Association CRIIRAD Laboratoire

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité
29 cours Manuel de Falla / 26000 Valence / France
☎+33 (0)4 75 41 82 50 / laboratoire@criirad.org

NOTE CRIIRAD N°22-18 V2
Valence, le 16 juin 2022

Analyses par spectrométrie gamma d'échantillons de sable prélevés à Saint-Nazaire (44) dans le secteur de la plage de Trébézy

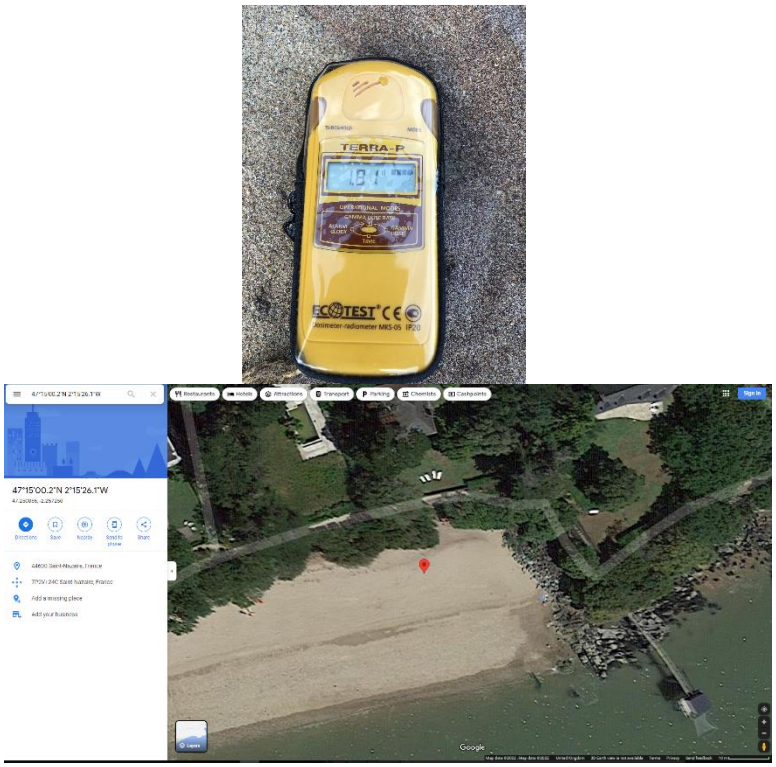
Rédaction : Julien SYREN, ingénieur géologue, responsable d'étude.

Relecture : Corinne CASTANIER, responsable réglementation et radioprotection et Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire.

Contact : julien.syren@criirad.org

CONTEXTE

Début avril 2022, Monsieur X. a détecté, au moyen d'un radiamètre Terra-P, la présence d'une anomalie radiamétrique sur des sables de couleur sombre à l'est de la plage de Trébézy, sur la commune de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique).



Mesure effectuée sur site et vue aérienne de la plage (documents transmis par M. X.)

M. X. a signalé cette situation par courriel au laboratoire de la CRIIRAD le 22 avril 2022.

VÉRIFICATION SUR SITE ET PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS

À la demande de la CRIIRAD, M. Jean-Max Estay, de l'association Vert Pays Blanc et Noir (VPBN), s'est rendu à la plage de Trébézy le 29 avril 2022 pour effectuer des relevés radiamétriques au moyen d'un scintillomètre DG5 (matériel professionnel).

Les mesures de flux de rayonnement gamma, effectuées en présence de M. Gilles Cousin, administrateur bénévole de la CRIIRAD, ont confirmé la présence d'anomalies dans le secteur est de la plage de Trébézy, ainsi que dans la crique située à l'est de cette plage, au niveau d'étendues de sable de couleur foncée. Ces deux sites sont nommés « plage » et « crique » dans la suite de ce document.

Les mesures ont été effectuées à 1 mètre du sol.

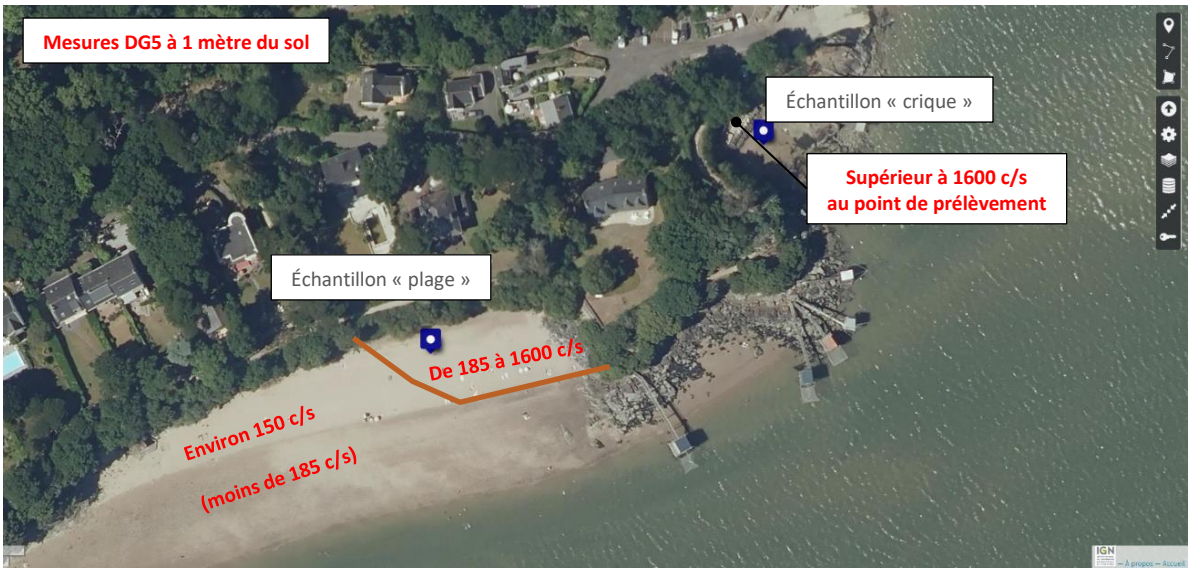
Dans le secteur ouest de la plage de Trébézy, le flux de rayonnement est d'environ 150 chocs par seconde (c/s) et ne dépasse pas 185 c/s.

Dans la partie est de la plage, il varie plutôt entre 185 c/s et 1 600 c/s. Les contrôles réalisés étant aléatoires, des valeurs hors fourchette peuvent être présentes.

Le même phénomène a été repéré dans la crique située à l'est de la plage de Trébézy.

Lors de l'intervention, des mesures ont également été effectuées au moyen d'un compteur Geiger-Müller RADEX RD1212, en un point de chacun des deux secteurs précités.
Les valeurs mesurées sont les suivantes :

- « plage » : 1,77 µSv/h au contact du sol, 0,67 µSv/h à 1 mètre du sol ;
- « crique » : 2,13 µSv/h au contact du sol, 1,47 µSv/h à 1 mètre du sol.



Relevés effectués au moyen d'un scintillomètre DG5 le 29 avril 2022 par M. Jean Max Estay (VPBN)

M. Estay a prélevé deux échantillons de sable, l'un dans le secteur est de la plage de Trébézy et l'autre dans la crique, et les a transmis au laboratoire de la CRIIRAD pour analyse par spectrométrie gamma.

RÉSULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMÉTRIE GAMMA EN LABORATOIRE

À réception au laboratoire, les échantillons ont fait l'objet d'un contrôle radiamétrique, puis :

- l'échantillon « plage », déjà sec, a été directement conditionné en géométrie cylindrique « V1-20 » ;
- l'échantillon « crique », légèrement humide, a été placé en étuve à 45°C, avant d'être conditionné en géométrie cylindrique « V1-20 ».

Conditionnement de l'échantillon « plage » en géométrie « V1-20 »

Les échantillons ont ensuite été analysés par spectrométrie gamma, au moyen de détecteurs au germanium hyperpur. Les comptages ont été effectués plus de 21 jours après conditionnement des échantillons, ce qui permet d'évaluer l'activité du radium 226 à partir de ses descendants émetteurs gamma plomb 214 et bismuth 214 avec lesquels il est à l'équilibre.

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté. À titre indicatif, les limites de détection sont de l'ordre de 1 Bq/kg pour le césium 137.

En revanche, plusieurs radionucléides naturels émetteurs de rayonnements gamma ont été détectés : potassium 40 et radionucléides des chaînes de désintégration de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232. Les résultats détaillés et les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont présentés en annexe. Seuls les points principaux sont commentés ici.

Comme le montre le tableau page suivante, les teneurs en potassium 40 (environ 140 Bq/kg dans chaque échantillon) sont inférieures à la moyenne de l'écorce terrestre (420 Bq/kg) alors que les teneurs en radionucléides naturels des chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont nettement supérieures à cette moyenne (33 Bq/kg pour l'uranium et 45 Bq/kg pour le thorium). Les valeurs mesurées sont en effet :

- dans le sable « plage », de l'ordre de 400 Bq/kg pour la chaîne de l'uranium 238 et 1 600 Bq/kg pour la chaîne du thorium 232 ;
- dans le sable « crique », de l'ordre de 200 Bq/kg pour la chaîne de l'uranium 238 et 650 Bq/kg pour la chaîne du thorium 232.

Les teneurs en uranium 238 se situent dans la fourchette haute des valeurs généralement observées dans les granites, et les teneurs en thorium 232 dépassent cette fourchette.

Dans une roche à l'état naturel, on observe généralement[1] un équilibre séculaire dans les chaînes de l'uranium 238 et du thorium 232 : cela signifie que les différents radionucléides qui composent chacune des chaînes ont des activités comparables. Certains processus industriels peuvent en revanche créer des

[1] Ceci n'est pas systématique : il existe des cas où, à l'état naturel, les chaînes ne sont pas à l'équilibre.

déséquilibres en provoquant la rétention ou l'élimination préférentielle de tel ou tel élément dans les produits, sous-produits, effluents ou déchets. De tels déséquilibres traduisent souvent l'impact d'une activité humaine. Les analyses suggèrent une composition à l'équilibre[2] (ce point devrait être vérifié par des analyses complémentaires).

À titre indicatif, les valeurs mesurées peuvent être comparées aux seuils applicables à la radioactivité naturelle :

Activités moyennes en radionucléides naturels des sols et roches (unité : Bq/kg)

Radionucléide	Moyenne des sols[1]	Granite classique[2]	Granite riche en U/Th[2]	Calcaire[2]
^{40}K	420	600 - 1800	1200 - 1800	30 - 150
^{232}Th	45	20 - 80	40 - 350	1 - 10
^{238}U	33	20 - 120	100 - 500	5 - 20

Sources

1 : Moyenne mondiale pondérée par la population - "Sources and effects of Ionizing Radiation" / **UNSCEAR 2000** Report / Vol. 1 : Sources / Annex B : Exposures from natural radiation sources / Table 5

2 : Données des pays nordiques - "Sources and effects of Ionizing Radiation" / **UNSCEAR 1993** Report / Annex A : Exposures from natural sources of radiation / Table 8

© CRIIRAD 2022

1/ Classement comme « substances radioactives d'origine naturelle » (SRON) : sont considérées comme des substances radioactives d'origine naturelle, les substances dont la teneur en radionucléides ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection. Aux termes de la réglementation (annexe 13-8 du code de la santé publique), il s'agit des substances qui dépassent au moins une des valeurs limites d'exemption suivantes :

- 10 000 Bq/kg pour le potassium 40,
- **1 000 Bq/kg pour le thorium 232** et sa filiation radioactive
- 1 000 Bq/kg pour l'uranium 238 et sa filiation radioactive.

Le sable « plage » analysé dépasse le seuil relatif au thorium 232. Aux termes des articles L.1333-4 et R.1333-2 du Code de la santé publique, cette caractéristique interdit son utilisation pour la fabrication de biens de consommation ou de matériaux de construction.

2/ Classement comme matériau à risque pour la construction de bâtiment : le Code de la santé publique prévoit depuis 2018 des prescriptions destinées à limiter l'exposition au rayonnement gamma à l'intérieur des bâtiments du fait des matériaux de construction. Les matériaux considérés sans risque radiologique significatif sont ceux dont l'indice de concentration d'activité (indice I) est inférieur à 1. **Lorsque l'indice I dépasse la valeur de 1**, le matériau peut être soumis à des **restrictions d'utilisation**. Cet indice est calculé à partir de la formule suivante :

$$I = \frac{C_{Ra226}}{300\ Bq.kg^{-1}} + \frac{C_{Th232}}{200\ Bq.kg^{-1}} + \frac{C_{K40}}{3\,000\ Bq.kg^{-1}}$$

[2] Dans chaque échantillon, la teneur en plomb 210 est plus faible que celle des autres radionucléides de la chaîne de l'uranium 238. Ceci pourrait être lié à des aspects métrologiques : le plomb 210 est dosé à partir d'une raie gamma à basse énergie (46,5 keV). En dessous de 100 keV, la quantification des radionucléides est perturbée du fait des phénomènes d'autoatténuation au sein de l'échantillon (ces phénomènes sont d'autant plus importants que la masse volumique de l'échantillon est élevée). Des facteurs correctifs sont appliqués pour prendre en compte l'impact de l'autoatténuation, mais en dessous de 50 keV la détermination de ces facteurs comporte d'importantes incertitudes. Des analyses complémentaires seraient nécessaires pour vérifier l'origine du déséquilibre entre le plomb 210 et les autres radionucléides de la chaîne de l'uranium 238.

où C_{Ra226} , C_{Th232} et C_{K40} correspondent aux activités massiques (en Bq/kg) des radionucléides correspondants dans le matériau analysé.

Du fait de leur concentration en thorium 232[3] très supérieure à 200 Bq/kg, les deux échantillons analysés dépassent largement le seuil d'indice de 1 : les indices I sont de l'ordre de **9 pour le sable « plage » et 4 pour le sable « crique »**. Le dépassement du seuil d'indice I implique la réalisation d'évaluations dosimétriques démontrant que l'utilisation de cette substance ne conduirait pas au dépassement du seuil de référence de 1 mSv/an établi pour l'exposition externe gamma dans les bâtiments.

A la lumière de ces deux comparaisons, l'utilisation de sable similaire à l'échantillon « plage » devrait être strictement interdite ; celle de sable comparable à l'échantillon « crique » devrait faire l'objet de caractérisations radiologiques et d'évaluations dosimétriques préalables à une éventuelle utilisation, assortie le cas échéant de restrictions. Ces éléments restent à confirmer, au moyen de contrôles radiologiques plus poussés et de recherches sur l'origine naturelle ou anthropique des apports de sable de couleur sombre.

CONCLUSION

Les mesures effectuées in situ par plusieurs intervenants au moyen de plusieurs radiamètres, ainsi que les analyses d'échantillons de sable au laboratoire de la CRIIRAD, confirment l'existence d'une anomalie radiologique dans le secteur est de la plage de Trébézy ainsi que dans la crique située à l'est de cette plage.

Il importe d'informer rapidement les collectivités territoriales concernées, la Préfecture ainsi que l'Autorité de Sûreté Nucléaire afin de caractériser l'étendue du phénomène, son origine, les expositions associées, et de définir les mesures de protection qui, le cas échéant, devraient être mises en place. Les personnes amenées à fréquenter les zones concernées doivent être informées de leurs particularités radiologiques.

Étendue

Ces premiers résultats étant préliminaires, il convient de réaliser une cartographie systématique et élargie de cette portion du littoral afin de délimiter les zones touchées et de lever le doute sur toutes les autres (mesures du flux de rayonnement et des débits de dose, étude de la répartition verticale du phénomène, prélèvement d'échantillons représentatifs des concentrations moyennes et maximales pour quantification des radionucléides présents, mesure des concentrations en radon 220 et 222 au niveau du sol, dosage du thorium 232 pour confirmation de l'équilibre séculaire de la chaîne de désintégration,…).

Origine

Deux hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer l'origine du phénomène :

- une **accumulation naturelle** liée à l'érosion, au transport puis à l'accumulation préférentielle de minéraux riches en uranium et thorium (par exemple zircon, monazite, …). Ce type de phénomène est observé sur certaines plages, en France (Camargue) et à l'étranger (Allemagne, Australie, Brésil, Égypte, Inde, Mexique, …).
- une **pollution** liée à des activités humaines. Plusieurs types d'activités emploient des matières premières dont la radioactivité naturelle peut être naturellement élevée (NORM)[4] ou concentrée lors du process industriel et s'accumuler dans les produits, sous-produits ou déchets (TENORM)[5]. Sont notamment concernées les activités suivantes : combustion de charbon en centrales thermiques,

[3] Évalué sur ses descendants émetteurs gamma, la chaîne de désintégration étant considérée à l'équilibre.
[4] Naturally Occurring Radioactive Material
[5] Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material

industrie des céramiques réfractaires, du thorium, des terres rares, du zircon, des engrais phosphatés, … Il convient de signaler que la plage de Trébézy est située à quelques kilomètres en aval du Grand port maritime de Nantes-Saint-Nazaire (et notamment à 10 km du terminal méthanier de Montoir-de-Bretagne et à 30 km de la centrale thermique à charbon de Cordemais).

Il est important d'identifier l'origine du phénomène afin de déterminer les éventuelles prescriptions réglementaires susceptibles d'être appliquées (plus contraignantes en cas d'origine anthropique, les situations naturelles relevant, pour la croûte terrestre non perturbée, d'un régime d'exclusion du système de radioprotection).

Risques associés

La présence de ces sables peut entraîner une exposition aux rayonnements, par exposition externe et par contamination (inhalation de particules solides ou d'isotopes du gaz radon, ou ingestion de grains de sable).

S'agissant de l'exposition externe, les mesures effectuées par M. X. au moyen d'un compteur Geiger-Müller TERRA-P, et par les personnes présentes lors de l'intervention du 29 avril 2022 au moyen d'un compteur Geiger-Müller RADEX RD1212 permettent de disposer d'un ordre de grandeur, mais doivent être prises avec précaution.

En effet, le TERRA-P et le RADEX RD1212 sont des appareils grand public de conception proche (ils sont équipés du même tube Geiger-Müller), efficaces pour détecter des anomalies radiamétriques (en particulier au contact des matières testées) mais qui ne sont pas conçus pour effectuer des mesures précises d'exposition aux rayonnements ionisants.

Les mesures effectuées à une distance suffisante du champ de rayonnement (1 mètre) donnent toutefois une bonne estimation du débit d'équivalent de dose ambiant à une profondeur de 10 mm H*(10). Multiplié par la durée d'exposition, ce résultat permet d'obtenir un ordre de grandeur de la dose efficace (au corps entier) par irradiation externe.

Sur la base des mesures effectuées au moyen du Radex RD1212 à 1 mètre du sol (1,47 µSv/h dans la crique, 0,67 µSv/h sur la plage), des expositions annuelles de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de µSv peuvent être envisagées. De plus :

- les mesures effectuées lors de l'intervention du 29 avril 2022 n'étant pas exhaustives, il est possible que certains secteurs présentent des débits de dose plus élevés ;
- l'exposition est plus élevée au niveau du sol qu'à 1 mètre (sur la plage on passe du temps en position assise ou allongée, et il faut aussi tenir compte de l'exposition plus élevée des enfants).

Il importe en tout cas de déterminer l'extension spatiale des élévations notables du débit de dose (les conséquences diffèrent si elles concernent 5% ou 90% des secteurs affectés).

Par ailleurs, il convient de prendre en compte le risque lié à l'ingestion et/ou l'inhalation de particules de sable. Plusieurs des radionucléides présents ont une forte radiotoxicité mais les risques radiologiques associés pourraient être considérablement réduits 1/ pour l'inhalation si la granulométrie empêche la pénétration des radionucléides dans le système pulmonaire ; 2/ pour l'ingestion si la solubilité est très faible et limite très fortement le passage des radionucléides dans le sang. L'IRSN avait conclu favorablement dans le cas de l'étude des sables riches en uranium et thorium de certaines plages de Camargue[6]. Il conviendrait de vérifier si la situation des sables du secteur de Trébézy est comparable, par une étude de la granulométrie et de la solubilité des matériaux concernés.

[6] https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN_Rapport_sables_camargue_2007.pdf .

La réglementation française (art. R. 1333-96 du Code de la santé publique) a fixé à 1 mSv/an en dose efficace[7] le niveau de référence[8] applicable à une pollution radioactive (hors contamination post accidentelle)[9]. Seules des investigations plus poussées permettront de déterminer si la situation relève d'une pollution et si la référence de dose de 1 mSv/an est susceptible d'être dépassée.

[7] Hors radon dans les bâtiments

[8] Niveau au-dessus duquel il est jugé inapproprié de permettre la survenance de l'exposition aux rayonnements ionisants résultant de pollution. L'optimisation de la protection porte prioritairement sur les expositions supérieures au niveau de référence et continue d'être mise en œuvre en dessous de celui-ci pour réduire les expositions aussi bas que raisonnablement possible.

[9] Relevant des dispositions de l'article R. 1333-95

Annexe 1 :
Rapports d'essai des analyses par spectrométrie gamma des échantillons de sable

Association CRIIRAD Laboratoire

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

RÉSULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMÉTRIE GAMMA

RAPPORT D'ESSAI N° 31780D-1
Étude : Sables Saint-Nazaire
Nature de l'échantillon : Sable

COORDONNÉES DU CLIENT

Adresse	Autres informations
CRIIRAD	Nom du contact
471 avenue Victor Hugo	Julien SYREN
26000 VALENCE	E-mail
	julien.syren@criirad.org
	Téléphone
	06 03 74 00 55

MÉTHODE D'ESSAI

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

ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 100522A1

Prélèvement

Code prélèvement / Référence client :	**"Plage"**		
Date de prélèvement :	**29/04/22 12:00**		
Lieu de prélèvement :	**Saint-Nazaire (44)**	**France**	
Lieu (précisions) :	**Partie est de la plage de Trébézy**		
Coordonnées GPS :	**N47,250038 E-2,257462**	Code NUTS :	**FR511**
Mode de prélèvement :	**Non précisé**		
Conditions de prélèvement :	**Non précisé**		
Prélevé par :	M. Jean-Max Estay, VPBN		

Préparation avant analyse

Date de préparation :	**12/05/22**	Délai avant analyse (j) :	**26,1**
Conditions de préparation :	Conditionnement en géométrie V1-20		
Préparé par :	Stéphane PATRIGEON		

Analyse

Date de début de mesure :	**07/06/22 15:35**	Durée de comptage (s) :	184 188
Etat de l'échantillon analysé :	Sec	Masse analysée (g) :	105,9
Géométrie de comptage :	V1-20 rempli à 5 mm du haut [5]	Détecteur :	D
Analyse dépouillée par :	Stéphane PATRIGEON		

Catégorie	Radionucléide		Energie (keV)	Détecté ?	Activité volumique/massique A ou < LD	Intervalle de confiance (1-γ=95%) Incertitude élargie	Limite inférieure	Limite supérieure	Incertitude-type relative	Seuil de décision (1-α=95%)	Limite de détection (1-β=95%)
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**	**380**	**± 50**	330	430	7%	15	30
	Radium 226	[4]	(351,9/609,3)	**OUI**	**441**	**± 33**	408	474	4%	1,4	3
	Plomb 214		351,9	**OUI**	**450**	**± 46**	405	496	5%	1,8	4
	Bismuth 214		609,3	**OUI**	**431**	**± 47**	383	478	6%	2,1	4
	Plomb 210	[3]	46,5	**OUI**	**231**	**± 46**	185	277	10%	22	45
Chaîne de l'uranium 235	**Uranium 235**		163,4	**OUI**	**26**	**± 21**	6	48	41%	18	36
	Protactinium 231		283,7	NON	< 31	-	-	-	-	15	31
Chaîne du thorium 232	**Actinium 228**		911,2	**OUI**	**1 650**	**± 200**	1 440	1 850	6%	4	7
	Plomb 212		238,6	**OUI**	**1 640**	**± 180**	1 470	1 820	5%	4	8
	Thallium 208		583,2	**OUI**	**580**	**± 60**	510	640	6%	1,2	2,4
Autres	**Potassium 40**		1 460,8	**OUI**	**133**	**± 26**	107	159	10%	18	36
RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg sec)											**[1]**
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS											
	Césium 137		661,7	NON	< 1,0	-	-	-	-	0,5	1,0
	Césium 134		604,7	NON	< 1,6	-	-	-	-	0,8	1,6

[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), des facteurs correctifs sont appliqués pour tenir compte des phénomènes d'autoatténuation au sein de l'échantillon. Ces facteurs sont déterminés par modélisation de l'impact de la composition chimique simplifiée et de la masse volumique de l'échantillon, au moyen de l'application EFFTRAN/MEFFTRAN. Il s'agit d'un premier niveau de correction théorique. Une détermination plus précise de ces facteurs nécessiterait des manipulations expérimentales qui sortent du champ de cette analyse.

[4] L'activité en radium 226 est évaluée à partir de celle de ses descendants plomb 214 (raie à 351,9 keV) et bismuth 214 (raie à 609,3 keV). Le comptage est réalisé à l'équilibre, c'est-à-dire plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

[5] Des corrections ont été faites pour tenir compte du non-remplissage de la géométrie de comptage.

Julien SYREN
Référent métrologie
16/06/2022

Le présent rapport comporte 1 page(s) et ne concerne que l'échantillon soumis à l'analyse.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Page 1 sur 1

Association CRIIRAD Laboratoire

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

RÉSULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMÉTRIE GAMMA

RAPPORT D'ESSAI N° 31781C-1
Étude : Sables Saint-Nazaire
Nature de l'échantillon : Sable

COORDONNÉES DU CLIENT	
Adresse	**Autres informations**
CRIIRAD	Nom du contact
29 cours Manuel de Falla	Julien SYREN
26000 VALENCE	E-mail
	juline.syren@criirad.org
	Téléphone
	06 03 74 00 55

MÉTHODE D'ESSAI

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

ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 100522A2

Prélèvement

Code prélèvement / Référence client :	**"Crique"**		
Date de prélèvement :	**29/04/22 12:00**		
Lieu de prélèvement :	**Saint-Nazaire (44)**	**France**	
Lieu (précisions) :	**Crique à l'est de la plage de Trébézy**		
Coordonnées GPS :	**N47,250630 E-2,256067**	Code NUTS :	**FR511**
Mode de prélèvement :	**Non précisé**		
Conditions de prélèvement :	**Non précisé**		
Prélevé par :	M. Jean-Max Estay, VPBN		

Préparation avant analyse

Date de préparation :	**13/05/22**	Délai avant analyse (j) :	**25,3**
Conditions de préparation :	Etuvage 45°C - Conditionnement en géométrie V1-20		
Taux de matière sèche :	**96,5%**		
Préparé par :	Stéphane PATRIGEON		

Analyse

Date de début de mesure :	**07/06/22 15:35**	Durée de comptage (s) :	184 053
Etat de l'échantillon analysé :	Sec	Masse analysée (g) :	96,27
Géométrie de comptage :	V1-20 rempli à 5 mm du haut [5]	Détecteur :	C
Analyse dépouillée par :	Stéphane PATRIGEON		

Catégorie	Radionucléide		Energie (keV)	Détecté ?	Activité volumique/massique	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			
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**	**175**	**± 25**	150	200	7%	10	21
	Radium 226	[4]	(351,9/609,3)	**OUI**	**202**	**± 15**	187	217	4%	1,0	2,1
	Plomb 214		351,9	**OUI**	**204**	**± 21**	183	225	5%	1,3	3
	Bismuth 214		609,3	**OUI**	**200**	**± 22**	177	222	6%	1,7	3
	Plomb 210	[3]	46,5	**OUI**	**134**	**± 24**	110	158	9%	8	17
Chaîne de l'uranium 235	**Uranium 235**		163,4	**OUI**	**11**	**± 8**	4	19	35%	7	13
	Protactinium 231		283,7	NON	< 21	-	-	-	-	10	21
Chaîne du thorium 232	**Actinium 228**		911,2	**OUI**	**680**	**± 80**	590	760	6%	3	6
	Plomb 212		238,6	**OUI**	**650**	**± 70**	580	720	5%	1,7	4
	Thallium 208		583,2	**OUI**	**244**	**± 27**	217	271	6%	0,9	1,8
Autres	**Potassium 40**		1 460,8	**OUI**	**144**	**± 25**	119	169	9%	17	34
RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg sec)											**[1]**
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS											
	Césium 137		661,7	NON	< 0,8	-	-	-	-	0,4	0,8
	Césium 134		604,7	NON	< 1,2	-	-	-	-	0,6	1,2

[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), des facteurs correctifs sont appliqués pour tenir compte des phénomènes d'autoatténuation au sein de l'échantillon. Ces facteurs sont déterminés par modélisation de l'impact de la composition chimique simplifiée et de la masse volumique de l'échantillon, au moyen de l'application EFFTRAN/MEFFTRAN. Il s'agit d'un premier niveau de correction théorique. Une détermination plus précise de ces facteurs nécessiterait des manipulations expérimentales qui sortent du champ de cette analyse.

[4] L'activité en radium 226 est évaluée à partir de celle de ses descendants plomb 214 (raie à 351,9 keV) et bismuth 214 (raie à 609,3 keV). Le comptage est réalisé à l'équilibre, c'est-à-dire plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

[5] Des corrections ont été faites pour tenir compte du non-remplissage de la géométrie de comptage.

Julien SYREN
Référent métrologie
16/06/2022

Le présent rapport comporte 1 page(s) et ne concerne que l'échantillon soumis à l'analyse.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

CHAINE RADIOACTIVE
Famille de l'Uranium 238

Radionucléide	Mode de désintégration	Période physique
Uranium 238	α	$4{,}5\ 10^{9}$ ans
Thorium 234	β	**24 jours**
Protactinium 234^{m}	β	**1,2 minutes**
Uranium 234	α	$2{,}5\ \ 10^{5}$ ans
Thorium 230	α	**$7{,}5\ \ 10^{4}$ ans**
Radium 226	α	**$1{,}6\ \ 10^{3}$ ans**
Radon 222	α	3,8 jours
Polonium 218	α	3 minutes
Plomb 214	β	**27 minutes**
Bismuth 214	β	**20 minutes**
Polonium 214	α	$1{,}6\ 10^{-4}$ secondes
Plomb 210	β	**22,3 ans**
Bismuth 210	β	5 jours
Polonium 210	α	138,5 jours
Plomb 206		Stable

Les radionucléides en **gras** dans le tableau, sont ceux qui émettent également des **rayonnements gamma** de manière significative

CHAINE RADIOACTIVE
Famille du Thorium 232

Radionucléide	Mode de désintégration	Période physique
Thorium 232	α	1,4 10^{10}ans
Radium 228	β	5,8 ans
Actinium 228	β	**6,1 heures**
Thorium 228	α	1,9 an
Radium 224	α	3,7 jours
Radon 220	α	55,6 secondes
Polonium 216	α	0,15 secondes
Plomb 212	β	**10,6 heures**
Bismuth 212	α β	**1 heure**
Thallium 208	β	**3 minutes**
Polonium 212	α	3 10^{-7} secondes
Plomb 208		Stable

Les radionucléides en **gras** dans le tableau, sont ceux qui émettent également des **rayonnements gamma** de manière significative