

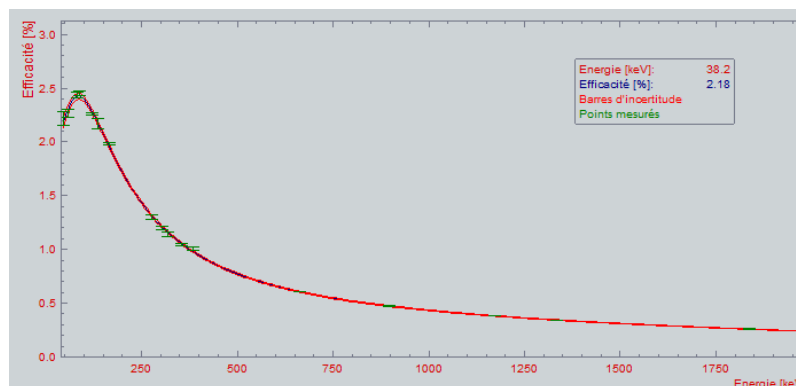
OFSP-IRA

# Intercomparaison en spectrométrie gamma 2024

Résultats

# Introduction

- **URA** (OFSP) : surveillance de la radioactivité dans l'environnement
- **IRA** : *Designated Institute* de l'unité d'activité (par METAS)
- Thème 2024 :
  - Solution de 4 radionucléides
  - Contrôle de l'étalonnage (5 points d'énergie)



# Introduction

- 24 laboratoires participants

| PARTICIPANTS |        |                  |           |
|--------------|--------|------------------|-----------|
| Aargau DGS   | KKB    | CERN HSE-RP      | OFSP/BAG  |
| Bern KL      | KKG    | IRA              | IFSN/ENSI |
| Basel KL     | KKL    | Labor Spiez      | SUVA      |
| Graubünden   | KKM    | PSI              |           |
| Luzern DILV  | Zwilag | hepia            |           |
| Ticino LC    |        | Dép. Forel UNIGe |           |
| Zürich KL    |        | EAWAG            |           |
| CVUA (D)     |        | Nestlé           |           |

# Introduction

- Installations de mesure

| DETECTEURS UTILISES | NOMBRE |
|---------------------|--------|
| HPGe type p         | 23     |
| HPGe type n         | 5      |
| HPGe à puits        | -      |

- Tous conviennent bien pour  $E_\gamma \geq 60$  keV*

# Introduction

- Logiciels de spectrométrie

| LOGICIELS UTILISES                     | NOMBRE |
|----------------------------------------|--------|
| Itech <b>InterWinner</b> version 6 à 8 | 12     |
| Mirion <b>Genie 2000</b> / APEX        | 7      |
| Ortec <b>GammaVision</b> LVIS          | 6      |

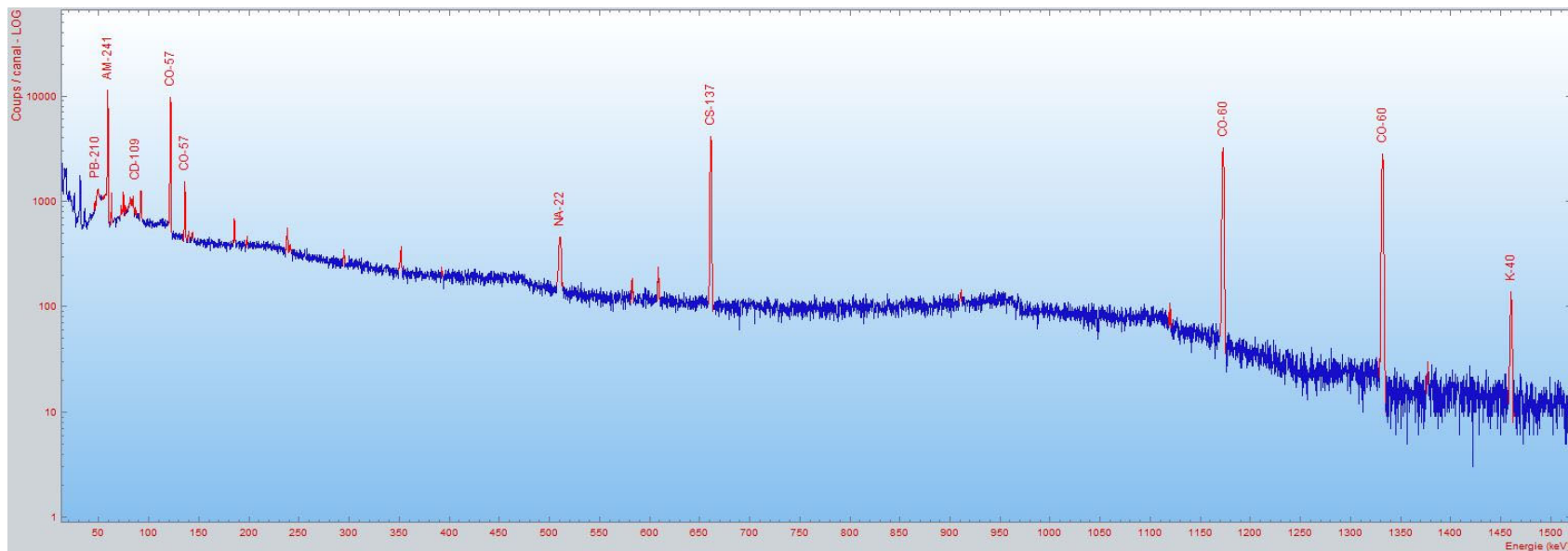
# Introduction

- Etalonnage en efficacité

| METHODE D'ETALONNAGE                         | NOMBRE    |
|----------------------------------------------|-----------|
| <b>Solution/source radioactive certifiée</b> | <b>19</b> |
| - CMI (CBSS2, ...) 4                         |           |
| - Eckert&Ziegler 9                           |           |
| - IRA METAS 3                                |           |
| - Autres 3                                   |           |
| <b>Logiciel LabSOCS/ISOCS</b>                | <b>6</b>  |

# Echantillon d'intercomparaison

- Solution **multiradionucléide**
- Co-57, Co-60, Cs-137 et Am-241
- Energies **60, 122, 662, 1173 et 1332 keV**



# Activités de référence

- Solutions étalons IRA-METAS
- Dilutions en plusieurs étapes
- HCl 0.1 M avec entraîneurs (chlorures de Co, Cs et Eu)
- Activité de référence par pesées



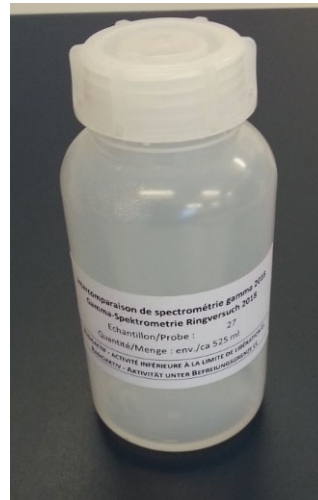
# Préparation des échantillons

- Dilutions des ampoules étalons
- Jerrican de 14 litres de solution
- 26 flacons de 0.5 litre



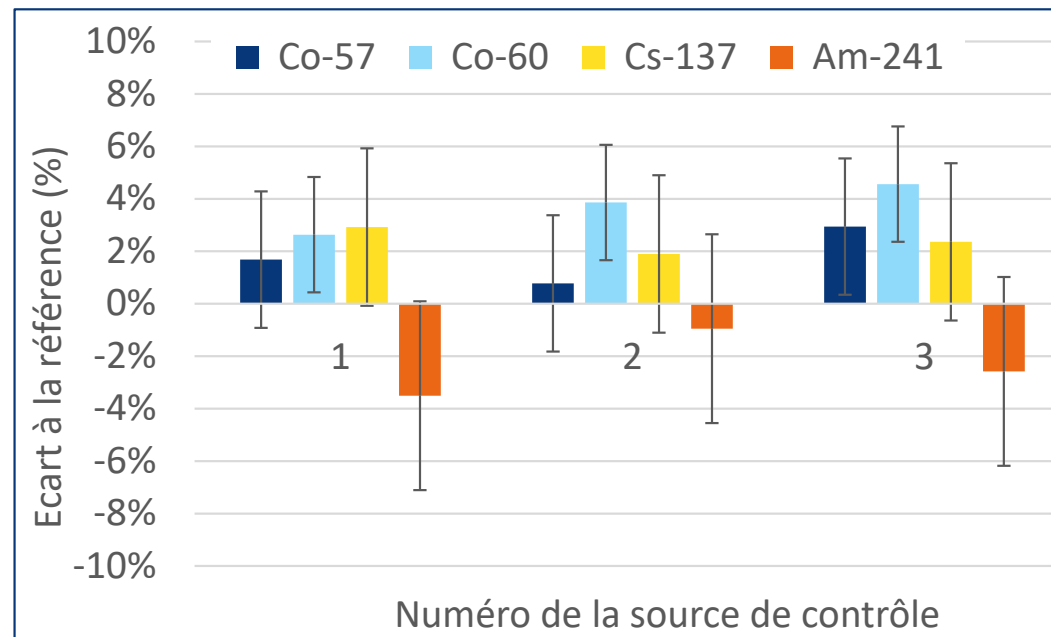
# Préparation des échantillons

- Remplissage des flacons à environ 525 ml
- **Contrôle d'activité** (3 flacons)
- Activité faible :  $A < LL \text{ ORaP}$
- Envoi aux participants à mi-août 2024



# Mesure de contrôle

- 3 sources de contrôle
- Mesure sur **HPGe**
- 2 à 3 jours
- Résultats OK



# Activités de référence

|                     | Co-57 | Co-60 | Cs-137 | Am-241 |
|---------------------|-------|-------|--------|--------|
| Activité (Bq/kg)    | 19.86 | 69.66 | 49.71  | 49.74  |
| Incert. U ( $k=2$ ) | 1 %   | 1 %   | 2 %    | 3 %    |

- Date de référence : 1.8.2024

# Auto-atténuation dans l'échantillon

- Solution aqueuse comme à l'étalonnage
- Pas de correction nécessaire

# Corrections de sommation

- **Aucune** pour Co-57, Cs-137 et Am-241
- Co-60
  - Pour  $\gamma$  de 1173 et 1332 keV :
    - Semad. 500 ml 1.04
    - Semad. 250 ml 1.04
    - Boîte 40 ml 1.07



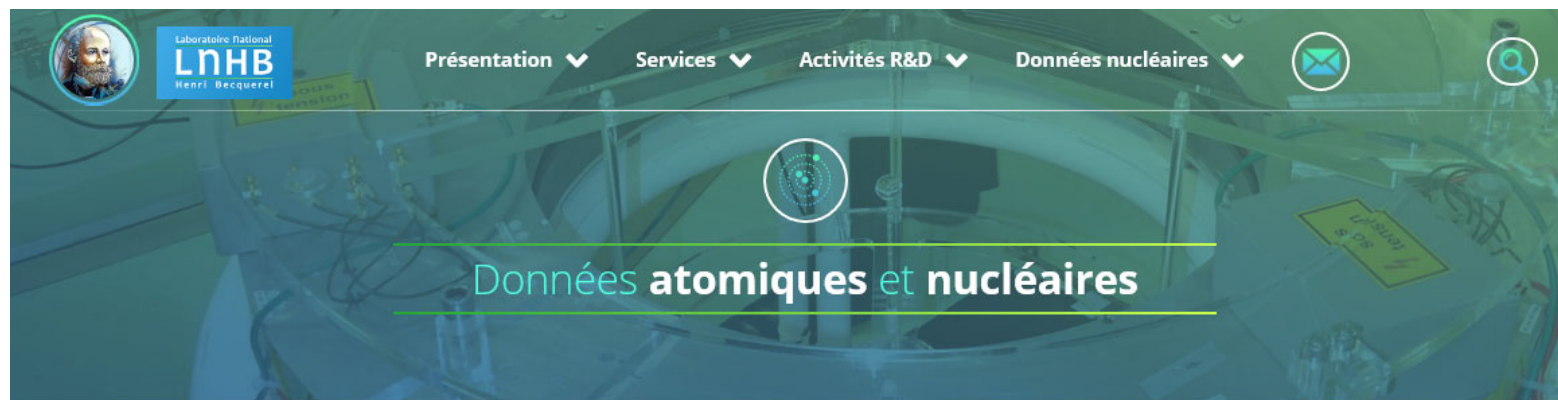
Pour HPGe type n, 23%, calculs avec EFFTRAN

# Mesures

- Volume mesuré
  - Très divers ! 40 à 1000 ml (majorité 500 ml)
- 54% des labos appliquent les corrections
  - Sommations
  - Avec LabSOCS, InterWinner, Gespecor
- Evaluation des incertitudes
- Annonce des résultats jusqu'au 30 septembre
- Utilisation du formulaire

# Mesures – données nucléaires

- <http://www.lnhb.fr/donnees-nucleaires/module-lara/>  
**Nucléide – Lara Library for gamma and alpha emissions**



**Nucléide - Lara**  
Library for gamma and alpha emissions

Nuclide list:  
3H  
7Be  
10Be  
11C  
13N  
14C  
15O  
16N

Nuclide, element or mass number search:  
or   
(e.g.: 57Co, Co-57, Co, 57)

Energy threshold (keV):   
Intensity threshold (%):   
Coincidence threshold (%):   
Show  $\gamma$ - $\gamma$  coincidences ☒  
Sort by decreasing intensity ☐  
Emission type: ☒ X ☒ gamma ☒ alpha

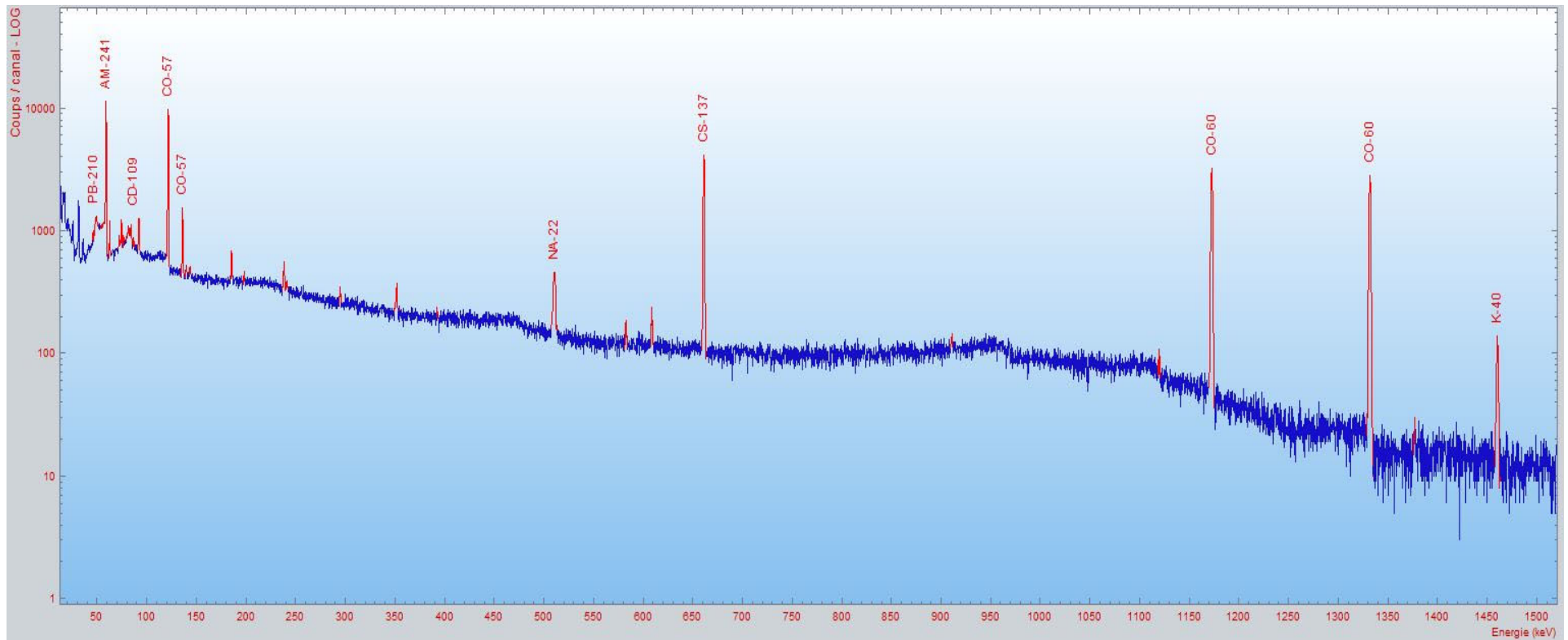
**<sup>137</sup>Cs - Emissions and decay scheme**

[Data](#) [Tools](#) [Emissions](#) [Scheme](#)

**Data**  
Element: Cesium (Z=55)  
Daughter(s): Ba-137 ( $\beta^-$ , 100%)  
Q: 1175.63 keV  
Possible parent(s): Xe-137 ( $\beta^-$ , 100%)  
Half-life ( $T_{1/2}$ ): 30.05 (8) a  $\equiv$  948.3 (25)  $10^6$  s  
Decay constant ( $\lambda$ ): 730.9 (19)  $10^{-12}$  s $^{-1}$   
Specific activity ( $A_m$ ): 3.213 (9)  $10^{12}$  Bq.g $^{-1}$   
Reference: INEEL, KRI - 2006  
Associated data files: [Table](#) - [Comments](#) - [ENSDF](#) - [PenNuc](#)  
Data and emissions file (ASCII text format): [Cs-137.txt](#)

**Tools**  
Activity  $\rightleftharpoons$  Mass conversion:  Bq  $\rightleftharpoons$   g

# Mesures - spectre



Echantillon d'intercomparaison (500 ml, 3 jours)

# Analyse des résultats

- Critères d'analyse des résultats
  - Rapport :  $R = \textit{mesuré/référence}$

# Analyse des résultats

- Critères d'analyse des résultats

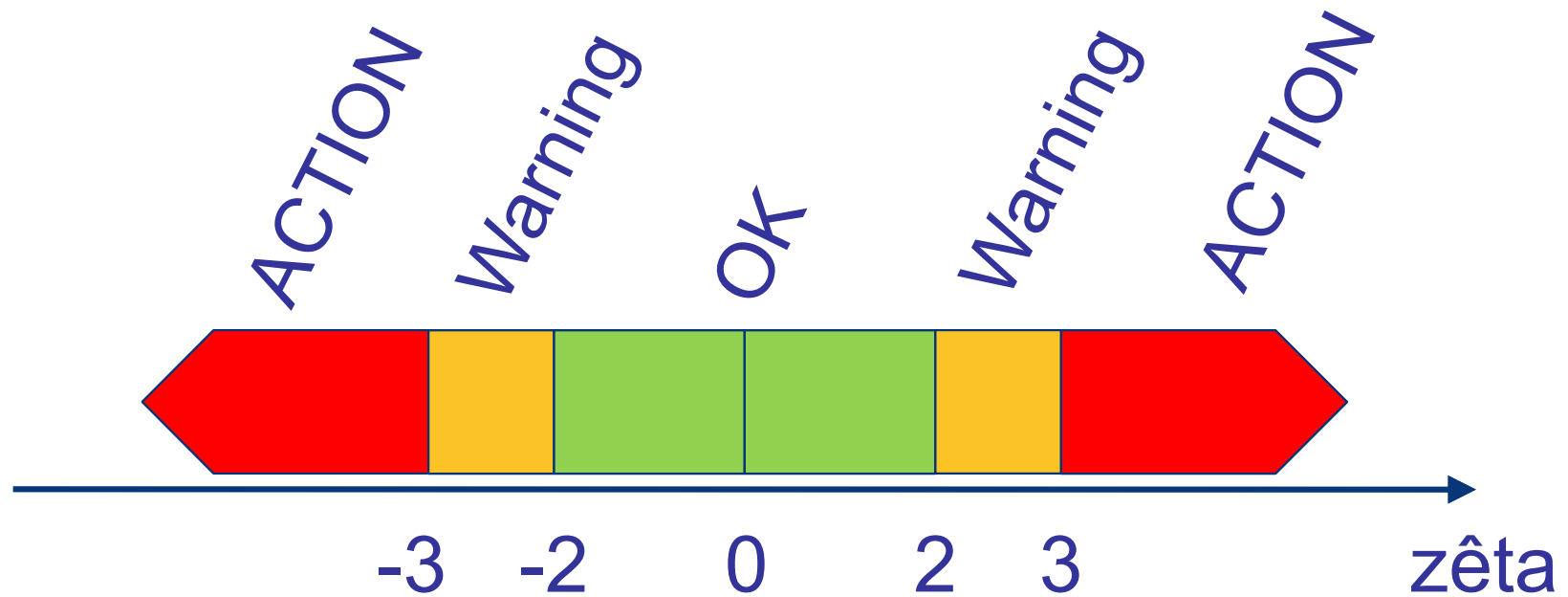
- Rapport :  $R = \text{mesuré}/\text{référence}$

- Score zêta : 
$$\zeta = \frac{A_{mes} - A_{ref}}{\sqrt{u_{mes}^2 + u_{ref}^2}}$$

- $A_{mes}$  : valeur mesurée du participant
    - $A_{ref}$  : valeur de référence
    - $u_{mes}$  : incertitude-type de la mesure ( $k=1$ )
    - $u_{ref}$  : incertitude-type de la référence ( $k=1$ )

# Analyse des résultats

- Interprétation du score zêta



# Résultats communiqués

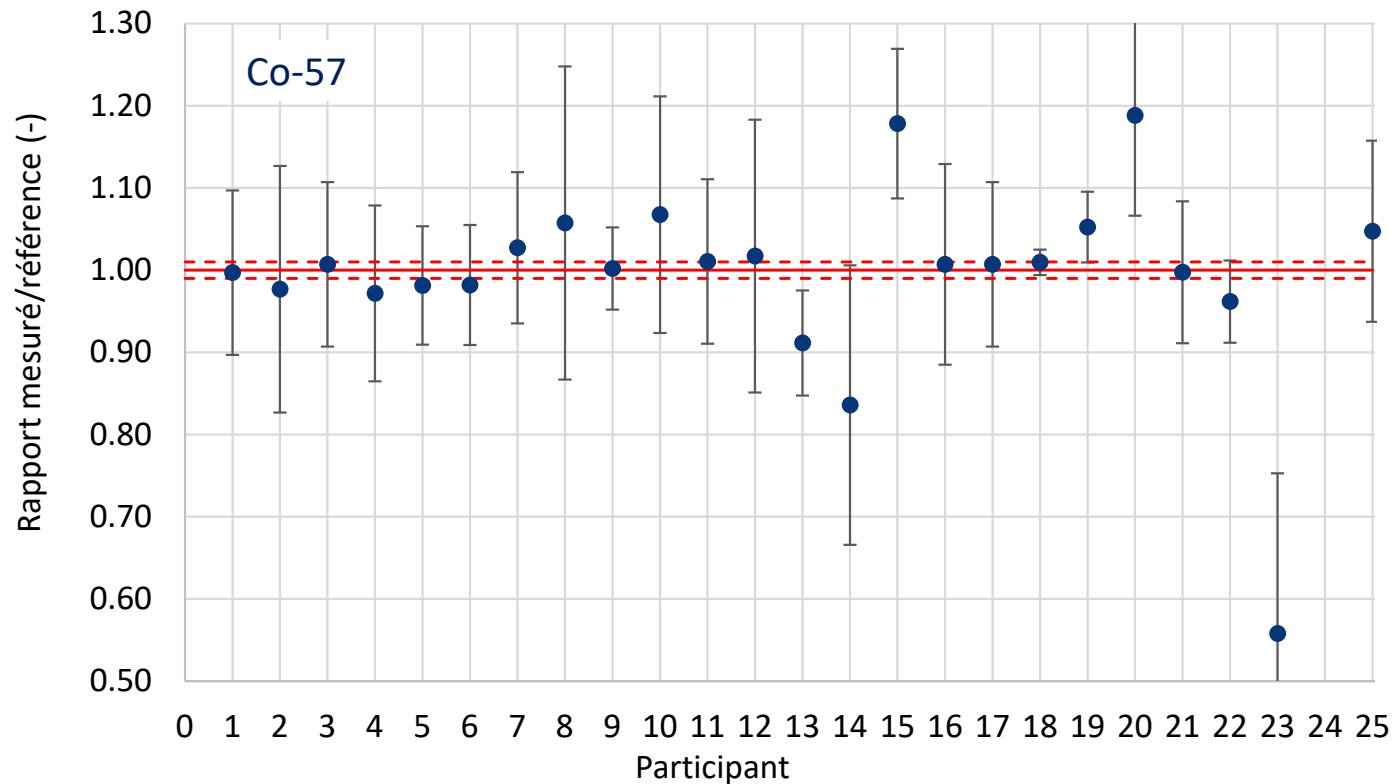
| Labo<br>No | Co-57               |                | Co-60               |                | Cs-137              |                | Am-241              |                |
|------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|            | Activité<br>(Bq/kg) | U (k=2)<br>(%) | Activité<br>(Bq/kg) | U (k=2)<br>(%) | Activité<br>(Bq/kg) | U (k=2)<br>(%) | Activité<br>(Bq/kg) | U (k=2)<br>(%) |
| 1          | 19.8                | 10%            | 72.7                | 10%            | 51.4                | 10%            | 50.2                | 10%            |
| 2          | 19.4                | 15%            | 67.7                | 15%            | 48.8                | 15%            | 52.1                | 25%            |
| 3          | 20                  | 10%            | 70                  | 10%            | 50                  | 10%            | 52                  | 20%            |
| 4          | 19.3                | 10.7%          | 66.8                | 10.4%          | 49.2                | 10.5%          | 51.1                | 11.3%          |
| 5          | 19.49               | 7.2%           | 65.26               | 6.3%           | 48.58               | 6.4%           | 53.79               | 8.8%           |
| 6          | 19.5                | 7.3%           | 68.1                | 7.0%           | 49.6                | 7.2%           | 51.2                | 9.4%           |
| 7          | 20.4                | 9.2%           | 69.0                | 8.8%           | 50.1                | 9.2%           | 50.2                | 9.8%           |
| 8          | 21                  | 4%             | 70                  | 7%             | 51                  | 6%             | 53                  | 16%            |
| 9          | 19.9                | 5.0%           | 69.0                | 5.0%           | 49.6                | 5.0%           | 49.8                | 7.5%           |
| 10         | 21.2                | 14.4%          | 71.6                | 5.8%           | 51.8                | 12.0%          | 52.7                | 20.2%          |
| 11         | 20.07               | 10%            | 70.77               | 10%            | 52.04               | 10%            | 58.92               | 10%            |
| 12         | 20.2                | 16.6%          | 68.5                | 9.00%          | 50.6                | 14.8%          | 49.8                | 22.6%          |
| 13         | 18.1                | 6.4%           | 68.5                | 4.8%           | 47.9                | 6.2%           | 49.4                | 8.2%           |
| 14         | 16.6                | 17%            | 56.8                | 6%             | 40.6                | 12.5%          | 40.8                | 20.5%          |
| 15         | 23.4                | 9.1%           | 67.1                | 7.2%           | 57.4                | 7.8%           | -                   | -              |
| 16         | 20                  | 12.2%          | 66                  | 9.5%           | 48                  | 11.4%          | 56                  | 22.0%          |
| 17         | 20                  | 10%            | 66                  | 10%            | 48                  | 10%            | -                   | -              |
| 18         | 20.1                | 1.6%           | 68.8                | 5.0%           | 51.3                | 3.8%           | 55.9                | 5.1%           |
| 19         | 20.9                | 4.3%           | 70.0                | 3.0%           | 51.5                | 3.1%           | 55.4                | 5.7%           |
| 20         | 23.6                | 6.1%           | 80.5                | 6.0%           | 51.7                | 5.9%           | 49.1                | 16.0%          |
| 21         | 19.81               | 8.63%          | 67.83               | 8.50%          | 48.82               | 8.51%          | 16.94               | 11.7%          |
| 22         | 19.1                | 5%             | 67.2                | 4%             | 48.7                | 4%             | 52.4                | 7%             |
| 23         | 11.08               | 19.5%          | 43.84               | 16.3%          | 43.23               | 17.2%          | 28.75               | 22.6%          |
| 25         | 20.8                | 11.02%         | 73.4                | 10.64%         | 51.9                | 11.02%         | -                   | -              |

# Résultats communiqués

$$R = \frac{\textit{activité mesurée}}{\textit{activité de référence}}$$

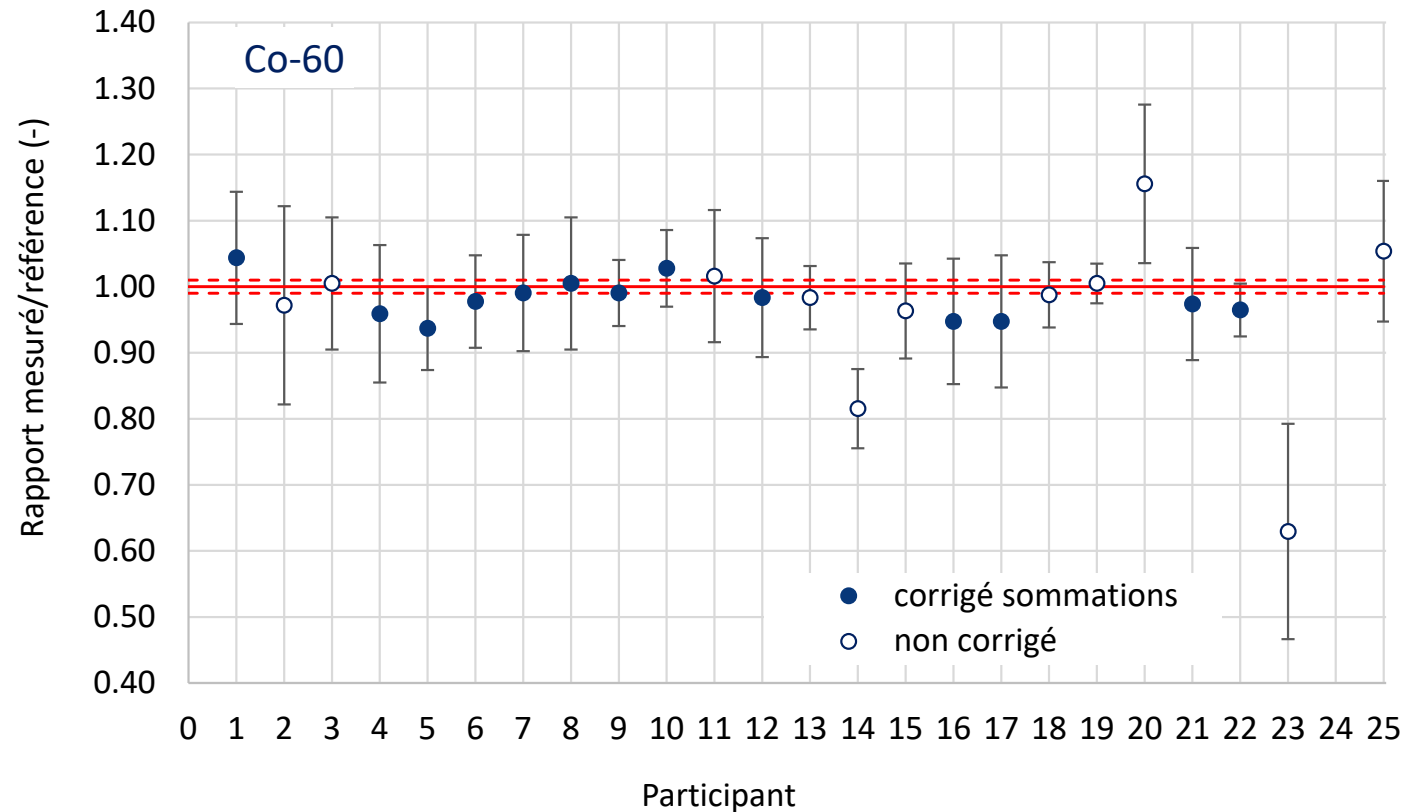
# Co-57

- Donné par tous les participants
- Moyenne participants :  $0.992 \pm 0.12$
- 4 WARNING et 2 ACTION



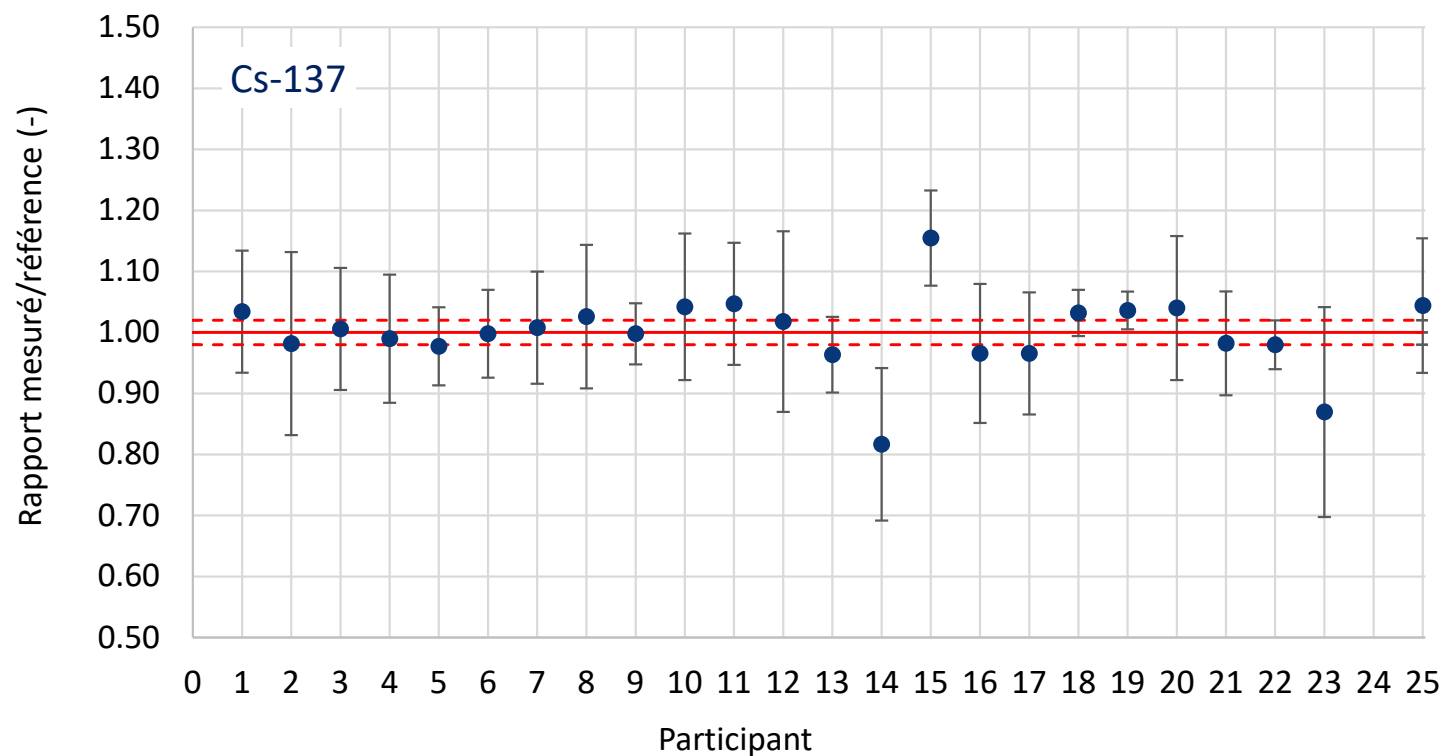
# Co-60

- Donné par tous les participants
- Moyenne participants :  $0.969 \pm 0.09$
- 2 WARNING et 2 ACTION



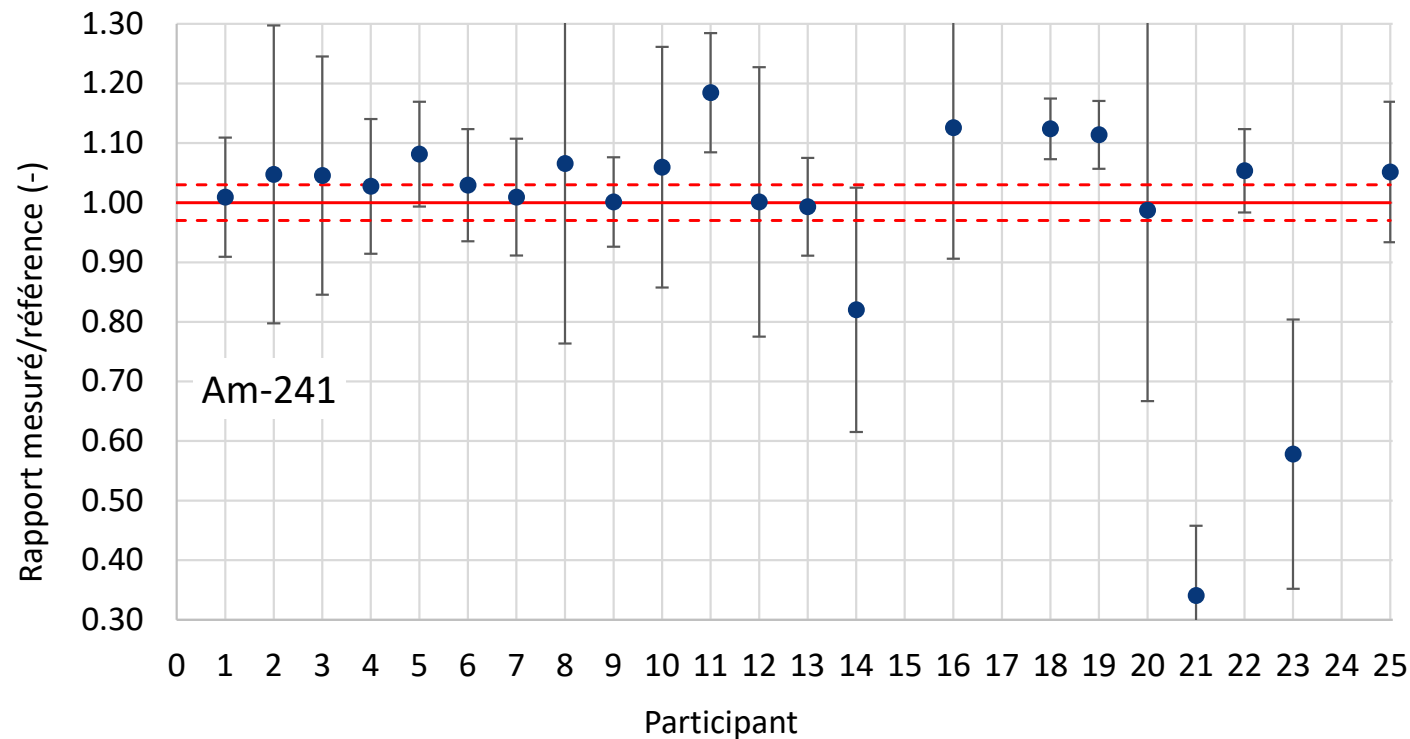
# Cs-137

- Donné par tous les participants
- Moyenne participants :  $0.997 \pm 0.06$
- 2 ACTION



# Am-241

- Donné par 22 participants
- Moyenne participants :  $0.986 \pm 0.19$
- 1 WARNING et 5 ACTION



# Résultats globaux

- Performance des mesures
  - Basée sur toutes les valeurs communiquées
  - 24 participants x 4 radionucléides = 96 valeurs

| Scores $\zeta$ obtenus | Relatif |
|------------------------|---------|
| OK                     | 79%     |
| WARNING                | 7%      |
| ACTION                 | 11%     |

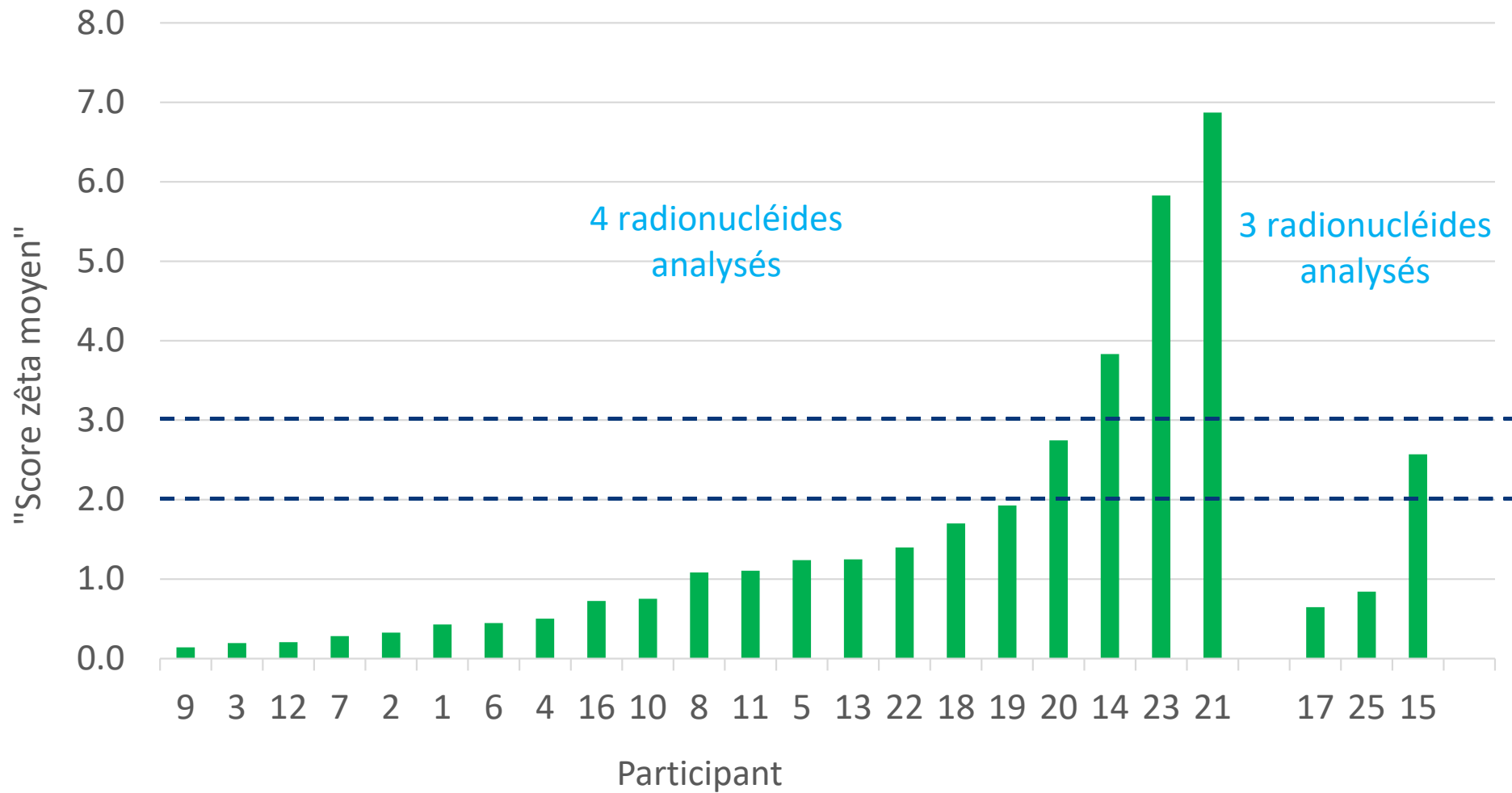
# Résultats individuels des labos

- Score zêta moyen
  - zêta moyen = moyenne de la valeur absolue de zêta

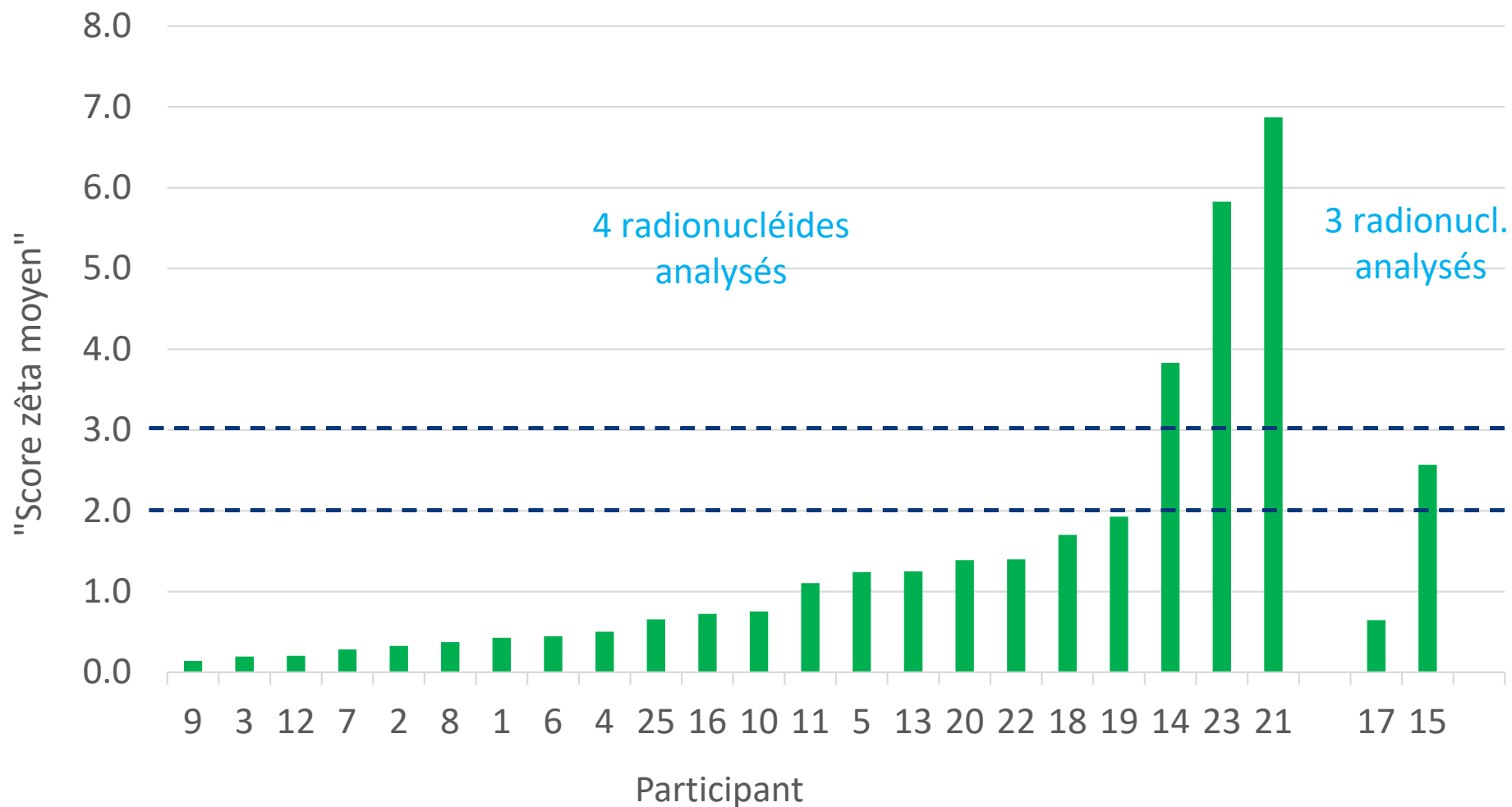
Exemple (labo 15) :

|      | Co-57 | Co-60 | Cs-137 | Am-241 | Nombre de Mesurés | Zêta moyen |
|------|-------|-------|--------|--------|-------------------|------------|
| Zêta | 3.3   | -1.0  | 3.4    | -      |                   |            |
| Zêta | 3.3   | 1.0   | 3.4    | -      | 3                 | 2.6        |

# Scores zêta moyens



# Scores zêta moyens - corrigé



# Discussion

- No 15 : performances variables, quelle cause ?
- No 20 : 2 résultats bons, 2 résultats surestimés.  
OK après correction des incertitudes
- No 14 : 4 résultats sous-estimés. Problème systématique?
- No 23 : 3 résultats sous-estimés. Problème d'étalonnage?
- No 21 : Problème pour Am-241. Erreur ? Etalonnage ?
- Calculs des corrections sommations (LabSOCS, InterWinner, etc.) semblent OK (mais peu d'infos)
- Performances adaptées aux tâches attendues dans ~80% des cas

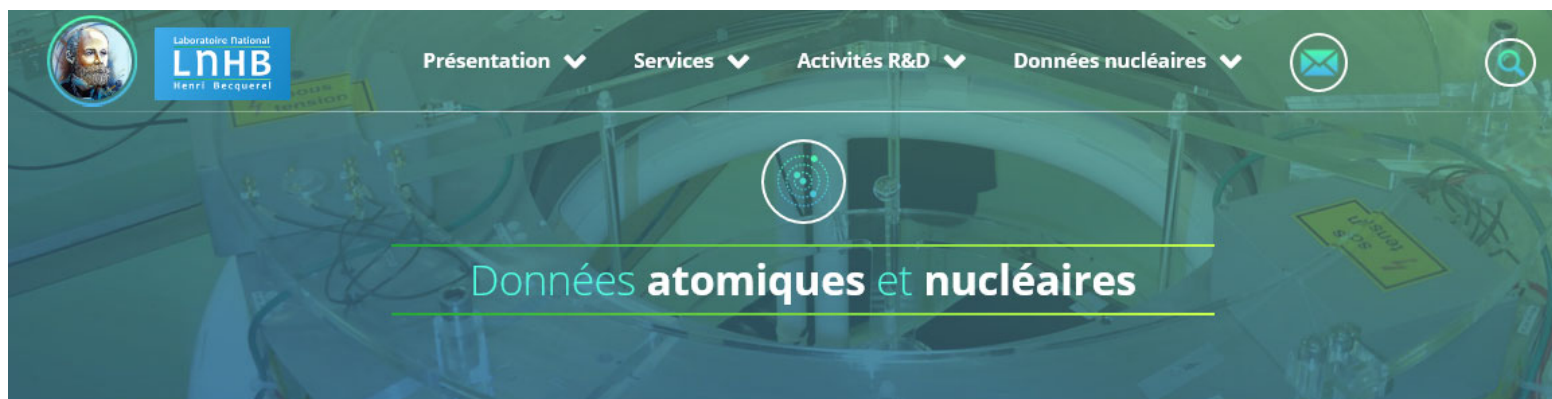
# Conclusions

- 24 participants
- Co-57, Co-60 et Cs-137 ont été mesurés par tous les laboratoires
- Am-241 identifié mais pas mesuré par 2 labos (étalonnage non disponible?)
- Calculs des corrections (LabSOCS, InterWinner, etc.) semblent OK (mais peu d'infos)
- Bonne capacité à mesurer les activités
- Equipements entretenus et modernisés

Merci de votre attention !

# Données nucléaires du DDEP

- <http://www.lnhb.fr/donnees-nucleaires/module-lara/>  
**Nucléide – Lara Library for gamma and alpha emissions**



**Nucléide - Lara**  
Library for gamma and alpha emissions

Nuclide list:  
3H  
7Be  
10Be  
11C  
13N  
14C  
15O  
16N

Nuclide, element or mass number search:  
or  (e.g.: 57Co, Co-57, Co, 57)

Energy threshold (keV):   
Intensity threshold (%):   
Coincidence threshold (%):   
Show  $\gamma$ - $\gamma$  coincidences ☒  
Sort by decreasing intensity ☐  
Emission type: ☒ X ☒ gamma ☒ alpha

**$^{137}\text{Cs}$  - Emissions and decay scheme**

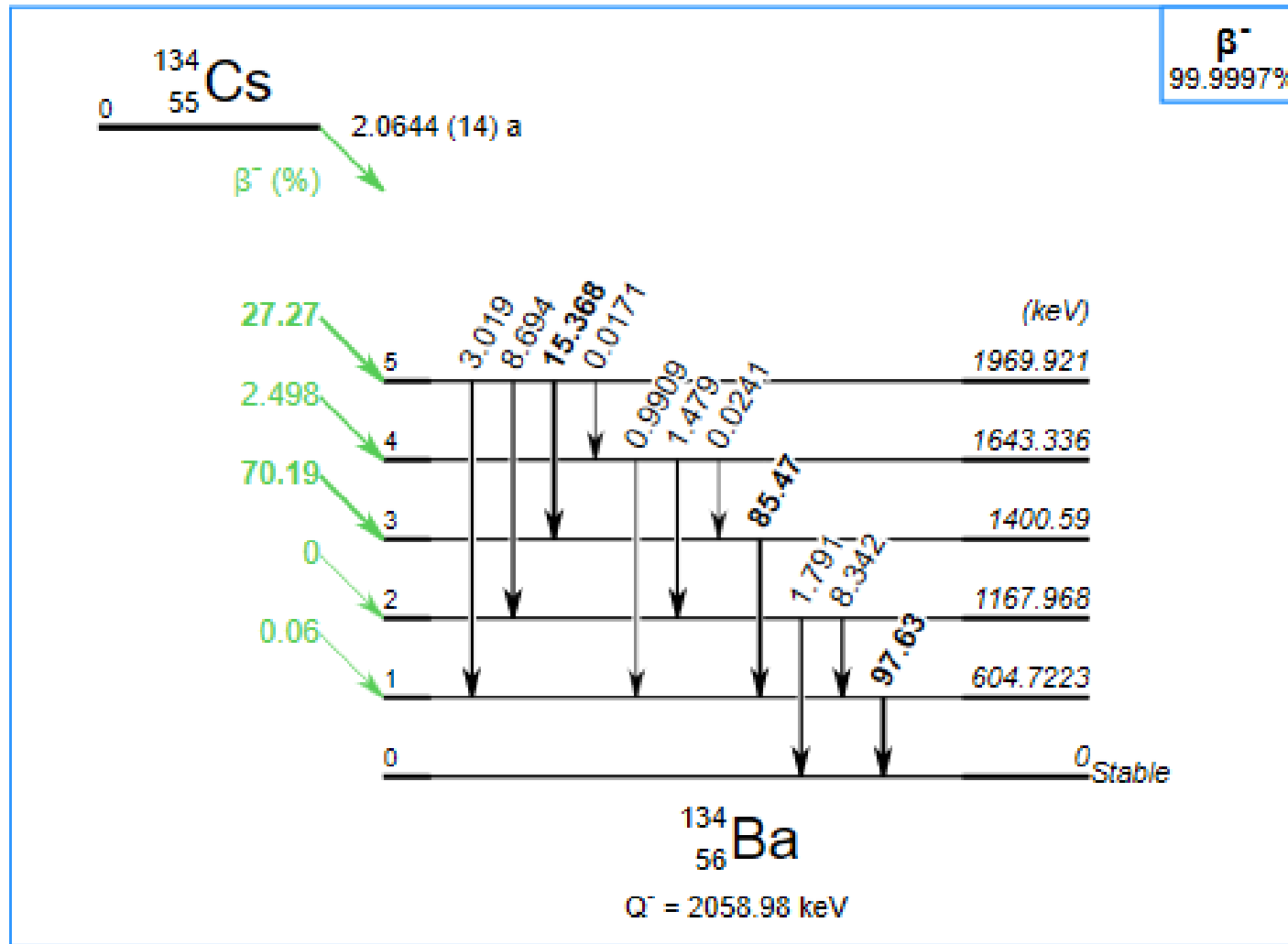
**Data** | Tools | Emissions | Scheme

**Data**  
Element: Cesium (Z=55)  
Daughter(s): Ba-137 ( $\beta^-$ , 100%)  
Q: 1175.63 keV  
Possible parent(s): Xe-137 ( $\beta^-$ , 100%)  
Half-life ( $T_{1/2}$ ): 30.05 (8) a  $\equiv$  948.3 (25)  $10^6$  s  
Decay constant ( $\lambda$ ): 730.9 (19)  $10^{-12}$  s $^{-1}$   
Specific activity ( $A_m$ ): 3.213 (9)  $10^{12}$  Bq.g $^{-1}$   
Reference: INEEL, KRI - 2006  
Associated data files: [Table](#) - [Comments](#) - [ENSDF](#) - [PenNuc](#)  
Data and emissions file (ASCII text format): [Cs-137.txt](#)

**Tools**  
Activity  $\rightleftharpoons$  Mass conversion:  Bq  $\rightleftharpoons$   g

# Coïncidences vraies

- Cs-134



# Coïncidences vraies

- Cs-134

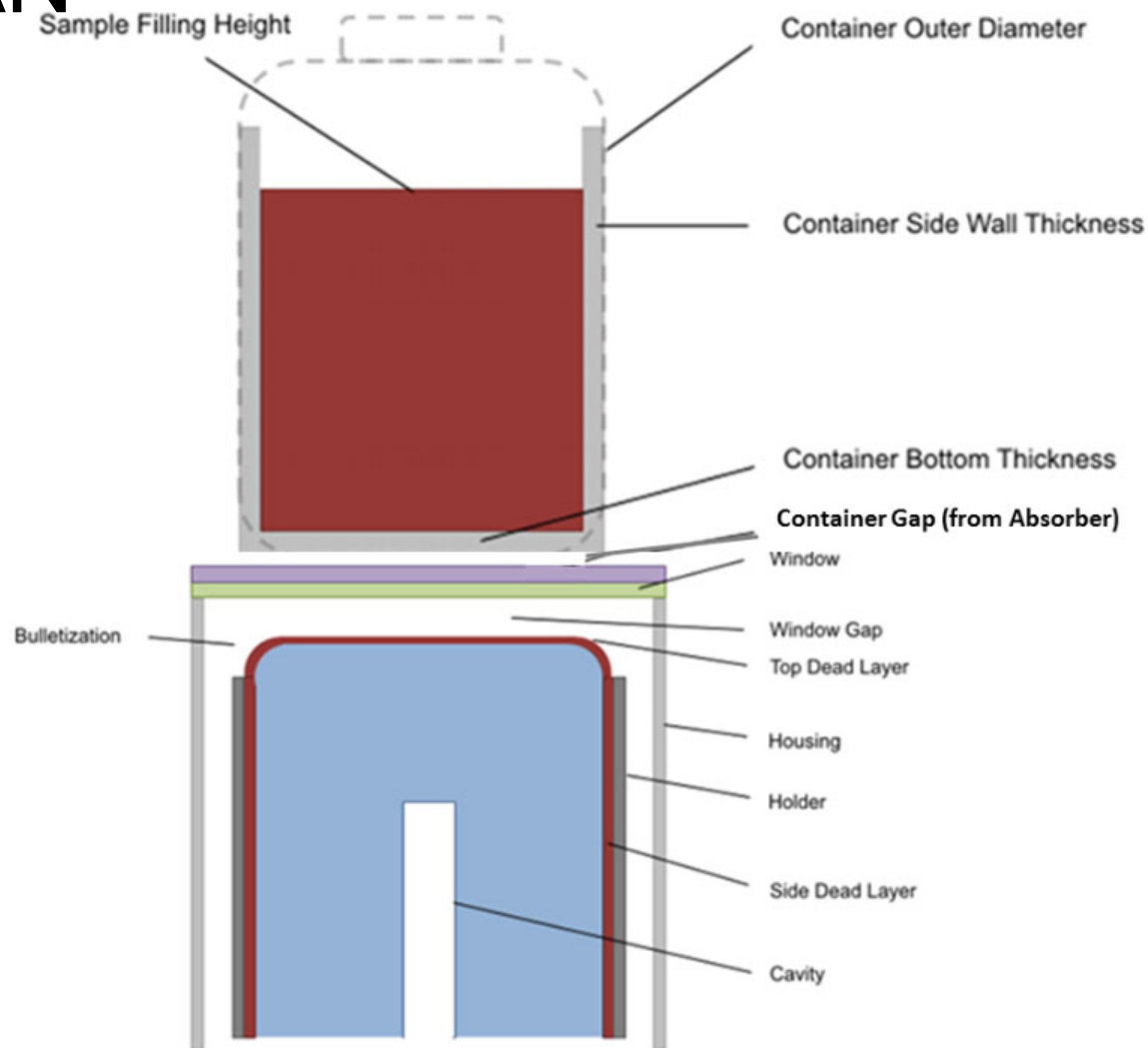
| Energy (keV)  | Intensity (%) | Type | Origin* | Levels<br>Start* End* |   | Possible coincidence with (keV) /<br>Possible sum of (levels) |
|---------------|---------------|------|---------|-----------------------|---|---------------------------------------------------------------|
| 242.76 (5)    | 0.0241 (31)   | γ    | Ba-134  | 4                     | 3 |                                                               |
| 326.585 (14)  | 0.0171 (11)   | γ    | Ba-134  | 5                     | 4 |                                                               |
| 475.365 (2)   | 1.479 (7)     | γ    | Ba-134  | 4                     | 2 |                                                               |
| 563.246 (3)   | 8.342 (15)    | γ    | Ba-134  | 2                     | 1 |                                                               |
| 569.330 (2)   | 15.368 (21)   | γ    | Ba-134  | 5                     | 3 | 795.86 (Σ=1 365.19)                                           |
| 604.720 (3)   | 97.63 (8)     | γ    | Ba-134  | 1                     | 0 | 795.86 (Σ=1 400.58)                                           |
| 795.86 (1)    | 85.47 (9)     | γ    | Ba-134  | 3                     | 1 | 569.330 (Σ=1 365.190); 604.720 (Σ=1 400.580)                  |
| 801.950 (6)   | 8.694 (16)    | γ    | Ba-134  | 5                     | 2 |                                                               |
| 847.00 (2)    | 0.0003 (1)    | γ    | Xe-134  | 1                     | 0 |                                                               |
| 1 038.605 (8) | 0.9909 (33)   | γ    | Ba-134  | 4                     | 1 |                                                               |
| 1 167.967 (4) | 1.791 (5)     | γ    | Ba-134  | 2                     | 0 |                                                               |
| 1 365.194 (4) | 3.019 (8)     | γ    | Ba-134  | 5                     | 1 | (5→3)+(3→1)                                                   |

# Corrections de sommations

- Logiciel EFFTRAN
- Disponible dans Nucleonica

<https://nucleonica.com/>

<http://www.ffftran.com/>



# Corrections de sommations

- HPGe Ortec GMX type n, eff.rel= 23%
- Semadeni 500 ml type 1742



# Corrections de sommations

- HPGe Ortec GMX type n, eff.rel= 23%
- Semadeni 500 ml type 1742

## True Coincidence Summing Correction Factors

| E (keV) ▲ | Correction factor |
|-----------|-------------------|
| 243       | 1.116             |
| 327       | 1.149             |
| 475       | 1.104             |
| 563       | 1.111             |
| 569       | 1.110             |
| 605       | 1.065             |
| 796       | 1.065             |
| 802       | 1.101             |
| 847       | 1.052             |
| 1039      | 1.023             |
| 1168      | 0.957             |
| 1365      | 0.926             |



# Corrections de sommations

- HPGe Ortec GMX type n, eff.rel= 23%
- Semadeni 500 ml type 1742

## True Coincidence Summing Correction Factors

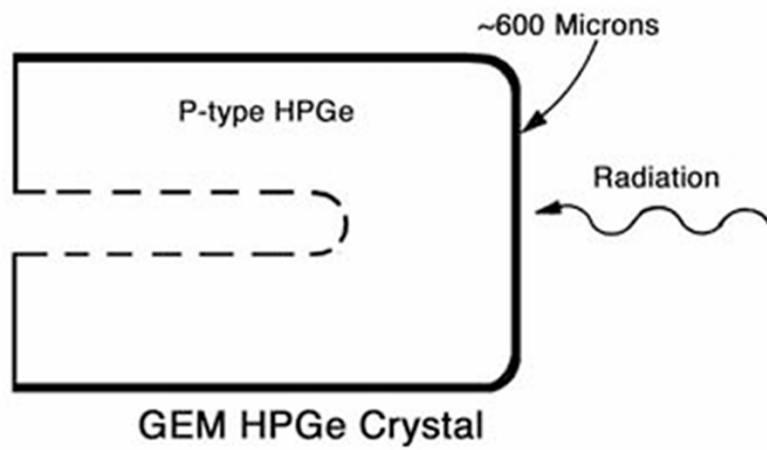
| E (keV) ▲ | Correction factor |
|-----------|-------------------|
| 243       | 1.116             |
| 327       | 1.149             |
| 475       | 1.104             |
| 563       | 1.111             |
| 569       | 1.110             |
| 605       | 1.065             |
| 796       | 1.065             |
| 802       | 1.101             |
| 847       | 1.052             |
| 1039      | 1.023             |
| 1168      | 0.957             |
| 1365      | 0.926             |

Pour les 2 lignes principales:

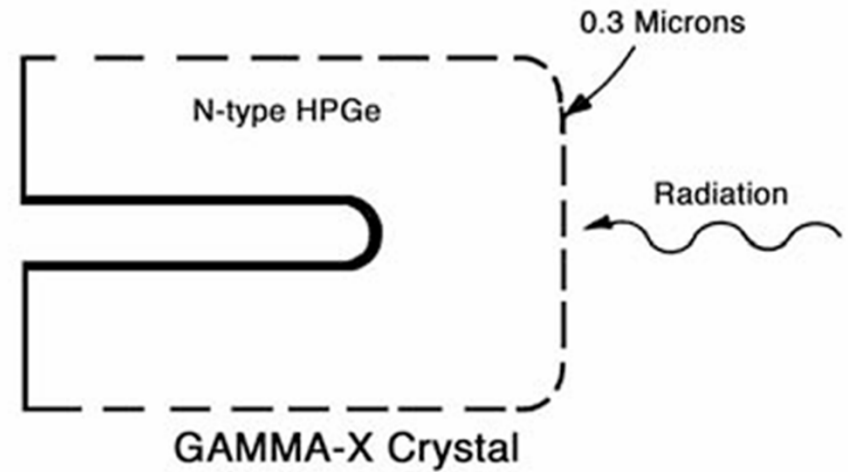
$$A_{vraie} = f_{corr} \cdot A_{mes}$$

$$A_{vraie} = 1.065 \cdot A_{mes}$$

# HPGe type p et n



Type p



Type n

# HPGe type n et type p

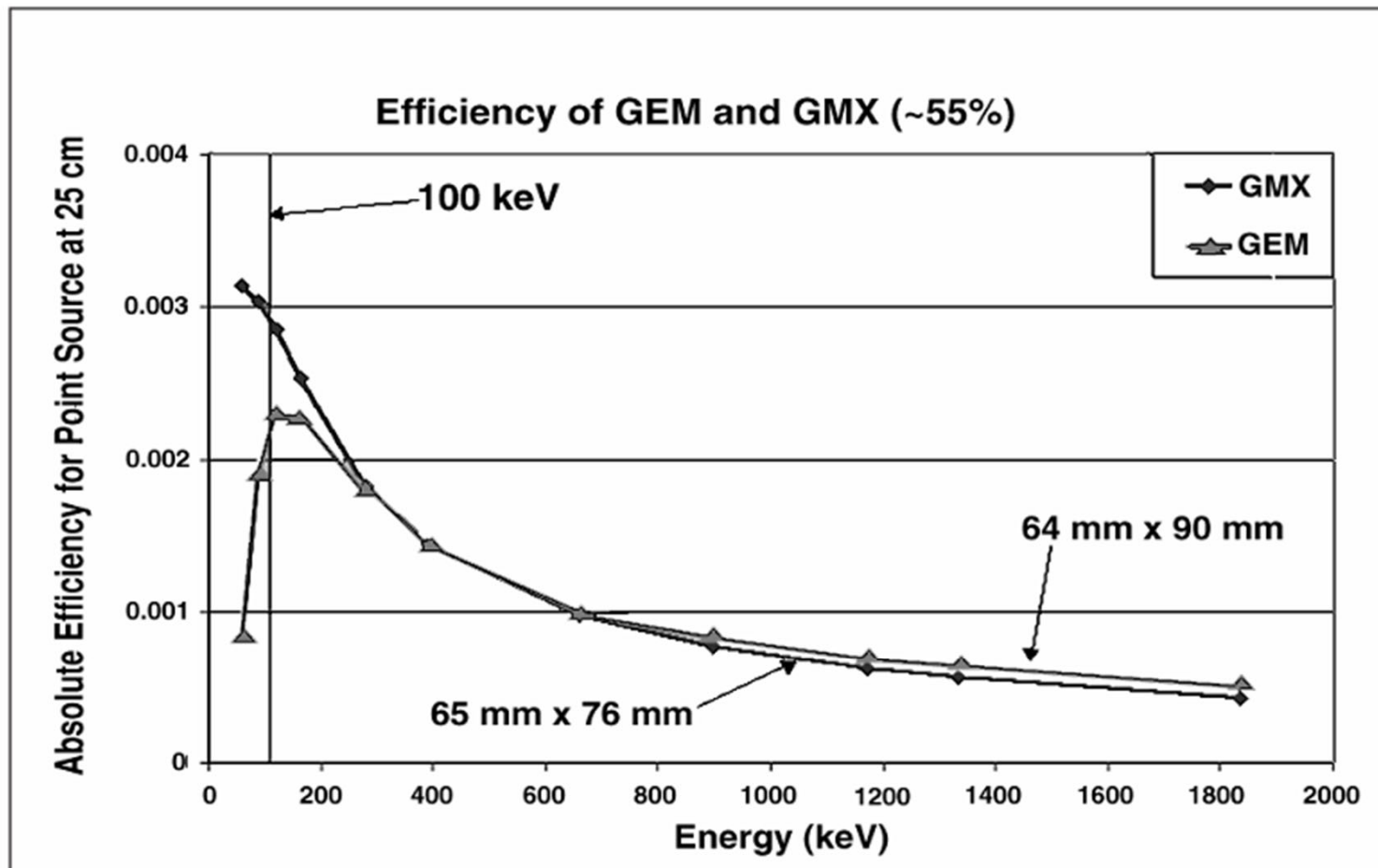


Figure 9. Comparison of absolute efficiency of an N-type (GMX) and a P-type (GEM). (Point source at 25 cm.)

# Historique des intercomparaisons

| Année | Thème                                                                                                                                                                                         |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2024  | Solution multiradionucléide (peu active) pour contrôler l'étalonnage<br>Co-57, Co-60, Cs-137 et Am-241<br>A<LL, 500 ml                                                                        |
| 2023  | 1 échantillon de 1.3 kg d'engrais Landor Triphoska en granulés<br>K-40 6 kBq/kg, U-238 0.5 kBq/kg, Ra-226 0.3 kBq/kg, Pb-210 0.3 kBq/kg<br>A<LL NORM                                          |
| 2022  | 5 échantillons divers de type denrées alimentaires<br>Eau et pain (Cs-134 et 137), lait en poudre (Cs-137), farine et paille (non radioactifs)<br>A<LL                                        |
| 2021  | Solution multiradionucléide<br>Mn-54, Co-60, Sr-85, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Lu-177, Lu-176 et Lu-177m<br>A<LL, 500 ml<br>Parallèlement : Sr-90 dans le sol pour LC BS, PSI, LS et IRA |
| 2020  | Solution multiradionucléide<br>Mn-54, Co-57, Co-60, Cd-109, I-131, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Eu-152 et Am-241<br>A<LL, 500 ml                                                                   |

# Historique des intercomparaisons

|             |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2019</b> | Lait UHT<br>Cs-134 et Cs-137<br>A<LL, 500 ml<br>Parallèlement : Sr-90 dans le lait pour LC BS, PSI, IRA et hepia                                                                                                                                        |
| <b>2018</b> | Solution multiradionucléide<br>Mn-54, Co-57 et I-125<br>A<LL, 500 ml                                                                                                                                                                                    |
| <b>2017</b> | Résidus d'un four industriel de verrerie, composition pas connue, TENORM<br>Ra-226 2 kBq/kg, Pb-210, Th-232, K-40<br>500 ml                                                                                                                             |
| <b>2016</b> | Solution multiradionucléide<br>K-40, Co-60, Cd-109, Ba-133, Cs-137, Am-241 (solution étalon de 2009 + K-40 + Am-241)<br>A<LE, 600 ml<br>Parallèlement : H-3 dans l'eau de l'environnement LC BS, PSI, IRA, hepia, ENSI, EAWAG, CERN, OFSP, CERN et SUVA |
| <b>2015</b> | Etalon solide multiradionucléide EUROSTANDARD, produit au CMI, type CBSS 2<br>Am-241, Cd-109, Ce-139, Co-57, Co-60, Cs-137, Sn-113, Sr-85, Y-88, Pb-210<br>550 ml, 539 g                                                                                |

# Historique des intercomparaisons

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2014</b> | Confiture (plutôt gelée) préparée à l'IRA<br>Cs-134 et Cs-137<br>1 pot                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>2013</b> | Poudre de dicalcium phosphate (DCP) utilisé en agroalimentaire comme supplément alimentaire, CaHPO <sub>4</sub> , 500 ml, 500 g<br>env 10 Bq/kg Ra-226, env 8 Bq/kg U-238                                                                                                                         |
| <b>2013</b> | Exercice d'analyse de 2 spectres correspondant aux retombées d'un accident grave dans une CN avec libération des produits de fission produits dans le cœur de la centrale, l'un 2 jours après l'accident, l'autre 11 jours après. Exercice proposé aux participants, pas de retour attendu d'eux. |
| <b>2012</b> | Résine époxyde (C <sub>21</sub> H <sub>24</sub> O <sub>4</sub> ) avec Eu-152, 1 flacon de scintillation, 20.2 g, <20ml, d=1.12, 3900 Bq.                                                                                                                                                          |
| <b>2011</b> | Lait en poudre de 1986 (origine : Nestec)<br>Cs-137 et K-40, 800 Bq/kg Cs-137 et 430 Bq/kg K-40.<br>Sr-90 mesuré aussi par 4 participants, 2.7 Bq/kg.                                                                                                                                             |
| <b>2010</b> | Solution de Co-57<br>6 flacons de scintillation 20 ml, 3 niveaux d'activité légèrement différents 94, 105 et 109 Bq/g, pour tester la reproductibilité.                                                                                                                                           |
| <b>2009</b> | Solution étalon multiradionucléide METAS<br>Cr-51, Co-57, Co-60, Y-88, Cd-109, Ba-133, Cs-137, Ce-139<br>(solution étalon de 2009, 80-1840 keV), 1000 ml.                                                                                                                                         |

# Historique des intercomparaisons

|                       |                                                                                               |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2008</b>           | Cendres de bois<br>Ac-228, Bi-214, Cs-137, K-40, Pb-210, Pb-214, Pb-212, Ra-226, Tl-208       |
| <b>2007</b>           | Solution étalon de Sb-124 (un produit de fission de CN), 500 ml, 3305 Bq/kg $\pm$ 0.64% (k=2) |
| <b>2006</b>           | Solution étalon de Ba-133 et Cs-137.                                                          |
| <b>2005</b>           | Herbe séchée du Tessin, échant. OFSP H-0240, de 1986, avec Cs-137, Cs-134, K-40               |
| <b>2004</b>           | Lait<br>Cs-134, Cs-137 et I-131.                                                              |
| <b>2003</b>           | Sol certifié IAEA 375<br>Am-241, Cs-134, Cs-137, Ru-106, Sb-125                               |
| <b>2002,<br/>2001</b> | ?                                                                                             |
| <b>2000</b>           | Solution certifiée<br>Cd-109, Ce-139, Co-57, Co-60, Cs-137, Y-88                              |