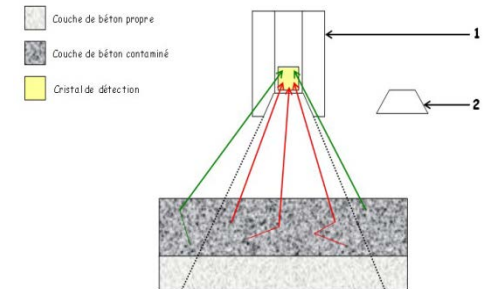
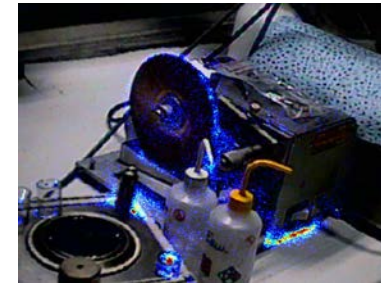
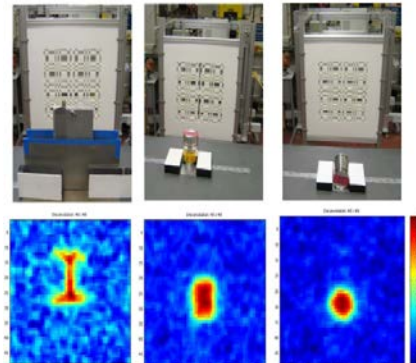


INB et chantiers en A/D : développement d'outils innovants pour la caractérisation radiologique in situ.



Problématiques et verrous technologiques en MN non destructive pour l'A/D:

- Amélioration de la connaissance du terme source (localisation spatiale, quantification) ; 1
- Mesurer in situ rapidement, efficacement avec un coût réduit les radionucléides émetteurs β - et α (spectre-type) ; 2
- Fiabiliser les mesures non destructives pour réduire les prélèvements in situ ; 3

Problématiques et perspectives :

Imagerie alpha / gamma

Imageur neutron portable

1

Mesure portable d'émetteurs β^- de type ^{90}Sr

Spectrométrie alpha in situ

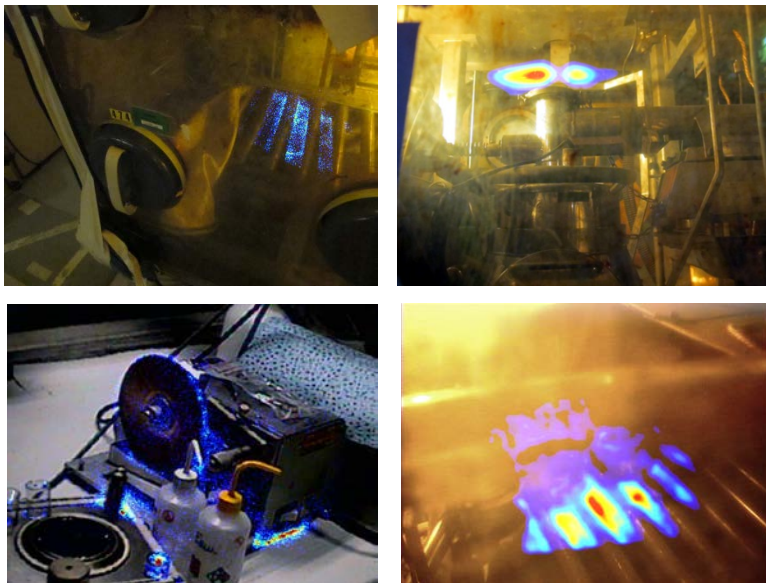
2

Mesure non destructive dans les matrices béton

3

Alpha Caméra

Localisation de zone de contamination alpha
Mesure à distance et à travers matériaux translucides
Système portable et compact (< 2kg)

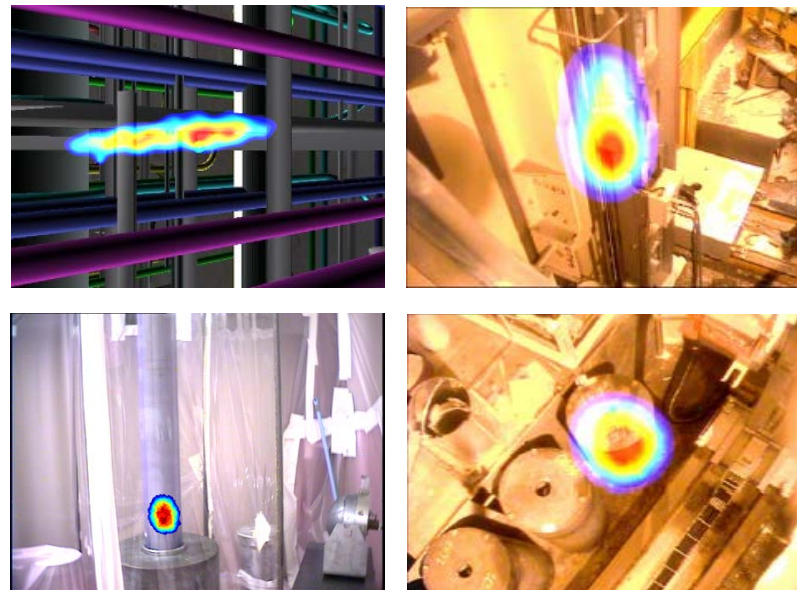


Cartographies initiales (ex. Boîte à gants)
 Suivi de décontamination

Localisation et
 quantification de l'activité
 surfacique

Gamma Caméra

Localisation de points chauds irradiants gamma
Mesure à distance
Système portable de poids variable (blindage)

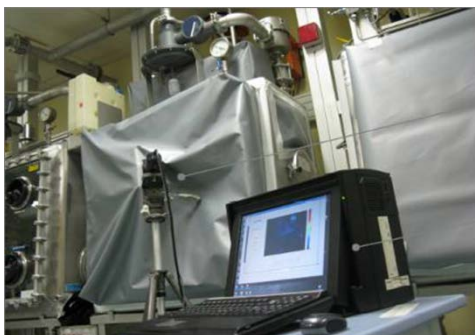
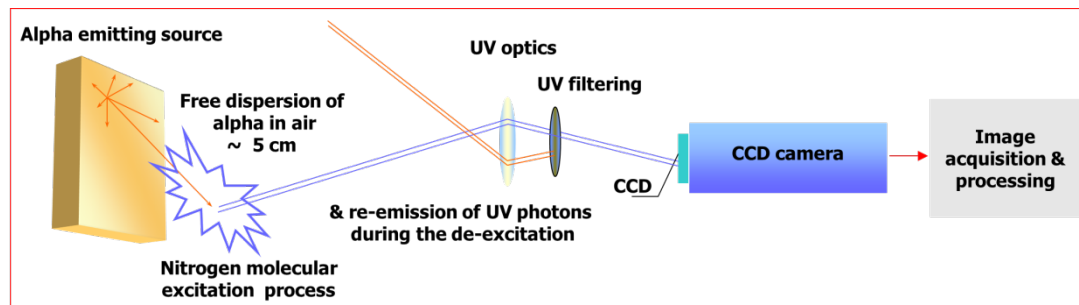


Cartographies initiales
 Suivi d'assainissement
 Maintenance

Localisation et quantification de l'activité du point chaud
 Couplage à la spectrométrie gamma collimatée + laser pour
 l'identification des radioéléments

- **Enjeu** : Optimisation scénarios A&D (radioprotection, catégorisation déchets, sûreté/criticité)
- **Besoin** : Meilleure connaissance de l'activité et de la localisation du terme source alpha : besoin d'un système portable compact, sensible avec une grande dynamique de mesure et une bonne résolution spatiale
- **Principe**

- ❖ Localisation de zones de contamination α via la radioluminescence UV du N_2 de l'air
- ❖ Mesure à distance et à travers matériaux translucides (principalement BAG)
- ❖ Système portable et compact (< 2kg)
- ❖ Nécessite mesure dans l'obscurité

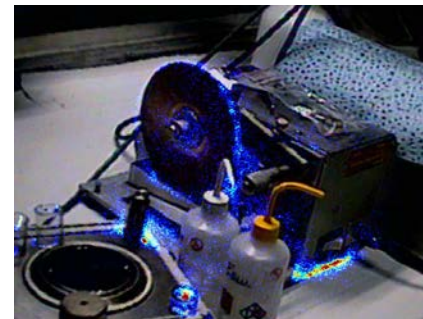


➤ **Performances**

- ❖ Très bonne résolution spatiale
- ❖ Localisation de sources Pu/U/Am ($A > 100 \text{ Bq/cm}^2$) en quelques minutes
- ❖ Etat initial et suivi de décontamination



Mesure AtPu

Mesure Atalante
(contamination AmUOx) | PAGE 5

➤ **Perspectives :**

- ❖ Optimisation SNR en condition de mesures in situ (pollution lumineuse) par exemple par ajout de filtres ;
- ❖ Quantification du terme source
- ❖ 1^{ère} version en voie d'industrialisation

- **Enjeu** : Optimisation scénarios A&D (radioprotection, catégorisation déchets, sûreté/criticité)
- **Besoin** : Meilleure connaissance de l'activité et de la localisation du terme source alpha et gamma : besoin d'un système portable compact, sensible avec une grande dynamique de mesure et polyvalent (alpha et gamma) répondant à la plupart des besoins dans l'industrie nucléaire (équipements sur pieds, BAG, cellule chaude, procédés, colis de déchets, etc)
- **Principe**



➤ **Performances**

- ❖ Démonstration de la faisabilité du concept en laboratoire

➤ **Perspectives :**

- ❖ Objectif : atteindre des performances en mode alpha et gamma équivalentes au proto alpha caméra et à ALADIN en terme de résolution spatiale et de sensibilité
- ❖ Optimisation de la quantification du terme source en mode alpha (études paramétriques)
- ❖ 2016 : Financement du Fonds de Soutien Technologique

Enjeux :

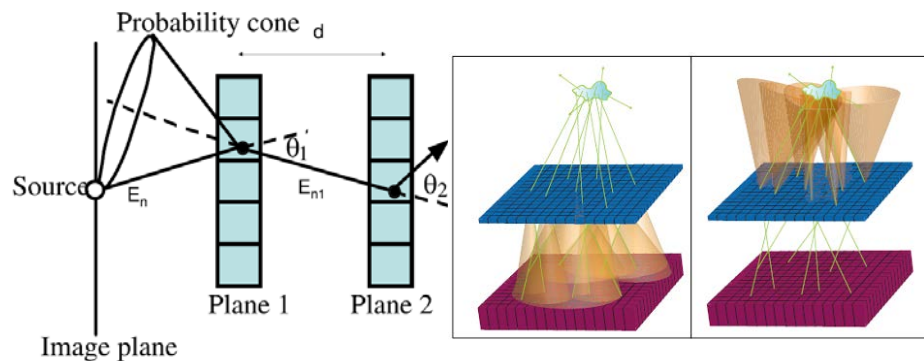
- Comptabilité matière nucléaire dans les installations (AtPu, Melox, ...)
- Caractérisation des déchets anciens et équipements contaminés avec de la matière fissile ;
- Criticité sûreté ;
- Vient en complément des méthodes existante pour la localisation de la zone d'émission des neutrons (α, n)

Technologie à rétrodiffusion

✓ La conservation de moment et de l'énergie de la collision entre un neutron incident et un proton du détecteur (EJ309)

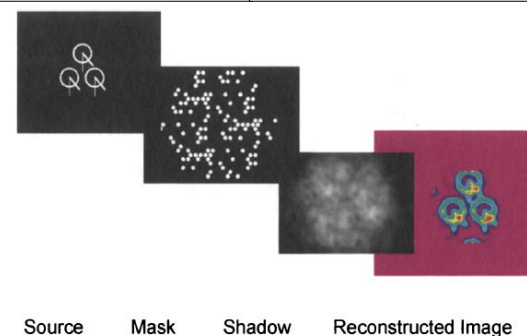
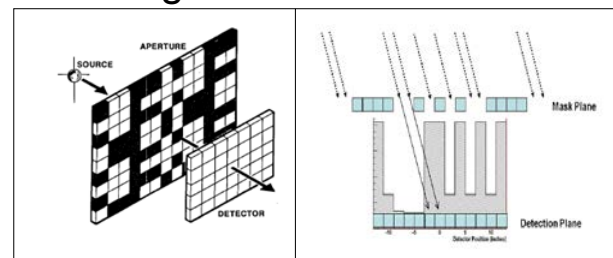
$$\tan^2 \theta_1 = \frac{E_p}{E_{n1}}$$

$$E_{n1} = \frac{m}{2} \left(\frac{d}{TOF} \right)^2$$



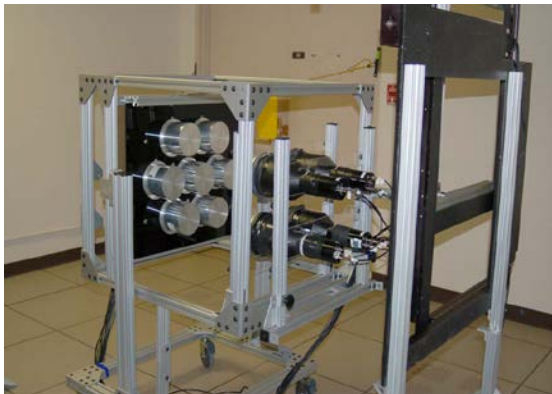
Technologie des masques codés

✓ Réglage de l'épaisseur du masque et le nombre de rangs bon contraste.

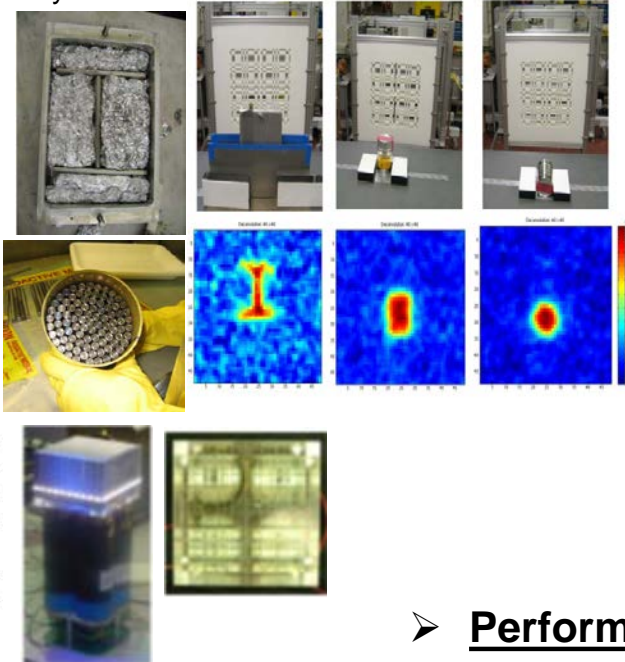


Source Mask Shadow Reconstructed Image

SANDIA

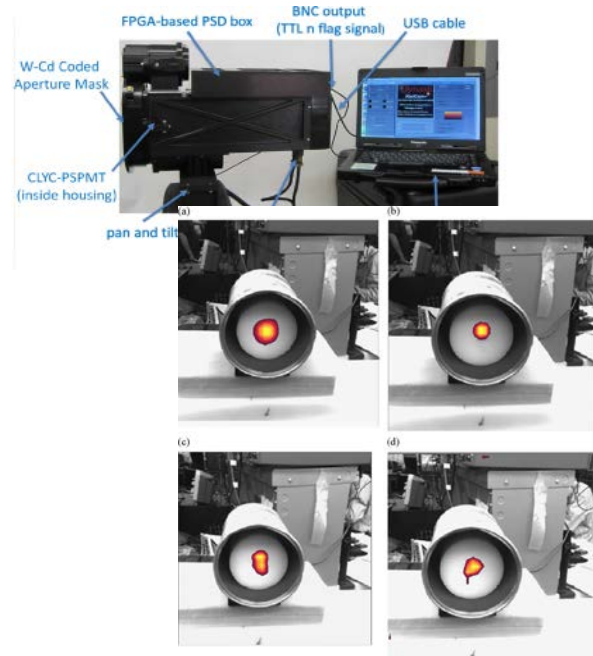


"I" et flacon de crayons PuOx



ORNL

RadCamII

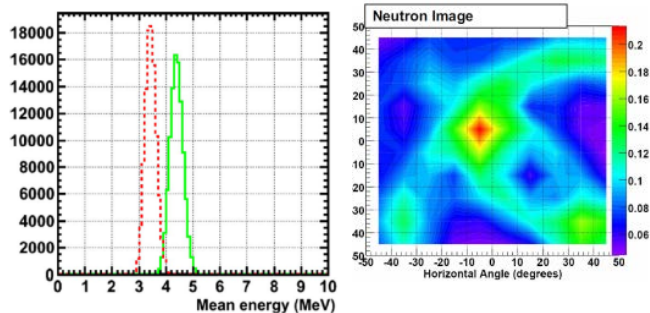


➤ Performances actuelles

Technologie masque codé retenue

Radcam II :

- ❖ bonne compacité et résolution spatiale
- ❖ Sensibilité médiocre



➤ Verrous :

- ❖ Compromis Sensibilité vs compacité
- ❖ Fonction duale n/ γ

➤ Perspectives

- ❖ Sujet retenu ANR/Andra (projet IGAN)
- ❖ Thèse en collab. Avec DRT/LIST (T2-2016)
- ❖ Collaboration académique IPHC Strasbourg (CNRS-Université)

Principe de la mesure:

- Mesure en deux temps:
 - Mesure principale (sans cache): $\beta^- + \gamma$
 - Mesure auxiliaire (avec cache): γ seuls
 - Soustraction des 2 spectres: obtention β^-

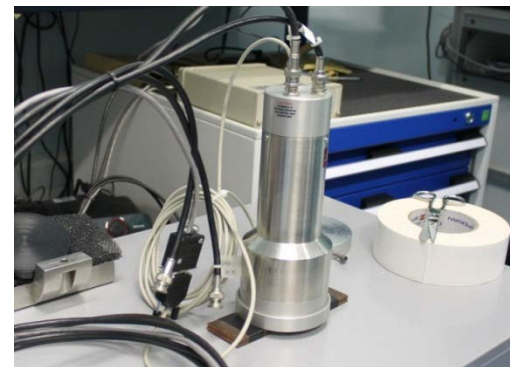
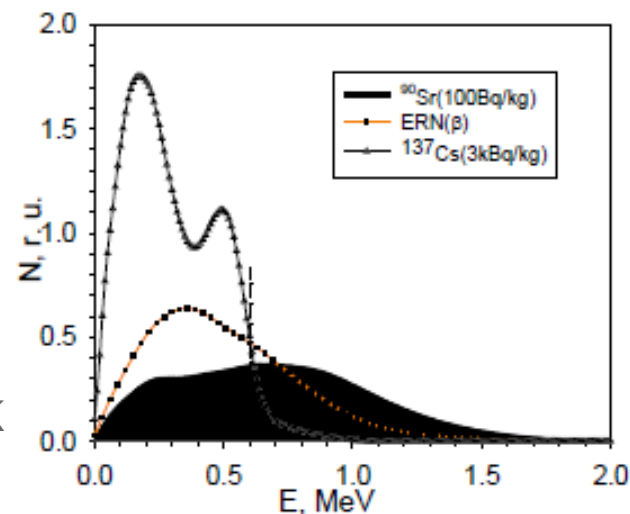
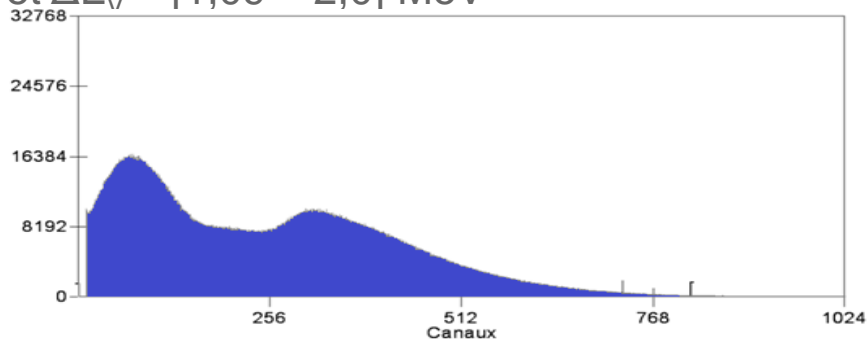
- Prise en compte des signaux perturbant la mesure:
 - β^- de hautes E émis par les RNN: U, Th et ^{40}K
 - β^- émis par le ^{137}Cs et/ou le ^{60}Co

- Au final, Activité du ^{90}Sr :

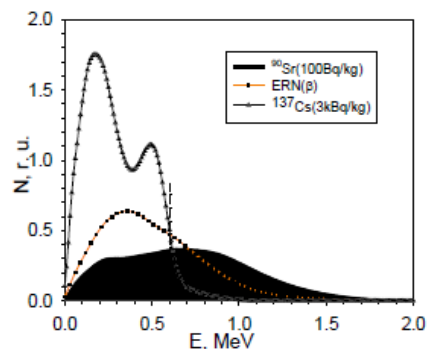
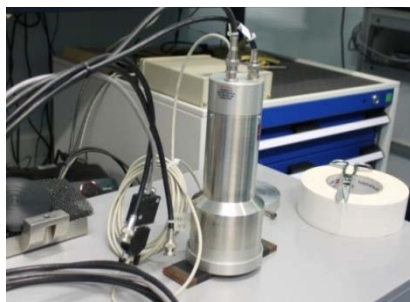
$$A_{\text{Sr}} = \{ [N_{e\gamma}(\Delta E_e) - N_{\gamma}(\Delta E_e)] - [\sigma^* N_{\gamma}(\Delta E_{\gamma}) + \Delta\sigma_{\gamma} N_{\gamma}^U] \} \times C$$

■ avec $\Delta E_{e1} = [0,9 - 2,0]$ MeV ou $\Delta E_{e2} = [1,2 - 2,0]$ MeV

■ et $\Delta E_{\nu} = [1,09 - 2,0]$ MeV

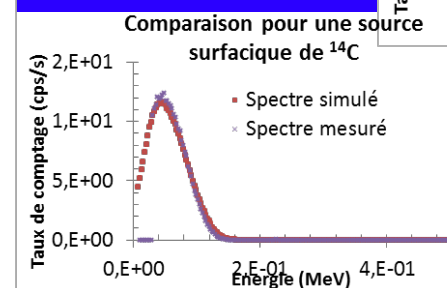
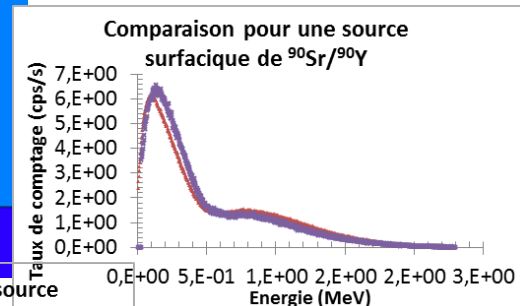
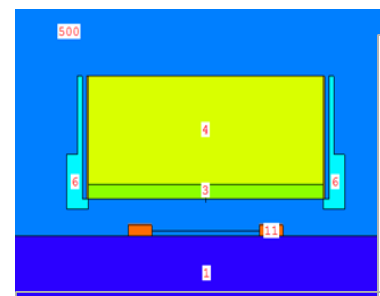


- **Enjeu** : Optimisation scénarios A&D (radioprotection, catégorisation déchets, sûreté)
- **Besoin** : Meilleure connaissance de l'activité et de la répartition des RN difficilement mesurables (émetteurs bêta purs tel que le ^{90}Sr) d'une INB, élaboration et validation des spectres types, optimisation du plan d'échantillonnage (géostatistique) : besoin d'un système portable compact avec une bonne sensibilité
- **Principe**
 - ❖ Collaboration avec NRC Kurchatov Institute
 - ❖ Mesures ND : spectrométrie bêta avec détecteur scintillateur plastique
 - ❖ Prise en compte du signal parasite gamma (mesure avec et sans cache aluminium)
 - ❖ Simulation MC de réponses du détecteur : détermination de fonctions de transfert
- **Performances**
 - ❖ Système simple, portable, léger (<2 kg)
 - ❖ LD $\approx 0,2$ Bq/g en 2x10 min de comptage
 - ❖ Système qualifié en laboratoire sur des sources étalons (géométrie du terme source maîtrisée)
 - ❖ Premières mesures sur échantillons historiques de FAR : estimation activité ^{90}Sr avec une incertitude < 30%



➤ Perspectives :

- ❖ Qualification in situ : validation avec mesures destructives
- ❖ Améliorer la sensibilité du système et réduire les incertitudes de mesures,
- ❖ Application à d'autres émetteurs bêta purs : ^{14}C dans les graphite



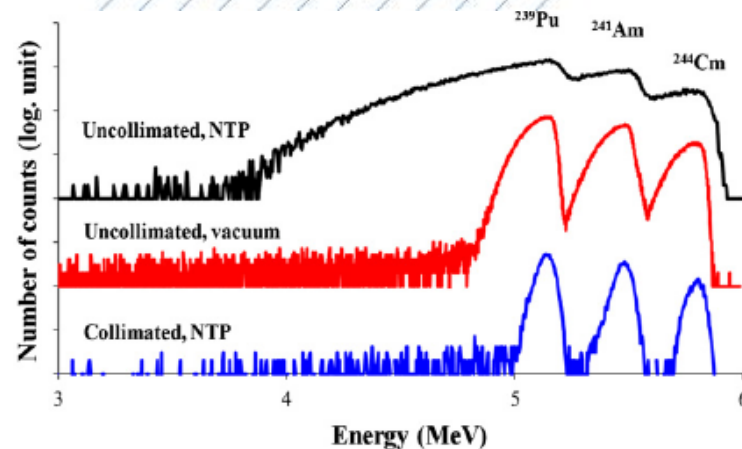
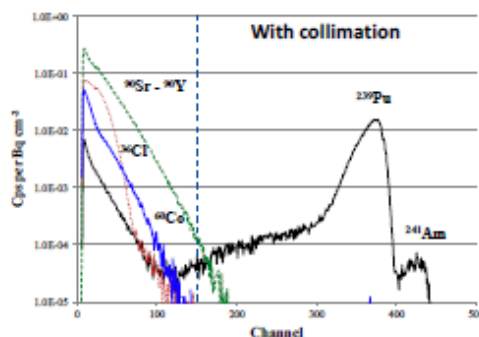
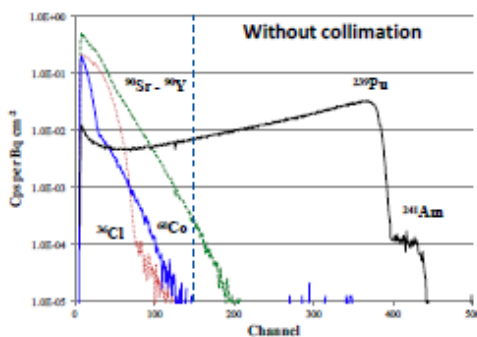
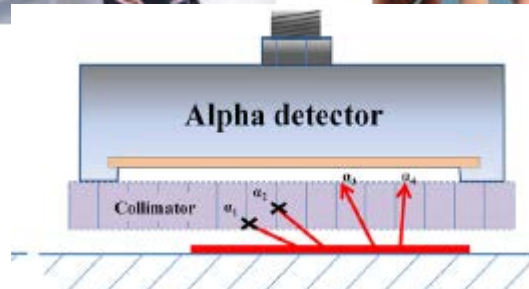
Verrous :

- Difficulté de mesure ;
- Conditions in situ (pression normale, t° ambiante);
- Analyse fiable des données (déconvolution spectrométrique)

Sensibilité

Applications :

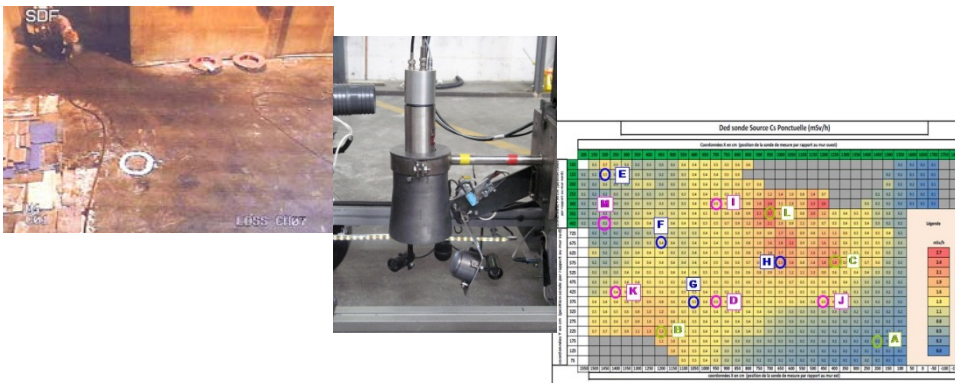
- Diagnostic contamination alpha (identification RN) ;
- Quantification...



- **Enjeu** : Optimisation scénarios A&D (radioprotection, catégorisation déchets, sûreté), déclassement
- **Besoin** : Meilleure connaissance de l'activité et de la répartition de la contamination dans le génie civil d'une INB, optimisation du plan d'échantillonnage (géostatistique) : besoin d'un système portable compact avec une bonne sensibilité et une grande dynamique de mesure

➤ Principe

- ❖ Collaboration avec NRC Kurchatov Institute
- ❖ Mesures ND : spectrométrie gamma collimatées en surface
- ❖ Méthode du ratio pic/Compton (^{137}Cs) en fonction de la profondeur de contamination
- ❖ Hypothèse sur le profil de contamination exponentielle
- ❖ Simulation MC de réponses du détecteur : détermination de courbes d'étalonnage en fonction de la profondeur de contamination

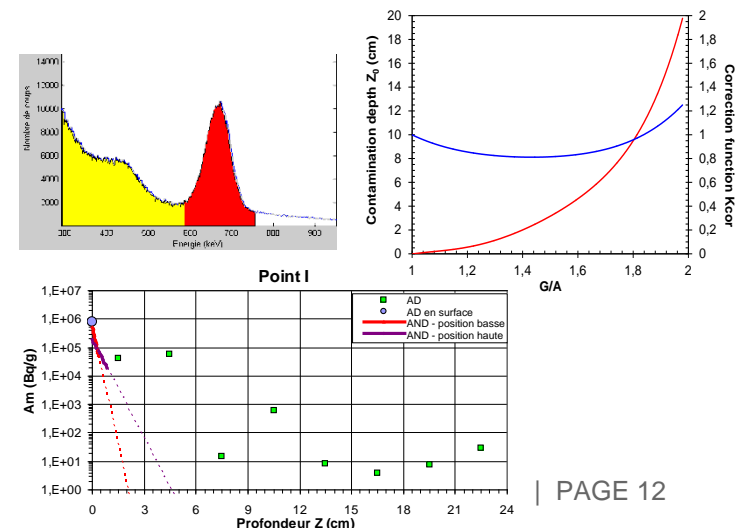


➤ Perspectives :

- ❖ En cours : valorisation de la méthodologie (ENGIE/LABORELEC)
- ❖ Couplage avec la géostatistique : optimisation du plan d'échantillonnage
- ❖ Application à d'autres émetteurs gamma

➤ Performances

- ❖ Niveaux de contamination : du Bq/g à plusieurs 100 Bq/g
- ❖ Détermination d'une profondeur de contamination contenant plus de 80% de l'activité totale
- ❖ Applicable à différents types de détecteurs (NaI, GeHP, LaBr₃)
- ❖ Qualification sur chantier Mar200 (UP1) : validation avec mesures destructives



Problématiques et verrous technologiques en MN non destructive pour l'A/D : de nombreux défis à relever et développements futurs à prévoir

- Techniques d'imagerie alpha, gamma, neutron: compacité, sensibilité, résolution spatiale => meilleure localisation du terme source.
- Techniques de spectrométrie β - et alpha in situ : sensibilité, traitement des données => diagnostic rapide des émetteurs β - et alpha
- Spectrométrie gamma couplée à la modélisation Monte Carlo : meilleure connaissance de la migration des RN. Etendre les méthodes à + de RN et automatiser les traitements numériques.

Merci pour votre attention

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Direction de l'énergie nucléaire

Etablissement public à caractère industriel et commercial | R.C.S Paris B 775 685 019