

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Etude de faisabilité

Quantification des radionucléides
d'un colis de déchet par
métamodélisation du coefficient
d'étalonnage de la scène de
mesure en spectrométrie gamma

Nicolas Guillot Claire Cannaméla

Forum Incertitude DAM 2014

TGCC Bruyères le Chatel

1 Octobre 2014

- I. CONTEXTE
- II. SPECTROMETRIE GAMMA
- III. PROBLEMATIQUE
- IV. APPROCHE UTILISEE
- V. RESULTATS EXPERIMENTAUX
- VI. CONCLUSIONS & PERSPECTIVES



Identifier les Rn
Quantifier les Rn + incertitudes associées

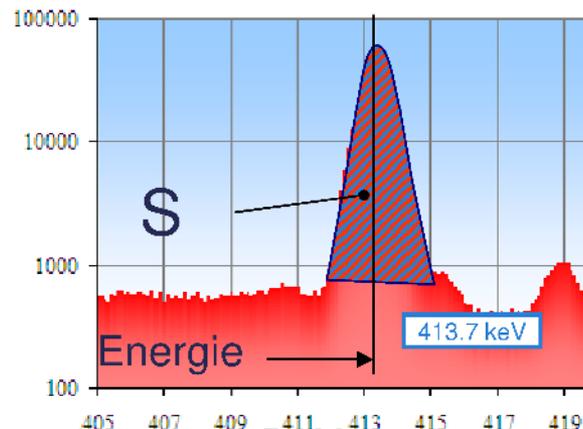
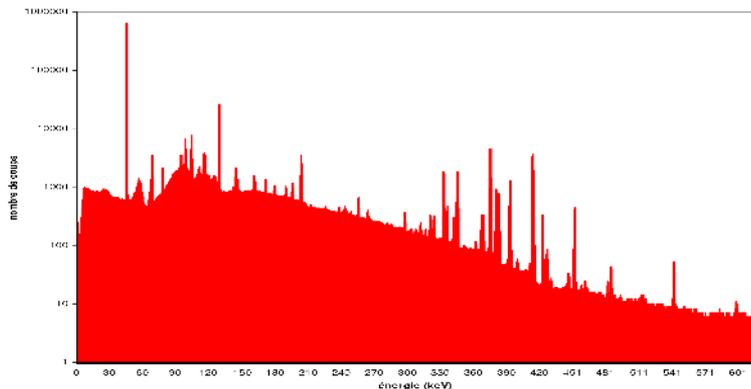
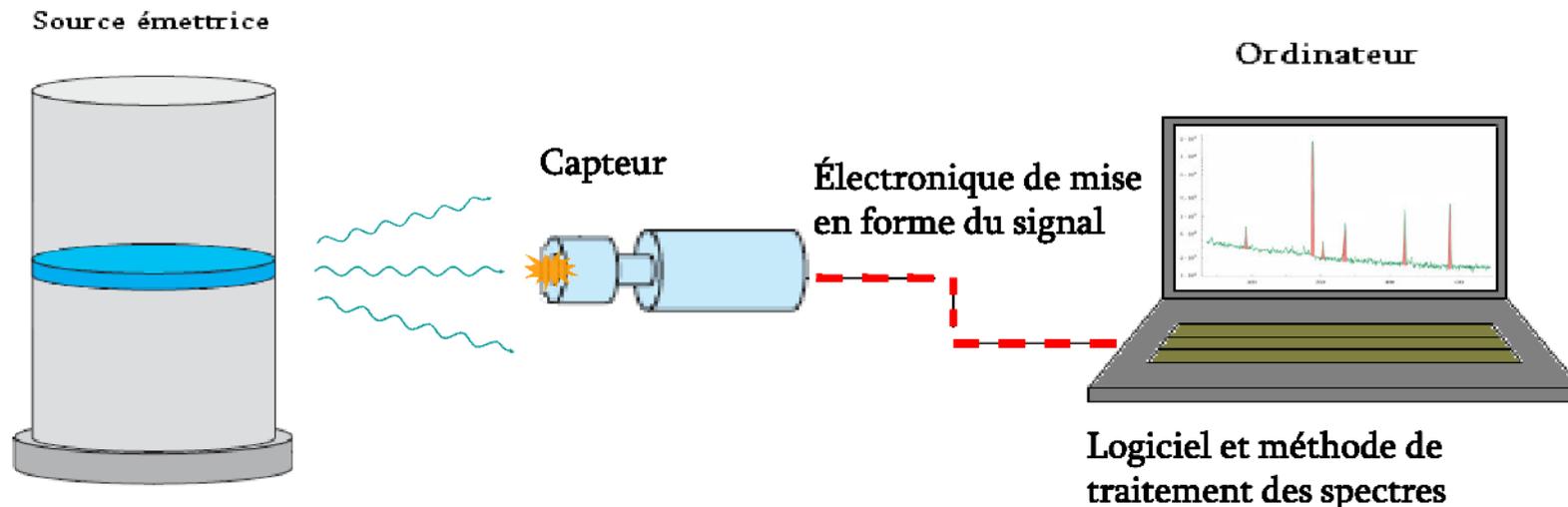
Dans quels buts ?

1. Répondre aux exigences des exutoires
2. Inventaire matière des installations
3. Respecter les règles de criticité/sureté des installations

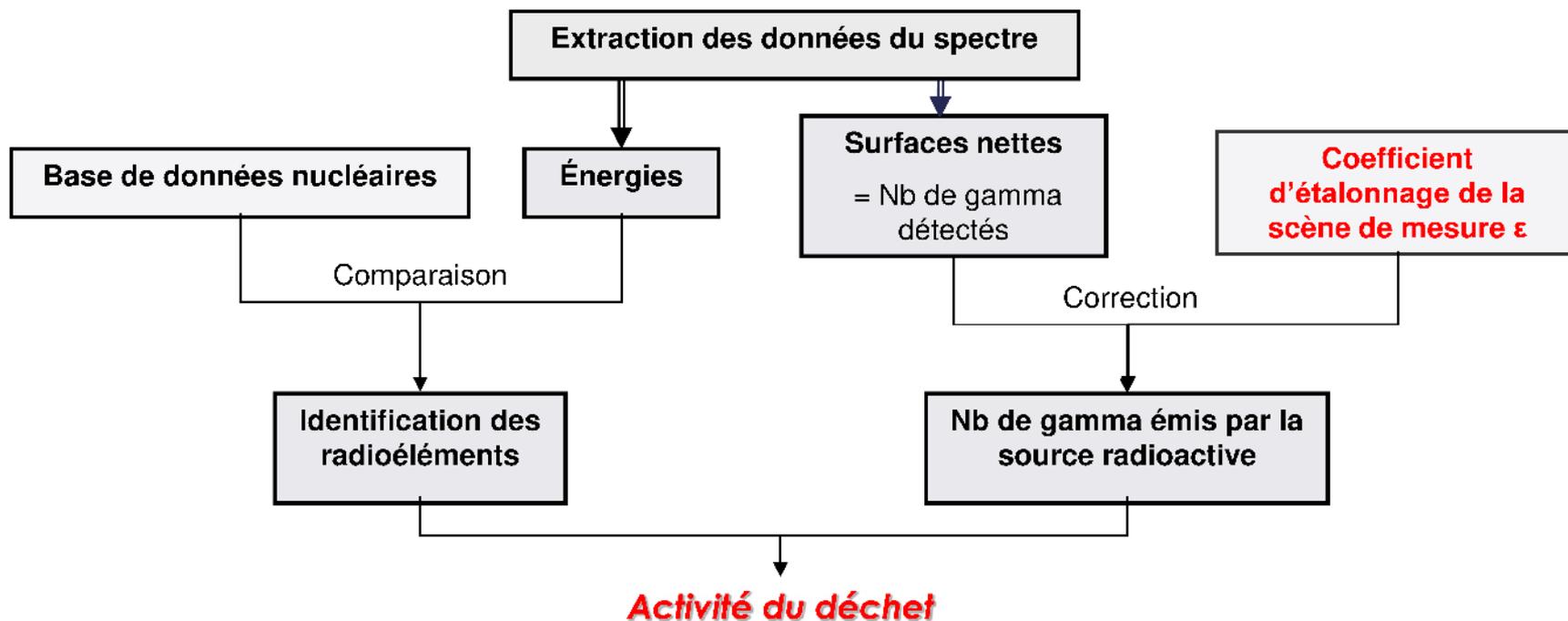
Quel moyen ?

Contrôle Non Destructif par Spectrométrie Gamma

Moyen expérimental : Spectrométrie gamma



Traitement d'un spectre gamma



$$A = \frac{S(E)}{\varepsilon(E) \times T \times I(E)}$$

A : Activité (Bq)

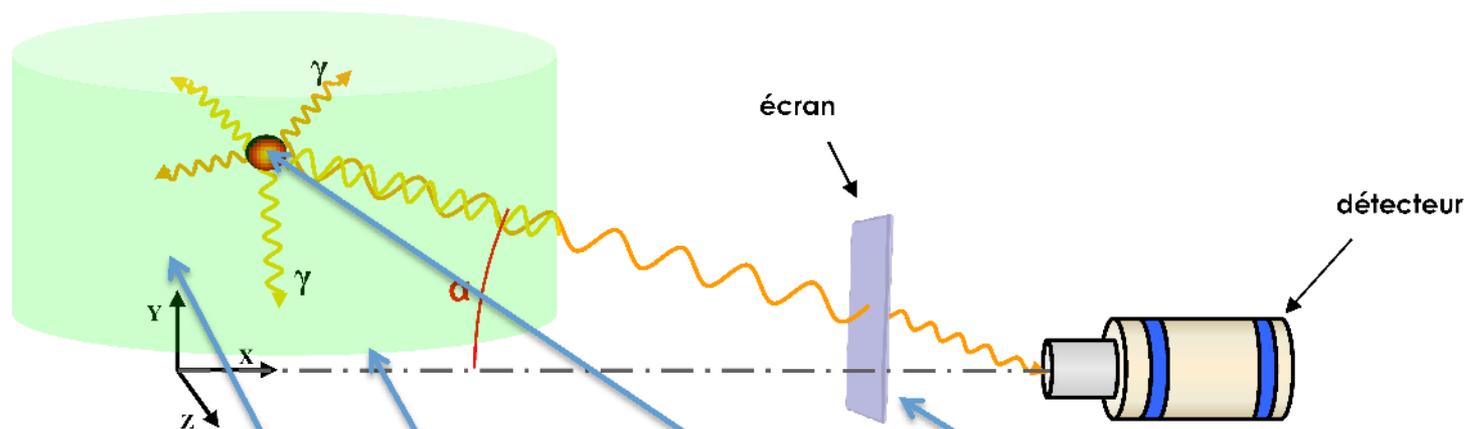
S(E) : Surface nette des pics (Nb de coups)

I(E) : Intensité taux d'émission du rayonnement

T : Temps de mesure (s)

$\varepsilon(E)$: Coefficient d'étalonnage de la scène de mesure

ε Coefficient d'étalonnage de la scène de mesure



$$\varepsilon(E_i) = C_{Mat}(E_i) \cdot C_{géo}(E_i) \cdot C_{Autoatt}(E_i) \cdot C_{écran}(E_i) \cdot \varepsilon_{détecteur}(E_i)$$

Propre à chaque objet mesuré

Propre à chaque détecteur

→ Unique pour chaque scène de mesure

→ Nécessite de connaître tous les coefficients pour ε

Etat de l'art du coefficient d'étalonnage de la scène de mesure

Métrologie classique

Confection d'étalons

→ impossible pour ce type d'objets

- Objets complexes
- Uniques
- Non reproductibles

Modélisation

Modélisation de l'objet

- Besoins des paramètres géométriques, physico-chimiques et radiologiques de l'objet
- Techniques associées complexes (RX, Thomodensitométrie,...)

Réponse numérique du détecteur

- Schéma non communiqué (fabricant)

Principaux inconvénients

- Fortement dépendant des hypothèses de l'opérateur
- Temps de traitement long

Principe

Modéliser une géométrie équivalente de l'objet en terme d'atténuation photonique par code de calcul

Avantages

- Pas de connaissance a priori de l'objet
- Pas d'hypothèses de l'opérateur
- Automatique

Remplacer le code de calcul par un métamodèle

Avantages

- Rapide (calcul analytique)
- Validité entre les bornes du domaine de définition
- Alerte hors domaine

Obtention du métamodèle pour ε

Étape 1 : Réduction du nombre de paramètres

- Énergie
- Densité
- dimension géométrique
- Matériaux (air, vinyl, fer,...) (6)

→ Paramètres mixtes : continus et catégoriels (Matériaux)

Étape 2 : Choix d'un métamodèle acceptant les entrées mixtes

Ex : régression linéaire, arbres, splines (Acosso), arbres de Gramacy

Étape 3 : Plan d'expériences → Simulation → Apprentissage métamodèle

Étape 4 : Validation du meilleur métamodèle

Ex : validation croisée

Principe de quantification

1) Obtention du métamodèle pour une géométrie donnée,

Ex : Sphère, cylindre, parallélépipède

2) Détermination de toutes les valeurs de ε suivant une discrétisation du domaine de définition

Ex : configuration $(E_i, \rho_j, R_k, Mat_L) \rightarrow \varepsilon^{\text{métamodèle}}(E_i, \rho_j, R_k, Mat_L)$

3) Calcul de toutes les activités pour chaque configuration ε ,

→ Utilisation de multi émetteur gamma

4) Choix de la meilleure configuration suivant différents critères,

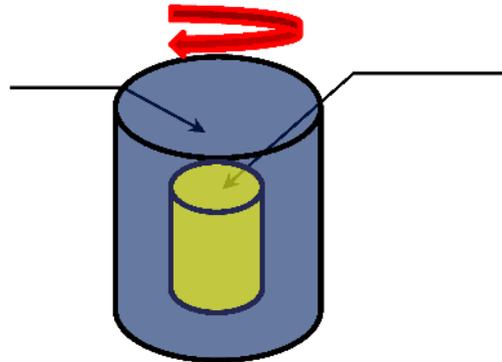
- Physique
- Métrologique
- Statistique

→ **Activité/Masse évaluée**

Pilulier standard

Données expérimentales

Cylindre PVC
 $V=125\text{cm}^3$
 $M=100\text{g}$
 $\rho=0,8$



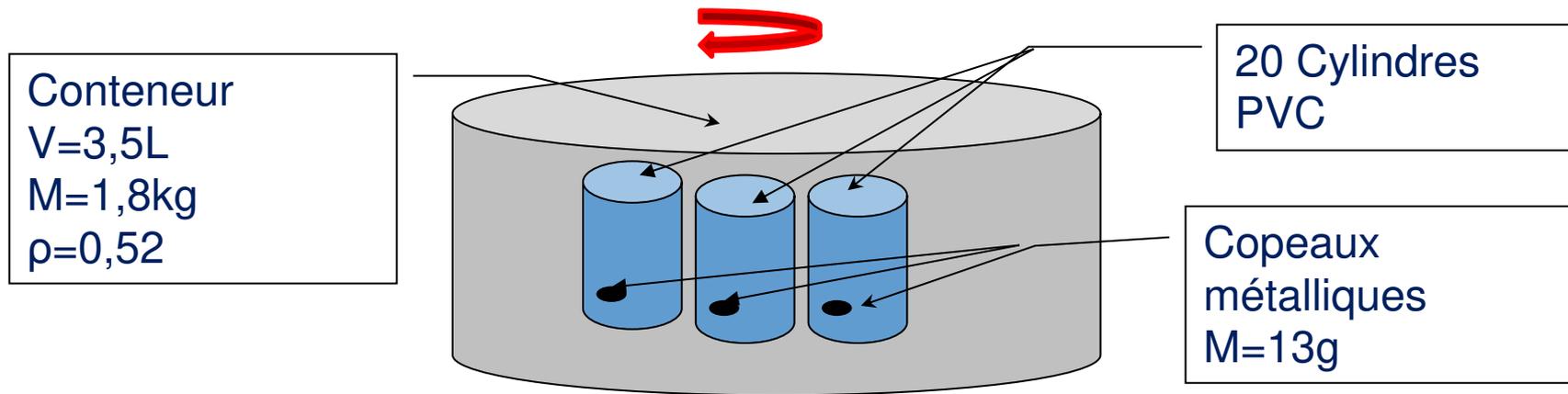
Cellulose
 $m=0,372\text{g}$

Résultats

Géométrie	Masse de Pu (g)	écart (%)
Sphère	0,384	3,22
Cylindre	0,386	3,76
Parallélépipède	0,414	11,2

Colis avec matrice hétérogène et présence d'autoprotection

Données expérimentales

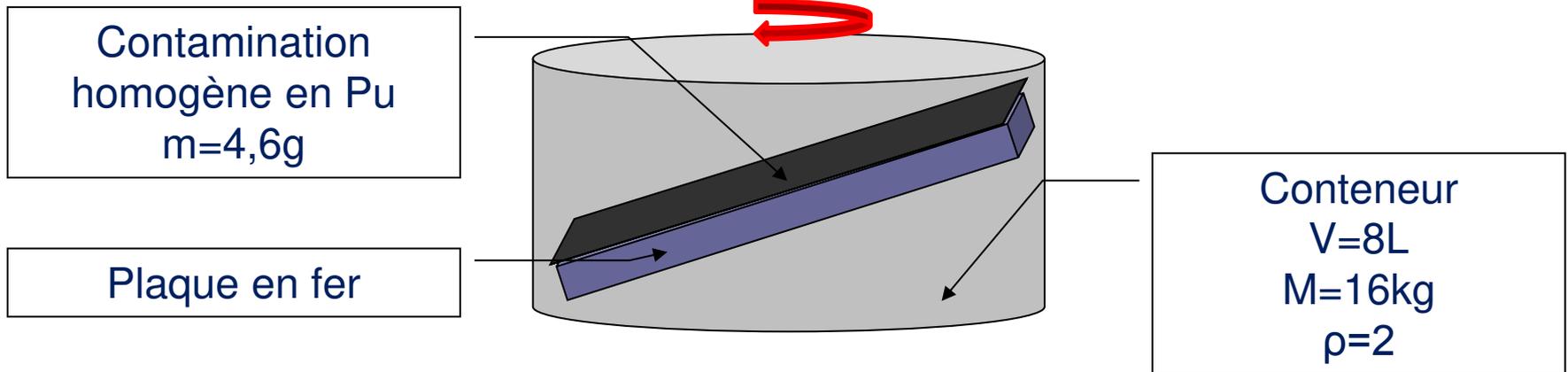


Résultats

Géométrie	Masse de Pu (g)	Écart (%)
Sphère	8,28	-36
Cylindre	13,87	6,7
Parallélépipède	10,5	-19,3

Colis avec matrice hétérogène et forte atténuation

Données expérimentales



Résultats

Géométrie	Masse de Pu (g)	Écart (%)
Sphère	Pas de convergence	Pas de convergence
Cylindre	6,22	35,21
Parallélépipède	5,24	13,9

Conclusions

- Métamodèle avec entrées mixtes approxime bien le code de calcul (MCNP) (90%)
- Calcul automatisé de ε
- Calcul automatisé de Activité/Masse
- Bonne convergence sur 2 objets expérimentaux (modèle cylindre)

Plus values de cette méthode

- Sans hypothèse de l'opérateur
- Automatique
- Temps de calcul faible (<1h)

Perspectives

- Développement du krigeage catégoriel
- Prédiction des incertitudes associées
- Définition d'une nouvelle configuration géométrique
- Couvrir tous les objets possible (fûts)

Merci pour votre attention

Avez vous des questions?

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Valduc | 21000 Is-sur-Tille
T. +33 (0)1 XX XX XX XX | F. +33 (0)1 XX XX XX XX

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019