

# MERCURAD™

## LOGICIEL DE SIMULATION 3D POUR CALCUL DE DEBITS DE DOSE

*Roger ABOU KHALIL<sup>1</sup>, Hervé TOUBON<sup>1</sup>, Cheikh DIOP<sup>2</sup>*

*1) AREVA/CANBERRA Nuclear Measurements Business Unit*

*2) CEA/DEN - Centre de Saclay*



**A**  
**CANBERRA**

- ▶ **INTRODUCTION**
- ▶ **MODE DE FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL MERCURAD**
- ▶ **MÉTHODOLOGIES**
  - ◆ **DETERMINATION DE DEBIT DE DOSE**
  - ◆ **DETERMINATION DES ACTIVITES**
    - Application sur HAO/HADE
  - ◆ **DETERMINATION DES COURBES D'EFFICACITES**
    - Application sur Boite à Gants, Filtre THE
- ▶ **CONCLUSION**

# INTRODUCTION

**MERCURAD™ simule le transport des photons dans des géométries à trois dimensions entre des sources volumiques et des points de calculs**

## ▶ **Mode de Fonctionnement du Logiciel MERCURAD™**

### ◆ **Données d'entrée**

- Création de la scène
- Création des éléments sources
- Création des points détecteurs

### ◆ **Grandeurs en sortie**

- Flux gamma sans choc
- Flux total (flux sans choc + flux diffusé dans la matière)
- Débit de dose ambiant  $H^*(10)$
- Débit de dose équivalent

**Le rayonnement gamma diffusé dans les milieux traversés est pris en compte par l'intermédiaire de facteurs d'accumulation (Build-up Factor) de milieux multicouches**

# MÉTHODOLOGIES ET DOMAINES D'UTILISATIONS DE MERCURAD™



## ► DETERMINATION DE DEBIT DE DOSE

### ◆ Données d'entrée

- les caractéristiques physiques de la source (géométrie, densité,...)
- la configuration géométrique entre la source et le point de détection
- l'activité de la source (**Bq, Bq/g**)

### ◆ Grandeurs en sortie : **Gy/h** ou fluence directe( **$\gamma/cm^2/s$** )

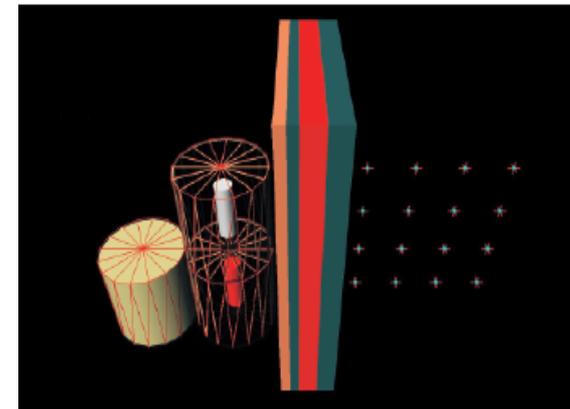
## ► LES APPLICATIONS ET LES DOMAINES D'UTILISATIONS

### ◆ Radioprotection

- Réduire et maîtriser le débit de dose au poste de travail
- Dimensionnement de blindage pour des sources radioactives
- Mise en place de protection radiologique et biologique
- Aider les ingénieurs pour la conception des installations nucléaires
- Transport nucléaire, ...

### ◆ Caractérisation des systèmes de détection

- Calibration des sondes de radioprotection
- Dimensionnement des détecteurs
- Blindage des instruments, ...



# MÉTHODOLOGIES ET DOMAINES D'UTILISATIONS DE MERCURAD™



## ► DETERMINATION DES ACTIVITES

### ◆ Données d'entrée

- les caractéristiques physiques de la source (géométrie, densité,...)
- la configuration géométrique entre la source et le point de détection
- Mesures de débit de dose (**Gy/h**)
- Mesures de spectrométrie gamma afin de valider le spectre type de l'activité

### ◆ Grandeurs en sortie : Activité : **Bq, Bq/g** ou Masse : **Kg**

## ► LES APPLICATIONS ET LES DOMAINES D'UTILISATIONS

### ◆ Démantèlement

- Milieux avec accès difficiles
- Moyens de mesures très limités

**Cette méthodologie a été déployée pendant le démantèlement d'UP2-400 à La Hague pour déterminer les activités et les spectres de dépôts sur les équipements procédés (cuves de Stockage de Produits de Fission et autres cellules)**

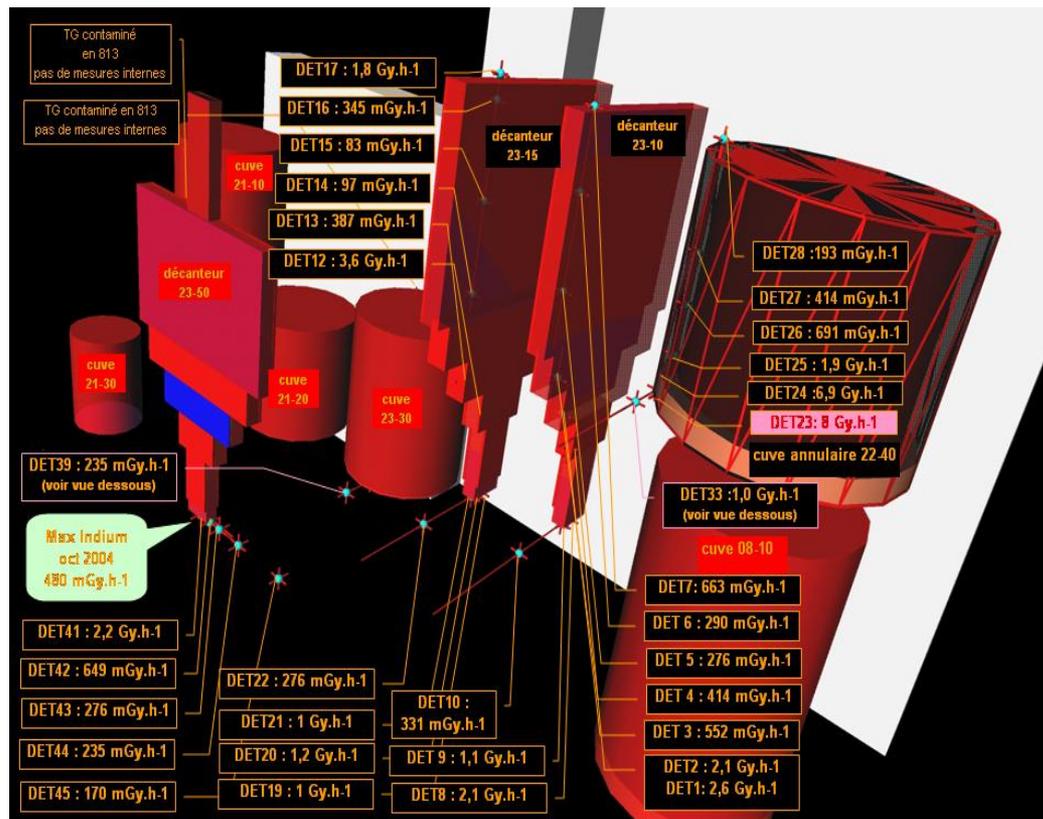
# DEMANTELEMENT DE HAO (Haute Activité Oxyde), HADE (Haute Activité Dissolution et Extraction)



InSpector1000 et sonde CZT  
pour spectrométrie gamma



Radiagem et sonde GM  
étalonnée jusqu'à 100 Gy/h



Plus de 100 cellules et 900 mesures

Prise d'Echantillon (PE)  
sur le liquide

Mesures de débit de dose  
(Geiger Muller)

Mesure de spectrométrie  
(CZT)

Caractérisation radiologique  
du liquide de la cuve

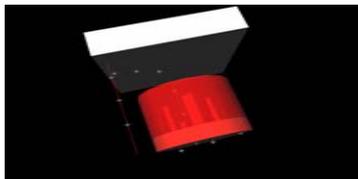
Validation des hypothèses de  
positionnement des dépôts  
dans la cuve

Validation du spectre bêta des  
émetteurs gamma mesurables

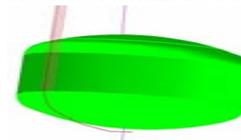
### Hypothèses de modélisation :

- Plan de Génie civil, dossier photo, plans de chaudronnerie
- Nature chimique et spectre du liquide
- Nature chimique et spectre du dépôt
- Position et nombre de termes sources (fond de cuve, latéral,  $\text{HNO}_3$ )

Modélisation MERCURAD™



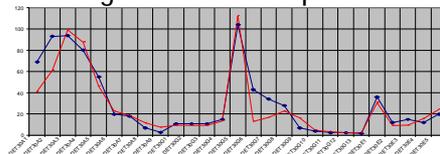
Validation MCNP de la  
modélisation MERCURAD™



Calcul des fonctions de transfert  
de chaque source ( $\mu\text{Gy}/\text{h}^{-1}/\text{Bq}$ )

Modélisation du liquide de la cuve comme seul terme source  
=> Confirmation de la présence ou non de dépôts en plus du liquide

Minimization de l'écart entre la courbe de débit de dose mesurée et la courbe de débit de dose calculé en fonction de la répartition d'activité bêta des émetteurs gamma de chaque terme source d'identité



Calcul des activités alpha ( $A_\alpha$ ) et bêta ( $A_\beta$ )  
Estimation de l'incertitude  $\Delta A_\alpha$  et  $\Delta A_\beta$

# ESTIMATION DES ACTIVITÉS

## ► Procédure d'interprétation des résultats

- ◆ Résoudre les équations ( $D_x \text{Cal}$ ) en faisant varier les (n) activités

$$D_1 \text{cal} (\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}) = (A_1 \times FT_{(1,D_1)}) + (A_2 \times FT_{(2,D_1)}) + \dots + A_n \times FT_{(n,D_1)}$$

$$\begin{array}{cccc} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{array}$$

$$D_x \text{cal} (\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}) = (A_1 \times FT_{(1,D_x)}) + (A_2 \times FT_{(2,D_x)}) + \dots + A_n \times FT_{(n,D_x)}$$

- ◆ Minimiser les écarts entre les (x) débits de doses mesurés et calculés

$$\sum \left[ \frac{(Dx_{mes} - Dx_{cal})^2}{(Dx_{mes})^2} \right] = MIN$$

**Afin de réaliser les mesures dans les bonnes conditions, il faut que le nombre de points de mesures (x) soit toujours supérieur aux nombres de sources (n)**  
Une source est un milieu homogène de spectre type, de niveau d'activité et de composition chimique donnés

# MÉTHODOLOGIES ET DOMAINES D'UTILISATIONS DE MERCURAD™



## ▶ DETERMINATION DES COURBES D'EFFICACITES

### ◆ Données d'entrée

- les caractéristiques physiques de la source (géométrie, densité,...)
- la configuration géométrique entre la source et le point de détection

### ◆ Grandeurs en sortie : **Courbe d'efficacité**

## ▶ LES APPLICATIONS ET LES DOMAINES D'UTILISATIONS

### ◆ Dans la spectrométrie gamma in situ

- Caractérisations des scènes complexes
  - Géométries
  - Sources

**Cette méthodologie a été déployée sur des boites à gants, des colis de déchets (poubelle résine cylindrique, poubelle inox carré,...) et sur les filtres THE pour la détermination des activités et des masses de Pu**

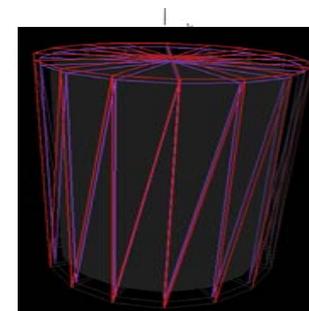
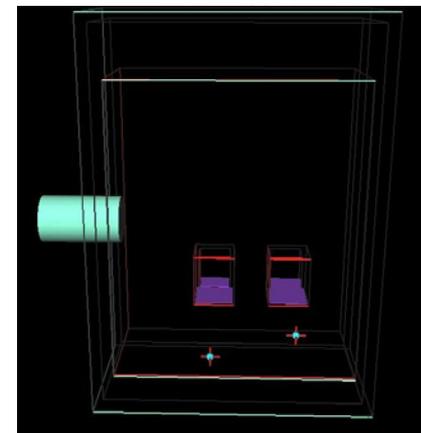
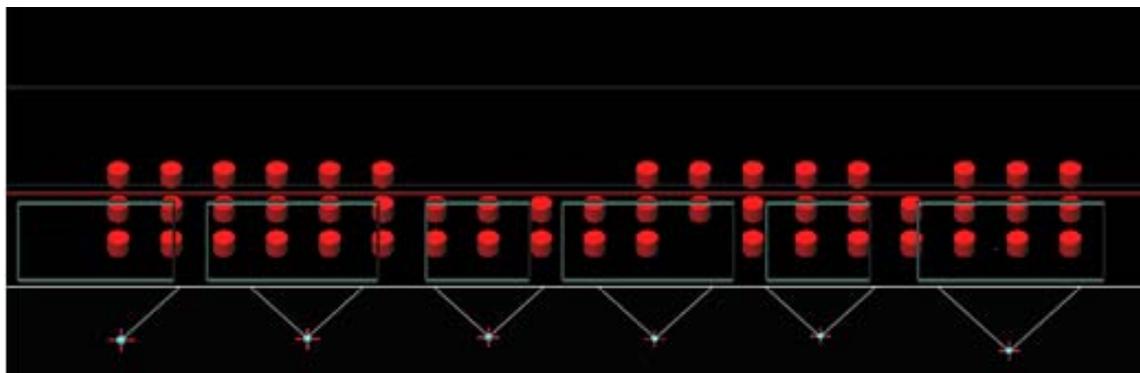
# MESURES DANS LES BOITE A GANTS BATIMENT MAPu

Estimation de la masse Pu restant dans la boite à gants avant démontage

## ► MÉTHODOLOGIE

- ◆ Plan de construction des boites à gants
- ◆ Plan des équipements internes aux B à G
- ◆ Modélisation MERCURAD

### GODETS DANS LES BOITES A GANTS

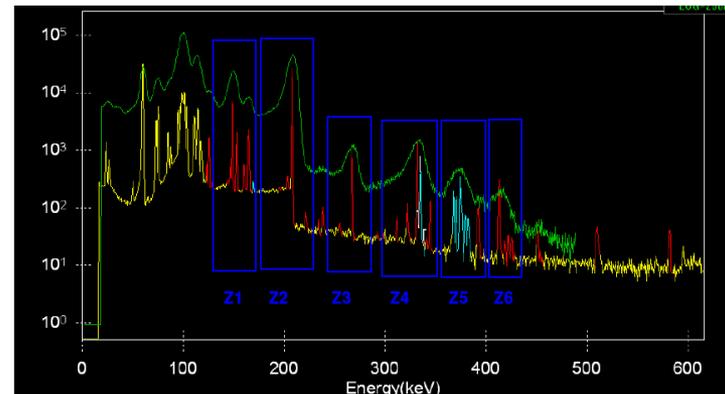
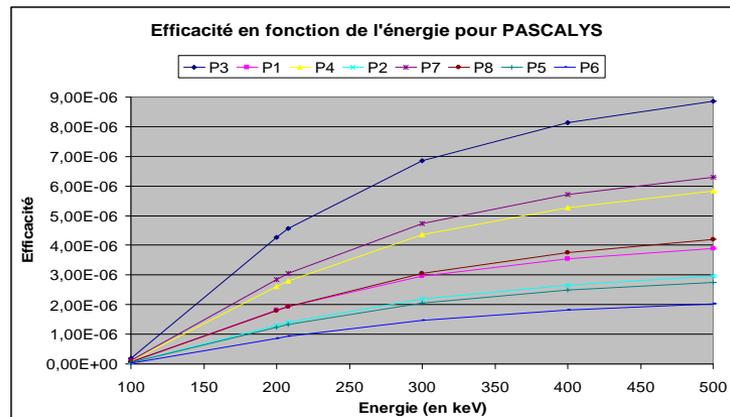
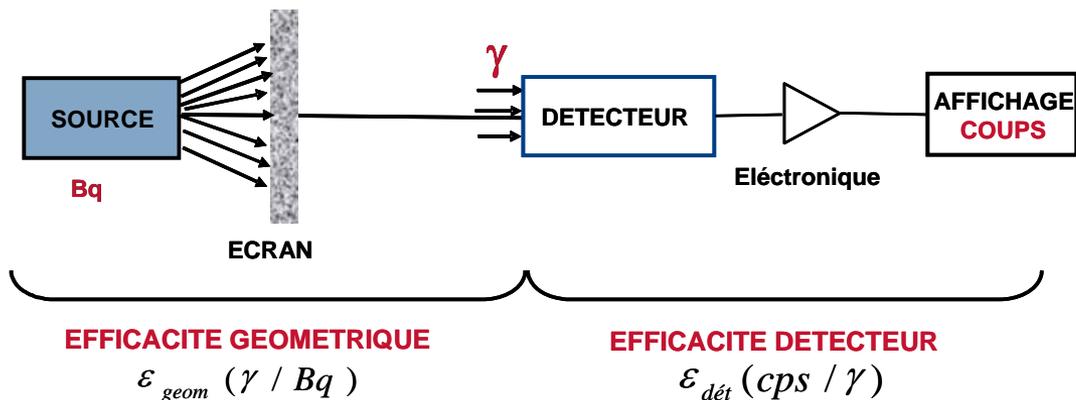


# MESURES DE LA BOITE A GANTS BATIMENT MAPu

Estimation de la masse Pu restant dans la boîte à gants avant démontage

## MÉTHODOLOGIE

- ◆ Calcul des courbes d'efficacités géométrique pour différentes énergies (PASCALYS)
- ◆ Caractérisation de l'efficacité du détecteur
- ◆ Mesure de spectrométrie gamma



# MESURES DE LA BOITE A GANTS BATIMENT MAPu

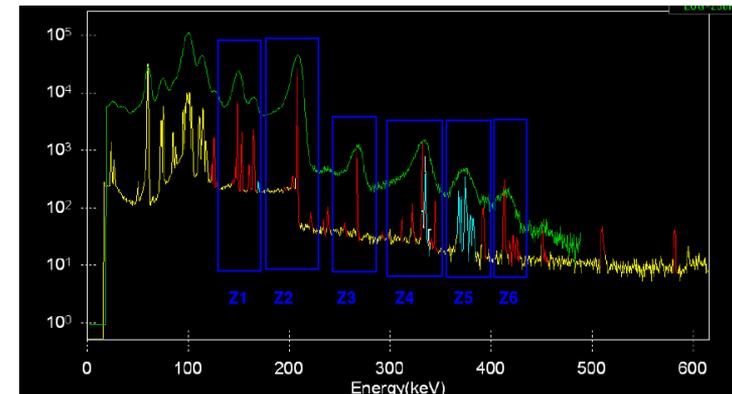
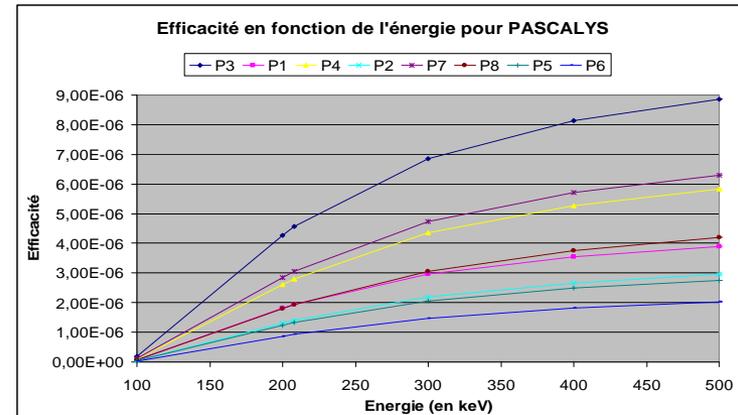
Estimation de la masse Pu restant dans la boîte à gants avant démontage

## MÉTHODOLOGIE

- ◆ Calcul des courbes d'efficacités géométrique pour différentes énergies (PASCALYS)
- ◆ Caractérisation de l'efficacité du détecteur
- ◆ Mesure de spectrométrie gamma
- ◆ Analyse des surfaces nettes des pics

$$A(Bq) = \frac{M(cps)}{I_E(\%) \varepsilon_{geom}(\gamma/Bq) \cdot \varepsilon_{dét}(cps/\gamma)}$$

ESTIMATION DES MASSES Pu DANS  
LES BOITES A GANTS



# MESURE DU Pu SUR FILTRE THE

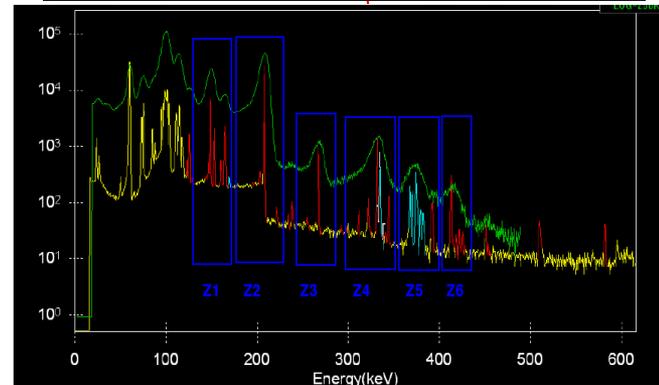
Estimation de la masse Pu générée lors d'usinage des pastilles et qui est accumulée sur des filtres THE en sortie de ventilations des boîtes à gants

## ► MÉTHODOLOGIE

- ◆ Plan de construction des filtres THE
- ◆ Modélisation MERCURAD
- ◆ Calcul des courbes d'efficacité géométrique
- ◆ Caractérisation l'efficacité du détecteur
- ◆ Mesure de spectrométrie gamma
- ◆ Analyse des surfaces nettes des pics

$$A(Bq) = \frac{M(cps)}{I_E(\%) \cdot \varepsilon_{geom}(\gamma/Bq) \cdot \varepsilon_{dét}(cps/\gamma)}$$

ESTIMATION DES MASSES Pu SUR  
LES FILTRES THE



# CONCLUSION

- ▶ **MERCURAD™ est un outil de modélisation qui permet de répondre à diverses problématiques ou expertises en combinant des approches théoriques et des aspects pratiques (mesures sur le terrain)**
- ▶ **Selon les hypothèses initiales et les données expérimentales, les différentes méthodologies associées à MERCURAD™ permettent l'évaluation des grandeurs suivantes :**
  - ◆ Calcul de Débit de Dose
  - ◆ Estimation des activités et des masses
  - ◆ Calcul des courbes d'efficacité
- ▶ **L'outil MERCURAD™ est d'autant plus adapté que les cas de modélisations sont complexes**
- ▶ **Le retour d'expérience montre une bonne adéquation de l'outil avec les problématiques de terrain**

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**