

Faire avancer la sûreté nucléaire

Développement de la mesure par spectrométrie gamma en coincidence

Hugues Paradis ¹

Anne de Vismes Ott ¹

Xavier Cagnat ¹

Fabrice Piquemal ²

Rodolfo Gurriaran ¹

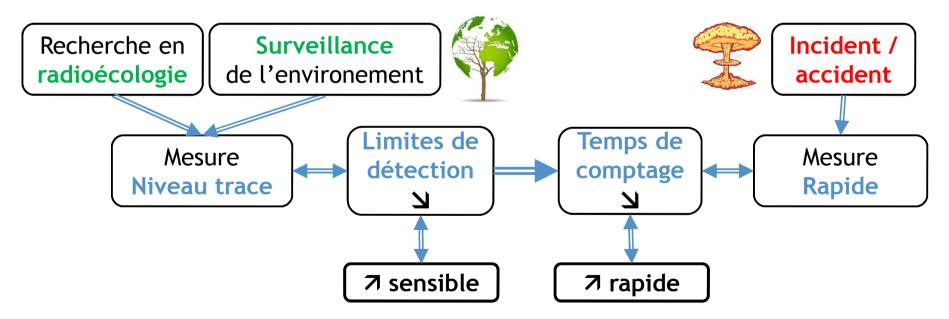
¹ IRSN, ² CENBG

SFRP, Reims, 18 juin 2015

Introduction

Contexte

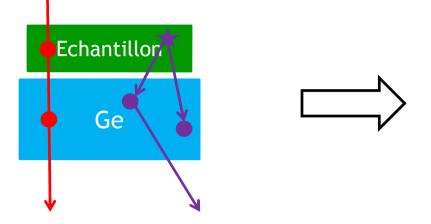
- Laboratoire de Mesure de la Radioactivité dans l'Environnement
- Echantillons: matrices biologiques, sols, filtre aérosol, eau, ...
- Quels radionucléides ?
 - Présents dans l'environnement (installations nucléaire, essais atmosphériques, accidents, ...): ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag, ¹³⁷Cs,...
 - Potentiellement rejetés en cas d'incident ou d'accident: 131, 134Cs,...

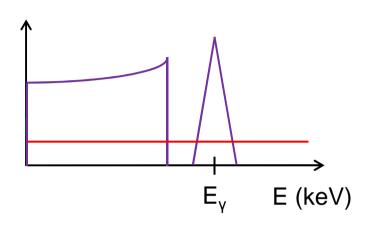


Amélioration continue des moyens et des méthodes de mesure.

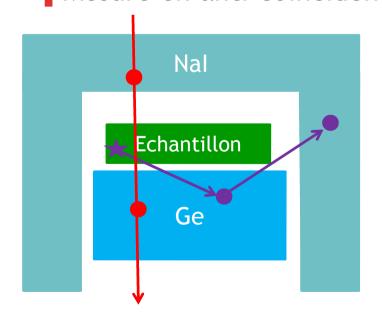
Spectrométrie gamma : diminution du fond

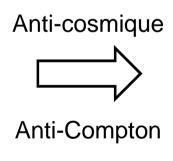
Composition principale d'un spectre (2 γ dans l'échantillon):

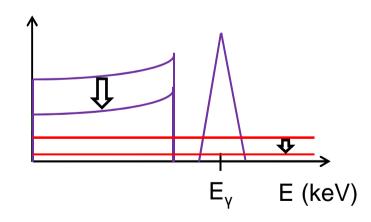




Mesure en anti-coïncidence





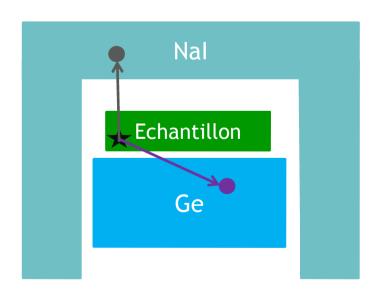


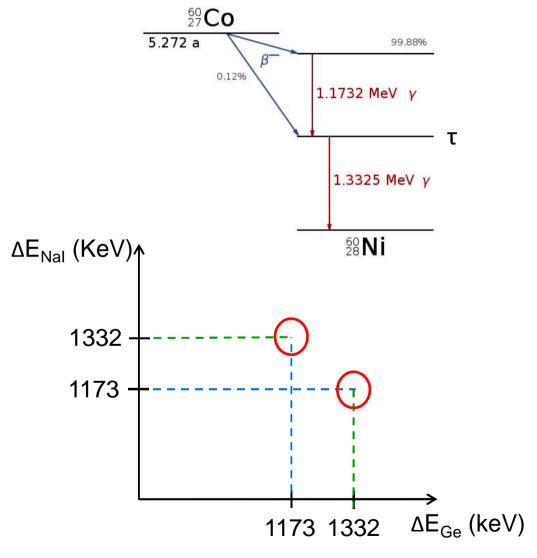
Spectrométrie gamma : méthode de mesure en coïncidence

Pour les émetteurs en coïncidence impossible d'utiliser le système anti-coïncidence : perte d'évènements !

> Mesure en coincidence

- Emission de photons en cascade (τ très faible)
- Phénomène de coïncidence
- Signature d'un radionucléide





Système anti-Compton: matériel

- Détecteurs bas bruit de fond
 - Germanium coaxial hyper pur
 - Couronne Nal + bouchon Nal

Blindage bas bruit et sous sol du LMRE (dalle de 3 m de béton

boré)

Nal plug

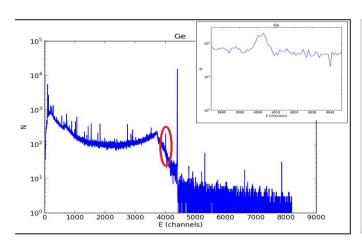
Nal annulus

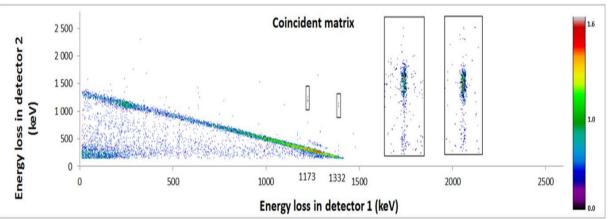
Crystal

Germanium

Système anti-Compton : matrice de coïncidences

- Electronique numérique
 - > Fichiers en mode liste.
- Développement d'un algorithme de lecture et d'analyse
 - > Tracé de la matrice de coïncidence.
- Exemple d'échantillon mesuré au laboratoire (matrice biologique→ ⁴⁰K ~ 1000 Bq/kg) avec recherche du ⁶⁰Co:



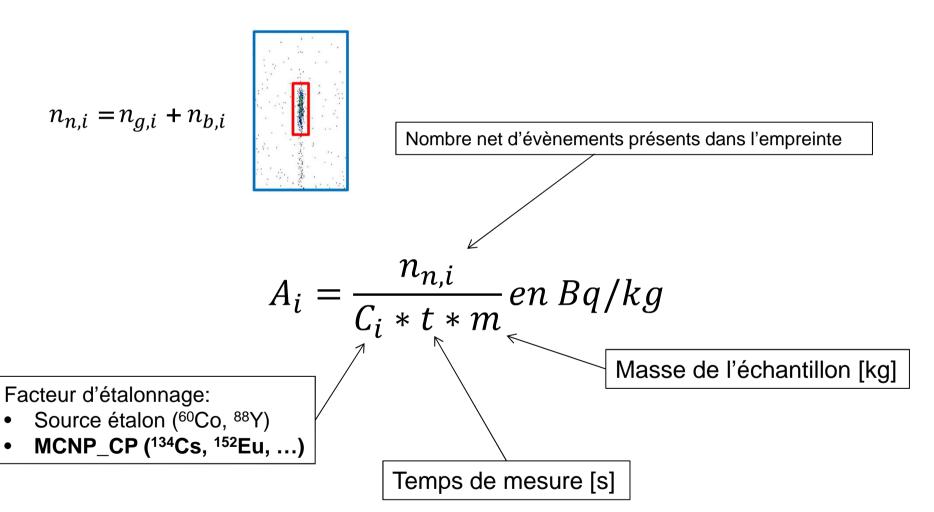


Rapport Signal sur Bruit ~ 0,8

RSB ~ 300

Système anti-Compton: calcul d'activité

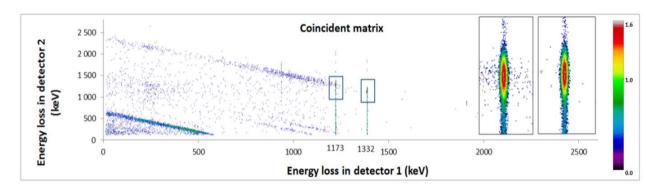
Détermination de la concentration en activité dans les échantillons:



Système anti-Compton: Etalonnage

Source étalon multi-gamma :

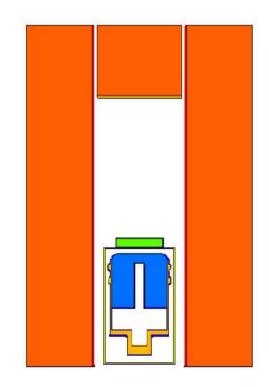
$$C_i = \frac{n_{n,i}(source)}{A(source).t(source)}$$



Simulation Monte Carlo:

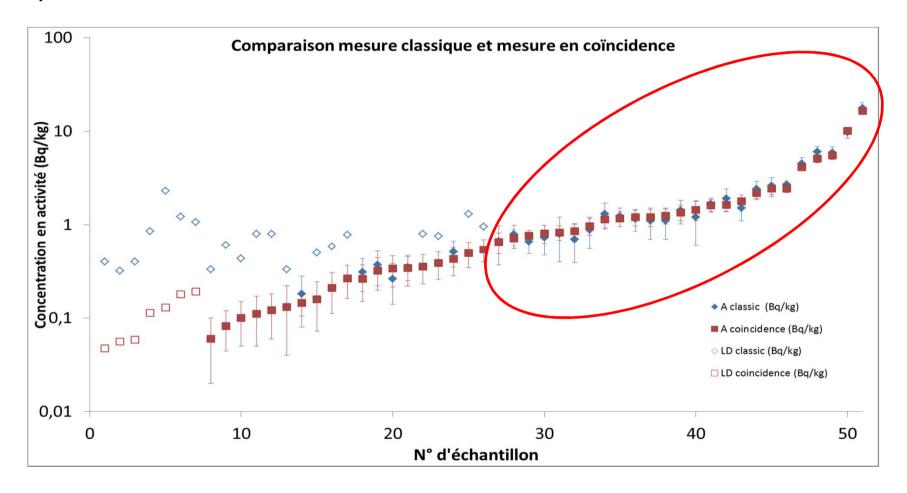
- MCNP_CP (Extension de MCNPX) (A. Berlizov)
 - → Simulation de la physique des schémas de désintégration
 - →Mode liste: même algorithme de traitement que pour les systèmes de mesure,

$$C_i(MCNP CP) = \frac{n_{n,i}(simulated \ matrix)}{NPS}$$



Système anti-Compton : mesure du 60Co dans des échantillons

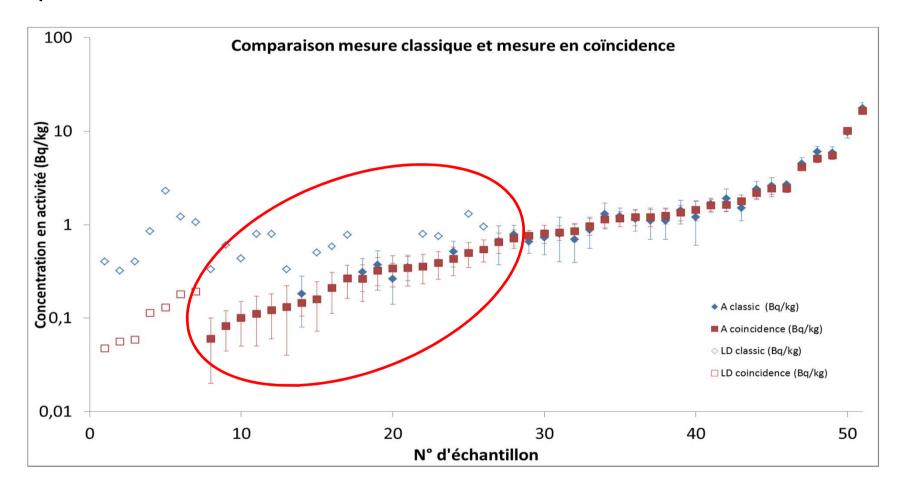
Echantillons mesurés en spectrométrie classique (référence) et en spectrométrie en coïncidence : recherche du ⁶⁰Co.



Très bon accord pour le calcul de l'activité massique.

Système anti-Compton : mesure du 60Co dans des échantillons

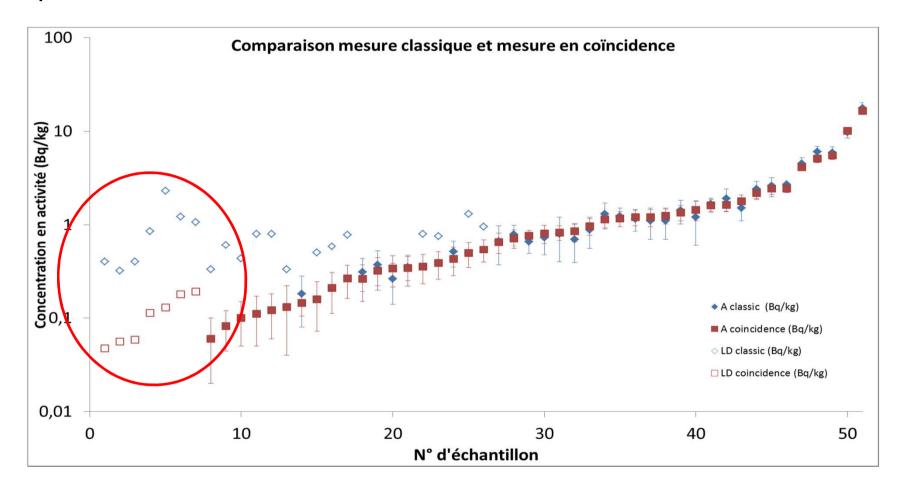
Echantillons mesurés en spectrométrie classique (référence) et en spectrométrie en coïncidence : recherche du ⁶⁰Co.



Echantillons en limite de détection => valeurs significatives.

Système anti-Compton : mesure du ⁶⁰Co dans des échantillons

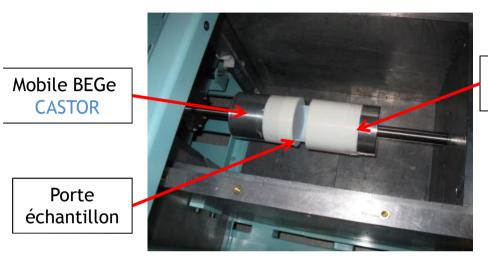
Echantillons mesurés en spectrométrie classique (référence) et en spectrométrie en coïncidence : recherche du ⁶⁰Co.



Limite de détection / 10.

LEDA

Conception par simulation Monte Carlo



Fixed BEGe POLLUX



Blindage en plomb (5 cm)

CLYTEMNESTRE

- Electronique numérique : mode liste
- Polyvalent
 - Coïncidence : Ge/Ge or Ge/Nal ; Matrices ou spectres
 - Anti-coïncidence : anti-cosmiques, anti-Compton

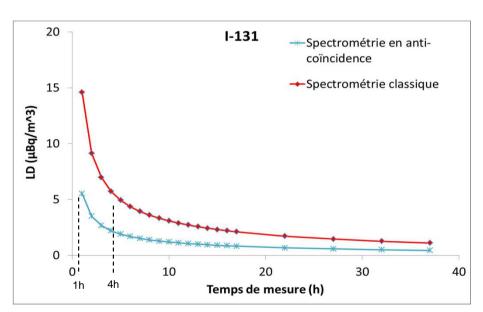


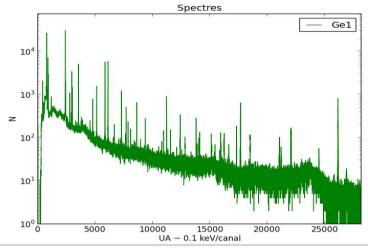
IRSN

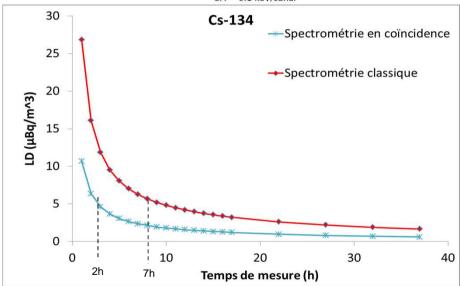
LEDA: mesure d'aérosol

Mesure d'un filtre aérosol

 Avant décroissance des descendants particulaires du radon



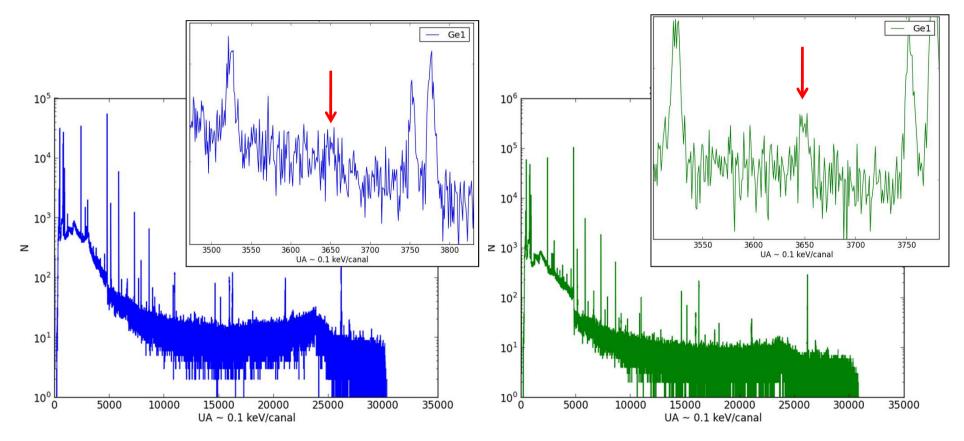




- ❖ Baisse des LD d'un facteur 3.
- **A** Mesure plus courtes: $4h \rightarrow 1h$, $7h \rightarrow 2h$.

LEDA: mesure d'aérosol

- Mesure de ¹³¹I sur filtre aérosol:
 - Prélevé à Orsay le 18/03/2015
 - Mesure le 20/03/15, 250 000 s



- ❖ Identification et quantification: 0,14 ± 0,09 µBq/m³.
- Limite de détection en spectrométrie classique : 0,5 μBq/m³

IRSN

Conclusion

- Développement de la méthode d'analyse par coïncidences
 - Algorithme
 - Etalonnage par simulation Monte Carlo
- Utilisation en routine sur le système anti-Compton
 - Baisse des limites de détection par un facteur 10 pour le ⁶⁰Co dans matrices biologiques
 - Système polyvalent :
 - Mesure d'émetteurs simples en voie anti-coïncidence
 - Mesure d'émetteurs en coïncidence
- Développement d'un nouveau système : Leda
 - Novateur : utilisation du mode liste et des matrices de coïncidences
 - Sensible : limite de détection / 3 à 30
 - Polyvalent : analyse simultanée de tout radionucléide émetteur γ

Merci pour votre attention

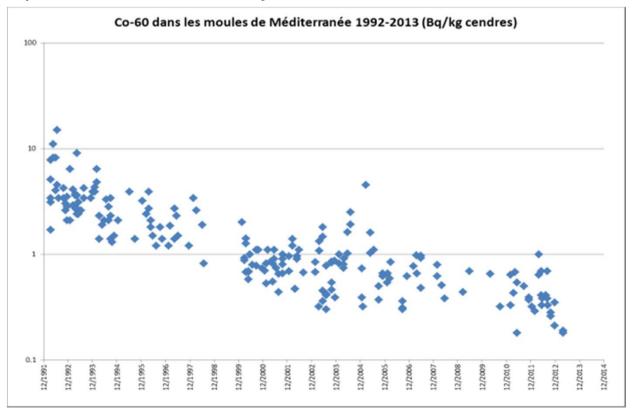


Leda et le cygne, Cesare da Sesto

Annexes

Contexte des mesures

- Expertise et recherche en radioécologie
 - Etude de transfert de la radioactivité d'un compartiment de l'environnement à un autre
 - Validation de modèles de dispersion de la radioactivité
 - Exemple : Suivi du ⁶⁰Co des rejets en Manche ou en Méditerranée

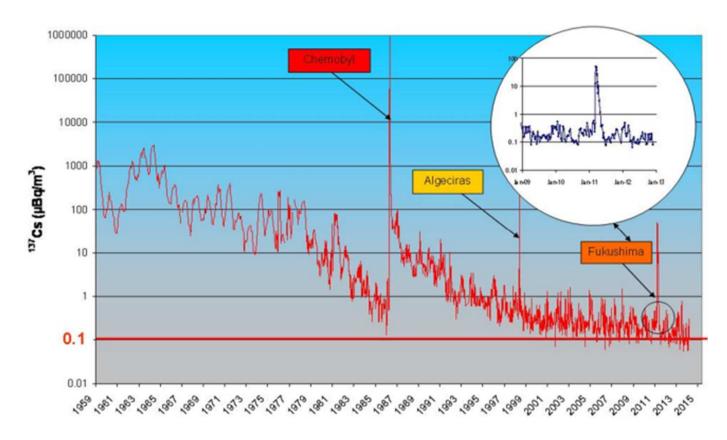


PRP-ENV/SESURE/LERCM - La Seyne

Contexte des mesures

■ Surveillance de l'environnement

- Connaissance du niveau « de base » de la radioactivité artificielle dans l'environnement
 - Exemple : Activité dans les filtres d'aérosols

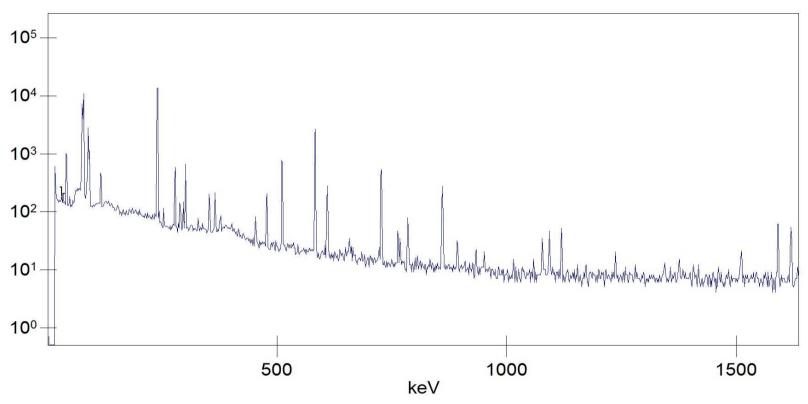


PRP-ENV/SESURE/LERCM - Cadarache

Contexte des mesures

Incident / accident

- Détection d'incident même de faible ampleur ou d'un accident plus grave mais plus éloigné
- Aide à la détermination **précise** et **rapide** du terme source en cas de rejets



Filtre aérosol Orsay durant Fukushima (129Te, 129mTe, 131I, 132I, 132Te, 134Cs, 136Cs, 137Cs)

Emetteurs en coincidence

Emetteur	Période	Energie γ1 (keV)	Energie γ2 (keV)
²² Na	2,6ans	511	1274
⁶⁰ Co	272jrs	1173	1332
⁸⁸ Y	107jours	898	1836
^{108m} Ag	438ans	614	722
^{110m} Ag	250jrs	658	885
		658	1505
		885	937
		885	1384
¹²⁴ Sb	60jrs	603	1691
¹³²	2,3h (équilibre avec ¹³² Te)	668	773
¹³⁴ Cs	2ans	604	795
¹³⁶ Cs	13jrs	818	1048
¹⁴⁰ La	40h (équilibre avec ¹⁴⁰ Ba)	487	1596
		816	1596
¹⁵² Eu	8,6ans	121	1408
¹⁵⁴ Eu	8,6ans	123	1274
¹⁹² lr	79jrs	296	317
		317	468