

---

# Rapport de l'exercice de mesure dans le cadre de l'intercomparaison 2022 en spectrométrie gamma

---

*Destinataire :* Aux laboratoires de mesure de la radioactivité

---

*Version du :* 12.11.2022

*Auteurs :* Thierry Buchillier, Claude Bailat, François Bochud, IRA

Sybille Estier et Philipp Steinmann, OFSP

---

## Table des matières

1.	Introduction .....	1
2.	Préparation des échantillons et valeurs de référence.....	4
3.	Résultats et discussion .....	7
3.1.	Résultats communiqués par les participants .....	7
3.1.1.	Echantillons sans radioactivité artificielle .....	7
3.1.2.	Echantillons avec radioactivité artificielle .....	7
3.2.	Méthode d'analyse des résultats .....	10
3.3.	Discussion des résultats.....	17
3.3.1.	Echantillon d'eau .....	17
3.3.2.	Echantillon de lait en poudre .....	18
3.3.3.	Echantillon de pain .....	18
3.3.4.	Performances globales .....	19
4.	Conclusions.....	20
5.	Remerciements .....	20
6.	Annexe : liste des participants .....	21

---

## 1. Introduction

L'Institut de radiophysique (IRA) est mandaté par l'Institut fédéral de métrologie (METAS) pour la détermination, le maintien et la diffusion de l'unité d'activité, le becquerel. La Section de la radioactivité de l'environnement (URA) de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) est responsable de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Comme de coutume, l'IRA et l'URA ont invité l'ensemble des laboratoires effectuant des mesures d'activité dans l'environnement et les produits de consommation à participer à l'intercomparaison annuelle de spectrométrie gamma.

L'organisation et l'analyse des données de l'intercomparaison suivent autant que possible les prescriptions des normes suivantes :

1. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.
2. ISO/IEC 17043:2010, Conformity assessment — General requirements for proficiency testing (Évaluation de la conformité — Exigences générales concernant les essais d'aptitude), International Standard Organization.
3. ISO 13528:2015, Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons (Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaisons interlaboratoires). International Standard Organization.

Le thème de l'intercomparaison de 2022 est l'analyse d'échantillons d'eau et d'aliments contenant des radionucléides d'origine artificielle. L'objectif est d'exercer l'aptitude des participants à mesurer des échantillons divers, délivré dans une quantité et sous une forme qui ne respecte pas forcément les exigences des laboratoires, ou d'examiner simplement la contamination ou non des échantillons fournis. Ce sont des demandes que nos laboratoires reçoivent de temps en temps et qui pourraient devenir plus fréquentes à l'avenir.

Cinq échantillons ont été distribués dans cette intercomparaison, certains contenant du Cs-134 et/ou Cs-137 et les autres non.

1. Eau (Cs-134 et Cs-137)
2. Farine (non contaminée)
3. Lait en poudre (Cs-137)
4. Paille (non contaminée)
5. Pain (Cs-134 et Cs-137)

Les deux radionucléides utilisés ont été introduits dans trois échantillons de l'intercomparaison avec une activité certifiée par l'IRA. Il s'agit de radionucléides qui sont présents dans l'environnement en cas d'accident dans une centrale nucléaire, ou à la suite de retombées d'armes nucléaires.

Sur la trentaine de laboratoires suisses concernés par les analyses d'échantillons de l'environnement ou de produits de consommation, 20 ont participé et ont fourni des résultats. La liste des participants est présentée dans l'annexe. Le Tableau 1 résume les équipements utilisés par ces participants.

Tableau 1. Détecteurs et méthodes d'étalonnage utilisés par les laboratoires

Participant	Détecteur	Mise en fonction	Eff. [%]	Logiciel	Étalonnage, type	Date
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit GR	HPGe type p, Ortec GEM-25P4	2005	24	GammaVision V8.10.02/LVIS V3.1.9.0	Nuclide-Mix CMI CBSS2	2020
CERN DGS-SEE	Canberra GE GC 5019	2007	50	Genie 2000 3.4 APEX 1.4	LabSOCS	-
Dienststelle Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz	Ortec type n GMX 30P4	2006	32.8	InterWinner ver. 7.0	CMI CBSS2	2019

Participant	Détecteur	Mise en fonction	Eff. [%]	Logiciel	Étalonnage, type	Date
EAWAG	Canberra GR2719	1990	27	Genie 2000	NIST	2015-2016
	Canberra GCW3022	1988	30	3.4.1		
	PGT IGW25	1984	26.6			
	Canberra GCW3523	1991	35			
ENSI Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat	Canberra GC5019 p-type et Canberra GC5019 p-type	2008	50	Interwinner 8.00	LabSOCS	2020
		2017	50			2017
hepia haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture	Eurisy type p EGPC 155 P15 et Canberra GC1018	1997	32	Interwinner 8.0	IRA et DAMRI	2000
		-	10			
Institut de radiophysique	HPGe p Ortec GEM 23185	1986	23	Genie 2000	IRA	2010
	HPGe p Canberra GCW4523	2001	45	APEX Gamma		2020
	HPGe n Ortec GMX 35P4-76	2012	39	InterWinner 7.0		2012
Kanton Aargau DGS	HPGe type p PGT IGC27	1989	27.7	Winner ver. 6.0	DA6 Std 2019	2019
Kantonales Laboratorium BE	HPGe type p Canberra GC 2018	2014	23.1	Genie 2000	LabSOCS/Isocs	2021
Kantonales Laboratorium BS	Ortec type p GEM 50P4-83 (3 détecteurs de même type)	2011	50	Interwinner 8.0	CMI 9031-OL-806/13	2022
		2012				
		2021				
Kantonales Labor Zürich	HPGe type p GEM-C30 P4	-	35	LVis 3.3.1.1	-	2022
KKB - Axpo Power AG	Canberra BE6530	2015	65	Interwinner 8.0	LabSOCS	2022
KKW Gösgen-Däniken AG	Ortec type p GEM 25 43-P 11897 B	-	28	InterWinner 8.0	Ref. Mischstandard QCYB41	2016
KKL – Chemie Labor Kalt (ne participe pas en 2022)	Canberra GC4518, type p	2013	45	Interwinner 8.0	Eckert-Ziegler QCRB17727	2021
	ITECH GDC45195, type p	2020	45			
KKL – Chemie Labor Heiss (ne participe pas en 2022)	Ortec GEM20P, type p	2009	20	Interwinner 8.0	Eckert-Ziegler QCRB17727	2021
	Canberra GC2018, type p	2000	20			
KKM - BKW Energie AG	Canberra BeGe 6530	2019	60	Genie 2000 APEX 1.41	LabSOCS	2020
Laboratorio cantonale Ti	HPGe type p, Ortec GEM30	2003	30	Interwinner 5.0	CMI CBSS2	2019
Labor Spiez	HPGe type n Canberra GR 2519 (4 détecteurs du même type)	2010	31	Genie 2000	LabSOCS	2011
		2011	29	APEX 1.41		2012
		2010	25			2013
		2010	29			2011
OFSP	Ortec type n GMX 30-83-A type n	2013	30	Winner 7.0	CMI CBSS2	2018
Paul Scherrer Institut	Ortec type p GEM 30-70	2012	30	InterWinner 8.1	Eckert-Ziegler 2291-36-4 Multistandard	2022
		2010	30			
		2012	35			
SUVA	HPGe type p Ortec GEM 20-70	2012	23	InterWinner 8.0	CMI-Standard-mischlösung	2022

## 2. Préparation des échantillons et valeurs de référence

### Echantillon d'eau

On a utilisé des solutions radioactives étalons de Cs-134 et Cs-137 (Tableau 2) provenant du laboratoire primaire de l'IRA (IRA-METAS). Elles ont été diluées gravimétriquement pour préparer 500 ml de solution pour l'intercomparaison. Il s'agit d'une solution HCl 0.1 M avec un entraîneur de CsCl à environ 50 mg/l. Les activités sont donc rattachées aux étalons nationaux et internationaux.

Un échantillon de  $20.00 \pm 0.01$  g a été remis à chaque participant.

Tableau 2. Radionucléides dans l'échantillon d'eau

Radionucléide	Solution utilisée	Solution originale	Rattachement
Cs-134	GRM190722-Cs-134	M134Cs3A2	IRA-METAS
Cs-137	GRM190722-Cs137	M137Cs25A2	IRA-METAS

### Echantillon de farine

L'échantillon est constitué de farine fleur de blé.

Il n'est pas contaminé.

Un échantillon de  $150.0 \pm 0.5$  g a été remis à chaque participant.



Figure 1. Farine utilisée

### Echantillon de lait en poudre

L'échantillon est constitué de lait en poudre préparé par Nestec en 1987 après l'accident de Tchernobyl. Cet échantillon a déjà été distribué dans une intercomparaison de spectrométrie gamma en 2011. La valeur de référence de l'activité est la moyenne robuste des valeurs des participants de 2011.

Un échantillon de  $100.0 \pm 0.1$  g a été remis à chaque participant.

### Echantillon de paille

L'échantillon est constitué de paille pour rongeurs et lapins (litière et aliment).

Il n'est pas contaminé.

Un échantillon de  $150.0 \pm 0.5$  g a été remis à chaque participant.



Figure 2. Paille utilisée

### Echantillon de pain

Un petit pain a été préparé à partir de farine et d'eau marquée avec Cs-134 et Cs-137. Les solutions étalons du Tableau 2 ont été utilisées pour la contamination (avec des activités respectives différentes de celle de l'échantillon d'eau).

Une masse de 3 kg de pâte a été préparée et fractionnée en 24 petits pains (125 g avant cuisson). Les petits pains ont été cuits au four à micro-ondes.

Ce procédé de préparation devait permettre d'obtenir une activité spécifique identique dans chaque petit pain. Les mesures de contrôle à l'IRA avant l'envoi ont montré que la dispersion des activités des petits pains est de l'ordre de 15% (1 écart-type), un peu plus grande que prévu. Ceci est lié à la variabilité de la masse des pains après la cuisson et à une certaine inhomogénéité de l'activité dans la pâte.

La masse des petits pains après cuisson est variable entre 78 et 87 g, avec une moyenne de  $82.7 \pm 2.2$  g (1 écart-type).

L'activité de référence des petits pains est basée sur l'activité introduite dans la pâte au cours de la préparation.

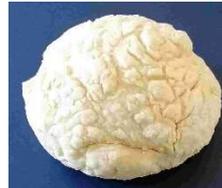


Figure 3. Petit pain

### Activité de référence des échantillons de l'intercomparaison

L'activité de référence des échantillons de l'intercomparaison est donnée dans le Tableau 3. La date de référence de l'intercomparaison a été fixée au 1.8.2022.

Rappelons que tous les participants ont reçu les mêmes échantillons.

Tableau 3. Activités de référence des échantillons. Date de référence : 1.8.2022. Incertitude élargie à  $k=2$ .

Echantillon	Masse délivrée (g)	Écart-type (g)	Activité Cs-134 (Bq)	Incertitude ( $k=2$ ) (%)	Activité Cs-137 (Bq)	Incertitude ( $k=2$ ) (Bq)
Eau	20.00	0.01	10.90	3%	20.18	2%
Farine	150.0	0.5	0	-	0	-
Lait en poudre	100.0	0.1	0	-	60.8	10%
Paille	150.0	0.5	0	-	0	-
Pain	82.7	2.2	9.8	40%	17.2	40%

### Comparaison avec les niveaux d'activité pertinents pour la surveillance

Notons qu'en cas d'accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique, les limites des contaminants radioactifs dans les aliments sont fixées dans l'ordonnance du DFI sur les teneurs maximales en contaminants du 16 décembre 2016<sup>1</sup>.

Pour une boisson (mais pas l'eau potable !), la limite est de 1'000 Bq/kg et l'échantillon d'eau de l'intercomparaison est à 1'550 Bq/kg (Cs-134+Cs-137).

Pour le lait, la limite est à 1'000 Bq/kg et l'échantillon de lait en poudre est à 608 Bq/kg, c'est-à-dire 76 Bq/kg sous la forme consommée (dilution dans l'eau d'un facteur 8 fois pour reconstituer le lait).

Pour le pain, la limite est à 1'250 Bq/kg et l'échantillon est à 330 Bq/kg.

<sup>1</sup> <https://www.lexfind.ch/tolv/169176/fr>

### Contrôle des prescriptions de l'ADR pour l'envoi

Les échantillons ont été envoyés aux laboratoires sous la forme illustrée dans la Figure 4.

Ils avaient tous une activité inférieure à la limite de libération LL de l'ordonnance sur la radioprotection ORaP. Le colis avait un indice de transport selon l'ADR 2016 bien inférieur à 1 (limite pour un transport exempté). Ceci a permis de les transmettre par les services de la poste.



Figure 4. Échantillons de l'intercomparaison (paille, farine, sachet du petit pain, eau et lait en poudre)

### Corrections d'autoatténuation

Dans cette intercomparaison, l'objectif était davantage de démontrer sa capacité à analyser des échantillons de diverses matières et dans des géométries non standards. L'exactitude du résultat avait moins d'importance. On peut renoncer à faire des corrections d'autoatténuation. Cependant, il est recommandé de tenir compte de cette approximation dans le budget d'incertitudes.

### Corrections de sommations dues aux coïncidences vraies

Ce type de sommations est dû aux événements où deux photons d'énergie  $E_1$  et  $E_2$  émis simultanément par le radionucléide sont détectés ensemble dans le détecteur, ce que l'on dénomme *coïncidences vraies*. Il s'ensuit une perte du nombre de coups dans les pics correspondants à  $E_1$  et  $E_2$ , et on observe des coups supplémentaires à l'énergie  $E=E_1+E_2$ .

Pour Cs-137, il n'y a pas de sommations  $\gamma$ - $\gamma$  et  $\gamma$ -X alors que pour Cs-134, il y a des lignes gamma (et/ou des rayons X) émises en coïncidence.

Quand l'échantillon est dans une position proche du détecteur, le risque de détection simultanée des gammas devient notable. Sans correction, l'erreur peut dépasser 10%, selon la géométrie de mesure. Pour éviter ce phénomène, il faut placer la source à une distance suffisamment grande du détecteur (>15 cm) et disposer de la courbe d'efficacité correspondante. Mais ceci est difficile dans le cas d'un échantillon peu radioactif.

Certains logiciels de spectrométrie gamma permettent de faire les corrections de sommations directement, et d'autres logiciels dédiés permettent de calculer les facteurs de correction (EFFTRAN, ETNA, Genie 2K Labsocs, Gespecor, InterWinner, ...).

Ces corrections devraient être effectuées lors de l'étalonnage du détecteur, c'est-à-dire pour établir la courbe d'efficacité de la géométrie de mesure avec des solutions radioactives certifiées (typiquement pour Co-60, Y-88, etc.). Puis, elles devraient être effectuées lors de l'analyse des échantillons pour les radionucléides qui le nécessitent.

La base de données *Nucléide-Lara* sur le site du LNHB<sup>2</sup> indique quelles sont les lignes  $\gamma$  qui peuvent avoir des sommations.

Si on se satisfait d'une précision moins bonne sur la mesure, on peut renoncer à corriger les résultats, mais dans ce cas il est recommandé de tenir compte de cette approximation dans le budget d'incertitudes.

<sup>2</sup> <http://www.lnhb.fr/donnees-nucleaires/module-lara/>

## 3. Résultats et discussion

Comme indiqué plus haut, l'objectif était d'analyser les cinq échantillons pour déterminer lesquels comportaient de la radioactivité artificielle et lesquels n'en comportaient pas. Bien-sûr, le cas échéant, il fallait déterminer l'activité totale de l'échantillon.

### 3.1. Résultats communiqués par les participants

Les laboratoires ont reçu un formulaire de protocole de résultats sur lequel ils ont fourni leurs valeurs d'activité, ainsi que des indications concernant leur détecteur et leur méthode de mesure (les informations du Tableau 1).

#### 3.1.1. Echantillons sans radioactivité artificielle

Tous les laboratoires ont indiqué que les échantillons de farine et de paille ne contenaient pas de radioactivité artificielle. Quelques-uns ont relevé la présence de K-40 naturel (des valeurs d'environ 8 Bq dans la farine, et très variables dans la paille, 15 à 55 Bq).

#### 3.1.2. Echantillons avec radioactivité artificielle

Tous les laboratoires ont découvert la présence de Cs-134 et/ou Cs-137 dans l'eau, le lait en poudre et le pain, à l'exception d'un laboratoire qui a renoncé à faire l'analyse pour la géométrie non standard du petit pain.

Les résultats étaient attendus en activité absolue pour tout l'échantillon (Bq), comme indiqué sur le formulaire de résultat. Ceci était un peu inhabituel et la moitié des participants les a communiqués en activité spécifique (Bq/kg). Ceci ne pose pas de problème. Ces résultats ont été convertis en activité absolue dans les tableaux qui suivent.

Le Tableau 4 présente les résultats pour l'eau, le Tableau 5 les résultats pour le lait en poudre et le Tableau 6 pour le pain, avec les incertitudes élargies relatives  $U$  (à  $k=2$ ) communiquées par les laboratoires.

On a volontairement renoncé à demander aux participants les informations concernant les corrections d'autoatténuation et de sommations.

Tableau 4. Echantillon d'eau. Résultats communiqués par les participants

Participant No	Cs-134		Cs-137		Remarques sur la méthode de mesure
	Activité (Bq)	U (k=2) (%)	Activité (Bq)	U (k=2) (%)	
1	10.14	30%	20.1	30%	dilution à 500 ml, Semadeni 500 ml
2	10.86	8.6%	20.0	8.3%	boîte ronde PS Ø68x6mm
3	9.92	8%	21.9	6%	dilution à 80 ml
4	9.9	10%	20.9	10%	dilution à 250 ml, Semadeni 250 ml
5	11.4	12%	21.2	12%	Semadeni 1742 500 ml
6	9.5	20%	20.8	20%	réipient original et aussi dilué à 1 litre
7	10.8	6%	22.4	6%	-
8	6.42	25%	11.5	25%	-
9	11	10%	21	10%	dilution à 500 ml, Semadeni 500 ml
10	9.79	15.9%	18.4	15.9%	réipient original, calibration LabSOCS
11	8.455	15.1%	19.11	15.1%	flacon original, utilisé Winnertrack
12	10.72	8.8%	19.96	12.2%	réipient Semadeni réf. 2.1905, 15 ml
13	12.3	10%	23	10%	dilution à 500 ml, Semadeni 500 ml
14	10.8	5%	21.1	5%	réipient original
15	10.78	10%	20.44	10%	dilution à 500 ml, Semadeni 500 ml
16	16.6	5.2%	32	12.0%	mesure directe, calibration par calcul
17	11.12	15.9%	20.18	3.9%	dilution à 50 ml, réipient CEA BV50
18	10.37	3.7%	20.14	3.7%	réipient original
19	9.23	3.38%	20.6	6.48%	-
20	8.6	11.8%	19.1	11.8%	réipient original, calibration LabSOCS, eau
Moyenne	10.4		20.7		
Éc.-t. relatif	18%		17%		
Maximum	16.6		32		
Minimum	6.4		11.5		

Tableau 5. Echantillon de lait en poudre. Résultats communiqués par les participants

Participant No	Cs-137		Remarques sur la méthode de mesure
	Activité (Bq)	U (k=2) (%)	
1	59	30%	réipient 80 ml, densité 0.63 g/cm <sup>3</sup>
2	60.6	7.8%	Boîte ronde PS Ø68x6mm
3	58.3	10%	dilution à 80 ml
4	67.5	10%	Réipient Ø65mm x 24 mm
5	55	12%	Boîte de petri
6	60.4	10%	uniquement mélangé
7	56.5	11.2%	-
8	107	25%	-
9	63.5	20%	Semadeni 500 ml avec correction pour la hauteur
10	55.3	15.9%	Réipient original, calibration LabSOCS
11	43.35	15.1%	Flacon original, utilisé Winnertrack
12	56.5	12.6%	Réipient Semadeni réf. 2.1905, 53.6 ml, densité 0.6 g/cm <sup>3</sup>
13	60.3	10%	Boîte ronde PS Ø68 x 30 mm
14	53.4	15%	Réipient original avec corrections d'autoatténuation et de remplissage
15	54.6	20%	LabSOCS/ISOCS
16	41	12.0%	mesure directe, calibration par calcul
17	61.5	6.2%	50 ml (32.46 g) dans réipient CEA BV50, corr. autoatt. LabSOCS pour Cs-137
18	70.6	3.4%	Réipient original, non dilué
19	72.5	6.54%	-
20	59.6	11.8%	Réipient original, calibration LabSOCS, cellulose 0.4 g/cm <sup>3</sup>
Moyenne	60.8		
Éc.-t. relatif	22%		
Maximum	107		
Minimum	41		

Tableau 6. Echantillon de pain. Résultats communiqués par les participants.

Participant No	Cs-134		Cs-137		Remarques sur la méthode de mesure
	Activité (Bq)	U (k=2) (%)	Activité (Bq)	U (k=2) (%)	
1	11.0	30%	18.3	30%	mes. directe, comme réc.80 ml, corr. densité 0.78 g/cm <sup>3</sup>
2	11.8	7.9%	20.8	7.7%	boîte ronde PS Ø68 x 24 mm
3	9.2	15%	19.2	9%	pain moulu, Petri 24 mm (80 ml)
4	7.5	10%	15.7	10%	homogénéisation, récipient Ø65 x 24 mm
5	9.2	13%	16.4	13%	pain émiété, boîte de Petri
6	9.5	20%	19	20%	pain émiété, géométrie standard
7	9.9	12.9%	19.5	12.8%	-
8	17.7	25%	32.2	25%	-
9	9.7	20%	18.4	20%	Semadeni 500 ml, corr. hauteur et densité
10	8.99	16%	16.5	16%	mesure directe dans récipient standard, LabSOCS
11	9.975	15.2%	19.39	15.2%	pain rompu, ramolli avec eau, Winnertrack
12	18.7	12.4%	10.8	9.2%	Semadeni 2.1905, 53.6 ml, d=0.6 g/cm <sup>3</sup>
13	11.4	10%	20.2	10%	Semadeni 500 ml
14	10.3	20%	18.7	20%	mesure directe, Semadeni 250 ml
15	10.8	20%	19.6	20%	Semadeni h=25 mm, LabSOCS/ISOCS, corr. densité
16	6.6	5.2%	11.6	12.0%	mesure directe, calibration par calcul
17	7.9	20.3%	15.1	17.8%	mesure directe, géom. modélisée dans ISOCS/LabSOCS
18	12.3	3.9%	22.7	3.9%	Semadeni 250 ml, forme du pain conservée
19	-	-	-	-	pas analysé, pas de géométrie correspondante
20	5.7	11.8%	11.9	11.8%	LabSOCS avec cellulose 0.5 g/cm <sup>3</sup>
Moyenne	10.4		18.2		
Éc.-t.relatif	31%		26%		
Maximum	18.7		32.2		
Minimum	5.7		10.8		

Le participant no 8 a donné les résultats de 2 détecteurs. Les valeurs moyennes sont présentées dans les tableaux.

Certains laboratoires ont indiqué encore d'autres radionucléides, en particulier K-40 qui ne fait pas partie des artificiels. Ils ne sont pas indiqués ici car il n'y avait pas d'autres radionucléides introduits dans les échantillons.

### 3.2. Méthode d'analyse des résultats

Le rapport  $R$  de la valeur mesurée à la valeur de référence a été calculé pour chaque résultat :

$$R = \frac{\text{valeur mesurée}}{\text{valeur de référence}}$$

Les valeurs de ce rapport sont données dans le Tableau 7 pour l'eau, le Tableau 8 pour le lait en poudre et le Tableau 9 pour le pain.

Afin de juger des résultats, on a utilisé l'outil statistique du score  $\zeta$  (zêta). Celui-ci tient compte non seulement de l'écart par rapport à la valeur de référence dans le jugement de la performance, mais incorpore aussi l'évaluation de l'incertitude donnée par le participant. Ce score est défini par la relation :

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

où  $A_{mes}$  est la concentration radioactive mesurée par le participant,  $A_{ref}$  est la concentration radioactive de référence, la valeur de  $u_{mes}$  est l'incertitude-type communiquée par le participant (c'est-à-dire l'incertitude U à  $k=2$  du Tableau 7 et du Tableau 8 divisée par 2) et  $u_{ref}$  est l'incertitude-type de la valeur de référence de l'intercomparaison (incertitude U du Tableau 3 divisée par 2).

La valeur du score  $\zeta$  s'interprète de la manière suivante :

- Quand le score  $\zeta$  est situé entre -2.0 et +2.0, cela indique une performance adéquate et aucun signal particulier n'est donné.
- Quand le score  $\zeta$  est situé entre -3.0 et -2.0 ou entre 2.0 et 3.0, cela indique une performance discutable et un avertissement est signalé (WARNING).
- Quand le score  $\zeta$  est au-dessus de 3.0 ou en dessous de -3.0, cela signale qu'il faut procéder à une amélioration ou action corrective (ACTION).

Le Tableau 7 et le Tableau 8 présentent les valeurs du score  $\zeta$  calculées pour chaque résultat de l'échantillon d'eau et l'échantillon de lait en poudre.

Pour l'échantillon de pain, on a estimé qu'on ne disposait pas d'une activité de référence totalement fiable et on a renoncé au calcul du score  $\zeta$ .

Tableau 7. Echantillon d'eau. Rapport mesuré/référence, incertitude absolue et score zêta.

Participant No	Rapport R mesuré / référence		Incertitude élargie absolue U (k=2)		Score zêta ζ	
	Cs-134 (-)	Cs-137 (-)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Cs-134 (-)	Cs-137 (-)
1	0.93	0.99	3.04	6.02	-0.5	0.0
2	1.00	0.99	0.93	1.66	-0.1	-0.2
3	0.91	1.08	0.79	1.31	-2.3	2.5
4	0.91	1.04	0.99	2.09	-1.9	0.7
5	1.05	1.05	1.37	2.54	0.7	0.8
6	0.87	1.03	1.90	4.16	-1.5	0.3
7	0.99	1.11	0.65	1.34	-0.3	3.3
8	0.59	0.57	1.60	2.88	-5.5	-6.0
9	1.01	1.04	1.10	2.10	0.2	0.8
10	0.90	0.91	1.56	2.93	-1.4	-1.2
11	0.78	0.95	1.28	2.89	-3.7	-0.7
12	0.98	0.99	0.94	2.44	-0.4	-0.2
13	1.13	1.14	1.23	2.30	2.2	2.4
14	0.99	1.05	0.54	1.06	-0.3	1.7
15	0.99	1.01	1.08	2.04	-0.2	0.3
16	1.52	1.59	0.86	3.84	12.3	6.1
17	1.02	1.00	1.77	0.79	0.2	0.0
18	0.95	1.00	0.38	0.75	-2.1	-0.1
19	0.85	1.02	0.31	1.33	-7.4	0.6
20	0.79	0.95	1.01	2.25	-4.3	-1.0
Moy.	0.957	1.025				
Ec-t.	0.18	0.17				
Max	1.52	1.59				
Min	0.59	0.57				

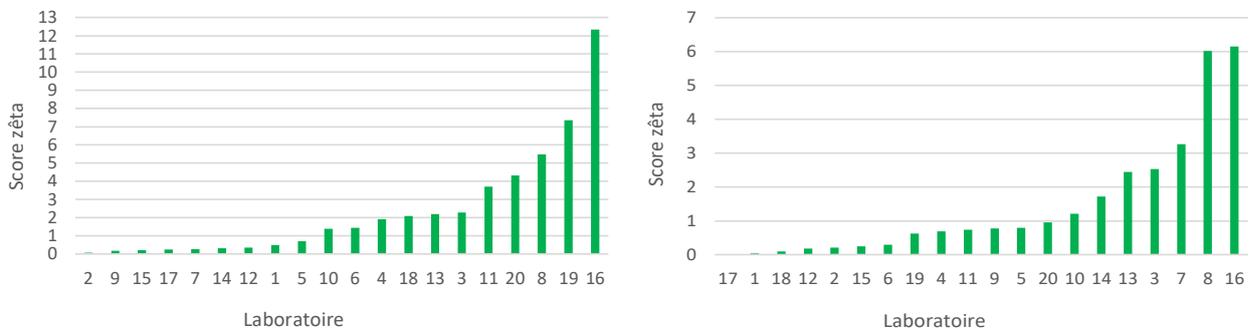


Figure 5. Score zêta pour Cs-134 (à gauche) et Cs-137 (à droite)

Tableau 8. Echantillon de lait en poudre. Rapport mesuré/référence, incertitude absolue et score zêta.

Participant No	Rapport R mesuré / référence	Incertitude élargie absolue U (k=2)	Score zêta $\zeta$
	Cs-137 (-)	Cs-137 (Bq)	Cs-137 (-)
1	0.97	17.70	-0.2
2	1.00	4.73	-0.1
3	0.96	5.83	-0.6
4	1.11	6.75	1.5
5	0.90	6.60	-1.3
6	0.99	6.04	-0.1
7	0.93	6.33	-1.0
8	1.75	26.63	<b>3.3</b>
9	1.04	12.70	0.4
10	0.91	8.79	-1.0
11	0.71	6.55	<b>-3.9</b>
12	0.93	7.12	-0.9
13	0.99	6.03	-0.1
14	0.88	8.01	-1.5
15	0.90	10.92	-1.0
16	0.67	4.92	<b>-5.1</b>
17	1.01	3.81	0.2
18	1.16	2.40	<b>3.0</b>
19	1.19	4.74	<b>3.1</b>
20	0.98	7.03	-0.3
Moy.	1000		
Ec-t.	0.22		
Max	1.75		
Min	0.67		

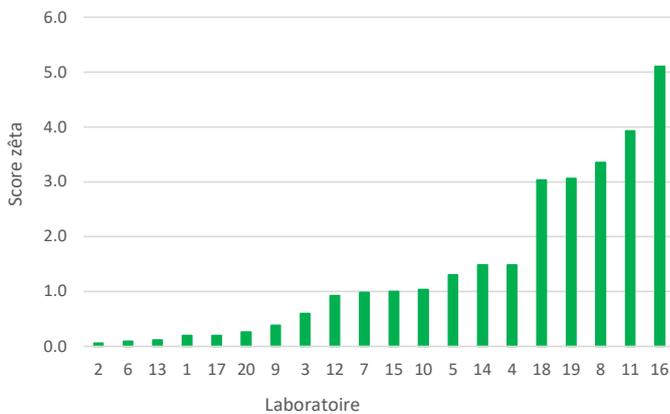


Figure 6. Score zêta pour Cs-137 dans le lait en poudre

Tableau 9. Echantillon de pain. Rapport mesuré/référence et incertitude absolue.

Participant No	Rapport R mesuré / référence		Incertitude élargie absolue U (k=2)	
	Cs-134 (-)	Cs-137 (-)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)
1	1.12	1.06	3.30	5.48
2	1.21	1.21	0.93	1.60
3	0.94	1.12	1.38	1.73
4	0.77	0.91	0.75	1.57
5	0.94	0.95	1.19	2.13
6	0.97	1.10	1.90	3.80
7	1.01	1.13	1.28	2.50
8	1.80	1.87	4.41	8.05
9	0.99	1.07	1.94	3.69
10	0.92	0.96	1.44	2.64
11	1.02	1.13	1.52	2.95
12	1.10	1.09	0.99	2.32
13	1.16	1.17	1.14	2.02
14	1.05	1.09	2.06	3.74
15	1.10	1.14	2.15	3.92
16	0.68	0.67	0.34	1.39
17	0.81	0.88	1.61	2.69
18	1.26	1.32	0.48	0.89
19	-	-	-	-
20	0.58	0.69	0.67	1.40
Moy.	1.021	1.083		
Ec-t.	0.26	0.25		
Max	1.80	1.87		
Min	0.58	0.67		

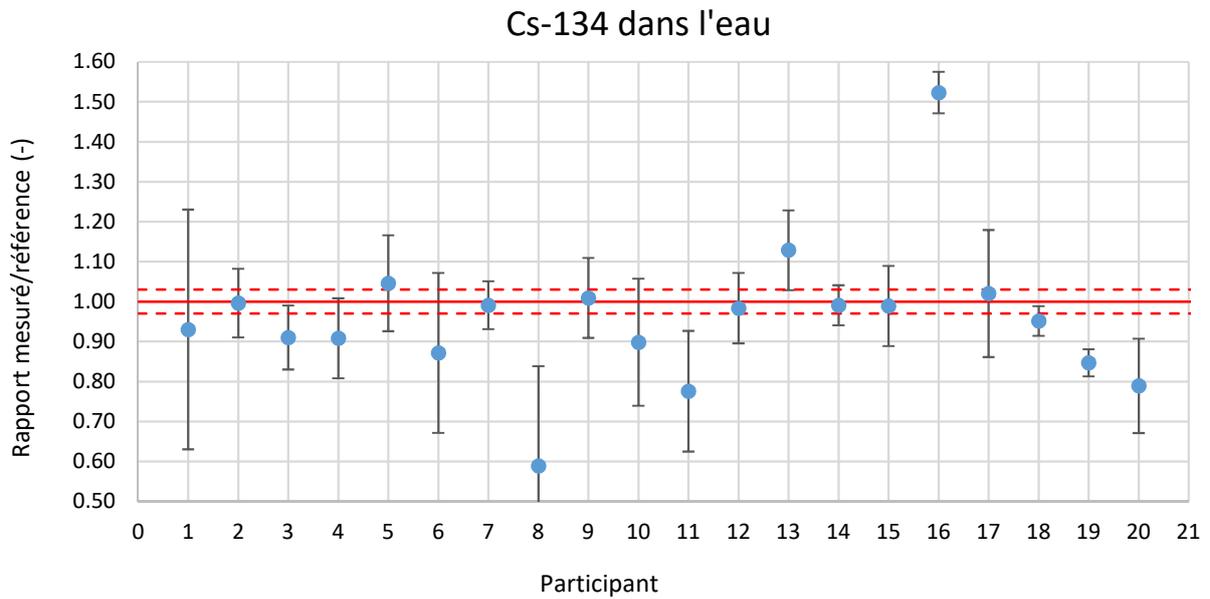


Figure 7. Rapport mesuré/référence pour l'eau et incertitudes élargies à  $k=2$  pour le Cs-134. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à  $k=2$ .

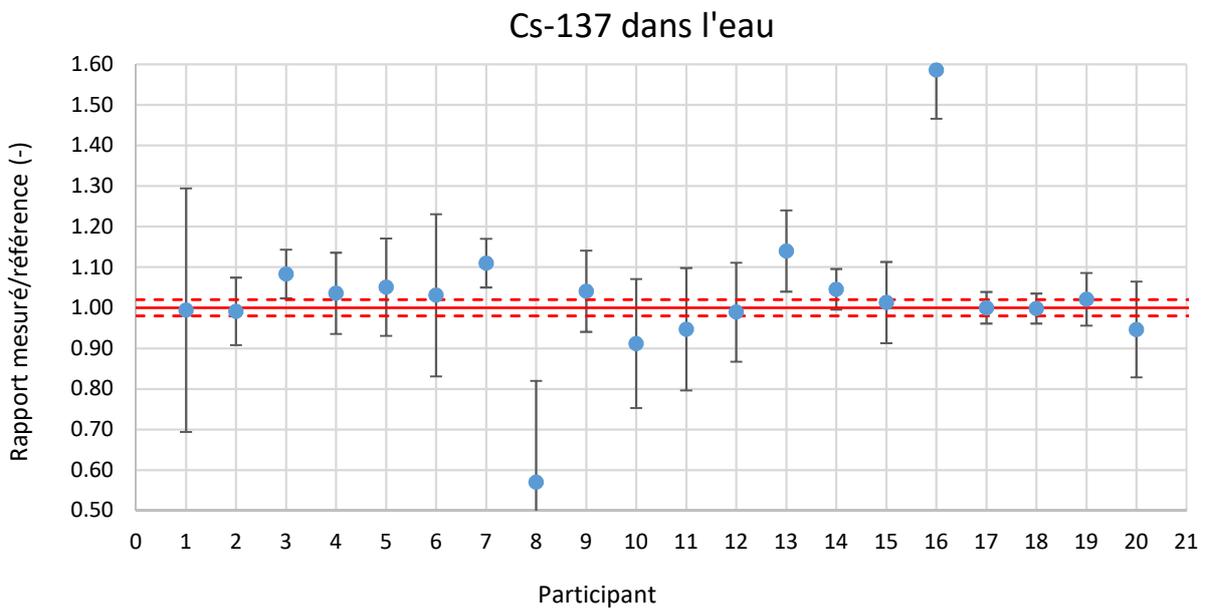


Figure 8. Rapport mesuré/référence pour l'eau et incertitudes élargies à  $k=2$  pour le Cs-137. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à  $k=2$ .

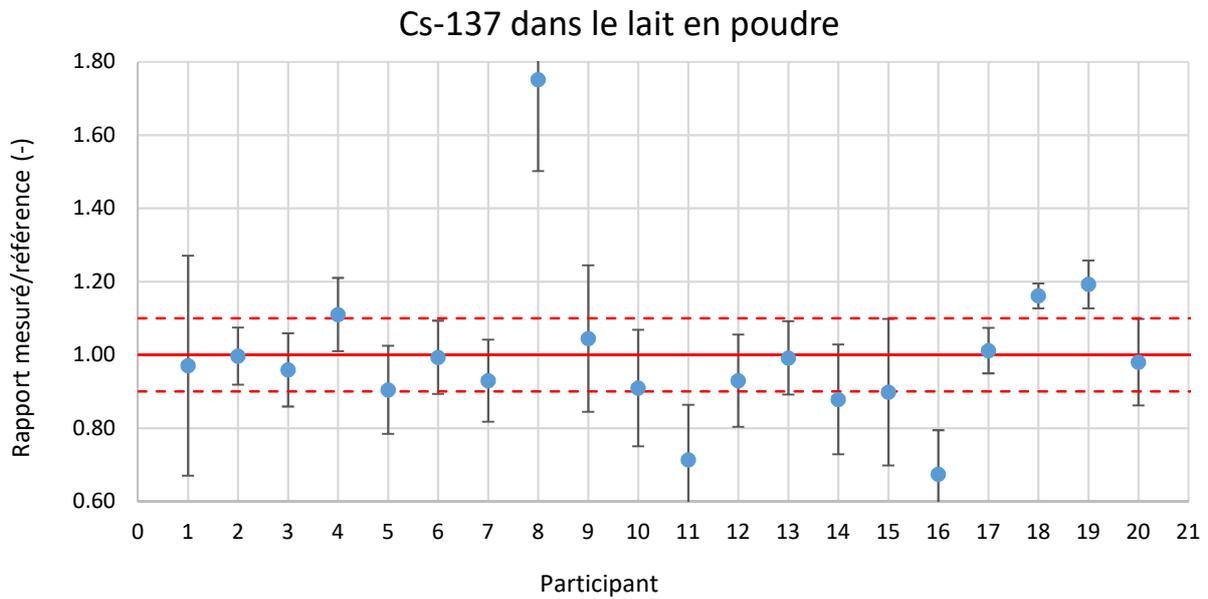


Figure 9. Rapport mesuré/référence pour le lait en poudre et incertitudes élargies à  $k=2$  pour le Cs-137. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à  $k=2$ .

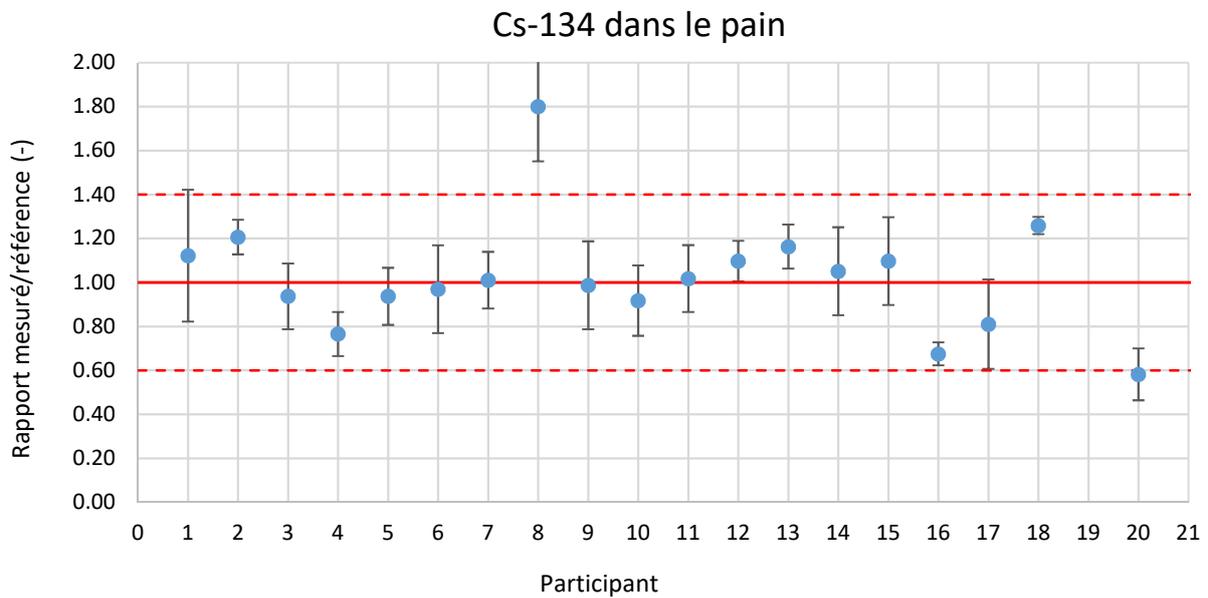


Figure 10. Rapport mesuré/référence pour le pain et incertitudes élargies à  $k=2$  pour le Cs-134. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à  $k=2$ .

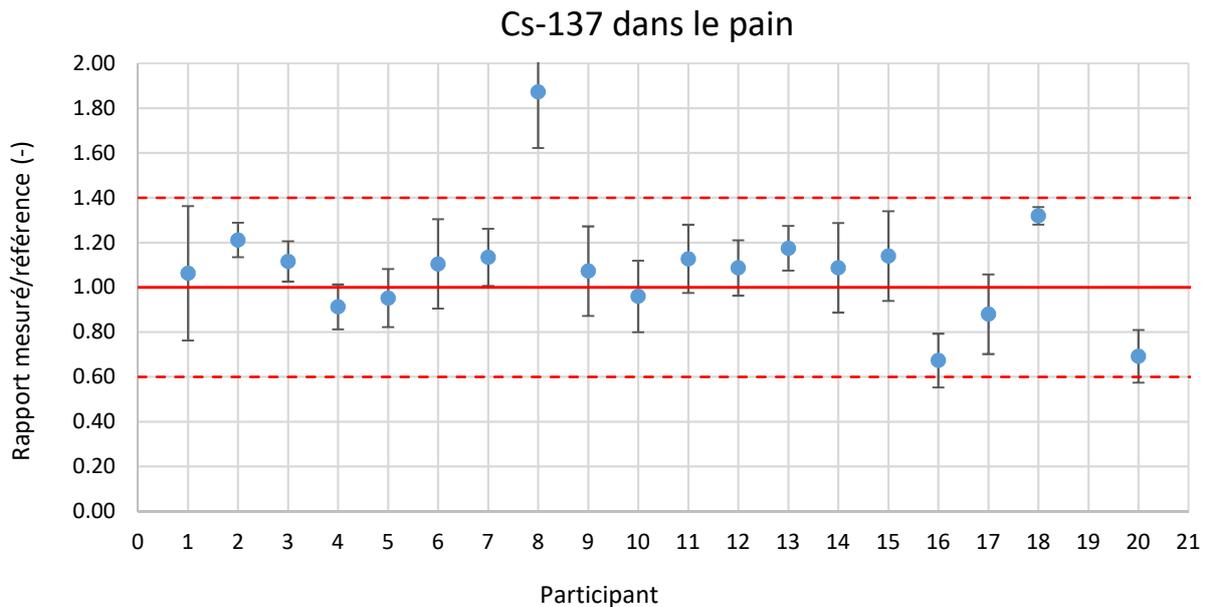


Figure 11. Rapport mesuré/référence pour le pain et incertitudes élargies à  $k=2$  pour le Cs-137. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à  $k=2$ .

### 3.3. Discussion des résultats

#### 3.3.1. Echantillon d'eau

A cause du petit volume d'échantillon, la moitié des laboratoires a dilué l'eau pour exécuter la mesure dans une géométrie étalonnée. Ceci est la méthode la plus simple et celle qui est recommandée. Les autres participants ont fait une mesure directe dans le flacon original et ont modélisé celui-ci dans un programme de calcul pour déterminer l'efficacité (LabSOCS, Winnertrack, etc.). Quelques-uns ont appliqué une correction pour les effets des sommations du Cs-134.

#### Cs-134

Pour le Cs-134, le rapport *mesuré/référence* moyen est de  $0.957 \pm 0.18$  (1 écart-type). L'accord général des participants avec l'activité de référence est donc satisfaisant. La légère sous-estimation vient du fait que tous les participants ne corrigent pas pour les effets des sommations.

Douze laboratoires ont un résultat en ordre.

Cinq reçoivent une mention ACTION :

- No 16 : mesure directe, mauvais calcul de l'efficacité avec LabSOCS ?
- No 19 : pas d'information sur la méthode, l'incertitude semble faible
- No 8 : pas d'information sur la méthode, nette sous-estimation, problème d'étalonnage ?
- No 20 : mesure directe, mauvais calcul de l'efficacité avec LabSOCS ?
- No 11 : mesure directe, mauvais calcul de l'efficacité avec Winnertrack ?

Dans tous ces cas, on ignore si les effets des sommations ont été considérés ou pas.

Trois laboratoires reçoivent la mention WARNING, les no 3, 13 et 18.

### Cs-137

Pour le Cs-137, le rapport *mesuré/référence* moyen est de  $1.025 \pm 0.17$  (1 écart-type). L'accord général avec l'activité de référence est donc bon.

Quinze laboratoires ont un résultat en ordre.

Trois reçoivent une mention ACTION :

- No 16 : mesure directe, mauvais calcul de l'efficacité avec LabSOCS ?
- No 8 : pas d'information sur la méthode, nette sous-estimation, problème d'étalonnage ?
- No 7 : pas d'information sur la méthode, surestimation

Deux laboratoires reçoivent la mention WARNING. Le no 3 et le no 13.

Il est difficile de faire un lien entre la qualité des résultats et la méthode utilisée. Les informations ne sont pas assez complètes. Il serait intéressant de savoir pourquoi les calculs d'efficacité (avec LabSOCS et Winnertrack) n'ont pas donné les résultats escomptés dans plusieurs cas.

#### 3.3.2. Echantillon de lait en poudre

Les participants ont transféré le lait en poudre dans une géométrie étalonnée ou ils ont mesuré le Cs-137 directement dans le récipient Semadeni 250 ml original en appliquant une correction pour la hauteur de remplissage.

Bien qu'il s'agit d'un produit soluble, il semble qu'aucun participant n'a choisi de diluer la poudre dans de l'eau pour reconstituer du lait liquide et le mesurer dans une géométrie étalonnée.

Plusieurs laboratoires ont appliqué une correction pour l'autoatténuation dans la poudre de lait, principalement en fonction de la densité (calculs avec LabSOCS, Winnertrack, etc.).

Le rapport *mesuré/référence* moyen est de  $1.000 \pm 0.22$  (1 écart-type). L'accord général des participants avec l'activité de référence est donc bon.

Quinze laboratoires ont un résultat en ordre. Cinq reçoivent une mention ACTION :

No 16 : mesure directe, mauvais calcul de l'efficacité avec LabSOCS ?

No 11 : mesure directe, mauvais calcul de l'efficacité avec Winnertrack ?

No 8 : pas d'information sur la méthode, nette surestimation, problème d'étalonnage ?

No 19 : pas d'information sur la méthode

No 18 : mesure directe.

Aucun laboratoire n'a eu de mention WARNING.

Dans ce cas aussi, il est difficile de faire un lien entre la méthode utilisée et la qualité du résultat.

#### 3.3.3. Echantillon de pain

La majorité des participants a réduit le pain en miettes et l'a mesuré dans une géométrie connue ou caractérisée par calcul. Un tiers des participants a mesuré directement le petit pain et a fait l'évaluation de l'activité par approximation avec une géométrie similaire ou caractérisée par calcul.

Plusieurs laboratoires ont appliqué une correction pour l'autoatténuation dans le pain (calculs avec LabSOCS, Winnertrack, etc.).

Pour Cs-134, le rapport *mesuré/référence* moyen est de  $1.021 \pm 0.26$  (1 écart-type). L'accord général avec l'activité de référence est donc bon.

Pour Cs-137, le rapport *mesuré/référence* moyen est de  $1.081 \pm 0.25$  (1 écart-type). Le biais est un peu plus élevé.

Cet échantillon n'avait pas des caractéristiques très « métrologiques » (forme et masse variable, homogénéité de l'activité pas assurée). On ne va donc pas faire une analyse détaillée du score zêta.

### 3.3.4. Performances globales

Qualitativement, les résultats généraux sont bons. Tous les échantillons radioactifs ont été identifiés, sauf dans un cas pour le pain où un participant a renoncé à faire une analyse pour laquelle il n'avait pas d'étalonnage correspondant.

Quantitativement, les performances globales sont examinées tout d'abord pour les échantillons d'eau et de lait en poudre. Elles sont présentées dans le Tableau 10.

Tableau 10. Nombres de cas observés dans chaque catégorie de score zêta

Performance	Cs-134 Eau	Cs-137 Eau	Cs-137 Lait	Relatif
OK	12	15	15	70%
WARNING	3	2	0	8%
ACTION	5	3	5	22%
Pas mesuré	0	0	0	0%

On voit que 70% des résultats reçus pour ces deux échantillons d'activités bien caractérisés sont parfaitement conformes aux méthodes d'analyses et d'évaluation des incertitudes. Ceci est très satisfaisant.

Pour 8% des résultats avec un *Warning*, l'analyse en question devrait être revue pour comprendre pourquoi la performance n'est pas complètement satisfaisante (en particulier revoir le budget d'incertitude).

Pour 22% des résultats avec un *Action*, il faut revoir la méthode d'analyse afin de l'améliorer ou la corriger. Six laboratoires ont rencontré des difficultés avec la mesure de Cs-134 et/ou Cs-137 dans l'échantillon d'eau. Ceci est un peu décevant car il était relativement simple de diluer l'échantillon pour le mesurer dans une géométrie connue. Les intercomparaisons des années précédentes ont montré de très bons résultats pour le Cs-134 et Cs-137 dans un volume de 500 ml de liquide. Dans les cas où une mesure directe du petit flacon de 20 ml original a été effectuée, on ne s'explique pas bien non plus pourquoi les calculs d'efficacité n'ont pas donné de bons résultats.

En ce qui concerne l'échantillon de pain, l'accord général est satisfaisant entre les laboratoires et avec la valeur de référence. Un seul laboratoire a fourni une valeur en dehors de  $\pm 40\%$ .

## 4. Conclusions

Vingt laboratoires ont pris part à l'intercomparaison 2022 et ont fourni des résultats. Les participants ont identifié convenablement la présence de radioactivité artificielle de Cs-134 et Cs-137 dans les échantillons contaminés. Bien que les échantillons ne leur ont volontairement pas été délivrés sous la forme ou la quantité attendue, ils ont accepté de prendre en charge une telle mesure qui sort sans doute de leur procédure de routine. Ils ont pu donner une activité à l'intérieur d'une fourchette de -43% à +80% de la valeur de référence.

Il serait souhaitable cependant qu'on puisse obtenir une meilleure homogénéité des résultats au sein des laboratoires en Suisse. Les étalonnages de quelques laboratoires devraient ainsi être revus.

Il semble que les calculs d'efficacité pour la géométrie du flacon 20 ml au moyen de logiciels comme LabSOCS ou Winnertrack n'ont pas donné une bonne précision (bien qu'on n'a pas beaucoup d'information à ce sujet). Ceci pourrait être un point à contrôler lors d'une prochaine intercomparaison, si les laboratoires y sont intéressés.

Plusieurs laboratoires n'effectuent pas de corrections de sommations ou d'autoatténuation. Ceci n'est pas critiquable, ils n'ont peut-être pas les moyens d'effectuer ces calculs. Nous leur recommandons par contre de fixer des incertitudes suffisamment grandes pour tenir compte de ces effets. Notons que les logiciels récents permettent d'introduire une composante supplémentaire d'incertitude dans les paramètres de l'analyse.

En conclusion, on peut dire que l'engagement des participants pour cette intercomparaison a été très bon (5 échantillons à examiner !). Certains échantillons devaient être manipulés, transformés ou dilués pour réaliser la mesure et ceci a assez bien fonctionné.

Le niveau de performance général est bon et semblable à celui des années précédentes. La majorité des laboratoires disposent d'installation relativement récentes, bien étalonnées et régulièrement suivies. Les logiciels utilisés et les versions sont assez variés.

## 5. Remerciements

Les organisateurs tiennent à remercier chaleureusement les participants pour le soin qu'ils ont apporté au bon déroulement de cette campagne de mesure.

Ils remercient leurs collègues de IRA-METAS, Teresa Dúran, Frédéric Juget et Youcef Nedjadi, pour la mise à disposition de solutions radioactives certifiées.

---

## 6. Annexe : liste des participants

---

Herr Dietmar Baumann  
Amt für Lebensmittelsicherheit und  
Tiergesundheit GR  
Ringstrasse 10  
Postfach  
7001 Chur  
081 257 26 24 / dietmar.baumann@alt.gr.ch

---

Herr Sandro D'Amato  
SUVA  
Bereich ALC  
Rösslimattstrasse 39  
CP 4358  
6002 Luzern  
041 419 64 03 / sandro.damato@suva.ch

---

Monsieur Giovanni Ferreri  
OFSP  
Division Radioprotection  
Radioactivité de l'environnement  
Schwarzenburgstr. 157  
3003 Bern  
058 465 19 12 / giovanni.ferreri@bag.admin.ch

---

Herr Claudius Gemperle  
Kanton Aargau DGS  
Amt für Verbraucherschutz  
Lebensmittelkontrolle  
Obere Vorstadt 14  
5000 Aarau  
062 835 30 55 / claudius.gemperle@ag.ch

---

Herr Stefan Kradolfer  
Labor Spiez  
Gruppe Radioaktivität  
Austrasse  
3700 Spiez  
058 465 22 25 /  
stefan.kradolfer@babs.admin.ch

---

Monsieur Fabrice Malacrida  
CERN  
HSE-RP-CS  
Esplanade des Particules 1  
24/R-009  
1217 Meyrin  
075 411 01 08 / fabrice.malacrida@cern.ch

---

Madame Stavroula Pallada  
hepia haute école du paysage, d'ingénierie et  
d'architecture  
Laboratoire de Physique Nucléaire  
Rue de la Prairie 4  
1202 Genève  
022 546 25 26 / stavroula.pallada@hesge.ch

---

Herr Stephan Reber  
Kantonales Labor Zürich  
Abteilung Elementanalytik  
Fehrenstrasse 15  
Postfach 1471  
8032 Zürich  
043 244 71 93 / stephan.reber@kl.zh.ch

---

Herr Robert Brogioli  
Dienststelle Lebensmittelkontrolle und  
Verbraucherschutz (DILV)  
Chemie 1  
Vonmattstrasse 16  
6003 Luzern  
041 248 84 05 / robert.brogioli@lu.ch

---

Monsieur Marco De Rossa  
Laboratorio cantonale  
Via Mirasole 22  
6500 Bellinzona  
091 814 61 65 / marco.derossa@ti.ch

---

Herr Patrick Franz  
Axpo Power AG  
Kernkraftwerk Beznau  
KBU-C  
5312 Döttingen  
056 266 73 18 / patrick.franz@axpo.com

---

Herr Martin Heule  
Paul Scherrer Institut  
Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit  
(ASI)  
Radioanalytik  
5232 Villigen - PSI  
056 310 31 52 / martin.heule@psi.ch

---

Herr Andreas Leupin  
ENSI Eidgenössisches  
Nuklearsicherheitsinspektorat  
Bereich Strahlenschutz  
Industriestrasse 19  
5201 Brugg  
056 460 86 32 / andreas.leupin@ensi.ch

---

Frau Susanne Nussbaumer  
Kantonales Laboratorium BE  
Muesmattstrasse 19  
3012 Bern  
031 633 11 11 / susanne.nussbaumer@be.ch

---

Frau Anja Pregler  
Kantonales Laboratorium BS  
Kannenfeldstrasse 2  
4056 Basel  
061 385 25 63 / anja.pregler@bs.ch

---

Herr Pascal Rünzi  
EAWAG  
Ueberlandstrasse 133  
8600 Dübendorf  
058 765 55 10 / pascal.ruenzi@eawag.ch

---

Herr Alexander Schönmann  
Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG  
Kraftwerkstrasse  
4658 Däniken  
062 288 31 67 / [aschoenmann@kkg.ch](mailto:aschoenmann@kkg.ch)

---

Frau Eva Vogt  
Zwilag  
Zwischenlager Würenlingen AG  
Industriestrasse Beznau 1  
5303 Würenlingen  
056 297 47 56 / [eva.vogt@zwilag.ch](mailto:eva.vogt@zwilag.ch)

---

Madame Marietta Straub  
Institut de radiophysique - CHUV  
GCR  
Rue du Grand-Pré 1  
1007 Lausanne  
021 314 81 73 / [marietta.straub@chuv.ch](mailto:marietta.straub@chuv.ch)

---

Herr Hans Zbinden  
BKW Energie AG  
Kernkraftwerk Mühleberg  
Gruppe Chemie  
3203 Mühleberg  
058 477 73 09 / [hans.zbinden@bkw.ch](mailto:hans.zbinden@bkw.ch)

---