CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

Site : www.criirad.org
Tel : + 33 (0)4 75 41 82 50
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48
E-mail : laboratoire@criirad.org

Note[1] CRIIRAD N°13-36

Contrôles radiologiques ponctuels effectués par la CRIIRAD en Isère dans l'environnement du CNPE du Bugey dans le cadre d'une formation des citoyens et associations

Rédaction : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire de la CRIIRAD

1 / Contexte

Dans le cadre d'un projet soutenu par la Région Rhône-Alpes[2] et par le Conseil Général de l'Isère[3] la CRIIRAD a organisé des formations-sensibilisations sur les questions de radioprotection à destination des responsables associatifs et des citoyens, principalement dans la région Rhône-Alpes et a pu effectuer des contrôles radiologiques dans l'environnement proche de la centrale nucléaire EDF du Bugey (prélèvements effectués en Isère).

Il s'agit à terme de pouvoir disposer d'un réseau de citoyens en capacité de réaliser des contrôles de radioactivité simples (dans leur environnement). Cette démarche vise également à développer le sens critique des citoyens et leur capacité à analyser les informations officielles concernant la radioactivité de l'environnement.

Les questions traitées concernent aussi bien des généralités sur la radioactivité, les effets des faibles doses et les questions de radioprotection que des questions plus pratiques sur la manière de réaliser des mesures simples, par exemple au moyen d'un compteur Geiger.

Dans ce cadre, la CRIIRAD a animé **un stage les 10 et 11 avril 2012 à Hières sur Amby (Isère), près de la centrale nucléaire du Bugey.** Ce stage portait sur l'impact des centrales nucléaires.

La journée du 10 avril 2012 animée par M Roland Desbordes, président de la CRIIRAD, portait sur les notions générales.

Elle a été suivie le 11 avril 2012 par des travaux pratiques animés par monsieur Christian Courbon, technicien CRIIRAD en charge des interventions de terrain.

Le contenu de l'intervention a été préparé par M Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire.

La présente note a pour objet de présenter les résultats des analyses effectuées en laboratoire sur les échantillons prélevés par la CRIIRAD lors du stage et d'en tirer un premier niveau d'interprétation. L'interprétation est forcément très limitée dans la mesure où les échantillons n'ont pas été collectés dans le cadre d'une expertise mais seulement de manière à illustrer des méthodes de prélèvement.

Il s'agit en outre d'expliquer ce qu'il est possible de déduire de l'analyse d'un nombre limité d'échantillons et de montrer que pour apprécier l'impact des rejets radioactifs chroniques d'une centrale nucléaire dans l'atmosphère et dans un fleuve, il est nécessaire de disposer de nombreux échantillons et de rechercher de nombreux éléments radioactifs.

En effet, l'impact d'un centrale nucléaire (hors accident) est souvent masqué par une contamination diffuse de l'environnement (pour le césium 137, il faut tenir compte par exemple de l'impact des retombées des essais nucléaires atmosphériques, des retombées de Tchernobyl et dans une moindre mesure de Fukushima).

[1] Note de novembre 2013, mise à jour d'octobre 2014.

[2] Projet CPO 2009-action B4 pour la campagne d'échantillonnages d'avril 2012 et CPO 2014-action A1 pour la mise à jour de la présente note.

[3] Convention 2011-2012-2013 pour le financement des analyses et l'interprétation des résultats.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

De plus certains radionucléides rejetés par une centrale nucléaire sont également présents naturellement dans l'environnement (c'est le cas du tritium et du carbone 14) ou sont présents du fait de l'impact d'autres activités (pratiques médicales dans le cas de l'iode 131 par exemple).

2 / Réalisation des prélèvements

Le volet pratique a été suivi par une dizaine de participants (associations FRAPNA, SDN Bugey, AHDE).

Il a porté sur les différents types de prélèvements possibles à proximité d'une centrale nucléaire en routine ou en cas d'incident ayant provoqué un rejet de radioéléments dans l'environnement proche.

Milieu terrestre

Pour l'étude de l'impact de rejets atmosphériques : le technicien CRIIRAD a explicité les techniques de prélèvements de sol surfacique et de bio-indicateur atmosphérique et les critères à prendre en compte pour le choix des stations (prise en compte des différentes directions des vents durant les rejets).

A titre d'exemple, un prélèvement de **bio-indicateur atmosphérique** (mousses du genre Grimmia) a été réalisé sur les murs d'enceinte et les tombes en ciment du cimetière **d'Hieres sur Amby** (Isère), à environ **1,1 kilomètre à l'est** de la centrale nucléaire. Ce bio-indicateur est une mousse qui a la particularité de pousser sans substrat sur les murs anciens.

Un prélèvement de **sol** a également été réalisé à proximité du cimetière sur une parcelle en friche. Trois carottes de 5 cm de profondeur ont été prélevées en triangle de 1m de côté.

Ces stations de prélèvement figurent sur la carte C1 ci-dessous.

C1 / Localisation des prélèvements de sol et mousse terrestre à Hieres sur Amby

Milieu aquatique

Pour l'étude de l'impact de rejets sous forme liquide : le technicien CRIIRAD a explicité les méthodes de prélèvements d'eau ainsi que d'un bio-indicateur aquatique et les critères à prendre en compte pour le choix des stations en tenant compte du sens d'écoulement du cours d'eau concerné.

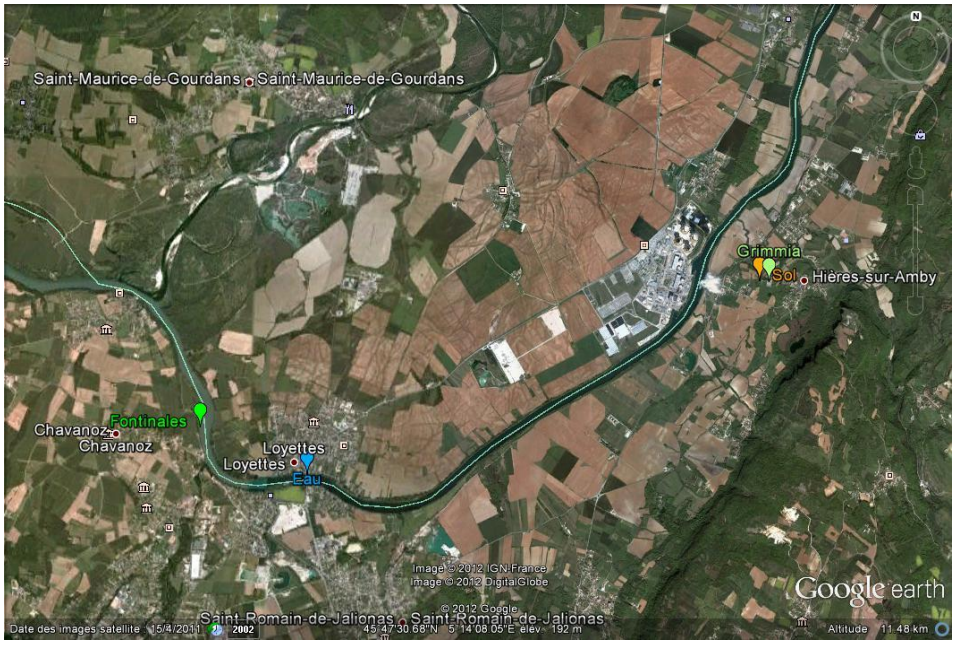
A titre d'exemple, un prélèvement d'**eau** a été effectué sous le pont de Loyette dans le courant vif du Rhône.

Des **mousses aquatiques** (Fontinales) ont été prélevées également dans le Rhône à environ 6 km en aval du point de rejet de la centrale de Bugey sur la commune de **Chavanoz (Isère).**

Ces stations de prélèvement figurent sur la carte C2 page suivante.

Association agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

C2 / Localisation des prélèvements de sol et mousse terrestre à Hieres sur Amby et d'eau et plantes aquatiques en aval du CNPE du Bugey



Les échantillons ont été analysés avec l'aide financière du Conseil Général de l'Isère.

Les résultats sont commentés ci-dessous.

Les rapports d'essai sont reproduits en annexe 1 (analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD) et 2 (analyses par scintillation liquide réalisées par le laboratoire RCD en Angleterre).

3 / Résultat des analyses (milieu terrestre)

3.1 / Généralités sur les rejets radioactifs atmosphériques du CNPE du Bugey

Le CNPE du Bugey est autorisé à rejeter dans l'atmosphère divers éléments radioactifs.

La déclaration des rejets effectués en 2012 (cf tableau T1 page suivante) montre que les radionucléides prépondérants sont les **gaz rares** (796 GBq), le **tritium** (735 GBq), le **carbone 14** (700 GBq), les **iodes** radioactifs (0,033 GBq), suivis par d'**autres** produits de fission ou d'activation émetteurs bêta et gamma (0,00293 GBq).

Les rejets sont donnés dans le tableau d'EDF en GBq (1 GBq = 1 milliard de Becquerels) et Terabecquerels (1 TBq = 1 000 milliards de Becquerels).

On notera que les rejets ne sont pas détaillés pour chaque radionucléide et que pour le carbone 14, il ne s'agit pas d'une mesure effective, mais d'une estimation effectuée par EDF à partir de la puissance électrique produite. En outre, l'arrêté de rejet ne fixait pas de limite spécifique pour ce radionucléide. La CRIIRAD a dénoncé ces lacunes depuis de nombreuses années.

De ce point de vue, le nouvel arrêté (6 août 2014) apporte certaines évolutions. Pour les 4 tranches en exploitation (réacteurs N°2 à N°5) :

- il fixe une limite spécifique pour les rejets atmosphériques de carbone 14 (2,2 TB/an),
- il distingue les limites pour les rejets de tritium (8 TBq/an) et de gaz rares (60 TBq/an), pour lesquels la limite antérieure était de 2 590 TBq.

Association agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

- il distingue les limites pour les rejets d'iodes (1,2 GBq/an) et « autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma » (0,28 GBq/an), pour lesquels la limite antérieure était de 111 GBq.

T1 / rejets radioactifs gazeux des réacteurs en fonctionnement du CNPE du Bugey (année 2012, source EDF-TSN 2012)

LES REJETS RADIOACTIFS GAZEUX EN 2012 POUR LES RÉACTEURS EN FONCTIONNEMENT

	UNITÉ	LIMITE RÉGLEMENTAIRE ANNUELLE	ACTIVITÉ REJETÉE	% DE LA LIMITE RÉGLEMENTAIRE
Gaz rares	TBq	2 590	0,796	0,059
Tritium	TBq		0,735	
Carbone 14 *	TBq	pas de limite réglementaire	0,7*	Sans objet
Iodes	GBq	111	0,033	0,033
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs de rayonnements bêta et gamma	GBq		0,00293	

* Ce chiffre est calculé à partir de la puissance électrique produite.
1 TBq (térabecquerel) = 10^{12} Bq ; 1 GBq (gigabecquerel) = 10^{9} Bq

3.2 / Exemples d'échantillons utiles pour surveiller l'impact de retombées liées aux rejets atmosphériques

Afin de porter un premier diagnostic sur l'impact des retombées en milieu terrestre, il est intéressant de prélever et d'analyser par exemple des sols superficiels ou des bioindicateurs atmosphériques.

Ce type d'analyse ne peut renseigner cependant sur l'impact des rejets de gaz rares car ces derniers ne sont pas vraiment métabolisés par les **bioindicateurs**. Mais l'analyse des bioindicateurs terrestres peut permettre de déceler une accumulation de tritium, carbone 14, iode 131 ou des autres produits de fission ou d'activation (par exemple césium 137, césium 134, cobalt 60, cobalt 58, manganèse 54, argent 110m, etc..).

A cette fin, le laboratoire de la CRIIRAD utilise depuis plus de 20 ans une mousse terrestre (Grimmia) qui est particulièrement ubiquiste. Ce type de mousse ne dispose pas de système racinaire et se nourrit des substances présentes dans l'atmosphère qu'elle concentre et accumule.

L'analyse des échantillons de mousses terrestres peut donner des éléments d'appréciation, en relatif, sur la qualité radiologique de l'air ambiant sur une échelle de temps de plusieurs mois, voire plusieurs années en fonction de l'âge de la colonie échantillonnée et de la période biologique des radionucléides mesurés.

Dans le cas de l'analyse des **sols** on obtient en outre une information plus quantitative dans la mesure où il est possible d'en déduire un niveau de retombée surfacique (Bq/m^2).

Pour interpréter correctement le résultat, il faut choisir un sol présentant des garanties de « bonne conservation » de la contamination initiale (sol plan, dans un lieu dégagé, sur une parcelle non perturbée), tenir compte du délai intervenu entre le dépôt au sol et le prélèvement, veiller à une profondeur suffisante de carottage afin de s'assurer que toutes les strates impactées par le dépôt sont prises en compte pour l'évaluation du dépôt total. Même en cas de dépôt récent (quelques semaines), et sur la base des mesures réalisées à Fukushima, la CRIIRAD recommande de prélever et analyser les strates 0-5 cm et 5-10 cm. Pour reconstituer des dépôts anciens, le protocole habituel du laboratoire de la CRIIRAD consiste à carotter jusqu'à 50 cm de profondeur. Dans le cadre de cette formation et contrairement au protocole habituel, seule la strate 0-5 cm a été prélevée.

Dans tous ces cas, la collecte de nombreux échantillons est nécessaire pour pouvoir tirer des conclusions approfondies. La mise en évidence de l'impact d'une installation donnée nécessite en effet en général de disposer d'échantillons à des distances différentes de l'installation et selon les directions des vents.

Un plan d'échantillonnage satisfaisant peut nécessiter plus d'une dizaine de stations d'échantillonnage comportant des « références » éloignées de la source des rejets.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

La détection des différents radionucléides dans les échantillons suppose que les techniques analytiques soient adaptées. Les radionucléides émetteurs gamma comme le césium 137 et l'iode 131 sont détectables par spectrométrie gamma, la détection des radionucléides émetteurs bêta purs comme le tritium et le carbone 14 nécessite le recours à d'autres techniques (scintillation liquide par exemple).

Les contrôles ont porté sur un **carottage de sol** superficiel (0-5 cm) et des **mousses terrestres** prélevés le **11 avril 2012** par le technicien CRIIRAD à **Hières sur Amby**.

3.3 / Résultats concernant le sol et les mousses terrestres

Les résultats sont présentés ci-dessous par radionucléide.

3.3.1 Le césium 137 et les autres émetteurs gamma

Analyse de sol

L'analyse par spectrométrie gamma de l'échantillon de sol superficiel (0-5 cm), a montré une contamination en **césium 137** de **44 Bq/kg** sec.

Pour les autres produits de fission et d'activation émetteurs gamma comme : manganèse 54, cobalt 58, cobalt 60, ruthenium-rhodium 106, argent 110^m, antimoine 125, iode 131, iode 129, césium 134, cérium 144, etc, les activités sont inférieures aux limites de détection (< 0,6 Bq/kg sec à < 6 Bq/kg sec selon les radionucléides). C'est également le cas de l'américium 241 (< 0,8 Bq/kg sec), radionucléide de la famille des transuraniens. Cela ne veut pas dire que ces radionucléides ne sont pas présents dans l'échantillon, mais que, même s'ils sont présents, leur activité est trop faible pour être mise en évidence au moyen de la technique analytique mise en œuvre.

En ce qui concerne le **césium 137**, cela correspond à un dépôt surfacique de **1 800 Bq/m²**.

Cette évaluation ne permet pas d'évaluer le dépôt total accumulé dans le sol car elle ne prend pas en compte le césium 137 qui s'est enfoncé dans les strates plus profondes au cours des années (et décennies). Compte tenu du délai entre la survenue de ces dépôts et le prélèvement, même si un carottage profond avait été réalisé, les résultats ne pourraient constituer qu'une évaluation par défaut des dépôts en césium 137 liés aux retombées des essais nucléaires ou à la catastrophe de Tchernobyl en 1986, ou aux rejets qu'effectue la centrale depuis plusieurs décennies. En effet de nombreux mécanismes entrainent un transfert du césium du sol au cours des années (actions de la faune, ruissellement, activités humaines, etc..).

L'analyse de l'échantillon de sol superficiel pourra par contre servir de référence pour comparaison en cas de nouveau prélèvement dans le futur.

Le césium 137 est un produit de fission émetteur bêta gamma. Compte tenu de sa relativement longue période physique (30 ans), le césium 137 déposé sur le territoire français lors des essais nucléaires atmosphériques particulièrement intenses dans les années 50-60 et lors de la catastrophe de Tchernobyl en 1986 est toujours présent dans l'environnement et notamment dans les sols. En effet, la période est le temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs se sont désintégrés. Il faut attendre 10 fois la période (soit 300 ans pour le césium 137), pour qu'il reste moins d'un millième de la radioactivité initiale.

Le césium 137 détecté dans l'échantillon de sol en avril 2012 provient a priori principalement du reliquat de la contamination historique imputable aux essais nucléaires et à la catastrophe de Tchernobyl. La contribution des rejets chroniques des installations nucléaires du site du Bugey et des retombées de Fukushima ne peut être distinguée de cette contamination globale.

Pour mémoire, en effet, les campagnes de carottages de sol effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD entre **1987 et 1992** en 12 stations sur les départements de **l'Ain et de l'Isère** ont permis d'estimer[4] **l'intensité des retombées de Tchernobyl** entre **2 600 et 13 000 Bq/m²** selon les stations (cf. tableau T2 page suivante). A cette contamination s'ajoutait en particulier celle, plus ancienne, liée aux retombées des essais nucléaires. Compte tenu de la présence encore mesurable à cette époque du césium 134 lié à Tchernobyl, et connaissant le rapport isotopique Cs 134 / Cs 137 typique des retombées de Tchernobyl, il était possible de déterminer la part du césium 137 lié à Tchernobyl. La période physique du césium 134

[4] CHERNOBYL FALLOUT OVER France / THE SPECIFIC SITUATION OF THE ALPINE ENVIRONMENT, B. Chareyron (CRIIRAD), in International Journal of Radiation Medicine 2002, 4 (1-4) : 163-172

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

étant de 2 ans, des campagnes de carottage réalisées actuellement ne permettent plus de faire cette distinction compte tenu de la disparition du césium 134 de Tchernobyl.

T2 / Evaluation des dépôts de césium 137 imputables à la catastrophe de Tchernobyl et ramenés au 1er mai 1986 (carottages effectués par le laboratoire de la CRIIRAD entre 1987 et 1992)

Lieu	Département	Césium 137 (Bq/m²)	Date de prélèvement
Malafretaz	1	12 809	16/02/1990
Attignat	1	10 059	16/02/1990
Tullins	38	9 874	17/05/1990
Belley	1	9 631	22/04/1992
Saint-Jean-de-Moirans	38	7 250	17/05/1990
Voreppe	38	5 655	17/05/1990
Saint-Martin-de-Clelles	38	5 500	06/12/1987
Jayat	1	4 468	16/02/1990
Bregnier-Cordon	1	4 043	22/04/1992
Malville	38	3 617	06/04/1990
Vérizieu	1	2 814	05/04/1990
Saint-Benoit	1	2 652	22/04/1992

Les mesures in situ réalisées par le géologue André Paris[5] en partenariat avec la CRIIRAD dans la période **1999-2001** ont donné, dans le secteur du Bugey, un dépôt résiduel en césium 137 (toutes origines confondues) compris entre **3 800 Bq/m² et 7 200 Bq/m²** (secteurs de Châtenay, Ambérieu, Crémieu, Loyette). Ces résultats obtenus par spectrométrie NaI de terrain, donnaient une indication sur la contamination résiduelle dans les couches superficielles du sol. L'intensité initiale des dépôts en 1986 était cependant nettement supérieure compte tenu de la décroissance physique du césium 137 et des mécanismes de migration (lessivage par les pluies, exportation par le couvert végétal et l'action de la faune, etc..).

Analyse des mousses terrestres

Dans les mousses terrestres (cf. Annexe 1), un seul radionucléide émetteur gamma artificiel présente une activité supérieure à la limite de détection. Il s'agit du **césium 137** (**309 +/- 37 Bq/kg sec**).

Pour les autres produits de fission et d'activation émetteurs gamma comme : manganèse 54, cobalt 58, cobalt 60, ruthenium-rhodium 106, argent 110m, antimoine 125, iode 131, iode 129, césium 134, cérium 144, etc, les activités sont inférieures aux limites de détection (< 0,5 Bq/kg sec à < 4,7 Bq/kg sec selon les radionucléides). C'est également le cas de l'américium 241 (< 0,9 Bq/kg sec).

A titre de comparaison, les analyses effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD sur 4 échantillons de cette même espèce de mousse terrestre prélevés en octobre **2011** dans le département du **Tarn**[6] (sud-ouest de la France) donnaient une contamination en **césium 137** comprise entre **6,8 et 38 Bq/kg sec**. Le niveau de contamination en césium 137 à Hières sur Amby est donc plus de 10 fois supérieur.

Dans le cas des échantillons du Tarn, la CRIIRAD avait mis en évidence en outre pour 2 des 4 stations, la présence de césium 134 (3,7 et 5,8 Bq/kg sec), indicateur d'un impact spécifique lié aux retombées de Fukushima. Dans l'échantillon d'Hyères sur Amby, le césium 134 n'est pas détectable (< 0,5 Bq/kg sec).

En ce qui concerne les retombées de Tchernobyl, l'est de la France a été beaucoup plus touché que l'ouest. Il est alors difficile de distinguer les apports spécifiques imputables aux rejets chroniques de césium 137 effectués par la centrale nucléaire du Bugey car ils sont « noyés » dans la contamination globale en césium 137.

[5] Contaminations radioactives : atlas France et Europe, CRIIRAD et André Paris, éditions Yves Michel, 2002.

[6] Rapport CRIIRAD N°12-17 / Contrôles radiologiques du CTSDU de Mariole à Graulhet (81), suivi année 2011, B. Chareyron, Mars 2012.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

3.3.2 Le tritium

Comme indiqué plus haut, de grandes quantités de tritium sont présentes dans les rejets atmosphériques du CNPE du Bugey. Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène de période 12,3 ans. Il émet en se désintégrant des rayonnements bêta.

Ce tritium artificiel s'ajoute au faible niveau de tritium présent naturellement dans l'air ambiant et les précipitations (origine cosmogénique).

Une grande partie du tritium rejeté par les centrales se retrouve sous forme d'eau tritiée. Il est présent dans l'humidité de l'air, les précipitations et est disponible pour les êtres vivants.

Dans la matière végétale, une fraction du tritium est associée à l'eau contenue et fait l'objet d'échanges réguliers avec l'air ambiant (tritium libre). Une autre fraction, dénommée « tritium organiquement lié » est métabolisée et associée aux molécules organiques, elle peut renseigner sur des contaminations antérieures de plusieurs semaines, voire plusieurs mois, c'est pourquoi la CRIIRAD a privilégié la recherche du **tritium organiquement lié** à celle du tritium libre. L'analyse a été effectuée par le laboratoire RCD en Angleterre.

Dans les mousses terrestres prélevées en avril 2012 à Hières-sur-Amby, l'activité du tritium organiquement lié est de **3,6 +/- 0,9 Bq/l** d'eau de combustion.

Cette valeur est comparable à celles obtenues[7] dans 2 échantillons « de référence » prélevés par la CRIIRAD en avril **2009** au **sud de Genève**, à Bonne et Bellegarde sur Valserine (**3,2 et 3,6 Bq/l**), hors de l'influence directe des rejets des installations nucléaires du secteur (Le CERN en particulier).

3.3.3 Le carbone 14

Comme indiqué plus haut, de grandes quantités de carbone 14 sont présentes dans les rejets atmosphériques du CNPE du Bugey. Le carbone 14 est un isotope radioactif (émetteur bêta pur). du carbone, de période **5 730 ans**. Il émet en se désintégrant des rayonnements bêta.

Le carbone 14 est également présent naturellement dans l'air ambiant et les précipitations (origine cosmogénique) et on le retrouve dans la matière organique. Le niveau naturel du carbone 14 dans l'environnement terrestre avant l'ère « nucléaire » était de l'ordre de **226 Bq/kg C** (Becquerels de carbone 14 par kilogramme de carbone).

Les essais nucléaires atmosphériques ont injecté dans l'atmosphère de grandes quantités de carbone 14 artificiel, particulièrement dans les années 50 et 60. Compte tenu de sa longue période physique, son activité spécifique dans les matrices végétales terrestres décroît lentement.

L'IRSN[8] indique que la valeur typique attendue, hors autres apports anthropiques locaux, est de l'ordre de **237 +/- 3 Bq/kg C** en 2009 et **234 +/- 2 Bq/kg C** en 2010.

Dans les mousses terrestres prélevées par la CRIIRAD en avril 2012 à Hières-sur-Amby, l'activité du carbone 14 est de **246 +/- 2,0 Bq/kg de carbone** (analyse effectuée par le laboratoire RCD en Angleterre).

Cette valeur est sensiblement supérieure à celles obtenues[9] dans 2 échantillons « de référence » prélevés par la CRIIRAD en avril 2009 à Bellegarde sur Valserine et à Bonne, hors de l'influence directe des rejets des installations nucléaires du secteur (**230+/2,0 Bq/kg C et 233+/- 2,1 Bq/kg C**).

L'IRSN[10] a effectué des prélèvements de feuilles de peuplier (10 échantillons) le long du Rhône en juin 2010 depuis le secteur de Superphénix jusqu'à l'aval du site nucléaire de Marcoule. L'IRSN indique : « *On constate que les résultats des mesures se situent au voisinage de la valeur du bruit de fond : 231 +/- 1,3 Bq/kg C à 237 +/- 1,3 Bq/kg C avec un léger enrichissement à proximité de Marcoule (247 +/- 1,3 Bq/kg C) ».*

[7] Rapport CRIIRAD N°12-73 / Point zéro radiologique dans l'environnement du CERN avant démarrage du LHC (Large Hadron Collider) / B. Chareyron, octobre 2012.
[8] Constat Radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu terrestre. Rapport IRSN PRP-ENV / SESURE / 2012-06 / Juin 2012, page 28.
[9] Rapport CRIIRAD N°12-73 / Point zéro radiologique dans l'environnement du CERN avant démarrage du LHC (Large Hadron Collider) / B. Chareyron, octobre 2012.
[10] Rapport IRSN : PRP-ENV/SESURE/2012-06, Constat radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu terrestre (Juin 2012).

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

En ce qui concerne le secteur du Bugey, les échantillons les plus proches échantillonnés par l'IRSN sont situés à grande distance : à Rochefort à l'est de Creys-Malville (**234 +/- 1,3 Bq/kg C**) et à l'ouest, à Miribel près de Lyon (**231 +/- 1,3 Bq/kg C**). En ces deux stations, l'activité du carbone 14 est comparable au niveau attendu pour des secteurs non impactés par des rejets anthropiques, mais cette campagne ne permet pas de conclure quant à l'impact spécifique du site du Bugey, compte tenu de la distance trop élevée des stations par rapport au terme source. En outre, les feuilles de peuplier (feuillage caduque) renseignent uniquement sur quelques mois associés à l'année du prélèvement.

L'activité du carbone 14 dans les mousses terrestres prélevées par la CRIIRAD en avril 2012 à 1,1 km à l'est du CNPE du Bugey suggère un impact par les rejets du CNPE. Il est difficile d'interpréter finement ce résultat dans la mesure où un seul échantillon a été analysé et où les mousses terrestres sont susceptibles d'intégrer la contamination sur plusieurs années. **Ce résultat montre cependant que la question de l'impact des rejets de carbone 14 du CNPE du Bugey mérite un examen attentif**.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

4 / Résultat des analyses (milieu aquatique)

4.1 / Généralités sur les rejets radioactifs liquides du CNPE du Bugey

Le CNPE du Bugey est autorisé à rejeter dans le Rhône des effluents liquides contenant divers éléments radioactifs

La déclaration des rejets effectués par EDF en **2012** (cf tableau T3 ci-dessous) montre que les radionucléides prépondérants sont 3 émetteurs bêta purs : le **tritium** (56 800 GBq), le **carbone 14** (49,7 GBq), le **nickel 63** (0,107 GBq), suivis par d'autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta et gamma.

On notera que les rejets ne sont pas détaillés pour chaque radionucléide[11] et que, pour le carbone 14, il ne s'agit pas d'une mesure effective, mais d'une estimation effectuée par EDF à partir de la puissance électrique produite. En outre l'arrêté de rejet ne fixait pas de limite spécifique pour ce radionucléide, ni pour le nickel 63. La CRIIRAD a dénoncé ces lacunes depuis de nombreuses années.

De ce point de vue, le nouvel arrêté (6 août 2014) apporte certaines évolutions. Pour les 4 tranches en exploitation (réacteurs N°2 à N°5) :

- il fixe une limite spécifique pour les rejets liquides de carbone 14 (260 GBq/an),
- il abaisse la limite de rejet en tritium de 185 TBq à 90 TBq,
- il distingue les limites pour les rejets d'iodes (0,4 GBq/an) et « autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma » (36 GBq/an), pour lesquels la limite antérieure était de 2035 GBq. Mais il n'y a toujours pas de limites spécifiques par radionucléide dans cette catégorie, y compris pour le nickel 63.

T3 / rejets radioactifs liquides des réacteurs en fonctionnement du CNPE du Bugey (année 2012, source EDF-TSN 2012)

LES REJETS RADIOACTIFS LIQUIDES EN 2012 POUR LES RÉACTEURS EN FONCTIONNEMENT

	UNITÉ	LIMITE RÉGLEMENTAIRE ANNUELLE	ACTIVITÉ REJETÉE	% DE LA LIMITE RÉGLEMENTAIRE
Tritium	TBq	185	56,8	30,7
Carbone 14*	GBq	Pas de limite réglementaire	49,7*	Sans objet
Nickel 63	MBq	Pas de limite réglementaire	107	Sans objet
Iodes	GBq	2035	0,0208	0,05
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta et gamma	GBq		0,989	

* Ce chiffre est calculé à partir de la puissance électrique produite.
1 TBq (térabecquerel) = 10^{12} Bq ; 1 GBq (gigabecquerel) = 10^{9} Bq

4.2 / Exemples d'échantillons utiles pour surveiller l'impact des rejets liquides

Les rejets liquides peuvent entrainer une contamination des eaux du Rhône et des eaux potables puisées dans la nappe alluviale du fleuve et de l'ensemble des compartiments du milieu aquatique (sédiments, faune et flore aquatique).

En général s'il s'agit d'un contrôle ponctuel, l'analyse des eaux du fleuve constitue un contrôle très aléatoire à moins qu'EDF ne précise à l'avance les périodes de rejets et que le prélèvement puisse être

[11] A la demande de la CRIIRAD, le CNPE du Bugey avait transmis le détail de ses rejets liquides pour l'année 2006. Dix sept radionucléides étaient cités (mais pas le carbone 14). Par ordre d'activités décroissantes il s'agissait de : tritium, argent 110^{m}, cobalt 58, antimoine 125, nickel 63, cobalt 60, césium 137, antimoine 124,césium 134, iode 131,manganèse 54, tellure 123m, etc..

Association agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

effectué durant cette période. Or la règlementation n'oblige pas EDF à rendre publiques et suffisamment à l'avance, les dates des rejets.

Ainsi, dans **l'eau du Rhône** prélevée par le technicien CRIIRAD à Loyette le 11 avril 2012, l'activité du tritium est inférieure[12] à la limite de détection (< 2,5 Bq/l). Ceci indique qu'il n'y a pas eu de rejets liquides dans les minutes précédant le prélèvement effectué par la CRIIRAD, ou que s'il y a eu rejet, il était fortement dilué.

Des campagnes de suivi plus régulières montrent une contamination chronique des eaux du Rhône par le tritium[13]. Il convient de rappeler que les effluents liquides sont rejetés par les centrales nucléaires par campagnes et non pas en continu. De ce point de vue, il serait nécessaire d'obtenir plus de transparence d'EDF sur les périodes de rejet.

C'est pourquoi, pour des campagnes ponctuelles, le laboratoire de la CRIIRAD préfère échantillonner des sédiments ou des bioindicateurs susceptibles d'accumuler les polluants rejetés. L'échantillon peut alors renseigner sur des contaminations antérieures de plusieurs jours, semaines, voire années en fonction des caractéristiques de l'échantillon et de la période du radionucléide considéré.

C'est pourquoi la CRIIRAD a échantillonné des **mousses aquatiques (fontinales).** Elles ont été prélevées en avril 2012 à Chavanoz, à 6 km en aval des rejets du CNPE du Bugey.

4.3 / Résultats concernant les mousses aquatiques

Les résultats sont présentés ci-dessous par radionucléide.

4.3.1 Iode 131 et autres radionucléides émetteurs gamma

Dans ces mousses aquatiques, le seul radionucléide émetteur gamma artificiel dont l'activité est supérieure à la limite de détection est **l'iode 131 (2,3 +/- 0,7 Bq/kg frais et 12,9 +/- 4,3 Bq/kg sec).**

L'iode 131 peut provenir des rejets du CNPE du Bugey mais également d'autres installations et en particulier des activités de médecine nucléaire[14].

Une étude[15] de la contamination des plantes aquatiques dans le Rhône et ses affluents effectuée par le laboratoire de la CRIIRAD en 2007 a montré la présence d'iode 131 dans le Rhône en amont de Superphénix (2,1 Bq/kg frais dans les myriophylles), mais aussi dans l'Isère en amont du Centre d'Etude Nucléaire de Grenoble (2,1 Bq/kg frais dans les fontinales). Cette étude n'avait pas mis en évidence d'augmentation de la contamination en iode 131 dans les plantes aquatiques en aval du CNPE du Bugey (0,45 Bq/kg frais dans les fontinales) par rapport à l'amont (0,72 Bq/kg frais dans les myriophylles).

4.3.2 Le tritium

Dans les mousses aquatiques, l'activité du tritium organiquement lié est de **10,6 +/- 1,1 Bq/l d'eau de combustion**. Un tel résultat indique la présence de tritium d'origine artificielle, mais il peut être lié à d'autres installations que la centrale du Bugey.

[12] Comptage T414 du 26 juin 2012 au 3 juillet 2012 en flaconnage plastique UG10-10

[13] Remarque sur le suivi du tritium dans les eaux du Rhône : L'étude de référence sur le Rhône et ses affluents réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD dans le cadre de la Convention 2007-2008 avec la Région Rhône-Alpes a permis de détecter la présence de tritium dans le Rhône (amont Givors, aval Cruas, amont Tricastin). L'étude complémentaire réalisée en 2009 a permis de confirmer ce constat par un suivi temporel permettant d'étudier la variabilité de la contamination en tritium des eaux du Rhône en amont et en aval de 2 centrales nucléaires : les sites de Saint-Alban (Isère) et de Cruas (Ardèche). Six campagnes de collecte ont été réalisées 2 fois par mois du 7 septembre 2009 au 12 octobre 2009. Sur les 24 échantillons collectés, le tritium a été détecté 16 fois avec une activité comprise entre 2,5 et 47,4 Bq/l. Ces résultats mettent en évidence une contamination chronique liée aux rejets des installations nucléaires de la vallée du Rhône.

[14] Les effluents radioactifs directs et diffus générés par les activités de médecine nucléaire et de Curiethérapie, B. Chareyron in Actes du Colloque : « Les effluents liquides des établissements de Santé : Etat des lieux et perspectives de gestion » / Chambéry 26 et 27 novembre 2008

[15] Rapport CRIIRAD N°10-140 / Etat des lieux de la radioactivité de l'eau, des sédiments et plantes aquatiques du Rhône et de ses affluents (Ain, Saône, Isère) / B. Chareyron, janvier 2011.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

Une étude[16] de la contamination des plantes aquatiques dans le Rhône et ses affluents effectuée par le laboratoire de la CRIIRAD en 2007 a montré en effet que le tritium organiquement lié était systématiquement détecté dans les plantes aquatiques du Rhône, à partir de l'amont de Superphénix.

Nous indiquions : *« Dans le **Rhône**, le tritium n'est pas détecté en amont du défilé de l'Ecluse (< 3,0 Bq/l), mais il l'est plus en aval, au niveau du barrage de Motz, en amont de Superphénix (**15,8 Bq/l**)* ».

D'autres extraits de ce rapport sont reproduits ci-dessous :

Pour ces 2 stations (Saône et Rhône en amont de Superphénix), il est vraisemblable qu'il s'agit d'un impact lié à des activités industrielles sans rapport direct avec l'industrie nucléaire.

Dans un rapport de 2005, le LSCE indique que les teneurs en tritium organiquement lié mesurées par l'IRSN entre 1985 et 1995 et par le LSCE en 2002 et 2003 en amont et en aval de Superphénix sont « *très supérieures à celles de l'eau du Rhône sur la période où les données existent (1980-2003) et au pic de tritium des essais nucléaires de 1963 enregistré dans les pluies. Elles impliquent une source de tritium étrangère à la centrale, suspectée d'être de fines particules de matériaux tritiés entrant dans la composition des peintures luminescentes utilisées pour l'industrie horlogère suisse* ». Cette hypothèse serait confirmée par le fait que les sédiments prélevés par le LSCE à Chancy (frontière franco-suisse) en 2004 « *portent également ce marquage en tritium* ».

On notera à ce propos que l'IRSN mesurait toujours en mars 2007 dans les sédiments prélevés en amont de Superphénix une activité en tritium organiquement lié de **230 000 Bq/l** d'eau de combustion soit 5 300 Bq/kg sec (l'activité en aval étant 40 fois plus faible).

Le livre blanc sur le tritium publié par l'ASN en 2010 indique également (page 61) qu'à l'échelle du territoire français : « *quant aux sédiments les plus marqués, ils ont été prélevés dans le haut Rhône, en amont du site nucléaire de Creys-Malville et on peut supposer que les valeurs mesurées sont liées à l'utilisation de tritium dans des industries ne faisant pas partie du cycle du combustible nucléaire (peintures luminescentes pour montres, panneaux de signalisation) ».*

L'hypothèse de l'impact d'activités liées à **l'industrie horlogère** est très plausible, mais il conviendrait que les autorités diligentent des études complémentaires pour en apporter la démonstration.

L'activité du tritium organiquement lié dans les plantes aquatiques du Rhône prélevées par la CRIIRAD en 2007 était comprise entre **6,5 Bq/l** (potamot pectiné en amont de Saint-Alban) et **109 Bq/l** (potamot pectiné en aval du Tricastin).

En ce qui concerne la centrale du Bugey, nous notions: « *le ratio aval / amont est proche de 1 (**1,19**) et porte sur 2 plantes d'espèces différentes (myriophylle en amont et de type fontinalis en aval). Il est difficile de se prononcer[17] sur l'impact du CNPE. La centrale a rejeté **48,8 TBq** de tritium dans le Rhône en 2007* ».

4.3.3 Le carbone 14

Dans les mousses aquatiques prélevées par la CRIIRAD en avril 2012 à Chavanoz, l'activité du carbone 14 est de **211 +/- 1,9 Bq/kg de carbone**.

Une étude[18] de la contamination des plantes aquatiques dans le Rhône et ses affluents effectuée par le laboratoire de la CRIIRAD en 2007 a montré « *une grande variabilité de l'activité spécifique du carbone 14 dans les plantes aquatiques, puisqu'elle est comprise entre **165 Bq/kg C dans l'Isère**, en amont de Grenoble et **362 Bq/kg C dans le Rhône**, en aval du CNPE de Cruas …/… D'une façon générale, on observe que l'activité spécifique du carbone 14 est :*

[16] Rapport CRIIRAD N°10-140 / Etat des lieux de la radioactivité de l'eau, des sédiments et plantes aquatiques du Rhône et de ses affluents (Ain, Saône, Isère) / B. Chareyron, janvier 2011.

[17] Dans le cadre des suivis réalisés annuellement pour le CNPE du Bugey, l'IRSN n'effectue pas de mesure du tritium organiquement lié. Il réalise par contre le dosage du tritium libre dans des mousses aquatiques ou des myriophylles. L'activité du tritium libre est inférieure à la limite de détection dans les myriophylles prélevées en juillet 2007 en amont et en aval du CNPE du Bugey (< 2 Bq/l).Il est étonnant de constater que l'IRSN ne fait pas porter ses contrôles sur le tritium organiquement lié alors que ce type de contrôle est plus représentatif.

[18] Rapport CRIIRAD N°10-140 / Etat des lieux de la radioactivité de l'eau, des sédiments et plantes aquatiques du Rhône et de ses affluents (Ain, Saône, Isère) / B. Chareyron, janvier 2011.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

- *Comprise entre 165 et 184 Bq/kg C dans le Drac et l'Isère,*
- *Comprise entre 211 et 212 Bq/kg C dans l'Ain et la Saône*
- *Comprise entre 198 et 362 Bq/kg C dans le Rhône.*

Les niveaux bas détectés dans le Drac et l'Isère pourraient être dus à un apport de carbone ancien présentant une activité spécifique inférieure à celle mesurée actuellement dans l'atmosphère (il pourrait s'agir par exemple de l'impact de la fonte des glaces, des caractéristiques géologiques locales[19] ou de l'impact d'activités d'extraction ou de combustion de charbon, ou d'autres activités industrielles, etc..) »

Dans le cadre de cette étude de 2007, on n'observait pas de variation réellement significative des activités du carbone 14 en amont et en aval au niveau de Bugey : (ratio de 1,06 mais sur des espèces différentes : 198 +/- 1,8 Bq/kg C dans les myriophylles en amont et 210 +/- 1,8 Bq/kg C dans les fontinales en aval).

5 / Conclusion

Les prélèvements extrêmement ponctuels réalisés par le laboratoire de la CRIIRAD en **avril 2012** dans l'environnement proche du CNPE du Bugey (échantillons prélevés principalement en Isère), ont été effectués dans le cadre d'un stage de sensibilisation et de formation des citoyens et associations aux méthodes d'échantillonnage permettant de contrôler l'état radiologique de l'environnement.

Ce stage a été mis en œuvre dans le cadre d'un projet soutenu par la région Rhône-Alpes.

Les 4 échantillons prélevés (sol superficiel, mousses terrestres, eau du Rhône et mousses aquatiques) ont fait l'objet d'analyses radiologiques et les résultats obtenus ont permis un premier niveau d'interprétation. Cette seconde phase du projet a été soutenue financièrement par le Conseil Général de l'Isère et la Région Rhône-Alpes.

Cette campagne de mesure est de trop faible ampleur pour permettre d'effectuer un état des lieux radiologique complet, mais les résultats obtenus permettent de faire un certain nombre d'observations résumées ci-dessous.

Milieu terrestre

L'analyse par spectrométrie gamma des mousses terrestres et du sol superficiel prélevés par la CRIIRAD à Hières sur Amby en avril 2012 à 1,1 km à l'est du CNPE du Bugey indique la présence d'un seul radionucléide artificiel émetteur gamma, le **césium 137**. Cette contamination est très probablement majoritairement imputable aux retombées des essais nucléaires anciens et de la catastrophe de Tchernobyl en 1986. L'impact des rejets atmosphériques du CNPE du Bugey ne peut être distingué de la contamination globale de l'environnement.

L'analyse par scintillation liquide des mousses terrestres ne permet pas de mettre en évidence l'apport de **tritium** imputable aux rejets atmosphériques de la centrale nucléaire.

L'analyse des mousses terrestres suggère par contre un apport local de **carbone 14** dans l'environnement proche. Cet apport anthropique pourrait être imputable aux rejets atmosphériques effectués par le CNPE du Bugey. La période physique du carbone 14 est de **5 730 ans**. Les rejets de carbone 14 à l'atmosphère ont été évalués par EDF à **700 milliards de Becquerels en 2012**. Mais il ne s'agit que d'une évaluation théorique, EDF n'étant pas en capacité de mesurer précisément le degré de contamination en carbone 14 dans ses effluents.

Qu'il s'agisse du césium 137, du tritium ou du carbone 14, pour effectuer un diagnostic approfondi de l'impact des rejets atmosphériques du CNPE du Bugey, il faudrait analyser un nombre suffisant d'échantillons de sols et mousses terrestres choisis en fonction de la rose des vents et prélevés en fonction de la distance au CNPE du Bugey et/ ou effectuer un suivi dans le temps. Les prélèvements d'avril 2012 pourront cependant servir de référence pour un suivi dans le temps.

[19]Dans un cours d'eau qui traverse des terrains riches en carbonates (terrains calcaires) les plantes aquatiques vont s'approvisionner partiellement en carbone géologique dont la teneur en carbone 14 peut être nulle. Cet apport géologique va abaisser leur teneur en carbone 14 par rapport à la teneur atmosphérique qui est de l'ordre de 240 Bq/kg carbone.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

Ces résultats très ponctuels suggèrent que l'impact des rejets atmosphériques de carbone 14 devraient faire l'objet d'une attention particulière. Il est surprenant de constater que le carbone 14 n'était toujours pas mesuré par EDF dans les rejets atmosphériques déclarés en 2012 et 2013 (il s'agissait seulement d'une estimation) et qu'aucune limite spécifique de rejet n'était fixée pour ce radionucléide. Le nouvel arrêté de rejet publié durant l'été 2014 fixe pour le rejet atmosphérique de carbone 14 une limite de 2,2 TBq par an soit **2 200 milliards de becquerels.**

Il est donc important de suivre de près l'impact des rejets de carbone 14. On peut déplorer que la surveillance de ce radionucléide n'aie pas été intégrée dans les rapports de suivi radioécologique annuels réalisés par l'IRSN pour EDF (dernier rapport consulté : année 2009). En outre, la campagne de mesure « vallée du Rhône » conduite par l'IRSN en 2010 et qui comporte des mesures de carbone 14 dans les feuilles de peuplier ne permet pas de statuer sur l'impact du site du Bugey car les stations d'échantillonnage sont a priori à plus de 20 kilomètres de la centrale

Milieu aquatique

L'analyse par spectrométrie gamma des mousses aquatiques (fontinales) prélevées par la CRIIRAD dans le Rhône, à Chavanoz en avril 2012, à environ 6 km en aval des rejets du CNPE du Bugey indique la présence d'un seul radionucléide artificiel émetteur gamma, **l'iode 131**. Cette contamination est très probablement majoritairement imputable aux utilisations de l'iode 131 dans les services de médecine nucléaire et à la contamination diffuse par les patients. L'impact des rejets liquides d'iode 131 du CNPE du Bugey ne peut être distingué de la contamination globale de l'environnement.

Les mousses aquatiques présentent une contamination par du **tritium** organiquement lié d'origine artificielle. Selon plusieurs auteurs, cette contamination pourrait provenir d'activités industrielles anciennes (industrie horlogère suisse). L'impact des rejets liquides de tritium du CNPE du Bugey (56 800 milliards de becquerels de tritium en 2012 selon EDF) est ainsi potentiellement « masqué » par cette contamination diffuse.

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ANNEXE 1 / Rapports d'essai / Analyses par spectrométrie gamma (laboratoire CRIIRAD)

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

Le Cime
471 avenue Victor Hugo
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 05 novembre 2013

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 containers 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.

Mousses terrestres
Secteur Bugey
Hyères sur Amby

RAPPORT D'ESSAI N° 26683-2 PAGE 1 / PAGE 1

RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude	Mousses terrestres
Code Enregistrement	120412A1
N° d'analyse	C 26683
Nature de l'échantillon	Bioindicateur terrestre Grimmia
Taux de matière sèche	68,7%
Lieu de prélèvement	Hyères sur Amby (38)
Localisation du prélèvement	Cimetière
Code de l'unité territoriale (NUTS)	FR714

Prélèvement

Date de prélèvement	11/04/2012
Opérateur de prélèvement	C Courbon
Mode de prélèvement	Spatule

Pré-traitement

Date de préparation	16/04/2012
Délai avant analyse (j)	4
Conditions de préparation	Séchage air libre 12-16/04/12

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure	20/04/2012
Géométrie de comptage	Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse	Frais
Masse analysée (g)	183,84
Temps de comptage (s)	26 870

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 Sec (Bq/kg sec)

Eléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Chaine de l'Uranium 238			
Thorium 234**		<	60
Radium 226***	14,1	±	4,6
Plomb 214	11,9	±	4,6
Bismuth 214	16,3	±	4,6
Plomb 210**	2 510	±	300
Chaine de l'Uranium 235			
Uranium 235		<	10
Chaine du Thorium 232			
Actinium 228	15	±	7
Plomb 212	14,5	±	3,7
Thallium 208	6,2	±	2,1
Potassium 40		<	180
Béryllium 7	410	±	60

Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Césium 137	309	±	37
Césium 134		<	0,5
Cobalt 58		<	0,6
Cobalt 60		<	0,6
Manganèse 54		<	0,6
Antimoine 125		<	1,9
Iode 131		<	1,3
Cérium 144		<	3,1
Argent 110m		<	0,5
Américium 241**		<	0,9
Iode 129**		<	1,3
Ruthénium 106		<	4,7

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** S'agissant 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 PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Responsable du laboratoire

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

Le Cime
471 avenue Victor Hugo
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 05 novembre 2013

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 containers 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.

Sol superficiel (0-5 cm)
Secteur Bugey
Hières-sur-Amby

RAPPORT D'ESSAI N° 26694-2 PAGE 1 / PAGE 1

RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude	Formation Bugey
Code Enregistrement	120412A3
N° d'analyse	C 26694
Nature de l'échantillon	Carottage de sol Profondeur 0-5 cm
Taux de matière sèche	84,3%
Lieu de prélèvement	Hières sur Amby (38)
Code de l'unité territoriale (NUTS)	FR714

Prélèvement

Date de prélèvement	11/04/2012
Opérateur de prélèvement	C Courbon (CRIIRAD)
Mode de prélèvement	Carottier en 3 points

Pré-traitement

Date de préparation	30/04/2012
Délai avant analyse (j)	3

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure	03/05/2012
Géométrie de comptage	Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse	Sec
Masse analysée (g)	77,23
Temps de comptage (s)	30 623

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 sec (Bq/kg sec)

Eléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Chaine de l'Uranium 238			
Thorium 234**	28	±	22
Radium 226***	21	±	6
Plomb 214	22	±	6
Bismuth 214	20	±	6
Plomb 210**	83	±	24
Chaine de l'Uranium 235			
Uranium 235		<	10
Chaine du Thorium 232			
Actinium 228	29	±	10
Plomb 212	26	±	5
Thallium 208	7,5	±	2,6
Potassium 40	190	±	60
Béryllium 7		<	5
Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Césium 137	44	±	7
Césium 134		<	0,6
Cobalt 58		<	0,8
Cobalt 60		<	0,8
Manganèse 54		<	0,7
Antimoine 125		<	1,7
Iode 131		<	4,1
Cérium 144		<	2,9
Argent 110m		<	0,6
Américium 241**		<	0,8
Iode 129**		<	0,7
Ruthénium 106		<	6

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** S'agissant 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 PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Responsable du laboratoire

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

CRIIRAD

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

Rapport CRIIRAD N°26694-2

Contamination d'un sol superficiel à Hyères-sur-Amby (38) / Analyse CRIIRAD Secteur Bugey

Type de sol	Parcelle en friche
Date prélèvement	11/04/2012
Prélevé par	CRIIRAD CCO
Méthode de prélèvement	Carottier 63 mm diamètre
Surface du prélèvement (m2)	0,009351758
Epaisseur	5 cm

Echantillon		
0/5 cm (terre, cailloux et herbes)	666,3	g frais
Terre tamisée < 2 mm	387,56	g sec
Cailloux et végétaux séparés > 2 mm	171,74	g sec

1 / Analyse de la terre (principaux résultats)

Masse terre analysée (g)	77,23
Géométrie	P
Numéro d'analyse	C 26694
Date analyse	03/05/2012
Temps de comptage (s)	30 623

Activités ramenées à la date du prélèvement

Radionucléide	**Césium 137**	**Césium 134**
Période physique	30 ans	2,1 ans
Activité massique (Bq/kg sec)	**44** (+/- 7)	**< 0,6**
Activité surfacique (Bq/m2) ramenée à la date du prélèvement	1 823	< 25

Note : les activités massiques et surfaciques sont ramenées à la date du prélèvement

Rédaction : B Chareyron, responsable du laboratoire de la CRIIRAD, le 5/11/13

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

Le Cime
471 avenue Victor Hugo
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 05 novembre 2013

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 containers 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.

Mousses aquatiques (fontinales)
Chavanoz
Rhône aval Bugey

RAPPORT D'ESSAI N° 26676-2 PAGE 1 / PAGE 1

RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude	Mousses aquatiques (fontinales)
Code Enregistrement	120412A2
N° d'analyse	C 26676
Nature de l'échantillon	Mousses aquatiques Fontinales
Taux de matière sèche	17,5%
Lieu de prélèvement	Chavanoz (38)
Localisation du prélèvement	Rive gauche du Rhône
Code de l'unité territoriale (NUTS)	FR714

Prélèvement

Date de prélèvement	11/04/2012
Opérateur de prélèvement	C Courbon
Mode de prélèvement	Non précisé

Pré-traitement

Date de préparation	12/04/2012
Délai avant analyse (j)	1
Conditions de préparation	2 rinçages à l' eau du robinet (jet) Essorage par pression

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure	13/04/2012
Géométrie de comptage	Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse	Frais
Masse analysée (g)	311,26
Temps de comptage (s)	26 590

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 Sec (Bq/kg sec)

Eléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Chaine de l'Uranium 238			
Thorium 234**		<	140
Radium 226***	25	±	9
Plomb 214	24	±	9
Bismuth 214	26	±	9
Plomb 210**	101	±	46
Chaine de l'Uranium 235			
Uranium 235		<	21
Chaine du Thorium 232			
Actinium 228		<	38
Plomb 212	28	±	7
Thallium 208		<	8
Potassium 40		<	470
Béryllium 7	270	±	50

Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Césium 137		<	6
Césium 134		<	1,1
Cobalt 58		<	1,2
Cobalt 60		<	1,2
Manganèse 54		<	1,0
Antimoine 125		<	2,8
Iode 131	12,9	±	4,3
Cérium 144		<	6
Argent 110m		<	1,2
Américium 241**		<	1,6
Iode 129**		<	2,0
Ruthénium 106		<	12

Activités ramenées à la date de prélèvement

* Eléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.
** S'agissant 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 PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Responsable du laboratoire

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ANNEXE 2 / Rapports d'essai / Analyses par scintillation liquide, tritium organiquement lié (OBT) et Carbone 14 (laboratoire RCD)

Mousses terrestres (échantillon N° 120412A1)

Fontinales (échantillon N° 120412A2)

2 pages

R
C^{14} RadioCarbon Dating
D

The Old Stables
East Lockinge
Wantage
Oxon, OX12 8QY

Measurement of ^{3}H and ^{14}C in Moss

for

M Bruno Chareyron
CRIIRAD
Laboratoire d'Analyse
Le Cime
471 Avenue Victor Hugo
26000 Valence
France

21st January 2013

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544

1.0 Analysis Required

Measurements of ^{3}H OBT and ^{14}C in moss samples supplied November 2012.

2.0 Chemical Processing for OBT and ^{14}C

Samples, as supplied, were first dried at approximately 120°C until no further weight loss was observed (between 3 and 7 days). An aliquot of each sample (approximately 12g) was combusted in pure oxygen in a high pressure combustion bomb to produce CO_2 and H_2O. The H_2O produced was collected in an acetone/dry ice trap during gas removal and vacuum distillation and was ready for direct scintillation counting without further treatment. Weighing of the sample aliquot prior to drying and again prior to combustion and weighing of the water collected enabled the total ^{3}H in the original weight to be related to the measured ^{3}H specific activity. The CO_2 produced was collected in liquid nitrogen and converted to benzene for measurement of the ^{14}C through the stages of C_2H_2 and lithium carbide.

3.0 Counting

4ml aliquots of the produced water samples were made up for counting and counted in a LKB Quantulus liquid scintillation counter, optimised for low level counting in association with background and calibration standards. Error terms given on the activity results represent the full estimated replicate sample reproducibility.

The benzene produced from the CO_2 was made up with butyl-pbd scintillant and counted in a LKB Quantulus liquid scintillation counter alongside standard (NBS Oxalic acid/ ANU Sucrose) and background samples.

4.0 Results

The results are given in Tables 1 and 2 below.

Table 1

RCD Ref	Sample Ref	OBT Tritium Activity		C-14 Activity	
		Measured Bq/l H_2O	Measured Bq/kg dry material	Measured Bq/kg Carbon	Deduced Bq/kg dry material
T-13325	120412A1	3.60 ± 0.9	1.5 ± 0.4		
R-7959				246 ± 2.0	81.5 ± 4.1
T-13326	120412A2	10.6 ± 1.1	3.3 ± 0.4		
R-7960				211 ± 1.9	52.9 ± 2.7

Table 2

RCD Ref	Sample Ref	Sample weight loss after drying (g)	Percentage weight loss in drying (%)	Percentage water in dry sample (%)	Percentage carbon in dry sample (%)
T-13325	120412A1	9.38	10.6	41.9	33.1
R-7959					
T-13326	120412A2	3.21	6.19	30.7	25.1
R-7960					

Association agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 00013 – 21025846604 –41 – TVA intracommunautaire n° FR80341802544