



# Rapport 24-17

## Analyse de sédiments prélevés dans l'environnement du CNPE de Fessenheim



Rédacteur(s) :	Marion Jeambrun
Relecteur(s)	Bruno Chareyron
Date de 1 <sup>e</sup> publication	27/05/2024

## Table des matières

Contexte .....	3
Réalisation des prélèvements .....	3
Préparation et analyses des échantillons .....	5
Résultats des analyses par spectrométrie gamma des sédiments .....	5
Radionucléides naturels .....	5
Radionucléides artificiels .....	6
Evolution des activités par rapport aux précédentes études .....	6
Dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 dans les sédiments .....	7
Activité en carbone 14 .....	7
Activité en tritium .....	8
Evolution des activités .....	8
Synthèse et conclusion .....	9
Annexe 1 Stations de prélèvement.....	10
Annexe 2 Résultats des analyses par spectrométrie gamma .....	13

## Contexte

En octobre 2023, le groupe de travail AK Abriß qui suit de manière critique le démantèlement de la centrale nucléaire de Fessenheim, a pris contact avec le laboratoire de la CRIIRAD pour réaliser des analyses par spectrométrie gamma dans les sédiments du Rhin en aval de la centrale de Fessenheim.

Le laboratoire de la CRIIRAD a réalisé en octobre 1999 et en mai 2010 des études radioécologiques similaires pour le compte de la Commission Locale d'Information et de Surveillance.

Pour cette nouvelle étude, le laboratoire de la CRIIRAD s'est donc appuyé sur les plans de prélèvements établis alors et sur les conclusions des précédentes études.

En 1999 une douzaine de prélèvements de sédiment avait été réalisé d'Huningue à Neuhof. Les analyses n'avaient porté que sur les radionucléides détectables par spectrométrie gamma.

Au niveau des radionucléides artificiels, les résultats avaient montré la **présence de césium 137, de cobalt 58, de cobalt 60 et d'iode 131**.

En mai 2010, 6 stations de prélèvement parmi les 12 avaient fait l'objet de nouveaux prélèvements. Les analyses avaient révélé la **présence de césium 137 uniquement**. Les cobalts 58 et 60 ainsi que l'iode 131 n'étaient plus détectés.

Par ailleurs, en 2010 3 échantillons parmi les 6 (Grand canal aval écluse de Fessenheim, Grand canal amont écluse de Vogelgrün et canal de Neuf Brisach aval écluse) avaient fait l'objet d'analyse de tritium organiquement lié et de carbone 14. Les résultats obtenus démontraient la présence **d'activités importantes en tritium** et dans une moindre mesure en carbone 14 dans tous les échantillons (l'activité la plus importante étant mesurée dans l'échantillon de sédiment prélevé dans le canal de Neuf Brisach). En fonctionnement, le tritium et le carbone 14 étaient les radionucléides prépondérants dans les rejets liquides de la centrale de Fessenheim.

Pour la présente étude, **il a ainsi été proposé que soit réalisé un prélèvement en amont de la centrale et d'orienter** le choix des stations de prélèvement en fonction des précédentes études, aux stations ayant fait l'objet d'un dosage de tritium et de carbone 14.

Le tritium étant toujours le radionucléide prépondérant dans les rejets déclarés par EDF pour l'année 2023 (600 GBq rejetés en cumulé sur l'année jusqu'à novembre 2023), il nous paraît également important de réaliser en plus de l'analyse par spectrométrie gamma, une analyse spécifique du tritium organiquement lié. Le cobalt 60 émetteur gamma vient en 2<sup>nde</sup> position dans les rejets déclarés, puis vient le carbone 14.

La proposition comprend donc l'analyse par spectrométrie gamma et le dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 dans **3 sédiments prélevés en aval de la centrale et dans un sédiment amont**.

## Réalisation des prélèvements

Les prélèvements ont été effectués par Mme Marion Jeambrun, responsable du laboratoire de la CRIIRAD, le 5 février 2024. Elle était accompagnée de bénévoles de la CRIIRAD et de membres du groupe de travail AK Abriß.

Les localisations et les coordonnées GPS des différents points de prélèvements figurent sur la carte et le tableau suivants.

Carte 1 : Localisation des points de prélèvements

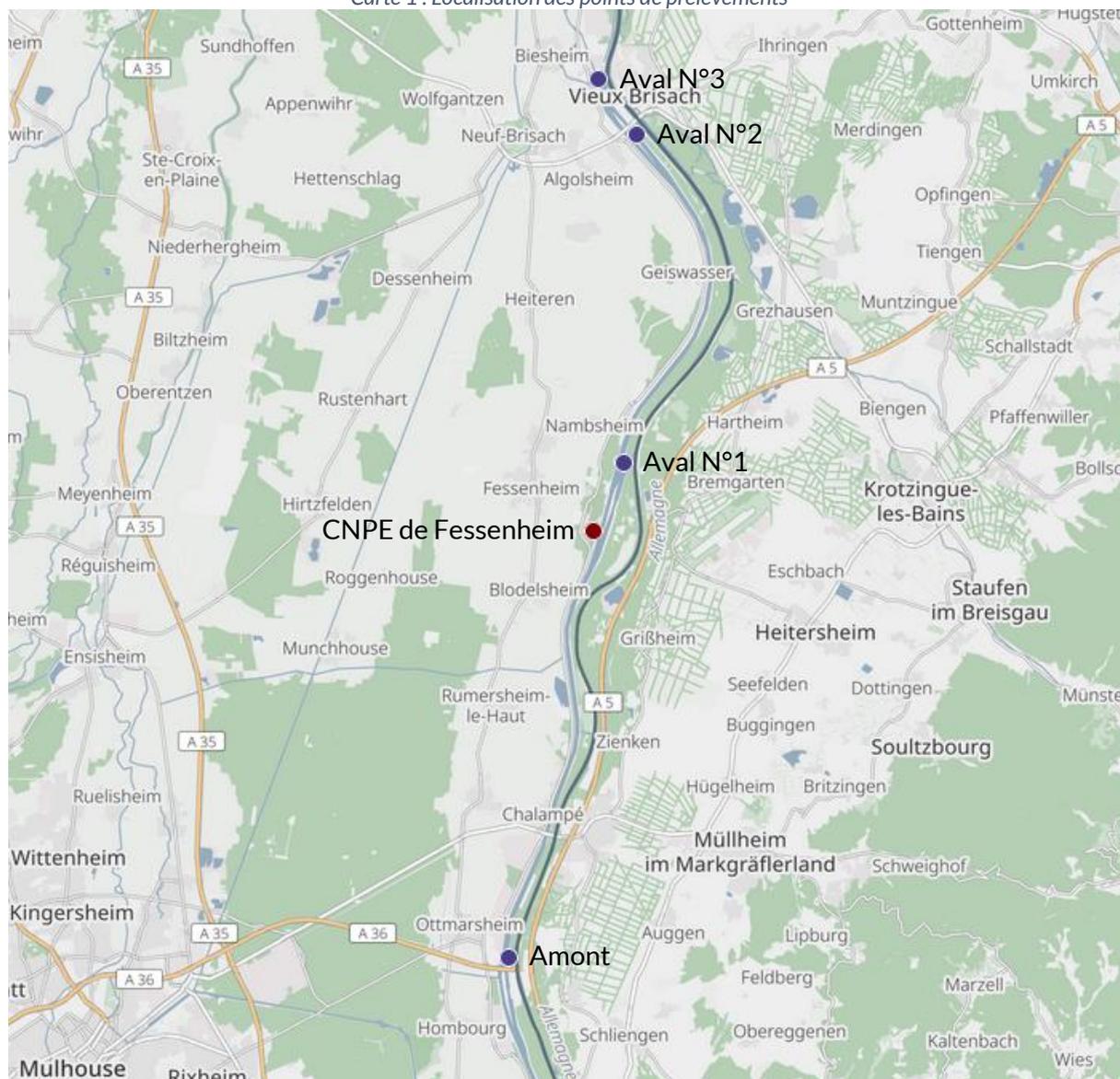


Tableau 1 : Coordonnées GPS des prélèvements

Point de prélèvement	Coordonnées GPS		Précisions	Mode de prélèvement
<b>Amont</b>	N : 47,779093°	E : 7,526321°	Aval pont de l'A36 Rive droite	Godet sur perche
<b>Aval N°1</b>	N : 47,9228°	E : 7,57575°	Aval centrale et barrage hydroélectrique Rive droite	Godet sur perche
<b>Aval N°2</b>	N : 48,018054°	E : 7,581301°	Île du Rhin Amont écluse de Vogelgrün Rive droite	Benne Eckman
<b>Aval N°3</b>	N : 48,034233°	E : 7,564433°	Entrée du canal de Neuf Brisach / aval écluse Rive droite	Benne Eckman

Les prélèvements ont été effectués depuis la rive au moyen d'un godet sur perche pour les prélèvements Amont et Aval N°1 et d'une benne Eckman pour les prélèvements Aval N°2 et Aval N°3. Le choix du dispositif de prélèvement a été conditionné par la configuration de la berge.

## Préparation et analyses des échantillons

A réception des échantillons au laboratoire, une fraction a été directement conditionnée à l'état frais en géométrie cylindrique de 80ml pour vérifier la présence d'iode 131. Ce radionucléide ayant une période radioactive de 8 jours, sa détection nécessite un comptage sans délai.

La fraction restante des échantillons a été mise à sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante. Une fois sec, les échantillons ont été concassés et tamisés. Entre 500 et 700 g d'échantillons ont été conditionnés en géométrie marinelli de 500 ml pour l'analyse par spectrométrie gamma. 200 g d'échantillon ont été mis en sac plastique pour envoi au laboratoire RCD Lockinge qui réalise le dosage du tritium libre et du carbone 14.

## Résultats des analyses par spectrométrie gamma des sédiments

### Radionucléides naturels

Les résultats concernant les radionucléides naturels sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Activités des radionucléides naturels émetteurs gamma dans les sédiments (exprimées en Bq/kg sec)

	Amont		Aval n°1		Aval n°2		Aval n°3	
<b>Thorium 234</b>	20,0	± 3,2	20,9	± 3,3	28,6	± 4,4	27,8	± 4,1
<b>Radium 226</b>	17,5	± 1,3	20,6	± 1,6	27,1	± 2,1	25,1	± 1,9
<b>Plomb 210</b>	20,2	± 3,9	34	± 6	62	± 11	70	± 12
<b>Uranium 235</b>	<	2,0	<	2,0	<	2,7	<	1,2
<b>Actinium 228</b>	18,4	± 2,4	19,4	± 2,5	27,3	± 3,5	25,8	± 3,3
<b>Potassium 40</b>	325	± 33	302	± 31	437	± 45	331	± 34
<b>Béryllium 7</b>	<	0,8	9,6	± 1,5	9,5	± 1,8	18,0	± 2,2

L'activité du thorium 234 est relativement constante d'un échantillon à l'autre aux marges d'incertitude près et est comprise entre 20,0 et 28,6 Bq/kg sec. Ces valeurs sont légèrement inférieures à l'activité moyenne de l'écorce terrestre qui est de l'ordre de 40 Bq/kg selon l'UNSCEAR.

L'activité du radium 226, déterminée à partir de ses descendants le plomb 214 et le bismuth 214, est comparable aux marges d'incertitudes près à celle du thorium 234. Ces résultats sont donnés par défaut, le délai de 3 semaines de mise à l'équilibre du radium 226 et ses descendants n'ayant pas été attendu.

L'activité du plomb 210 est en excès par rapport à celle du radium 226 dans les trois échantillons aval, en particulier Aval N°2 et Aval N°3 (62 et 70 Bq/kg sec). Ce phénomène est fréquemment constaté dans la couche superficielle des sols et sédiments du fait d'un apport atmosphérique lié à la désintégration du radon 222.

L'activité de l'uranium 235 est inférieure à la limite de détection pour les 4 échantillons.

L'activité de l'actinium 228 est comprise entre 18,4 et 27,3 Bq/kg sec et est inférieure à l'activité moyenne de l'écorce terrestre (de l'ordre de 40 Bq/kg selon l'UNSCEAR).

L'activité du potassium 40 est comprise entre 302 et 437 Bq/kg sec. L'activité moyenne de l'écorce terrestre est de l'ordre de 300 à 600 Bq/kg selon l'UNSCEAR.

Le béryllium7 est détecté dans les 3 échantillons aval (9,5 à 18 Bq/kg sec). Il s'agit d'un radionucléide d'origine cosmogénique, de période physique 53 jours, présent dans les sols et sédiments superficiels du fait d'un dépôt régulier notamment lors de précipitations.

Ces résultats traduisent une nature différente de l'échantillon amont également observé sur le terrain lors du prélèvement. En effet, le fait que cet échantillon ne présente pas d'excès de plomb 210 par rapport au radium 226, ni de présence de béryllium 7 indique qu'il est constitué principalement de matière minérale et ne présente pas de bonnes caractéristiques de piégeage des substances en suspension dans l'eau.

## Radionucléides artificiels

Les principaux résultats concernant les radionucléides artificiels émetteurs gamma sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma dans les sédiments (exprimées en Bq/kg sec)

Stations	Amont		Aval n°1		Aval n°2		Aval n°3	
<b>Césium 137</b>	1,54	± 0,22	3,36	± 0,37	7,9	± 0,8	4,10	± 0,45
<b>Césium 134</b>	<	0,17	<	0,16	<	0,23	<	0,18
<b>Cobalt 58</b>	<	0,12	<	0,13	<	0,17	<	0,13
<b>Cobalt 60</b>	<	0,16	<	0,15	<	0,22	<	0,16
<b>Manganèse 54</b>	<	0,17	<	0,19	<	0,26	<	0,20
<b>Antimoine 125</b>	<	0,4	<	0,25	<	0,35	<	0,27
<b>Cérium 144</b>	<	0,5	<	0,5	<	0,6	<	0,5
<b>Argent 110m</b>	<	0,19	<	0,20	<	0,27	<	0,22
<b>Américium 241</b>	<	0,15	<	0,15	<	0,19	<	0,15
<b>Ruthénium 106</b>	<	1,8	<	1,0	<	1,4	<	1,1
<b>Iode 131*</b>	<	1,0	<	0,4	<	0,6	<	0,7
<b>Iode 129*</b>	<	1,3	<	0,8	<	0,8	<	0,5

\*Les activités de l'iode 131 et de l'iode 129 sont obtenues à partir des comptages préliminaires sur matière fraîche. Elles sont exprimées en Bq/kg frais.

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma présente une activité supérieure aux limites de détection. Il s'agit du césium 137 qui est détecté dans tous les échantillons à un niveau compris entre 1,54 et 7,9 Bq/kg sec.

Le césium 137, produit de fission émetteur bêta-gamma de période radioactive de 30 ans peut provenir du reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques, particulièrement intenses dans les années 50-60 et des retombées de la catastrophe de Tchernobyl en 1986.

Il est également rejeté par un certain nombre d'installations nucléaires dont le CNPE de Fessenheim (2,7 millions de Becquerels rejetés sur l'année 2023 hors rejets de décembre).

Les activités des autres radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par le CNPE de Fessenheim comme le cobalt 58, le cobalt 60, le manganèse 54, l'argent 110<sup>m</sup>, etc. sont inférieures aux limites de détection.

## Evolution des activités par rapport aux précédentes études

Rapport 24-17 Analyse de sédiments prélevés dans l'environnement du CNPE de Fessenheim - M. JEAMBRUN - 27/05/24

L'activité des radionucléides naturels mesurée en 2024 est globalement comparable, aux marges d'incertitude près, à celles relevées en 1999 et 2010 aux mêmes stations.

En ce qui concerne les radionucléides artificiels émetteurs gamma, des traces de cobalt 58 (0,3 à 1,1 Bq/kg sec) et cobalt 60 (0,3 à 1,2 Bq/kg sec) avaient été détectées en 1999. Elles n'avaient pas été mises en évidence en 2010 ce qui est également le cas de cette nouvelle campagne.

Concernant l'évolution des activités en césium 137, on observe une diminution globale qui peut en partie s'expliquer par sa décroissance, sa période radioactive étant de 30 ans. Pour l'échantillon de sédiment prélevé à la station amont, la diminution est particulièrement marquée ce qui peut être le fait d'une capacité de piégeage moindre en raison de sa composition sableuse et de sa faible teneur en matière organique.

Tableau 4 : Évolution de l'activité du césium 137 dans les sédiments prélevés dans l'environnement du CNPE de Fessenheim

	Amont	Aval N°1	Aval N°2	Aval N°3
1999	19,9	11,1	21,9	15,6
2010	Non prélevé	8,7	16,1	15,8
2024	1,54	3,36	7,9	4,10

## Dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 dans les sédiments

En raison de la nature sableuse des sédiments prélevés à la station amont et de la faible quantité de matière organique, le dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 n'a pu être réalisé sur cet échantillon.

Le tableau suivant présente les résultats des dosages réalisés sur les 3 échantillons prélevés en aval.

L'activité du tritium organiquement lié est exprimée en becquerels par litre d'eau de combustion. Celle du carbone 14 en becquerels par kilogramme de carbone stable.

Tableau 5 : Résultats des dosages de tritium organiquement lié et du carbone 14 sur les sédiments

	Aval N°1	Aval N°2	Aval N°3
Tritium organiquement lié (Bq/l H <sub>2</sub> O de combustion)	82,3 ± 3,8	366 ± 11	122 ± 4
Carbone 14 (Bq/kg carbone)	134 ± 2,4	176 ± 1,5	162 ± 1,7

## Activité en carbone 14

Le carbone 14 est un radionucléide naturel d'origine cosmogénique dont la période radioactive est de 5 730 ans. Ce radionucléide est omniprésent dans notre environnement et la teneur atmosphérique classique est d'environ 226 Bq/kg carbone.

Le carbone 14 est également produit artificiellement par un certain nombre d'activités humaines. Des concentrations anormalement élevées peuvent donc être relevées à proximité

d'installations nucléaires qui rejettent du carbone 14 dans l'environnement (usines de retraitement, centrales électronucléaires, sites de recherche, autres sites industriels, etc.).

A l'inverse, un apport de carbone ancien présentant une activité spécifique inférieure à celle mesurée actuellement dans l'atmosphère conduit à relever des concentrations inférieures.

Les teneurs en carbone 14 observées dans les sédiments sont inférieures à la teneur atmosphérique classique. Ces résultats ne permettent pas de mettre en évidence l'impact spécifique des rejets de carbone 14 effectués par le CNPE de Fessenheim (42,8 MBq sur l'ensemble de l'année 2023 selon EDF), d'autant qu'il n'a pas été possible d'effectuer de mesure à la station amont.

Pour interpréter les variations entre les résultats des différentes stations, de très nombreux paramètres sont à considérer : caractéristiques géologiques locales, composition minéralogique et chimique des sédiments, âge des sédiments, taux de matière organique, présence d'activités d'extraction ou de combustion de charbon, ou d'autres activités industrielles.

## Activité en tritium

Le tritium, radionucléide naturel d'origine cosmogénique est un isotope radioactif de l'hydrogène omniprésent dans notre environnement. Sa période radioactive est de 12,3 ans. Les concentrations actuellement observées dans les précipitations (hors impact des installations nucléaires) sont de l'ordre du becquerel par litre.

Le tritium est également produit artificiellement par un certain nombre d'activités humaines. Des activités nettement supérieures au niveau « naturel » peuvent être relevées à proximité d'installations nucléaires qui rejettent du tritium dans l'environnement.

Les activités du tritium organiquement lié sont comprises entre 82,3 et 366 Bq/l d'eau de combustion, soit des valeurs nettement supérieures au niveau naturel attendu.

L'absence de résultat en amont de la centrale ne permet pas de discriminer l'impact des rejets de la centrale, par rapport aux autres activités pouvant ou ayant pu être responsables de rejet de tritium dans le Rhin, notamment l'industrie horlogère.

## Evolution des activités

Tableau 6 : Évolution des activités en tritium organiquement lié et en carbone 14 dans les sédiments

	Aval N°1	Aval N°2	Aval N°3
	Tritium organiquement lié (Bq/l H <sub>2</sub> O de combustion)		
<b>2010</b>	603	1 200	5 660
<b>2024</b>	82,3	366	122
	Carbone 14 (Bq/kg carbone)		
<b>2010</b>	172	173	210
<b>2024</b>	134	176	162

Concernant le carbone 14, on relève peu d'évolution des activités entre les 2 études contrairement au tritium organiquement lié pour lequel les activités mesurées en 2024 sont nettement inférieures à celles de 2010 quelle que soit la station.

Cette diminution peut être due à la fois à la décroissance de la contamination accumulée en 2010 (rappelons que la période radioactive du tritium est de 12,3 ans) et à la très forte diminution des rejets de tritium depuis l'arrêt des réacteurs en 2020. Pour mémoire, les rejets de tritium dépassaient les 10 000 Gigabecquerels par an entre 2017 et 2019.

## Synthèse et conclusion

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma a été détecté dans les 4 échantillons de sédiments prélevés au voisinage de la centrale nucléaire de Fessenheim. Il s'agit du **césium 137**. Son activité est en nette diminution par rapport aux études précédentes ce qui donne à penser qu'il s'agit majoritairement du reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl.

L'activité du **carbone 14** dans les sédiments est inférieure à la teneur atmosphérique classique. Ces résultats ne permettent pas de mettre en évidence l'impact spécifique des rejets de carbone 14 effectués par le CNPE de Fessenheim.

Concernant le **tritium organiquement lié**, la contamination des sédiments est nettement moins importante que celle mesurée lors de l'étude de 2010. La forte diminution des rejets effectués par la centrale de Fessenheim depuis l'arrêt de la production en 2020 est probablement un facteur explicatif de cette diminution.

# Annexe 1

## Stations de prélèvement

Station Amont : Ottmarsheim - Aval pont de l'A36 - Rive droite

N : 47,779093° E : 7,526321°

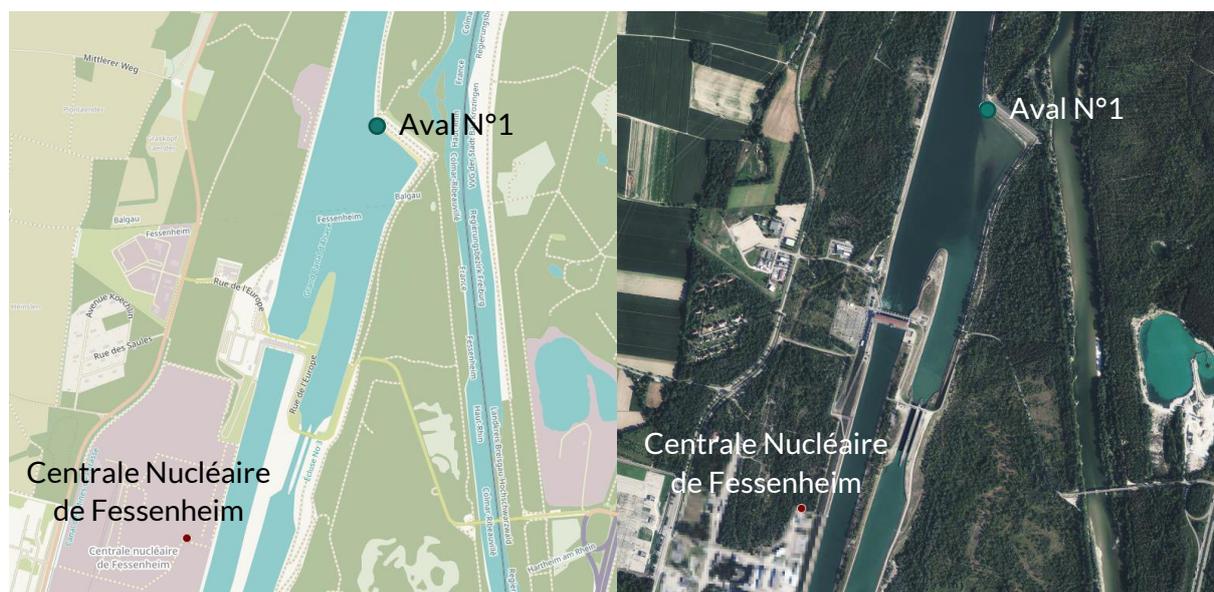


Prélèvement au godet sur perche depuis la berge :



## Station Aval N°1 : Fessenheim - Aval centrale et barrage hydroélectrique - Rive droite

N : 47,9228° E : 7,57575°



## Prélèvement au godet sur perche depuis la berge

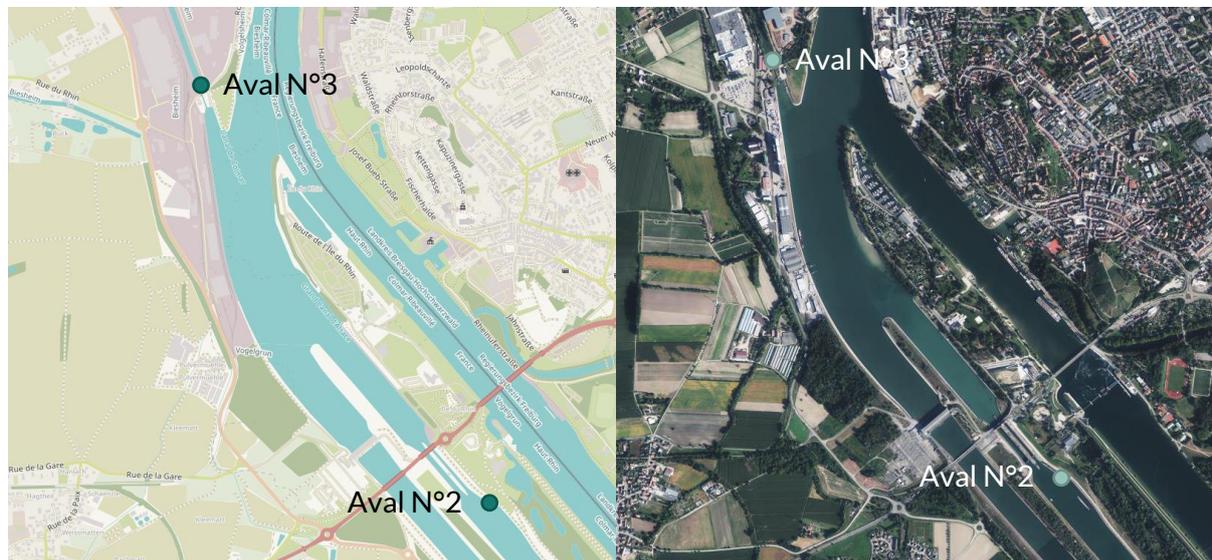


Station Aval N°2 : Vogelgrün – Île du Rhin amont écluse de Vogelgrün - Rive droite

N : 48,018054° E : 7,581301°

Station Aval N°3 : Volgselsheim - Entrée canal Neuf Brisach aval écluse - Rive droite

N : 48,034233° E : 7,564433°



Prélèvements à la benne Eckman depuis la berge



Rapport 24-17 Analyse de sédiments prélevés dans l'environnement du CNPE de Fessenheim – M. JEAMBRUN – 27/05/24

# Annexe 2

## Résultats des analyses par spectrométrie gamma



Laboratoire de la CRIIRAD  
29, cours Manuel de Falla  
26000 VALENCE  
Tél : +33 (0)4 75 41 82 50  
E-mail : laboratoire@criirad.org  
Site internet : www.criirad.org

### RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

RAPPORT D'ESSAI N° 32478C-1  
Étude : FESSENHEIM  
Nature de l'échantillon : Sédiments

COORDONNÉES DU CLIENT	ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 060224A4
<b>Adresse</b> AK Abriß AKW Fessenheim Schützenstr. 38 77933 Lahr Allemagne	<b>Prélèvement</b> Code prélèvement / Référence client : Amont Date de prélèvement : 05/02/24 10:00 Lieu de prélèvement : Ottmarsheim (68) France Lieu (précisions) : Grand Canal d'Alsace Rive droite Coordonnées GPS : N : 47,779093° / E : 7,526321° Code NUTS : FR422 Mode de prélèvement : Godet sur perche Conditions de prélèvement : Accès depuis plage de sable Prélevé par : Marion JEAMBRUN
<b>MÉTHODE D'ESSAI</b> <b>Description</b> : Spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée. Détecteur semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide. Efficacité relative de 22 à 26%. Résolution de 1,7 à 2,4 keV pour la raie à 1,33 MeV. <b>Normes appliquées</b> Exigences organisationnelles/techniques : NF EN ISO CEI 17025 Calcul des limites caractéristiques : NF ISO 11929-2010	<b>Préparation avant analyse</b> Date de préparation : 08/02/24 Délai avant analyse (j) : 5,9 Conditions de préparation : Etuvage 105°C - Echantillon concassé et tamisé à 2 mm Taux de matière sèche : 80,2% Préparé par : Stéphane PATRIGEON <b>Analyse</b> Date de début de mesure : 14/02/24 09:08 Durée de comptage (s) : 172 543 Etat de l'échantillon analysé : Sec Masse analysée (g) : 683,58 Géométrie de comptage : Marinelli 500 ml Détecteur : C Analyse dépolluée par : Stéphane PATRIGEON

Catégorie	Radionucléide	Energie (keV)	Détecté ?	Activité inférieure/matrice		Intervalle de confiance (1-γ=95%)		Incertitude type relative	Seuil de décision (1-α=95%)	Limite de détection (1-β=95%)
				A ou < LD	Incertitude élargie	limite inférieure	limite supérieure			
<b>RÉSULTATS À LA DATE DE DÉBUT DE MESURE (Unité : Bq/kg sec) [1]</b>										
<b>RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]</b>										
Chaîne de l'uranium 238	Thorium 234	63,3	OUI	20,0	± 3,2	16,8	23,2	16%	1,6	3,2
	Radium 226	(351,9/609,3)	OUI	17,5	± 1,3	16,1	18,8	6%	0,15	0,3
	Plomb 214	351,9	OUI	17,9	± 1,8	16,1	19,8	5%	0,20	0,4
	Bismuth 214	609,3	OUI	16,9	± 1,9	15,0	18,8	6%	0,24	0,5
	Plomb 210	(3)	OUI	20,2	± 3,9	16,4	24,0	18%	1,5	3,1
Chaîne de l'uranium 235	Uranium 235	163,4	NON	< 2,0	-	-	-	-	1,0	2,0
Chaîne du thorium 232	Actinium 228	911,2	OUI	18,4	± 2,4	16,0	20,8	7%	0,5	1,1
	Plomb 212	238,6	OUI	17,5	± 1,9	15,6	19,4	6%	0,3	0,5
	Thallium 208	583,2	OUI	6,2	± 0,7	5,5	6,9	6%	0,13	0,3
Autres	Potassium 40	1 460,8	OUI	325	± 33	292	358	10%	2,3	5

<b>RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg sec) [1]</b>										
<b>RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]</b>										
	Béryllium 7	477,6	NON	< 0,8	-	-	-	-	0,4	0,8
<b>RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS</b>										
	Césium 137	661,7	OUI	1,54	± 0,22	1,32	1,76	7%	0,12	0,24
	Césium 134	604,7	NON	< 0,17	-	-	-	-	0,08	0,17
	Cobalt 58	810,8	NON	< 0,12	-	-	-	-	0,06	0,12
	Cobalt 60	1 332,5	NON	< 0,16	-	-	-	-	0,08	0,16
	Manganèse 54	834,8	NON	< 0,17	-	-	-	-	0,09	0,17
	Antimoine 125	427,9	NON	< 0,4	-	-	-	-	0,2	0,4
	Iode 131	364,5	NON	< 0,19	-	-	-	-	0,09	0,19
	Cérium 144	133,5	NON	< 0,5	-	-	-	-	0,23	0,46
	Argent 110m	657,8	NON	< 0,19	-	-	-	-	0,09	0,19
	Américium 241	(3)	NON	< 0,15	-	-	-	-	0,07	0,15
	Iode 129	(3)	NON	< 0,22	-	-	-	-	0,09	0,22
	Ruthénium 106	621,9	NON	< 1,8	-	-	-	-	0,9	1,8

[1] Si le résultat est inférieur au seuil de décision, le radionucléide n'est pas détecté. Cela ne signifie pas qu'il est absent, mais la méthode de mesure permet de garantir à une forte probabilité (1-β) que s'il était présent, son activité ne dépasserait pas la limite de détection. Le résultat est exprimé sous la forme « LD ».  
Si le résultat est supérieur au seuil de décision, la probabilité que le radionucléide soit bien présent est forte [supérieure à 1-α]. Le résultat le plus probable est A, et la probabilité est forte (égale à 1-γ) que le résultat soit compris entre la limite inférieure et la limite supérieure de l'intervalle de confiance. Le résultat est exprimé sous la forme A ± b.  
b est l'incertitude élargie. Il s'agit d'une valeur exacte lorsque l'incertitude-type dépasse 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance est symétrique), et approximative lorsque l'incertitude-type ne dépasse pas 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance n'est pas exactement symétrique).

[2] Radionucléides existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

[3] S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les résultats constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

[4] Le radium 226 est évalué à partir de ses descendants plomb 214 (raie à 351,9 keV) et le bismuth 214 (raie à 609,3 keV). Il s'agit d'une évaluation par défaut, le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Marion JEAMBRUN Responsable service préparation et analyses 27/03/2024	
--	--

**RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

RAPPORT D'ESSAI N° 32481C-1  
Étude : FESSENHEIM  
Nature de l'échantillon : Sédiments

<b>COORDONNÉES DU CLIENT</b>	<b>ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 060224A1</b>
<b>Adresse</b> AK Abris AKW Fessenheim Schützenstr. 38 77933 Lahr Allemagne	<b>Prélèvement</b> Code prélèvement / Référence client : Aval n°1 Date de prélèvement : 05/02/24 11:15 Lieu de prélèvement : Balgau (68) France Lieu (précisions) : Grand Canal d'Alsace Rive droite Coordonnées GPS : N : 48,018067° / E : 7,581233° Code NUTS : FR422 Mode de prélèvement : Godet sur perche Conditions de prélèvement : Accès depuis plage de sable Prélevé par : Marion JEAMBRUN
<b>MÉTHODE D'ESSAI</b>	<b>Préparation avant analyse</b>
Description : Spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée. Détecteur semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide. Efficacité relative de 22 à 26%. Résolution de 1,7 à 2,4 keV pour la raie à 1,33 MeV.	Date de préparation : 13/02/24 Délai avant analyse (j) : 7,9 Conditions de préparation : Etuvage 105°C - Echantillon concassé et tamisé à 2 mm Taux de matière sèche : 72,7% Préparé par : Stéphane PATRIGEON
<b>Normes appliquées</b> Exigences organisationnelles/techniques : NF EN ISO CEI 17025 Calcul des limites caractéristiques : NF ISO 11929-2010	<b>Analyse</b> Date de début de mesure : 21/02/24 08:48 Durée de comptage (s) : 200 987 Etat de l'échantillon analysé : Sec Masse analysée (g) : 636,05 Géométrie de comptage : Marinelli 500 ml Détecteur : C Analyse dépouillée par : Stéphane PATRIGEON

Catégorie	Radionucléide	Energie (keV)	Détecté ?	Activité (Bq/kg sec)	Intervalle de confiance (1- $\alpha$ =95%)			Seuil de décision (1- $\alpha$ =95%)	Limite de détection (1- $\beta$ =95%)
					Activité inférieure	Activité supérieure	Incertitude élargie		

RÉSULTATS À LA DATE DE DÉBUT DE MESURE (Unité : Bq/kg sec)										
RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]										
Chaîne de l'uranium 238	Thorium 234 [3]	63,3	OUI	20,9	± 3,3	15%	28,2	8%	1,6	3,2
	Radium 226 [4]	1351,9(69,3)	OUI	20,6	± 1,6	18%	23,2	4%	0,16	0,3
	Plomb 214	351,9	OUI	21,2	± 2,2	38%	23,4	5%	0,21	0,4
	Bismuth 214	609,3	OUI	20,0	± 2,2	15%	22,2	6%	0,24	0,5
	Plomb 210 [3]	46,5	OUI	34	± 6	8%	46	1%	1,5	3
Chaîne de l'uranium 235	Uranium 235	163,4	NON	< 2,0	-	-	-	-	1,0	2,0
Chaîne du thorium 232	Actinium 228	911,2	OUI	19,4	± 2,5	38%	21,8	7%	0,5	1,1
	Plomb 212	238,6	OUI	19,2	± 2,1	15%	21,2	3%	0,25	0,5
	Thallium 208	583,2	OUI	6,9	± 0,8	6%	7,7	6%	0,13	0,3
Autres	Potassium 40	1 469,8	OUI	302	± 31	20%	335	1%	2,3	5

RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg sec)										
RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]										
	Béryllium 7	477,6	OUI	9,6	± 1,5	8%	11,1	6%	0,9	1,9
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS										
	Césium 137	661,7	OUI	3,36	± 0,37	2,99	3,73	6%	0,11	0,23
	Césium 134	604,7	NON	< 0,16	-	-	-	-	0,08	0,16
	Cobalt 58	810,8	NON	< 0,13	-	-	-	-	0,06	0,13
	Cobalt 60	1 332,5	NON	< 0,15	-	-	-	-	0,07	0,15
	Manganèse 54	834,8	NON	< 0,19	-	-	-	-	0,09	0,19
	Antimoine 125	427,9	NON	< 0,25	-	-	-	-	0,12	0,25
	Iode 131	364,5	NON	< 0,6	-	-	-	-	0,27	0,55
	Cérium 144	133,5	NON	< 0,5	-	-	-	-	0,23	0,46
	Argent 110m	657,8	NON	< 0,20	-	-	-	-	0,10	0,20
	Américium 241 [3]	59,5	NON	< 0,15	-	-	-	-	0,07	0,15
	Iode 129 [3]	29,6	NON	< 0,21	-	-	-	-	0,09	0,21
	Ruthénium 106	621,9	NON	< 1,0	-	-	-	-	0,5	1,0

- [1] Si le résultat est inférieur au seuil de décision, le radionucléide n'est pas détecté. Cela ne signifie pas qu'il est absent, mais la méthode de mesure permet de garantir à une forte probabilité (1- $\beta$ ) que s'il était présent, son activité ne dépasserait pas la limite de détection. Le résultat est exprimé sous la forme < LD.
- Si le résultat est supérieur au seuil de décision, la probabilité que le radionucléide soit bien présent est forte [supérieure à 1- $\alpha$ ]. Le résultat le plus probable est A, et la probabilité est forte (égale à 1- $\gamma$ ) que le résultat soit compris entre la limite inférieure et la limite supérieure de l'intervalle de confiance. Le résultat est exprimé sous la forme  $A \pm b$ .
- b est l'incertitude élargie. Il s'agit d'une valeur exacte lorsque l'incertitude-type dépasse 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance est symétrique), et approximative lorsque l'incertitude-type ne dépasse pas 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance n'est pas exactement symétrique).
- [2] Radionucléides existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.
- [3] S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les résultats constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.
- [4] Le radium 226 est évalué à partir de ses descendants plomb 214 (raie à 351,9 keV) et le bismuth 214 (raie à 609,3 keV). Il s'agit d'une évaluation par défaut. Le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Marion JEAMBRUN	
Responsable service préparation et analyses	
27/03/2024	



**Laboratoire de la CRIIRAD**  
29, cours Manuel de Falla  
26000 VALENCE  
Tél : +33 (0)4 75 41 82 50  
E-mail : laboratoire@criirad.org  
Site internet : www.criirad.org

**RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

**RAPPORT D'ESSAI N° 32480C-1**  
Étude : FESSENHEIM  
Nature de l'échantillon : Sédiments

<b>COORDONNÉES DU CLIENT</b>	<b>ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 060224A2</b>
<b>Adresse</b> AK Abris AKW Fessenheim Schützenstr. 38 77933 Lahr Allemagne	<b>Prélèvement</b> Code prélèvement / Référence client : Aval n°2 Date de prélèvement : 05/02/24 12:30 Lieu de prélèvement : Brelsach am Rhein (68) France Lieu (précisions) : Île du Rhin Grand Canal d'Alsace Rive droite Coordonnées GPS : N : 48,018067° / E : 7,581233° Code NUTS : FR422 Mode de prélèvement : Benne Ekman Conditions de prélèvement : Prélèvement réalisé depuis le quai Prélevé par : Marion JEAMBRUN
<b>MÉTHODE D'ESSAI</b> Description : Spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée. Détecteur semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide. Efficacité relative de 22 à 26%. Résolution de 1,7 à 2,4 keV pour la raie à 1,33 MeV. Normes appliquées Exigences organisationnelles/techniques : NF EN ISO CEI 17025 Calcul des limites caractéristiques : NF ISO 11929-2010	<b>Préparation avant analyse</b> Date de préparation : 13/02/24 Délai avant analyse (j) : 6,4 Conditions de préparation : Etuvage 105°C - Echantillon concassé et tamisé à 2 mm Taux de matière sèche : 47,0% Préparé par : Stéphane PATRIGEON
	<b>Analyse</b> Date de début de mesure : 19/02/24 09:16 Durée de comptage (s) : 169 120 Etat de l'échantillon analysé : Sec Masse analysée (g) : 507,17 Géométrie de comptage : Marinelli 500 ml Détecteur : C Analyse dépouillée par : Stéphane PATRIGEON

Catégorie	Radionucléide	Energie (keV)	Détecté ?	Activité (Bq/kg sec)	Intervalle de confiance (1- $\alpha$ =95%)			Seuil de décision (1- $\alpha$ =95%)	Limite de détection (1- $\beta$ =95%)
					Incertitude élargie	Limite inférieure	Limite supérieure		

RÉSULTATS À LA DATE DE DÉBUT DE MESURE (Unité : Bq/kg sec) [1]										
RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]										
Chaîne de l'uranium 238	Thorium 234 [3]	63,3	OUI	28,6	± 4,4	24,3	31,6	20	2,0	4,2
	Radium 226 [4]	1351,9(69,3)	OUI	27,1	± 2,1	25,1	29,1	2%	0,21	0,4
	Plomb 214	351,9	OUI	28,0	± 2,9	25,1	30,9	2%	0,3	0,6
	Bismuth 214	609,3	OUI	26,2	± 2,9	23,3	29,1	2%	0,3	0,7
	Plomb 210 [3]	46,5	OUI	62	± 11	51	73	2%	1,9	4
Chaîne de l'uranium 235	Uranium 235	163,4	NON	< 2,7	-	-	-	-	1,3	2,7
Chaîne du thorium 232	Actinium 228	911,2	OUI	27,3	± 3,5	23,7	30,9	2%	0,7	1,5
	Plomb 212	238,6	OUI	27,3	± 2,9	24,3	30,2	2%	0,3	0,7
	Thallium 208	583,2	OUI	9,6	± 1,1	8,3	10,7	2%	0,18	0,4
Autres	Potassium 40	1 469,8	OUI	437	± 45	392	481	2%	3	7

RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg sec) [1]										
RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]										
	Béryllium 7	477,6	OUI	9,5	± 1,8	7,4	11,4	20%	1,2	2,5
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS										
	Césium 137	661,7	OUI	7,9	± 0,8	7,0	8,7	2%	0,16	0,3
	Césium 134	604,7	NON	< 0,23	-	-	-	-	0,11	0,23
	Cobalt 58	810,8	NON	< 0,17	-	-	-	-	0,08	0,17
	Cobalt 60	1 332,5	NON	< 0,22	-	-	-	-	0,11	0,22
	Manganèse 54	834,8	NON	< 0,26	-	-	-	-	0,13	0,26
	Antimoine 125	427,9	NON	< 0,35	-	-	-	-	0,17	0,35
	Iode 131	364,5	NON	< 0,4	-	-	-	-	0,19	0,40
	Cérium 144	133,5	NON	< 0,6	-	-	-	-	0,3	0,6
	Argent 110m	657,8	NON	< 0,27	-	-	-	-	0,13	0,27
	Américium 241 [3]	59,5	NON	< 0,19	-	-	-	-	0,10	0,19
	Iode 129 [3]	29,6	NON	< 0,26	-	-	-	-	0,11	0,26
	Ruthénium 106	621,9	NON	< 1,4	-	-	-	-	0,7	1,4

[1] Si le résultat est inférieur au seuil de décision, le radionucléide n'est pas détecté. Cela ne signifie pas qu'il est absent, mais la méthode de mesure permet de garantir à une forte probabilité (1- $\beta$ ) que s'il était présent, son activité ne dépasserait pas la limite de détection. Le résultat est exprimé sous la forme < LD.  
Si le résultat est supérieur au seuil de décision, la probabilité que le radionucléide soit bien présent est forte [supérieure à 1- $\alpha$ ]. Le résultat le plus probable est A, et la probabilité est forte (égale à 1- $\gamma$ ) que le résultat soit compris entre la limite inférieure et la limite supérieure de l'intervalle de confiance. Le résultat est exprimé sous la forme  $A \pm b$ .  
b est l'incertitude élargie. Il s'agit d'une valeur exacte lorsque l'incertitude-type dépasse 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance est symétrique), et approximative lorsque l'incertitude-type ne dépasse pas 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance n'est pas exactement symétrique).

[2] Radionucléides existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

[3] S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les résultats constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

[4] Le radium 226 est évalué à partir de ses descendants plomb 214 (raie à 351,9 keV) et le bismuth 214 (raie à 609,3 keV). Il s'agit d'une évaluation par défaut. Le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Marion JEAMBRUN	
Responsable service préparation et analyses	
27/03/2024	

COORDONNÉES DU CLIENT	ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 060224A3
<b>Adresse</b> AK Abris AKW Fessenheim Schützenstr. 38 77933 Lahr Allemagne	<b>Prélèvement</b> Code prélèvement / Référence client : <b>Aval n°3</b> Date de prélèvement : <b>05/02/24 14:00</b> Lieu de prélèvement : <b>Volgelsheim (68) France</b> Lieu (précisions) : <b>Début canal de Neuf Brisach Rive droite</b> Coordonnées GPS : <b>N : 48,034233* / E : 7,564433*</b> Code NUTS : <b>FR422</b> Mode de prélèvement : <b>Benne Ekman</b> Conditions de prélèvement : <b>Prélèvement réalisé depuis le quai</b> Prélevé par : <b>Marion JEAMBRUN</b>
<b>MÉTHODE D'ESSAI</b> Description : Spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée. Détecteur semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide. Efficacité relative de 22 à 26%. Résolution de 1,7 à 2,4 keV pour la raie à 1,33 MeV. Normes appliquées Exigences organisationnelles/techniques : NF EN ISO CEI 17025 Calcul des limites caractéristiques : NF ISO 11929:2010	<b>Préparation avant analyse</b> Date de préparation : <b>08/02/24</b> Délai avant analyse (j) : <b>8,4</b> Conditions de préparation : <b>Etuvage 105°C - Echantillon concassé et tamisé à 2 mm</b> Taux de matière sèche : <b>47,0%</b> Préparé par : <b>Stéphane PATRIGEON</b>
	<b>Analyse</b> Date de début de mesure : <b>16/02/24 09:26</b> Durée de comptage (s) : <b>258 196</b> Etat de l'échantillon analysé : <b>Sec</b> Masse analysée (g) : <b>496,91</b> Géométrie de comptage : <b>Marinelli 500 ml</b> Détecteur : <b>C</b> Analyse dépolluée par : <b>Stéphane PATRIGEON</b>

Catégorie	Radionucléide	Energie (keV)	Détecté ?	Activité	Intervalle de confiance (1-γ=95%)			Seuil de décision (1-α=95%)	Limite de détection (1-β=95%)
				A ou < LD	Incertitude élargie	Erreur relative	Erreur absolue		

RÉSULTATS À LA DATE DE DÉBUT DE MESURE (Unité : Bq/kg sec) [1]										
RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]										
Chaîne de l'uranium 238	Thorium 234	63,3	OUI	27,8	± 4,1	33,7	33,8	99	1,7	3,4
	Radium 226	(351,9/609,3)	OUI	25,1	± 1,9	26,9	27,0	99	0,17	0,3
	Plomb 214	351,9	OUI	26,1	± 2,7	28,8	28,7	99	0,23	0,5
	Bismuth 214	609,3	OUI	24,1	± 2,7	26,8	26,8	99	0,3	0,5
	Plomb 210	46,5	OUI	70	± 12	58	81	99	1,6	3
Chaîne de l'uranium 235	Uranium 235	163,4	NON	< 1,2	-	-	-	-	0,6	1,2
Chaîne du thorium 232	Actinium 228	911,2	OUI	25,8	± 3,3	32,5	28,1	99	0,6	1,2
	Plomb 212	238,6	OUI	25,5	± 2,7	28,7	28,9	99	0,3	0,6
	Thallium 208	583,2	OUI	9,2	± 1,0	10	10,0	99	0,14	0,3
Autres	Potassium 40	1460,8	OUI	331	± 34	297	365	99	3	5

RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg sec) [1]										
RADIONUCLÉIDES NATURELS [2]										
	Béryllium 7	477,6	OUI	18,0	± 2,2	15,7	16,3	99	1,0	2,0
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS										
	Césium 137	661,7	OUI	4,10	± 0,45	3,65	4,55	99	0,13	0,26
	Césium 134	604,7	NON	< 0,18	-	-	-	-	0,09	0,18
	Cobalt 58	810,8	NON	< 0,13	-	-	-	-	0,07	0,13
	Cobalt 60	1 332,5	NON	< 0,16	-	-	-	-	0,08	0,16
	Manganèse 54	834,8	NON	< 0,20	-	-	-	-	0,10	0,20
	Antimoine 125	427,9	NON	< 0,27	-	-	-	-	0,13	0,27
	Iode 131	364,5	NON	< 0,26	-	-	-	-	0,13	0,26
	Cérium 144	133,5	NON	< 0,5	-	-	-	-	0,2	0,5
	Argent 110m	657,8	NON	< 0,22	-	-	-	-	0,11	0,22
	Américium 241	59,5	NON	< 0,15	-	-	-	-	0,07	0,15
	Iode 129	29,6	NON	< 0,20	-	-	-	-	0,09	0,20
	Ruthénium 106	671,9	NON	< 1,1	-	-	-	-	0,5	1,1

[1] Si le résultat est inférieur au seuil de décision, le radionucléide n'est pas détecté. Cela ne signifie pas qu'il est absent, mais la méthode de mesure permet de garantir à une forte probabilité (1-β) que s'il était présent, son activité ne dépasserait pas la limite de détection. Le résultat est exprimé sous la forme « LD ».

Si le résultat est supérieur au seuil de décision, la probabilité que le radionucléide soit bien présent est forte (supérieure à 1-α). Le résultat le plus probable est A, et la probabilité est forte (égale à 1-γ) que le résultat soit compris entre la limite inférieure et la limite supérieure de l'intervalle de confiance. Le résultat est exprimé sous la forme « A ± B », où B est l'incertitude élargie. « A » agit d'une valeur exacte lorsque l'incertitude-type dépasse 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance est symétrique), et approximative lorsque l'incertitude-type ne dépasse pas 25% (car dans ce cas l'intervalle de confiance n'est pas exactement symétrique).

[2] Radionucléides existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

[3] S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les résultats constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

[4] Le radium 226 est évalué à partir de ses descendants plomb 214 (raie à 351,9 keV) et le bismuth 214 (raie à 609,3 keV). Il s'agit d'une évaluation par défaut, le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Marion JEAMBRUN	
Responsable service préparation et analyses	
27/03/2024	