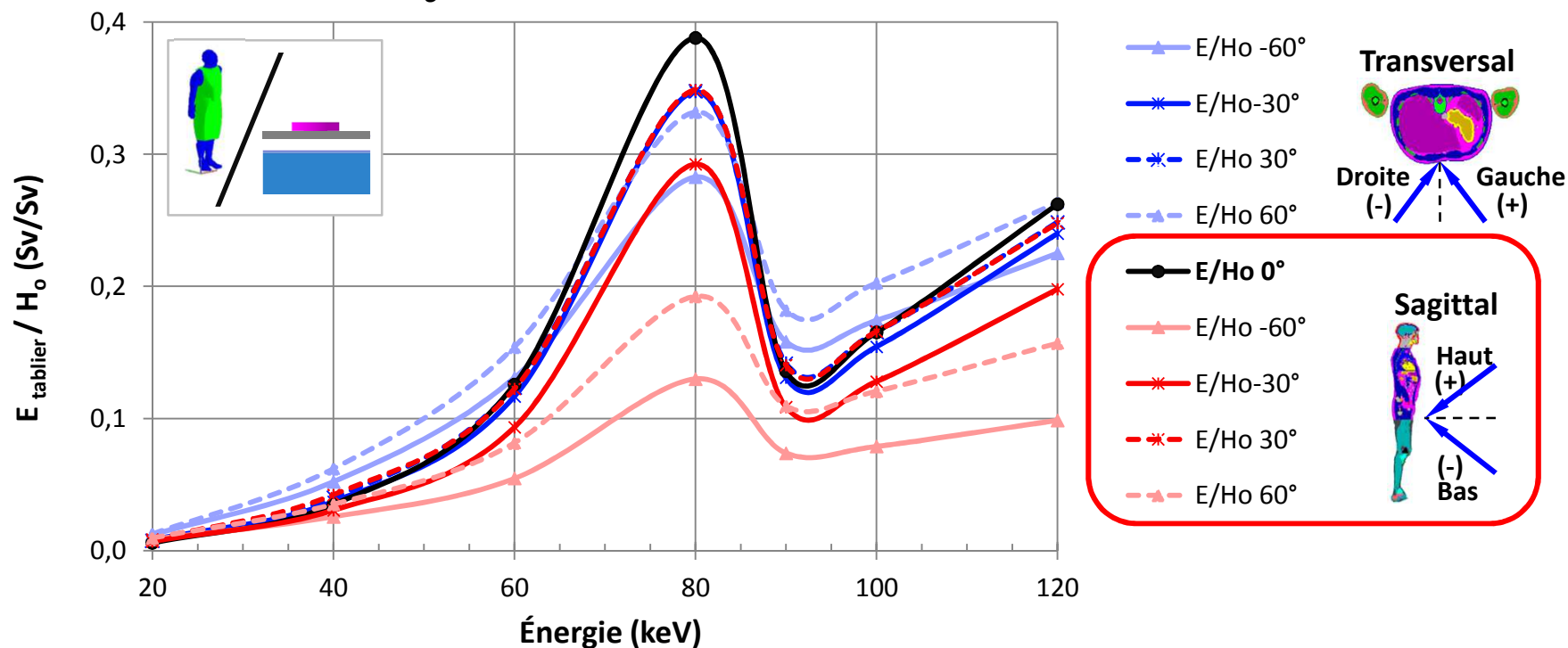
- Conséquence: **possible sous-estimation de  $H_o$**  de jusqu'à -40% (60-80 keV)
- Pratique courante: **étalonnage en  $H_p(10)$**  (sur fantôme-plaque), même si le dosimètre est porté sur le tablier.
  - Facteur de Calibration (FC) plus grand pour  $H_p(10)$

**Méthodes de calibration pour dosimètres portés sur VP?**

# Résultats

## Comparaison $E_{\text{tablier}}/H_o$

$E$  (avec tablier) /  $H_o$  - Dosimètre sur écran en Pb

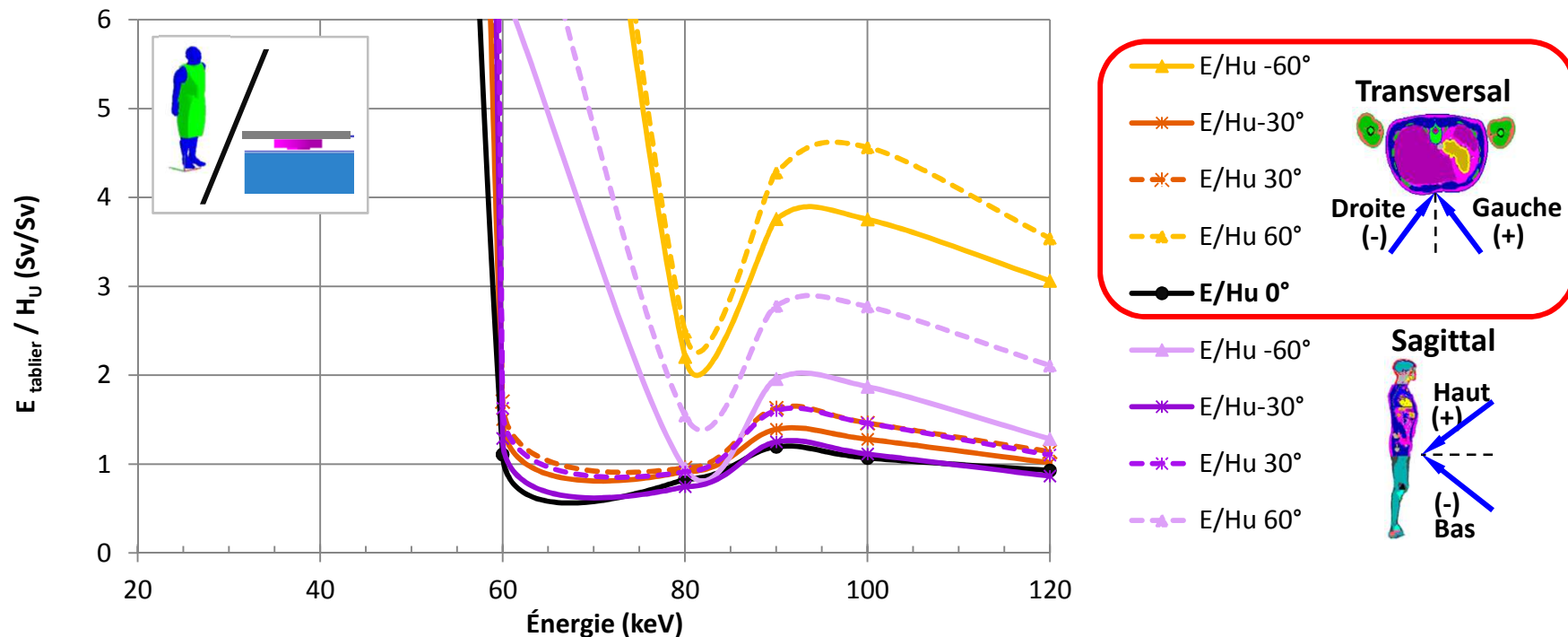


- $E_{\text{tablier}}/H_o < 1 \rightarrow H_o$  surestime  $E_{\text{tablier}}$  pour toutes les énergies.
- Niveau de **surestimation** dépend de l'**angle** d'incidence et du **plan d'irradiation**
  - Variation angulaire de  $E_{\text{tablier}}/H_o$  plus forte sur le p. sagittal:
    - $\rightarrow$  Même si réponse angulaire dosimètre ( $H_o$ ) = pour les deux plans, réponse angulaire de  $E_{\text{tablier}}$  plus forte sur le p. sagittal que sur le p. transversal

# Résultats

## Comparaison $E_{\text{tablier}}/H_u$

$E$  (avec tablier) /  $H_u$  - Dosimètre au-dessous écran en Pb



- $H_u$  **sous-estime** toujours  $E_{\text{tablier}}$  pour des basses énergies (zéro dose dans dosimètre)
- $0^\circ \rightarrow$  bonne estimation (écart  $\pm 20\%$ ) entre 60-120 keV
- **Sous-estimation** de  $E_{\text{tablier}} \uparrow$  **lorsque l'angle  $\uparrow$** 
  - Effet plus marqué dans le p. transversal  $\rightarrow$  sur ce plan variation angulaire plus forte pour le dosimètre ( $H_u$ ) que pour  $E_{\text{tablier}}$

# Conclusion

- **Dose efficace avec et sans VP** caractérisée pour des énergies et des angles d'intérêt en RI/CI
  - VP étudiés fournissent une **réduction de  $E$  d'au moins -70%** pour  $0^\circ$ , mais -50% pour R/LLAT (80 keV)
  - **Dépendance en énergie** de  $E_{\text{tablier}}$ 
    - Très forte dû à l'absorption du plomb
  - **Dépendance angulaire** de  $E_{\text{tablier}}$  dépend du plan d'irradiation
    - Plus forte dans le plan sagittal
- **Doses équivalentes  $H_o$  et  $H_u$**  caractérisées avec un modèle simplifié
  - Dosimètre au-dessous Pb,  $H_u$ :
    - Dose assez faible (ou zéro) aux basses énergies et angles d'incidence élevés
  - Dosimètre sur Pb,  $H_o$ :
    - Dose plus basse que  $H_p(10)$  → Conséquences pour la calibration des dosimètres portés sur tablier

## Conclusion

- Doses équivalentes  $H_o$  et  $H_u$  comparées avec la **dose efficace avec VP**:

Les niveaux de surestimation et de sous-estimation obtenus avec  $H_o$  et  $H_u$  **dépendent fortement de l'énergie et de l'angle** d'incidence du rayonnement.

- Dose sur Pb,  $H_o$  : **surestime** toujours  $E_{\text{tablier}}$
- Dose au-dessous Pb,  $H_u$  : **sous-estime**  $E_{\text{tablier}}$  lorsque l'angle  $\uparrow$  et l'énergie  $\downarrow$

---

***Merci de votre  
attention***





**Copyright © 2013 - SCK•CEN**

PLEASE NOTE!

This presentation contains data, information and formats for dedicated use ONLY and may not be copied, distributed or cited without the explicit permission of the SCK•CEN. If this has been obtained, please reference it as a "personal communication. By courtesy of SCK•CEN".

**SCK•CEN**

Studiecentrum voor Kernenergie  
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire  
Belgian Nuclear Research Centre

Stichting van Openbaar Nut  
Fondation d'Utilité Publique  
Foundation of Public Utility

Registered Office: Avenue Herrmann-Debrouxlaan 40 – BE-1160 BRUSSELS  
Operational Office: Boeretang 200 – BE-2400 MOL

