

Valence le 18/12/2020

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°20-35

CNPE de Golfech / Impact des rejets radioactifs dans la Garonne Radioactivité des Végétaux aquatiques

Etude réalisée à la demande de la coordination Stop Golfech dont FNE 82, ATMP, VSDNG, Réseau Citoyen de Surveillance de la Radioactivité de Golfech, Sepanlog, Horizon Vert.



1 / Contexte

La centrale nucléaire de **GOLFECH** est autorisée à rejeter des éléments radioactifs dans l'atmosphère et dans la Garonne.

Afin d'effectuer un contrôle de l'impact des rejets radioactifs liquides du CNPE de Golfech, et avec le soutien scientifique du laboratoire de la CRIIRAD, l'association VSDNG avait mené en **2009** une campagne d'analyse de **végétaux aquatiques** prélevés dans la Garonne, en amont et en aval de la centrale nucléaire de Golfech.

Ces analyses (voir Annexe 1) avaient révélé qu'il y avait plus de **4 fois plus de tritium organiquement lié** à Lamagistère, 870 mètres **en aval des rejets de Golfech**, qu'en amont (non détecté en amont). Quant au **carbone 14**, il y en avait **presque 2 fois plus en aval**.

Le tritium est de l'hydrogène radioactif et le carbone 14 du carbone radioactif. Ces deux substances radioactives constituent plus de **99,99 %** de la radioactivité rejetée par le CNPE de Golfech dans la Garonne.

Afin de vérifier la situation **10 ans après**, une nouvelle campagne de mesures a été mise en œuvre.

La stratégie de prélèvement a été affinée lors d'échanges entre monsieur Marc Saint-Aroman (membre de l'Association les Amis de la Terre Midi Pyrénées) et monsieur Bruno Chareyron (laboratoire de la CRIIRAD). Les prélèvements de végétaux aquatiques ont été effectués le **3 octobre 2019** par monsieur Saint-Aroman. A titre indicatif, des échantillons d'eau de la Garonne ont également été collectés au même endroit que les végétaux.

Les échantillons ont été reçus au laboratoire de la CRIIRAD le **5 octobre 2019**.

Les eaux ont fait l'objet d'une recherche de tritium par scintillation liquide, au laboratoire de la CRIIRAD (voir Annexe 2).

Les végétaux ont fait l'objet d'un tri, d'un rinçage et d'un essorage et ont été soumis à deux types d'analyses :

- Des analyses par **spectrométrie gamma** sur matière fraîche. Elles ont été réalisées au laboratoire de la CRIIRAD, dans les meilleurs délais, afin d'être en capacité de détecter en particulier l'iode 131.
- Les échantillons ont ensuite subi une dessiccation à l'étuve et ont été adressés au laboratoire spécialisé RCD Lockinge (en Angleterre) pour réalisation d'analyses radiochimiques portant spécifiquement sur le **carbone 14** et sur le **tritium organiquement lié**.

Ces deux substances, qui se désintègrent en émettant des rayonnements bêta, ne peuvent être détectées par spectrométrie gamma. La spectrométrie gamma est utile pour détecter par contre 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).

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma sont reproduits en annexes 3 et 4.

Illustration 1 : localisation des buses de rejet du CNPE de GOLFECH et de la station aval
(source : GoogleEarth)



Illustration 2 : gros plan sur les buses de rejet du CNPE de GOLFECH (source : GoogleEarth)



Illustration 3 : stations amont et aval du CNPE de GOLFECH (source : GoogleEarth)



2 / Résultats des analyses de végétaux aquatiques

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

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

Localisation		Amont Golfech (12,9 km)	Aval Golfech (1,35 km)	
Localisation		Malause (rive droite)	Lamagistère (RD)	
Type échantillon		Plantes aquatiques	Plantes aquatiques	
Espèce		Myriophylles en épi	Myriophylles en épi	
Date de prélèvement		03/10/2019	03/10/2019	
Code CRIIRAD		071019 A3	071019 A1	
Iode 131	Bq/kg frais	< 2,1	0,61 +/- 0,28	Ratio Aval / Amont
Tritium organiquement lié	Bq/l d'eau de combustion	< 3,0	14,3 +/- 1,0	> 4,7
Tritium organiquement lié	Bq/kg sec	< 0,9	5,49 +/- 0,5	> 6,1
Carbone 14	Bq/kg carbone	217 +/- 1,9	666 +/- 5,0	3,1
Carbone 14	Bq/kg sec	53,7 +/- 2,7	185,9 +/- 9,4	3,5

Iode 131

Les analyses par spectrométrie gamma ne font pas apparaître de contamination détectable par des **radionucléides artificiels** (voir résultats détaillés en annexes concernant césium 137 et 134, argent 110^m, 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 ($0,61 \pm 0,28$ Bq/kg frais¹). Son activité dans l'échantillon amont est inférieure à la limite de détection ($< 2,1$ Bq/kg frais), mais comme la valeur de cette dernière est relativement élevée, il n'est pas possible de conclure à une présence d'iode 131 supérieure, en aval de la centrale, par rapport à l'amont.

Les différentes études réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD sur la radioactivité des végétaux aquatiques de la Garonne (voir annexe 5), 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). L'activité en iode 131 détectée dans le secteur de Golfech en octobre 2019 ($0,61$ Bq/kg frais) est nettement inférieure à celle mesurée par la CRIIRAD, dans le même type de végétaux aquatiques prélevés en septembre 2018, à 400 m en aval de la station de traitement des eaux usées de l'agglomération Toulousaine (46 Bq/kg frais).

Tritium organiquement lié et carbone 14

Dans les végétaux aquatiques prélevés le 3 octobre 2019, 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. :

- L'activité en **tritium organiquement lié** en aval ($14,3$ Bq/l d'eau de combustion²) est au moins **4 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 (666 Bq C14 /kg C) est plus de **3 fois supérieure** à celle mesurée à la station amont (217 Bq C14 /kg C). 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 C14 / kg C en 2009).

3 / Discussion et conclusions

EDF déclare avoir rejeté dans la Garonne en 2019 : **62 500 milliards de becquerels de tritium** et **36,5 milliards de becquerels de carbone 14**, à comparer à moins de 0,15 milliards de becquerels pour les autres substances radioactives. Le tritium et le carbone 14 constituent donc plus de 99,99 % des rejets radioactifs liquides du CNPE de Golfech.

Les contrôles ponctuels effectués le 3 octobre 2019 sur les eaux de la Garonne en amont et en aval des rejets de la centrale nucléaire de Golfech n'ont pas révélé de contamination par le tritium (valeurs classiques inférieures à 2 Bq/l). Il faut souligner que, compte tenu du caractère discontinu des rejets dans le temps et de la complexité des mécanismes de diffusion-homogénéisation des rejets en fonction des conditions hydrographiques du moment, des prélèvements d'eau ponctuels sont peu représentatifs. C'est pourquoi la CRIIRAD recommande d'effectuer les contrôles ponctuels sur des milieux accumulateurs ou intégrateurs susceptibles de renseigner sur l'impact des rejets sur des périodes de plusieurs semaines, voire plusieurs mois.

L'analyse des végétaux aquatiques de la **Garonne** prélevés le **3 octobre 2019** confirme la **contamination chronique et persistante du milieu naturel en aval de Golfech**.

Pour le **tritium organiquement lié**, la contamination relevée en 2019 dans les végétaux aquatiques ($14,3$ Bq/l d'eau de combustion) est du même ordre de grandeur que celle mesurée en 2009 ($14,8$ Bq/l d'eau de combustion). Il s'agit de valeurs plus de **4 fois supérieures à celles obtenues en amont** où le tritium

¹Soit $9,4$ Bq/kg sec.

²Le 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 CO_2 et H_2O . 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.

organiquement lié n'est pas détecté (< 3,0 Bq/l d'eau de combustion). La période physique du tritium est de **12,3 ans**.

Pour le **carbone 14**, on observe une **augmentation de 60 % de la contamination** en 2019 (666 Bq C14 /kg C par rapport à 2009 (415 Bq C14 /kg C). L'activité en **carbone 14** en aval est plus de **3 fois supérieure** à celle mesurée à la station amont (217 Bq C14 /kg C). La période physique du carbone 14 de **5 730 ans**.

Le tritium est de l'hydrogène radioactif, le carbone 14 est un isotope radioactif 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.

Dans son dernier bulletin « BSG : Branché sur Golfech » de novembre 2020, EDF indique que la moyenne quotidienne la plus élevée du mois, pour l'apport de tritium dans l'eau de la Garonne (à cause des rejets) a été de **49,3 Bq/l**. Une valeur inférieure à la limite moyenne quotidienne de **140 Bq/l** fixée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Cette pollution autorisée des eaux de la Garonne par le tritium entraîne inévitablement une pollution des eaux potables produites par pompage dans le fleuve. En effet, les dispositifs de traitement des eaux ne peuvent retenir le tritium. 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 2016 à novembre 2019.

Pour le sud-ouest de la France, on relève une **contamination des eaux potables par le tritium** pour de nombreuses communes situées sur les rives droite et gauche de la Garonne, **jusqu'à une cinquantaine de kilomètres en aval de Golfech** : Agen, Astaffort, Aubiac, Boe, Bon Rencontre, Brax, Bruch, Castelculier, Caudecoste, Colayrac Saint Cirq, Cuq, Estillac, Fals, Feugarolles, Foulayronnes, Lafox, Layrac, Le Passage, Moirax, Montesquieu, Pont du Casse, Roquefort, Saint-Nicolas de la Balermie, Saint-Sixte, Sainte Colombe en Bruilhois, Sauveterre Saint Denis, Thouars sur Garonne.

Plus en aval, du tritium est également détecté (en 2017) à Beaupuy, Lagupie, Marmande, Saint Martin Petit, Saint Pardoux du Breuil, Sainte Bazeille, soit jusqu'à **une centaine de kilomètres en aval** des rejets de Golfech.

Le secteur d'Agen constitue une zone nettement impactée.

Entre janvier 2019 et novembre 2019, par exemple, il y a eu 7 contrôles du niveau de tritium dans l'eau distribuée aux plus de 35 000 habitants de l'agglomération d'Agen. L'activité du tritium a été supérieure à la limite de détection (< 5,7 à < 6,2 Bq/l) à deux reprises avec des valeurs de **43,5 Bq/l**, le 7 janvier et **55,9 Bq/l** le 7 mars. Comme le montre le document page suivante, les résultats de 2019 sont nettement supérieurs à ceux de 2017 (maximum de 24,6 Bq/l) et 2018 (maximum de 33,5 Bq/l).

EDF et les autorités sanitaires banalisent cette situation en invoquant la limite sanitaire de **10 000 Bq/l** (valeur guide de l'OMS : Organisation Mondiale de la Santé) et la valeur de référence de **100 Bq/l** appliquée en France. Dans son dernier bulletin « BSG : Branché sur Golfech », EDF va même jusqu'à écrire : « *Sachez que boire chaque jour 2 litres d'une eau contenant 100 Bq/l de tritium équivaut en dose radioactive à manger chaque mois une banane* ».

La CRIIRAD a effectué une analyse critique³ de ces normes et a conclu que, s'agissant d'une contamination chronique qui affecte de surcroît toute la population dont les groupes à risques (femmes enceintes, jeunes enfants), tout devrait être fait pour réduire les niveaux de contamination et que la norme devrait être fixée à une valeur **inférieure à 30 Bq/l** voire à **10 Bq/l**. Sinon, les risques de cancer à long terme pourraient être supérieurs à ceux retenus pour les pollutions de nature chimique.

³Pour la discussion sur les « normes » concernant le tritium dans l'eau potable, voir les argumentaires CRIIRAD détaillés ici :

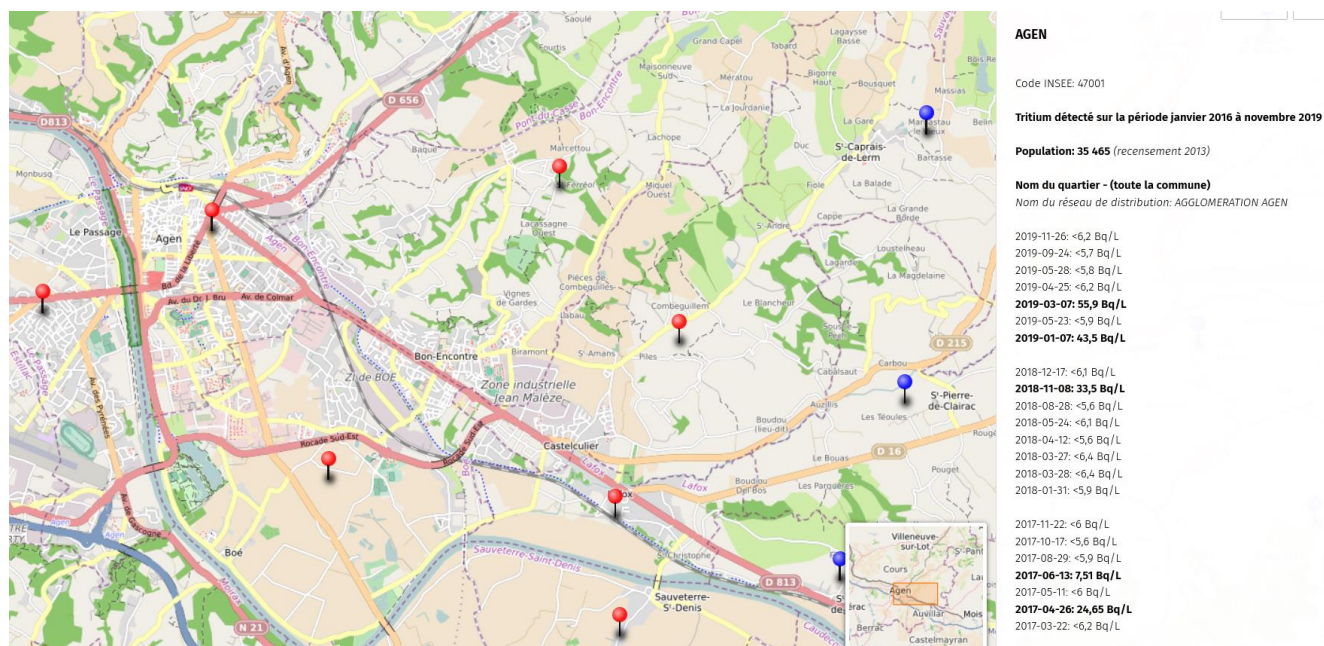
Pour un abaissement en dessous 10 Bq/l de la norme sanitaire : https://www.criirad.org/eau%20potable/2019-07-1_H3_10.000%20Bq_1.pdf

Pour un abaissement en dessous de 10 Bq/l et si possible de 2 Bq/l du niveau de référence (seuil d'investigation) dans les eaux potables https://www.criirad.org/eau%20potable/2019-07-15_H3_10.000%20Bq_2.pdf

Illustration 4 : résultats du contrôle du tritium dans l'eau potable à Agen

Extrait de la carte compilée par la CRIIRAD à partir des mesures officielles

(en bleu : niveaux de tritium inférieurs aux limites de détection / en rouge : tritium détecté)



La CRIIRAD a d'ailleurs interpellé⁴ Mme Buzyn (alors Ministre de la Santé), le 11 juillet 2019, pour demander une **révision des normes concernant le tritium dans les eaux potables**. L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) a fait une première réponse en octobre 2019 annonçant une étude approfondie des questions soulevées. Puis, elle a adressé le 24 février 2020, une réponse sur le fond, basée sur un avis de l'IRSN indiquant que l'Institut n'envisage pas de modification des normes à court terme (même si l'IRSN est favorable au réexamen de certains points comme le Facteur d'Efficacité de Dose et de Débit de Dose).

La présence de tritium dans les eaux potables de communes situées en aval des rejets du CNPE de Golfech montre en outre la vulnérabilité des ressources en eau potable en cas d'incident ou d'accident grave à la centrale nucléaire.

Rédaction : Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, directeur du laboratoire de la CRIIRAD

Relecture : Corinne Castanier, responsable du pôle radioprotection-règlementation et Marion Jeambrun, docteur en Géochimie.

Préparation des échantillons : Sara Ortuno, technicienne de laboratoire

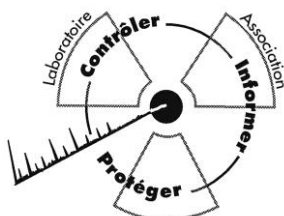
Réalisation des analyses : Stéphane Patrigeon, technicien métrologue

Validation des analyses : Marion Jeambrun, docteur en Géochimie

⁴https://www.criirad.org/eau%20potable/2019-07-11_lettre-ouverte_H3-eau_1.pdf

ANNEXE 1

Résultats des analyses radiologiques de végétaux aquatiques amont-aval Golfech Campagne 2009



CRIIRAD
Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité
Site: www.criirad.org
Tél: + 33 (0)4 75 41 82 50
Fax: + 33 (0)4 75 81 26 48
E-mail: laboratoire@criirad.org

Valence, le 23 décembre 2009

M Marc Saint-Aroman
VSDNG

A / Résultats des mesures de tritium organiquement lié (OBT) et carbone 14 dans les plantes aquatiques de la Garonne en amont et en aval de GOLFECH Analyses effectuées par le laboratoire CRIIRAD et RCD Lockinge Echantillons prélevés par M Marc St Aroman et André Cruzet

Plantes aquatiques Garonne / Prélèvements du 18 septembre 2009

Localisation	Amont Golfech (20 km)	Aval Golfech	Aval Golfech (870 m)
Localisation	Pont St Nicolas (D25), RG	30 m aval axe rejet (RD)	Village Lamagistère (RD)
Type échantillon	Plantes aquatiques	Plantes aquatiques	Plantes aquatiques
Espèce	Ceratophylles	Fontinales	Fontinales
Repère	REP 5245	REP 5228	REP 5241
Code CRIIRAD	220909C6	220909C4	220909C5

Activité tritium Bq/l d'eau de combustion	< 3	< 3	14,8 +/- 2,0
Tritium organiquement lié Bq/kg sec	< 1,2	< 1,0	4,5 +/- 0,7

Activité Carbone 14 (Bq/kg carbone)	221 +/- 4,7	242 +/- 3,4	415 +/- 4,8
Activité Carbone 14 (Bq/kg sec)	59,2 +/- 3,2	64,6 +/- 3,4	103,0 +/- 5,3

Commentaire :

Dans les plantes aquatiques prélevées à 870 mètres en aval du rejet de Golfech on note une activité en tritium organiquement lié au moins 4 fois supérieure à la station amont (dont l'activité est inférieure à la limite de détection). Dans les plantes aquatiques prélevées à 870 mètres en aval du rejet de Golfech, l'activité en carbone 14 est près de 2 fois supérieure à celle mesurée à la station amont et le rapport isotopique entre carbone 14 et carbone stable indique qu'il ne s'agit pas d'une situation naturelle.

Cette contamination des plantes aquatiques par le tritium et le carbone 14 était prévisible compte tenu des rejets de tritium et carbone 14 effectués par la centrale de Golfech.

L'absence de contamination mesurable dans les plantes collectées à 30 m en aval du rejet alors qu'une contamination est détectée à 860 m en aval est surprenante. Le rejet est peut être orienté par les courants de telle manière qu'il n'imprègne pas les plantes collectées à 30 m. Cette campagne illustre l'intérêt de disposer de plusieurs stations pour apporter un diagnostic.

Pour mémoire, les résultats de dosage du tritium dans les eaux de la Garonne effectués par le laboratoire de la CRIIRAD et déjà transmis à VSDNG le 9 octobre 2009 étaient négatifs (activité du tritium était inférieure à la limite de détection).

La différence entre les résultats sur les eaux et sur les plantes aquatiques montre tout l'intérêt qu'il y a à procéder à des mesures sur des organismes bioaccumulateurs et pas seulement sur l'eau elle-même pour rendre compte de l'impact des rejets discontinus dans le temps.

B Chareyron le 23 dec 2009.

ANNEXE 2

Résultats des analyses de tritium dans l'eau de la Garonne (3 octobre 2019)



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 DE MESURES DE TRITIUM Rapport d'essai n° T529-01

Modèle utilisé : CALTRI V04

MÉTHODE D'ESSAI	
Description	
Comptage par scintillation liquide. Détecteur : compteur Packard 2770 très bas bruit de fond équipé d'un cristal de BGO (oxyde de bismuth et de germanium). Liquide scintillant : Ultima Gold LLT, Perkin Elmer.	
Normes appliquées	
Exigences organisationnelles/techniques :	NF EN ISO CEI 17025
Méthode d'essai :	NF ISO 9698:2015
Calcul des limites caractéristiques :	NF ISO 11929:2010

COORDONNÉES DU CLIENT
STOP GOLFECH

COMPTAGE		
Numéro du comptage	Début	16/10/19 08:55
T529	Fin	21/10/19 09:05

ÉCHANTILLON						RÉSULTATS [1]					
Localisation	Type échantillon	Date de prélèvement	Code échantillon	Distillation	Flaconnage / Dosage	Détecté ?	Activité volumique en tritium	Intervalle de confiance (1-γ=95%)	Incertitude-type relative	Seuil de décision (1-α=97,5%)	Limite de détection (1-β=97,5%)
										SD	LD
							A ou < LD	± b ou	(%)	(Bq/l)	(Bq/l)
							(Bq/l)	+ b _{sup} - b _{inf}		(Bq/l)	(Bq/l)
Aval Golfech	Eau de surface	03/10/19	071019A2	NON	Plastique UG 10:10	Non détecté	< 1,9		-	0,9	1,9
Amont Golfech	Eau de surface	03/10/19	071019A4	NON	Plastique UG 10:10	Détecté	1,0	+ 1,0 - 0,8	50%	0,9	1,9

Marion JEAMBRUN	Signature
Responsable qualité	
29/11/2019	



Notes

[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. 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. Lorsque l'incertitude-type ne dépasse pas 25%, l'intervalle de confiance est symétrique : la probabilité est forte (égale à 1-γ) que le résultat soit compris entre A - b et A + b. Les résultats sont exprimés sous la forme A ± b. Lorsque l'incertitude-type dépasse 25%, l'intervalle de confiance n'est pas symétrique. La probabilité est forte (égale à 1-γ) que le résultat soit compris entre A - b_{sup} et A + b_{inf}. Dans ce cas, les résultats sont exprimés sous la forme A + b_{sup} / - b_{inf} si les valeurs arrondies de b_{sup} et b_{inf} sont différentes, et A ± b_{inf(ou, sup)}} si les valeurs arrondies de b_{sup} et b_{inf} sont identiques.

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

Page 1 sur 1

ANNEXE 3

Résultats des analyses de myriophylles en amont de Golfech (spectrométrie gamma, 2019)

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD



Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

29 Cours Manuel de Falla
26000 Valence - France
Tel. : + 33 (0)4 75 41 52 50
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48

Site internet : www.criirad.org
E-mail : laboratoire@criirad.org

Valence, le 14 octobre 2019

Laboratoire agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire pour les mesures de radioactivité de l'environnement — portée détaillée de l'agrément disponible sur le site internet de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Méthode d'essai : spectrométrie gamma en conteneur de géométrie normalisée.
Détecteur semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide.
Efficacité relative de 22 à 24 %, Résolution de 1,7 keV pour le pic à 1,33 MeV.

RAPPORT D'ESSAI N° 30605-1 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude	Rejets Golfech
Code Prélèvement	I Amont
Code Enregistrement	071019A3
N° d'analyse	C 30605
Nature de l'échantillon	Plantes aquatiques Myriophylles en épi
Lieu de prélèvement	Maisue (82)
Localisation du prélèvement	12,9 km Amont golfech Rive Droite
Code de l'unité territoriale (NUTS)	FR628
Latitude, longitude (degrés minutes)	N : 44°04'59.3" / E: 0°58'52.4"

STOP GOLFECH

Prélèvement	
Date de prélèvement	03/10/2019
Opérateur de prélèvement	Le client
Mode de prélèvement	Non précisé
Pré-traitement	
Date de préparation	07/10/2019
Délai avant analyse (j)	1
Conditions de préparation	Triées, rincées, essorées et découpées aux ciseaux
Analyse en spectrométrie gamma	
Date de mesure	08/10/2019
Géométrie de comptage	B250
Etat de l'échantillon à l'analyse	Frais
Masse analysée (g)	178,34
Temps de comptage (s)	86 124

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

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme frais (Bq/kg frais)

Éléments radioactifs naturels* Activité et incertitude ou limite de
détection si <

Chaîne de l'Uranium 238	
Thorium 234 ^{***}	< 9
Radium 226 ^{***}	< 3,8
Plomb 214	< 4,4
Bismuth 214	< 3,8
Plomb 210 ^{**}	< 9
Chaîne de l'Uranium 235	
Uranium 235	< 12
Chaîne du Thorium 232	
Actinium 228	< 9
Plomb 212	< 2,7
Thallium 208	< 1,5
Potassium 40	< 60
Béryllium 7	< 3,7

Activités calculées à la date de mesure

Éléments radioactifs artificiels Activité et incertitude ou limite de
détection si <

Césium 137	< 0,5
Césium 134	< 0,45
Cobalt 60	< 0,5
Cobalt 60	< 0,45
Manganèse 54	< 0,5
Antimoine 125	< 1,3
Iode 131	< 2,1
Cérium 144	< 2,4
Argent 110m	< 0,5
Américium 241 ^{***}	< 0,6
Iode 129 ^{**}	< 0,5
Ruthénium 106	< 4,4

Activités ramenées à la date de prélèvement

* Éléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

** D'échappement de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs
par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoradiation possible au sein de l'échantillon.

*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214.

Il s'agit d'une évaluation par défaut, le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Marion JEAMBRUN
Responsable qualité

ANNEXE 4

Résultats des analyses de myriophylles en aval de Golfech (spectrométrie gamma, 2019)

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD



Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

29 Cours Manuel de Falla
26000 Valence - France
Tél. : + 33 (0)4 75 41 82 50
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48

Site Internet : www.criirad.org
E-mail : laboratoire@criirad.org

Valence, le 08 octobre 2019

STOP GOLFECH

Laboratoire agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire pour les mesures de radioactivité de l'environnement — portée détaillée de l'agrément disponible sur le site Internet de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Méthode d'essai : spectrométrie gamma en conteneur de géométrie normalisée.
DéTECTEUR semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide.
Efficacité relative de 22 à 24 %. Résolution de 1,7 keV pour la raie à 1,33 MeV.

RAPPORT D'ESSAI N° 30603-1 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Rejets Golfech
Code Prélèvement Il Aval
Code Enregistrement 071019A1
N° d'analyse C 30603
Nature de l'échantillon Plantes aquatiques
Myriophylles en épi
Lieu de prélèvement Lamagistère (82)
Localisation du prélèvement 1,350 km Aval Golfech
Rive Droite
Code de l'unité territoriale (NUTS) FR628
Latitude, longitude (degrés minutes) N : 44°07'25.7" / E : 0°49'14.5"

Prélèvement
Date de prélèvement 03/10/2019
Opérateur de prélèvement Le client
Mode de prélèvement Non précise

Pré-traitement
Date de préparation 07/10/2019
Délai avant analyse (j) 0
Conditions de préparation Triées, rincées, essorées et
découpées aux ciseaux

Analyse en spectrométrie gamma
Date de mesure 07/10/2019
Géométrie de comptage MARS00CC
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais
Masse analysée (g) 353,23
Temps de comptage (s) 83 320

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

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme frais (Bq/kg frais)

Éléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <
Chaîne de l'Uranium 238	
Thorium 234**	< 8
Radium 226***	< 0,8
Piomb 214	< 0,8
Bismuth 214	< 1,9
Piomb 210**	< 5
Chaîne de l'Uranium 235	
Uranium 235	< 2,0
Chaîne du Thorium 232	
Actinium 228	< 2,4
Piomb 212	< 1,2
Thallium 208	< 0,9
Potassium 40	< 50
Béryllium 7	4,2 ± 1,9

Activités calculées à la date de mesure

Éléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <
Césium 137	< 0,14
Césium 134	< 0,12
Cobalt 58	< 0,13
Cobalt 60	< 0,13
Manganèse 54	< 0,14
Antimoine 125	< 0,31
Iode 131	0,61 ± 0,28
Cérium 144	< 0,6
Argent 110m	< 0,12
Américium 241**	< 0,16
Iode 129**	< 0,21
Ruthénium 106	< 1,1

Activités ramenées à la date de prélèvement

* Éléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

** L'échappement de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214.

Il s'agit d'une évaluation par défaut, le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Stéphane PATRIGÉON
Technicien de laboratoire

Marion JEAMBRUN
Responsable qualité

ANNEXE 5 / Présence chronique d'iode 131 dans la Garonne

Les analyses réalisées en **1991** par le laboratoire de la CRIIRAD sur des **végétaux aquatiques** prélevés dans la Garonne par les associations VSDNG (Vivre Sans le Danger Nucléaire de Golfech) et les Amis de la Terre, en **amont et en aval de la centrale nucléaire de Golfech**, ont permis de mettre en évidence une contamination par de **l'iode 131**, un radionucléide artificiel, émetteur bêta-gamma.

Ce produit de fission est créé au sein des réacteurs nucléaires. Ces derniers disposent d'autorisations de rejet pour les iodes radioactifs. Il est également utilisé en médecine nucléaire pour des activités de diagnostic et de thérapie. Les études réalisées à cette époque ont montré qu'il existait un terme source important au niveau de **l'agglomération toulousaine**.

Les différentes études réalisées par la CRIIRAD, tant au niveau de l'agglomération Toulousaine⁵ qu'ailleurs en France (Bassin Seine Normandie, vallée du Rhône) ont montré qu'il existait, dans de nombreux cours d'eau, une contamination chronique par l'iode 131 et que la principale source était liée à son utilisation en **médecine nucléaire**. Il s'agit pour partie des rejets des services hospitaliers dans les collecteurs d'eaux usées et pour partie des rejets «diffus» par les patients de retour à leur domicile.

La CRIIRAD a pu rendre compte de cette situation lors du colloque « **Les effluents liquides des établissements de Santé : Etat des lieux et perspectives de gestion** » à Chambéry les 26 et 27 novembre 2008, sur le thème : « *Les effluents radioactifs directs et diffus générés par les activités de médecine nucléaire et de Curiethérapie* »

Voir la présentation : <http://www.criirad.org/rayonnements/PP1-effluents-radioactifs.pdf>

Voir l'article : <http://www.criirad.org/rayonnements/A1-effluents-hospitaliers.pdf>

ANNEXE 6 / Remarques sur la radiotoxicité du tritium

Sous-estimation de la radiotoxicité du tritium

Le tritium (³H) est l'isotope radioactif de masse 3 de l'hydrogène. Il possède donc les mêmes propriétés chimiques que ce dernier.

De période physique égale à **12,3 ans**, il se désintègre pour former de l'hélium stable. Cette désintégration s'accompagne systématiquement de l'émission d'un rayonnement ionisant de type bêta moins (électron) dont l'énergie maximale est de 18,6 keV (kilo électronvolt) et d'énergie moyenne 5,6 KeV.

Le tritium étant **un isotope de l'hydrogène**, constituant de base de la molécule d'eau et de tous les êtres vivants, il diffuse très rapidement dans l'environnement où il est aisément assimilé par les organismes vivants. Les rejets de tritium entraînent ainsi une contamination étendue à de nombreux compartiments : air, eau, chaîne alimentaire, conduisant à une exposition très diversifiée des populations.

Les normes de radioprotection concernant le tritium dans l'eau potable appliquées en France ne prennent en compte que l'irradiation induite par l'ingestion d'eau tritiée. Dans ce cas, le tritium est assez rapidement⁶ éliminé par l'organisme humain, et l'équivalent de dose engendré par l'absorption d'une quantité donnée de tritium est limité par le fait que le temps de séjour du radioélément dans le corps humain est bref et que l'énergie des rayonnements bêta qu'il émet est faible. C'est ainsi que les limites annuelles d'incorporation d'eau tritiée par le public sont très élevées, faisant apparaître le tritium comme l'un des radioéléments les moins radiotoxiques. **Mais la réalité est beaucoup plus complexe.**

Le problème des transmutations

L'évaluation des doses induites par le tritium ne tient compte que de l'énergie moyenne déposée dans les organes par les rayonnements bêta qu'il émet en se désintégrant. Mais ce modèle simpliste ne tient pas

⁵En **1995**, la Compagnie Générale des Eaux, concessionnaire du système d'assainissement des eaux usées de Toulouse, a réalisé un bilan sur la présence d'iode 131 dans les égouts toulousains, conjointement avec l'Agence Régionale pour l'Environnement (ARPE). Le laboratoire de la CRIIRAD a participé à l'époque aux analyses des eaux par spectrométrie gamma.

⁶Le modèle biocinétique décrit dans la publication N°56 de la CIPR (année 1990), retient l'hypothèse selon laquelle 97 % de l'eau tritiée est en équilibre avec l'eau contenue dans l'organisme et est renouvelée avec une demi-vie de 10 jours, le reste, incorporé à des molécules organiques aurait une demi-vie de 40 jours.

compte du problème des transmutations. Lorsque l'atome de tritium qui s'est substitué à un atome d'hydrogène stable se désintègre, outre les effets liés à l'émission des rayonnements bêta, il faut tenir compte de ceux liés au fait qu'il se transforme en un nouvel élément chimique, l'hélium. Cela entraîne des cassures des liaisons hydrogène, des modifications de la structure de l'ADN et cela modifie complètement la structure chimique des molécules concernées, entraînant l'apparition de nouveaux composés mutagènes. D'autres points⁷ conduisent à une sous-estimation des risques, comme la sous-estimation de l'efficacité biologique du rayonnement émis par le tritium.

Le problème du tritium organiquement lié

Une partie du tritium incorporé sous forme d'eau tritiée est assimilée sous forme organique. Il faut considérer en outre le cas où le tritium existe déjà sous forme organique dans le milieu. On parle alors de **tritium organiquement lié**. Des phénomènes liés à la photosynthèse dans le règne végétal et à d'autres mécanismes métaboliques dans le règne animal conduisent en effet à l'incorporation du tritium à certaines molécules organiques.

Le tritium sous forme organique a une période biologique plus longue qui peut aller de **un mois à un an** selon le type de liaisons chimiques. Lorsqu'il est intégré à certaines molécules organiques, telle la thymidine, le temps de séjour du tritium dans l'organisme humain est encore plus élevé (période biologique de 400 à 600 jours). Dans les végétaux, 80 % de la quantité de tritium liée à la matière organique est intégrée aux molécules de structure (lignine, cellulose), le tritium est alors fixé à demeure.

Ainsi, après ingestion d'une nourriture tritiée, **l'activité fixée dans les tissus est plus importante qu'après ingestion d'eau tritiée**. Divers mécanismes peuvent alors conduire, chez l'homme, au marquage en tritium de certaines macromolécules comme l'ADN. L'élimination du tritium étant alors très lente, les problèmes radiologiques posés sont beaucoup plus aigus. En effet, les rayonnements bêta du tritium peuvent réaliser sur le long terme (période de 12,3 ans), et au cœur même du matériel génétique des êtres vivants, des cassures et mutations des chromosomes induisant un risque de cancérisation et de mutations génétiques.

Ainsi, sous leur forme tritiée, la leucine (précurseur des protéines), l'uridine (précurseur de l'ARN) et la thymidine (précurseur de l'ADN) sont respectivement environ 10, 100, et 1 000 fois plus toxiques que l'eau tritiée. Selon certains auteurs, la toxicité du tritium incorporé à la thymidine pourrait être 10 000 fois supérieure à celle de l'eau tritiée. Sous forme d'arginine tritiée, autre acide aminé, la toxicité serait plus importante encore.

Le laboratoire de l'Université de Tokyo (Laboratory of Radiation Genetics and Chemical Mutagenesis) a mis en évidence l'effet du tritium sur l'induction de mutations sur une plante (*Tradescantia*) à de faibles doses de contamination. L'Institut National des Sciences Radiologiques du Japon a montré que les différents effets du tritium sur des cellules de mammifères (destruction, mutation ou induction de cancers) étaient plus importants qu'on ne le croyait.

En résumé, la radiotoxicité du tritium semble avoir été largement sous-évaluée et peu de travaux existent sur les effets à long terme, notamment génétiques, de la contamination par ce radioélément.

⁷Voir le courrier adressé par la CRIIRAD au Ministre de la Santé demandant la révision des normes portant sur le tritium dans l'eau potable [https://www.criirad.org/eau%20potable/2019-07-11 lettre-ouverte H3-eau 1.pdf](https://www.criirad.org/eau%20potable/2019-07-11%20lettre-ouverte%20H3-eau%201.pdf)