

Contamination radioactive du milieu aquatique par les rejets liquides des centrales électronucléaires

Exemple des Végétaux aquatiques en aval de Golfech

Etude réalisée à la demande du Réseau Sortir du nucléaire



Rédaction : Marion Jeambrun, Docteur en géochimie, Responsable d'étude au laboratoire de la CRIIRAD avec la contribution de Bruno Chareyron, Ingénieur en physique nucléaire, Directeur du laboratoire de la CRIIRAD

Préparation des échantillons et réalisation des analyses de spectrométrie gamma : Stéphane Patrigeon, technicien métrologue

Contacts : marion.jeambrun@criirad.org ; bruno.chareyron@criirad.org

CONTEXTE

Les centrales nucléaires sont autorisées à rejeter, de manière chronique, des éléments radioactifs dans l'atmosphère et dans les cours d'eau, mers ou océans qui les bordent.

Dans le cadre de la constitution d'un dossier de sensibilisation sur l'impact des rejets liquides sur le milieu aquatique fluvial, le Réseau Sortir du nucléaire a demandé au laboratoire de la CRIIRAD d'effectuer une analyse en aval des émissaires de rejets liquides d'une des centrales nucléaires françaises en fonctionnement.

Sur la base des données acquises dans le cadre de ses études, la CRIIRAD a proposé :

- De faire porter les analyses sur des **végétaux aquatiques** du fait de leur capacité d'accumulation d'un certain nombre de substances radioactives rejetées dans les eaux.
- De mettre en œuvre, outre des analyses « classiques » par spectrométrie gamma, une vérification de l'activité du **tritium organiquement lié et du carbone 14**.
- D'effectuer les prélèvements en aval du CNPE de **Golfech**, compte tenu des résultats obtenus en 2009 et 2019 qui indiquaient une bioaccumulation significative de tritium organiquement lié et de carbone 14 en aval de la centrale.

Il s'agit donc d'un contrôle ponctuel. En effet, il ne porte que sur les plantes aquatiques, prélevées en une seule station aval et à un seul moment de l'année. Une étude approfondie nécessiterait la réalisation d'un suivi dans le temps et sur plusieurs types de matrices (eau, sédiments, faune et flore aquatiques) prélevées sur plusieurs sites.

STRATEGIE DE PRELEVEMENT

Pour la réalisation des prélèvements, le laboratoire de la CRIIRAD a pu bénéficier du concours d'un de ses adhérents, monsieur Marc Saint-Aroman, également membre du Réseau Sortir du nucléaire et de l'association « Les Amis de la Terre Midi Pyrénées ». Il avait réalisé les prélèvements lors des précédentes campagnes et a pu les renouveler le **7 juin 2022** en amont¹ et en aval de la centrale.

Les échantillons ont été reçus au laboratoire de la CRIIRAD le **9 juin 2022**.

Les plantes aquatiques qui le nécessitaient ont été rincées à l'eau du robinet, puis essorées. Elles ont ensuite été soumises à deux types d'analyses :

- Une analyse par **spectrométrie gamma** réalisée au laboratoire de la CRIIRAD. La spectrométrie gamma permet de détecter une vaste palette de substances radioactives potentiellement présentes dans les rejets liquides d'une centrale électronucléaire. Il s'agit par exemple de produits de fission (comme le césium 137 ou l'iode 131) et de produits d'activation (comme le cobalt 60 ou l'argent 110^m). L'analyse a été effectuée sur matière fraîche et dans les meilleurs délais, afin d'être en capacité de détecter en particulier **l'iode 131**.
- Des analyses radiochimiques portant spécifiquement sur le **carbone 14** et sur le **tritium organiquement lié**. Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire spécialisé RCD Lockinge² basé en Angleterre. Un premier niveau de dessiccation a été effectué au laboratoire de la CRIIRAD avant envoi.

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma sont reproduits en annexes 1 et 2.

¹ Les frais d'analyse de l'échantillon amont sont pris en charge par l'association Les Amis de la Terre Midi Pyrénées.

² Le **carbone 14** et le **tritium** se désintègrent en émettant des rayonnements bêta et ne peuvent pas être détectés par spectrométrie gamma.

Carte 1 : Localisation des buses de rejet du CNPE de GOLFECH et de la station aval

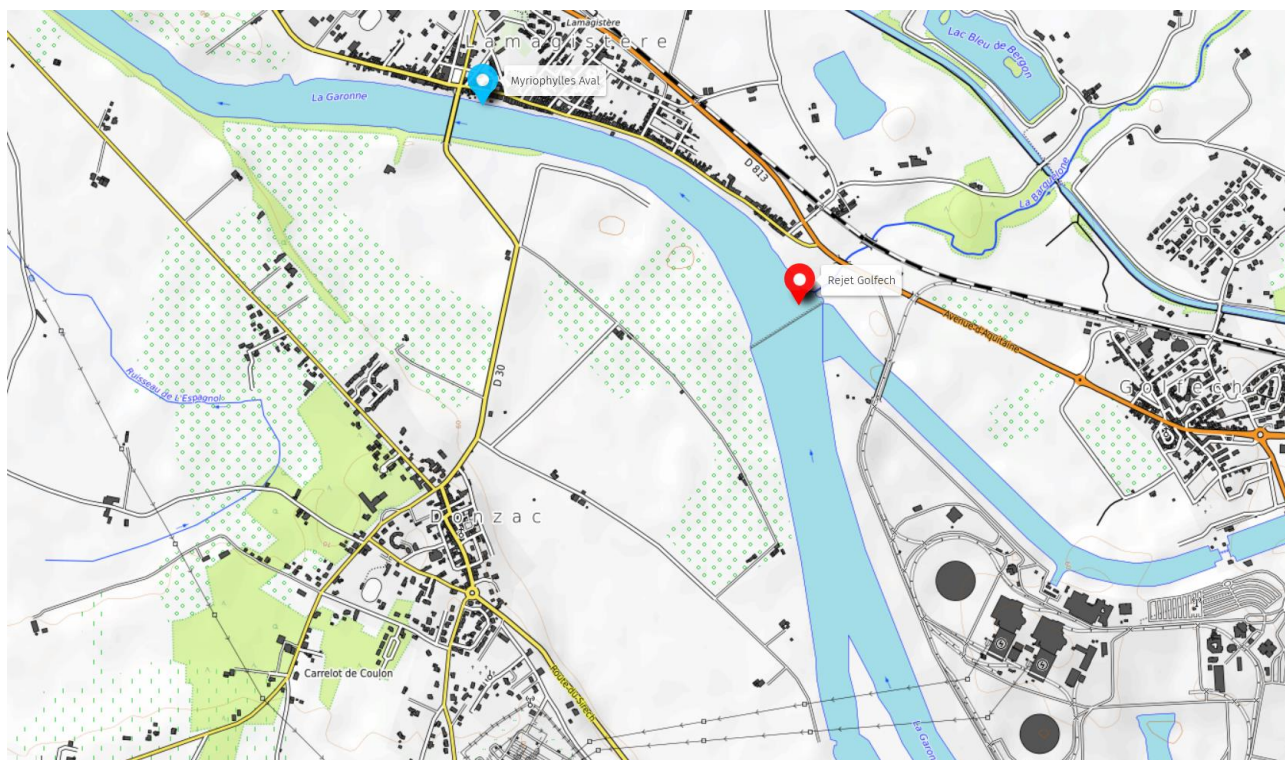
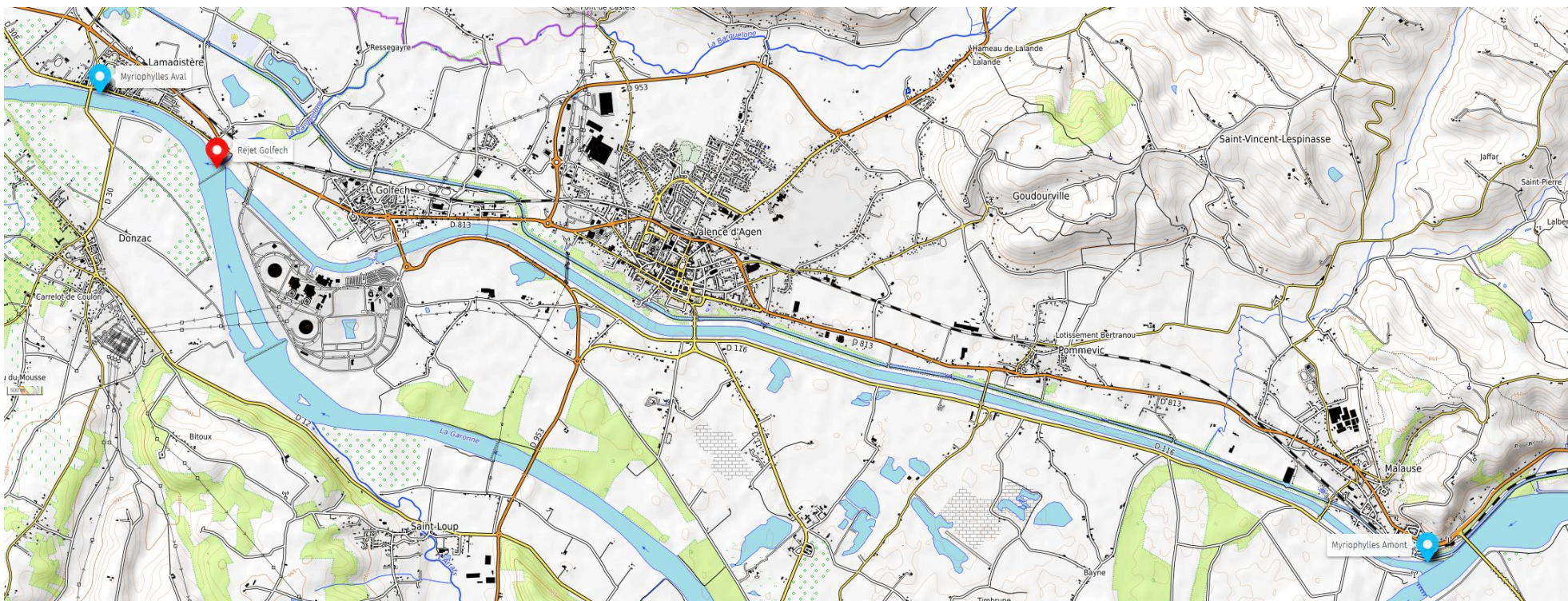


Photo 1 : Gros plan sur les buses de rejet du CNPE de GOLFECH (source : IGN image aérienne France)



Carte 2 : stations amont et aval du CNPE de GOLFECH



RESULTATS DES ANALYSES DES PLANTES AQUATIQUES

Les principaux résultats sont repris dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Principaux résultats d'analyses radiologiques des plantes aquatiques

Localisation	Amont Golfech (12,9 km) Malause - Rive droite	Aval Golfech (1,35 km) Lamagistère - Rive droite
Type échantillon	Plantes aquatiques	Plantes aquatiques
Espèce	Myriophylles en épi	Myriophylles en épi
Date de prélèvement	07/06/2022	07/06/2022
Code CRIIRAD	090622A1	090622A2
Activités mesurées		
Iode 131 (Bq/kg frais)	< 0,8	0,9 ± 0,7
Tritium organiquement lié (Bq/l d'eau de combustion)	< 3,0	5,88 ± 0,8
Tritium organiquement lié (Bq/kg sec)	< 1,0	2,49 ± 0,4
Carbone 14 (Bq/kg de carbone)	206 ± 2,1	252 ± 1,8
Carbone 14 (Bq/kg sec)	44,9 ± 2,3	70,9 ± 3,6

Iode 131

Les analyses par spectrométrie gamma ne font pas apparaître de contamination détectable par des **radionucléides artificiels** (voir résultats détaillés en annexes concernant les césiums 137 et 134, l'argent 110^m, les cobalts 58 et 60, etc.), à l'exception de **l'iode 131** de période physique égale à 8 jours.

Ce radionucléide est détecté dans l'échantillon aval Golfech (0,9 ± 0,7 Bq/kg frais³). Son activité dans l'échantillon amont est inférieure à la limite de détection (< 0,8 Bq/kg frais). La limite de détection obtenue en amont étant du même ordre de grandeur que le résultat obtenu en aval, il n'est pas possible de conclure à un impact des rejets de la centrale sur la présence d'iode 131 en aval.

Les différentes études réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD sur la radioactivité des plantes aquatiques de la Garonne, ont d'ailleurs montré que les termes sources principaux étaient liés à l'utilisation de l'iode 131 par les **services de médecine nucléaire**, en particulier dans **l'agglomération toulousaine** (située en amont de Golfech)⁴. L'activité en iode 131 détectée dans le secteur de Golfech en juin 2022 (0,9 Bq/kg frais) est nettement inférieure à celle mesurée par la CRIIRAD, dans le même type de plantes aquatiques prélevées en novembre 2021 et septembre 2018, à 800 m et 400 m en aval de la station de traitement des eaux usées de l'agglomération Toulousaine (26,5 et 46 Bq/kg frais respectivement).

Tritium organiquement lié et carbone 14

Dans les végétaux aquatiques prélevés le 7 juin 2022, à 1,35 km en aval des rejets de Golfech, on note par contre clairement l'impact de la centrale pour ce qui concerne le tritium et le carbone 14 :

³Soit 13 Bq/kg sec.

⁴<https://www.criirad.org/wp-content/uploads/2017/08/A1-effluents-hospitaliers.pdf>

- L'activité en **tritium organiquement lié** en aval (5,88 Bq/l d'eau de combustion⁵) est près de **2 fois supérieure** à celle de la station amont (dont l'activité est inférieure à la limite de détection : < 3,0 Bq/l d'eau de combustion).
- L'activité en **carbone 14** en aval (252 Bq/kg de carbone) est **nettement supérieure** à celle mesurée à la station amont (206 Bq/kg de carbone). Le rapport isotopique entre carbone 14 et carbone stable indique qu'il ne s'agit pas d'une situation naturelle. La valeur amont correspond par contre à un niveau classique « global » lié au carbone 14 d'origine naturelle et au reliquat de l'impact des essais nucléaires atmosphériques (particulièrement intenses dans les années 50-60). Cette composante globale a tendance à décroître lentement au cours du temps. On mesurait par exemple à la station amont 221 Bq/kg de carbone en 2009, puis 217 Bq/kg de carbone en 2019 et 206 Bq/kg de carbone en juin 2022.

EVOLUTION DES ACTIVITES LORS DES DIFFERENTS SUIVIS

Le laboratoire de la CRIIRAD a réalisé plusieurs campagnes de prélèvement de plantes aquatiques dans la Garonne dans le but d'étudier l'impact des rejets de la centrale de Golfech. Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour le tritium organiquement lié et le carbone 14 lors de ces différents suivis.

Tableau 2 : Evolution des activités en tritium organiquement lié et en carbone 14 dans les plantes aquatiques prélevées lors des différents suivis réalisés par la CRIIRAD dans la Garonne

Campagne de prélèvement	Amont Golfech	Aval Golfech
Tritium organiquement lié (Bq/l d'eau de combustion)		
2022	< 3,0	5,88 ± 0,8
2019	< 3,0	14,3 ± 1,0
2009*	< 3,0	14,8 ± 2,0
Carbone 14 (Bq/kg carbone)		
2022	206 ± 2,1	252 ± 1,8
2019	217 ± 1,9	666 ± 5,0
2009*	221 ± 4,7	415 ± 4,8

*Les prélèvements réalisés en 2009 ont concerné des espèces de plantes aquatiques différentes de celles prélevées en 2019 et 2022. Il s'agissait de *Ceratophylles* pour la station amont et de *Fontinales* pour la station aval et non de *Myriophylles* en épi comme en 2019 et 2022. Par ailleurs, en 2009 les stations de prélèvement étaient situées pour l'amont à 20 km de l'émissaire de rejet en rive gauche et pour l'aval à 870 m en rive droite. Elles sont identiques pour les campagnes de 2019 et 2022 : la station amont est située à Malause en rive droite à 12,9 km de l'émissaire de rejet et la station aval est située à Lamagistère en rive droite à 1,35 km.

Pour le **tritium organiquement lié**, la contamination relevée en 2022 dans les plantes aquatiques (5,88 Bq/l d'eau de combustion) est plus faible que celle mesurée en 2019 et 2009 (14,3 et 14,8 Bq/l d'eau de combustion respectivement). En effet, lors des suivis précédents les valeurs observées en aval étaient plus de **4 fois supérieure à celles obtenues en amont** où l'activité du tritium organiquement lié était inférieure à la limite de détection (< 3,0 Bq/l d'eau de combustion).

⁵Le tritium organiquement lié (TOL) correspond à la fraction du tritium qui est associée à la matière organique (à l'issue de divers mécanismes de synthèse de la matière vivante), par opposition au tritium libre qui correspond par exemple au cas où l'atome de tritium est constitutif d'une molécule d'eau. Pour déterminer l'activité du tritium organiquement lié, les échantillons subissent une dessiccation à 110°C jusqu'à élimination complète de l'eau contenue. La matière fait ensuite l'objet d'une combustion dans de l'oxygène pur pour produire des molécules de CO₂ et H₂O. C'est l'eau issue de la combustion qui fait alors l'objet d'un comptage par scintillation liquide pour déterminer l'activité volumique du tritium exprimée en becquerels par litre d'eau de combustion. Il est également possible de ramener cette activité en becquerels par kilogramme de matière.

Pour le **carbone 14**, on observe une diminution de la contamination par rapport à 2019 et 2009 (252 Bq/kg de carbone en 2022 contre 666 et 415 Bq/kg de carbone en 2019 et 2009). L'activité en aval reste toutefois nettement supérieure à celle mesurée en amont. On notera qu'en 2009 elle était presque 2 fois plus importante en aval et en 2019 plus de trois fois plus.

Il est possible que la diminution des activités du tritium organiquement lié et du carbone 14 soit liée au fait qu'en 2022 les prélèvements ont été réalisés en dehors de la période d'étiage de la Garonne et en début de période de développement des plantes aquatiques. Lors des campagnes précédentes, les prélèvements avaient été réalisés en fin d'été et début d'automne, périodes durant lesquelles les niveaux d'eau de la Garonne sont bas et les plantes aquatiques en fin de période de croissance. Dans le cadre de la présente étude, les contraintes de calendrier de remise des résultats ont conduit à réaliser les prélèvements précocement par rapport à la période propice.

En outre, d'autres paramètres peuvent contribuer à ces variations temporelles. En particulier l'intensité et les modalités des rejets dans les semaines et mois qui précèdent l'échantillonnage, ainsi que le régime hydrographique qui influe sur les conditions de mélange en aval.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'analyse des plantes aquatiques de la **Garonne** prélevées le **7 juin 2022** confirme la **contamination chronique et persistante du milieu naturel en aval de Golfech, en particulier par le tritium et le carbone 14.**

EDF déclare avoir rejeté dans la Garonne, de janvier à juin 2022 : **27 500 milliards de becquerels de tritium et 8,89 milliards de becquerels de carbone 14**, à comparer à moins de 0,111 milliards de becquerels pour les autres substances radioactives⁶. Le tritium et le carbone 14 constituent donc plus de 99,99 % des rejets radioactifs liquides du CNPE de Golfech.

De l'iode 131 est également détecté. Il fait partie des substances radioactives rejetées par la centrale de Golfech, mais d'autres sources sont à prendre en compte, en particulier les pratiques de médecine nucléaire et radiothérapie mises en œuvre en amont (agglomération Toulousaine par exemple).

Cette étude ponctuelle montre que, sur le plan radiologique, les impacts environnementaux les plus significatifs des rejets liquides chroniques des centrales nucléaires concernent le tritium et le carbone 14. Or ces éléments ne sont pas détectables dans le cadre des mesures par spectrométrie gamma effectuées en routine par EDF.

Le tritium et le carbone 14 sont respectivement des isotopes radioactifs de l'hydrogène et du carbone. Comme toute la matière vivante est constituée d'atomes d'hydrogène et de carbone, une partie du tritium et du carbone 14 rejetés dans l'environnement se retrouvera *in fine* dans les cellules des organismes vivants y compris dans l'ADN, créant à la longue une irradiation interne qui augmente les risques de cancer (entre autres). Rejeter du tritium et du carbone 14, c'est augmenter les risques pour la **faune, la flore et les êtres humains.**

Dans le cas de Golfech, l'impact est d'autant plus préoccupant que les **eaux potables** de dizaines de communes, dont celle d'**Agen**, sont puisées directement dans la Garonne en aval des rejets de Golfech. La CRIIRAD a effectué en 2019 une compilation des valeurs mesurées dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux potables sur l'ensemble du territoire français pour la période de 2016 à novembre 2019. Pour le sud-ouest de la France, on relevait une contamination des eaux potables par le tritium pour une trentaine de communes situées sur les rives droite et gauche de la Garonne, jusqu'à une cinquantaine de kilomètres en aval de Golfech et de manière moins marquée pour des communes situées **jusqu'à une centaine de kilomètres en aval des rejets de Golfech.**

⁶ EDF - Données mensuelles relatives à la surveillance des rejets et de l'environnement de la centrale nucléaire de production d'électricité de Golfech - juin 2022 : <https://fr-bo-prodd9.ppr.cie.edf.fr/sites/groupe/files/2022-07/RESULTATS%20ENVIRONNEMENT%20JUN%202022.pdf>

ANNEXE 1

Résultats des analyses de myriophylles en amont de Golfech



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° 31792D-1

Étude : Réseau Sortir du Nucléaire
Nature de l'échantillon : Plantes aquatiques - Myriophylles

COORDONNÉES DU CLIENT	ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 090622A1
Adresse Réseau Sortir du Nucléaire 9 rue Dumenge 69367 LYON CEDEX 07	Prélèvement Code prélèvement / Référence client : Amont CNPE Golfech Date de prélèvement : 07/06/22 10:30 Lieu de prélèvement : Malause (82) France Lieu (précisions) : 12 km 900 m en amont du rejet en rive droite Coordonnées GPS : N : 44°04'59.3" - E : 0°58'52.4" Code NUTS : FR628 Mode de prélèvement : Non précisé Prélevé par : Marc Saint Aroman - Daniel Roussée - Hubert Cros
MÉTHODE D'ESSAI	Préparation avant analyse
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	Date de préparation : 09/06/22 Délai avant analyse (j) : 3,8 Conditions de préparation : Echantillon rincé puis conditionné - Séchage après analyse à 45°C Préparé par : Stéphane PATRIGEON Taux de matière sèche : 5,9%
	Analyse
	Date de début de mesure : 13/06/22 09:28 Durée de comptage (s) : 193 131 Etat de l'échantillon analysé : Frais Masse analysée (g) : 120,92 Géométrie de comptage : Flacon 250 ml Détecteur : D Analyse dépouillée par : Stéphane PATRIGEON

Catégorie	Radionucléide	Energie (keV)	Détecté ?	Activité <small>WLM/mq ou mSv/jour</small>	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			

RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg frais) [1]											
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS											
	Césium 137	661,7	NON	<	0,6	-	-	-	-	0,3	0,6
	Césium 134	604,7	NON	<	0,8	-	-	-	-	0,4	0,8
	Cobalt 58	810,8	NON	<	0,6	-	-	-	-	0,3	0,6
	Cobalt 60	1 332,5	NON	<	0,8	-	-	-	-	0,4	0,8
	Manganèse 54	834,8	NON	<	0,6	-	-	-	-	0,3	0,6
	Antimoine 125	427,9	NON	<	1,4	-	-	-	-	0,7	1,4
	Iode 131	364,5	NON	<	0,8	-	-	-	-	0,4	0,8
	Cérium 144	133,5	NON	<	2,0	-	-	-	-	1,0	2,0
	Argent 110m	657,8	NON	<	0,6	-	-	-	-	0,3	0,6
	Américium 241 [2]	59,5	NON	<	0,6	-	-	-	-	0,3	0,6
	Iode 129 [2]	29,6	NON	<	0,38	-	-	-	-	0,18	0,38
	Ruthénium 106	621,9	NON	<	5	-	-	-	-	2	5

[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] 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.

Marion JEAMBRUN	
Responsable service préparation et analyses	
01/08/2022	

ANNEXE 2

Résultats des analyses de myriophylles en aval de Golfech



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° 31790C-1

Étude : Réseau Sortir du Nucléaire
Nature de l'échantillon : Plantes aquatiques - Myriophylles

COORDONNÉES DU CLIENT	ÉCHANTILLON ANALYSÉ : 090622A2
Adresse Réseau Sortir du Nucléaire 9 rue Dumenge 69367 LYON CEDEX 07	Prélèvement Code prélèvement / Référence client : Aval CNPE Golfech Date de prélèvement : 07/06/22 11:30 Lieu de prélèvement : Lamagistère (82) France Lieu (précisions) : 1 km 350 du rejet en rive droite Coordonnées GPS : N : 44°07'25,7" - E : 0°49'14,5" Code NUTS : FR628 Mode de prélèvement : Non précisé
	Prélevé par : Marc Saint Aroman - Daniel Roussée - Hubert Cros
MÉTHODE D'ESSAI	Préparation avant analyse
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 : 09/06/22 Délai avant analyse (j) : 1,1 Conditions de préparation : Echantillon directement conditionné - Séchage après analyse à 45°C
Normes appliquées Exigences organisationnelles/techniques : NF EN ISO CEI 17025 Calcul des limites caractéristiques : NF ISO 11929:2010	Préparé par : Stéphane PATRIGEON
	Analyse
	Date de début de mesure : 10/06/22 16:35 Durée de comptage (s) : 233 273 Etat de l'échantillon analysé : Frais Masse analysée (g) : 166,41 Géométrie de comptage : Flacon 250 ml Détecteur : C Analyse dépouillée par : Stéphane PATRIGEON

Catégorie	Radionucléide	Energie (keV)	Détecté ?	Activité	Intervalle de confiance (1-γ=95%)			Seuil de décision (1-α=95%)	Limite de détection (1-β=95%)
				vol/vol (m/m)	Incertain	Inférieure	Supérieure		

RÉSULTATS À LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (Unité : Bq/kg frais) [1]											
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS											
	Césium 137	661,7	NON	<	0,5	-	-	-	0,2	0,5	
	Césium 134	604,7	NON	<	0,8	-	-	-	0,4	0,8	
	Cobalt 58	810,8	NON	<	0,5	-	-	-	0,3	0,5	
	Cobalt 60	1 332,5	NON	<	0,6	-	-	-	0,3	0,6	
	Manganèse 54	834,8	NON	<	0,5	-	-	-	0,2	0,5	
	Antimoine 125	427,9	NON	<	1,1	-	-	-	0,5	1,1	
	Iode 131	364,5	OUI		0,9	± 0,7	0,2	1,6	40%	0,59	1,19
	Cérium 144	133,5	NON	<	1,4	-	-	-	0,7	1,4	
	Argent 110m	657,8	NON	<	0,6	-	-	-	0,3	0,6	
	Américium 241 [2]	59,5	NON	<	0,36	-	-	-	0,18	0,36	
	Iode 129 [2]	29,6	NON	<	0,29	-	-	-	0,14	0,29	
	Ruthénium 106	623,9	NON	<	5	-	-	-	2	5	

[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] 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.

Marion JEAMBRUN Responsable service préparation et analyses 28/07/2022	
--	--