



**Commission de Recherche et d'Information
Indépendantes sur la Radioactivité**

**CARACTERISATION RADIOLOGIQUE D'ECHANTILLONS DE
MOUSSES TERRESTRES PRELEVES AUTOUR DU SITE NUCLEAIRE
DU TRICASTIN
RAPPORT N°16-28 v1**



Etude réalisée par le **laboratoire de la CRIIRAD**
Avec le soutien financier de la **Région Rhône-Alpes**



Rédaction : Julien SYREN, ingénieur géologue, chargé d'étude

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

Photographie de couverture : point de prélèvement de mousses terrestres à proximité du barrage hydroélectrique de Bollène – © CRIIRAD

SOMMAIRE

<u>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS</u>	<u>4</u>
<u>2. REPERAGE DES STATIONS DE PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE</u>	<u>5</u>
<u>3. RESULTATS DES MESURES RADIOMETRIQUES.....</u>	<u>9</u>
3.1 OBJECTIFS.....	9
3.2 RESULTATS DES MESURES	9
<u>4. RESULTATS DES ANALYSES</u>	<u>10</u>
4.1 GENERALITES SUR LES REJETS RADIOACTIFS ATMOSPHERIQUES DU SITE NUCLEAIRE DU TRICASTIN	10
4.2 SPECTROMETRIE GAMMA	11
4.2.1 RADIONUCLEIDES NATURELS	11
4.2.1 RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS	11
4.3 TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE.....	11
4.4 CARBONE 14.....	12
<u>5. CONCLUSION</u>	<u>13</u>
<u>ANNEXE 1 – PRESENTATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA CRIIRAD</u>	<u>14</u>
<u>ANNEXE 2 – RAPPORTS D’ESSAI.....</u>	<u>15</u>

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Le laboratoire de la CRIIRAD gère trois balises de surveillance de la radioactivité atmosphérique implantées dans un rayon de 50 kilomètres autour du site nucléaire du Tricastin : la balise d'Avignon, à 45 kilomètres au sud ; la balise de Montélimar, à 25 kilomètres au nord ; la balise de Saint-Marcel d'Ardèche, à 7 kilomètres à l'ouest.

Ces balises appartiennent à un réseau plus large de surveillance de la radioactivité atmosphérique, exploité par la CRIIRAD grâce au soutien financier de multiples collectivités¹. Le réseau permet d'effectuer une surveillance en continu de la radioactivité dans l'atmosphère et de déclencher automatiquement une alerte en cas de forte contamination radioactive de l'air.

En complément de la surveillance en continu, le laboratoire de la CRIIRAD effectue des prélèvements et des analyses d'échantillons de l'environnement (précipitations, sols, bioindicateurs, etc.). L'objectif est de caractériser la radioactivité de différents compartiments de l'environnement afin d'obtenir un état de référence permettant de statuer (en cas de besoin) sur l'existence et l'ampleur d'une contamination. En effet, la réalisation d'un état de référence est indispensable pour pouvoir, le cas échéant, et par comparaison, évaluer l'intensité d'une contamination et en déduire les mesures à prendre pour protéger au mieux la population.

C'est dans ce contexte qu'au cours de l'année 2015, le laboratoire de la CRIIRAD a prélevé et analysé quatre échantillons de bio-indicateurs atmosphériques (mousses terrestres) autour du site nucléaire du Tricastin.

L'objectif de cette étude était d'une part de repérer des stations où des prélèvements pourraient être rapidement réalisés en cas de suspicion de rejets inhabituels, et d'autre part de disposer de données de référence pour ces stations.

Cette étude a été réalisée avec le soutien de la région Rhône-Alpes, qui participe par ailleurs au financement du réseau de balises, dans le cadre du programme 2014 de la convention pluriannuelle d'objectifs 2014/2016 (action A1 – Information sur le fonctionnement des installations nucléaires de Rhône-Alpes).

Choix du bio-indicateur

Afin de porter un premier diagnostic sur l'impact des retombées en milieu terrestre, il est intéressant de prélever et d'analyser des bio-indicateurs atmosphériques.

L'analyse de ces bio-indicateurs 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...)².

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.

En complément des mousses terrestres, il peut être utile d'analyser les sols ainsi que les précipitations afin d'évaluer les retombées atmosphériques. Ce type d'échantillons fait l'objet d'autres campagnes de prélèvements réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD.

¹ Les stations du réseau et les collectivités partenaires sont présentées en annexe 1.

² En revanche, ce type d'analyse ne peut renseigner sur l'impact des rejets de gaz rares car ces derniers ne sont pas vraiment métabolisés par les bio-indicateurs.

2. REPERAGE DES STATIONS DE PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE

Dans un premier temps, un repérage préliminaire des stations potentielles de prélèvement a été réalisé sur plan.

Les mousses du genre *Grimmia* ayant la particularité de pousser sans substrat sur les murs anciens, les emplacements privilégiés pour des stations susceptibles d'être visitées à tout moment peuvent notamment être les cimetières ainsi que certains ouvrages de travaux publics (barrages, voies navigables et ouvrages annexes, ...).

Par ailleurs, les points de prélèvement doivent être situés sous les vents dominants (nord-sud dans le cas du Tricastin), et le plus près possible (si possible à moins de 10 voire à moins de 5 kilomètres) de la source potentielle de rejet.

Compte tenu de ces critères, les stations pré-sélectionnées correspondaient :

- aux ouvrages situés aux abords des voies publiques de circulation au nord et au sud du site du Tricastin,
- aux abords du canal de Donzère-Mondragon.
- aux cimetières de Lapalud et Pierrelatte,

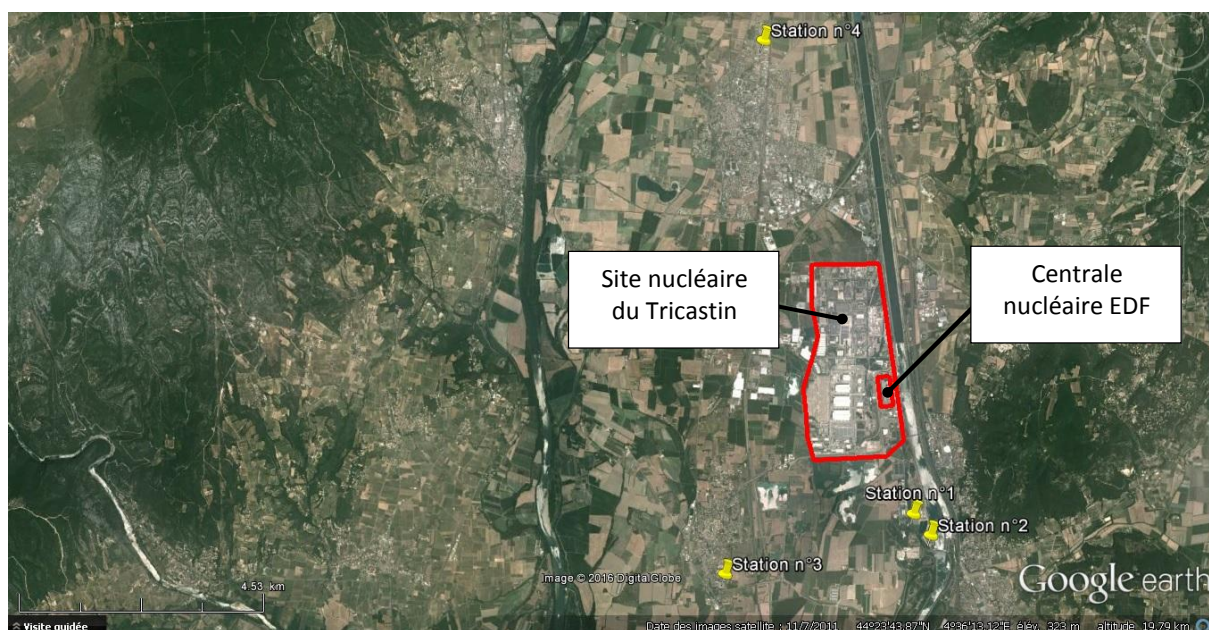
Le repérage des stations a été réalisé lors de trois interventions sur site :

- le 8 janvier 2015 (recherche d'un premier emplacement le plus près possible du site côté sud, le secteur étant dominé par les vents du nord) ;
- le 9 janvier 2015 (extension de la recherche au sud du site),
- le 19 juin 2015 (recherche d'une station au nord du site, afin de tenir compte des épisodes de vents du sud).

Les missions du 8 janvier et du 19 juin ont été réalisées par monsieur Christian COURBON, technicien CRIIRAD en charge des interventions de terrain.

La mission du 9 janvier a été réalisée par M. COURBON et Mme Marion JEAMBRUN, docteur en géochimie, responsable qualité du laboratoire de la CRIIRAD.

Ces interventions ont permis de localiser 4 stations.

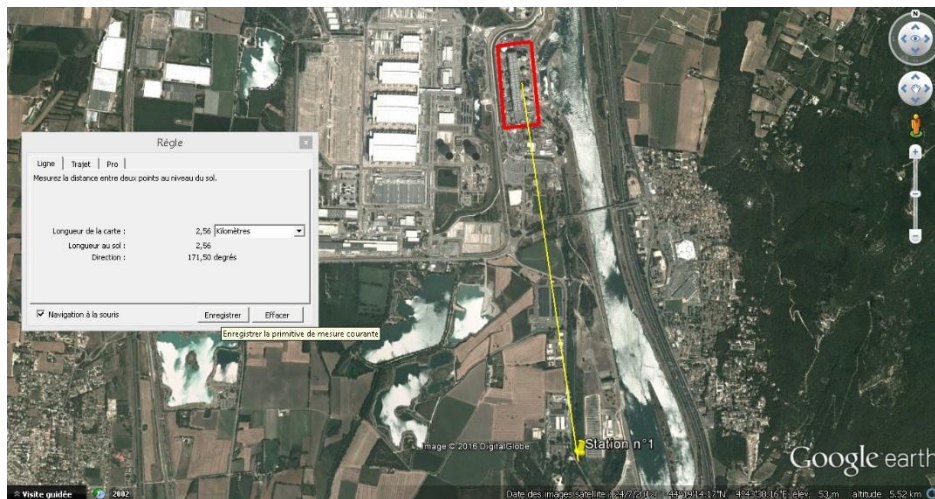


Emplacement des stations de prélèvement des mousses terrestres

La première station a été localisée lors du repérage préliminaire du 8 janvier 2015. Il s'agit du contrefort d'un pont permettant à la D243 de traverser le contre-canal de la rive droite du canal de Donzère-Mondragon.



Emplacement de la station n°1



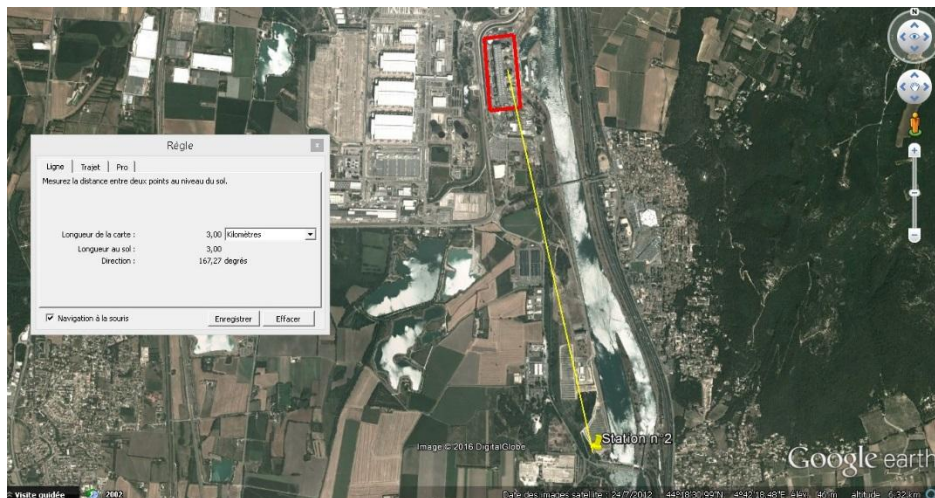
Distance entre la station n°1 et la centrale nucléaire du Tricastin

Cette station a le double avantage d'être proche du site du Tricastin (à 2,5 kilomètres de la centrale nucléaire) et d'être située sous les vents dominants. Elle a en revanche l'inconvénient d'être située en contrebas de la D243 : les mousses terrestres sont soumises à la pollution liée aux écoulements provenant de la route.

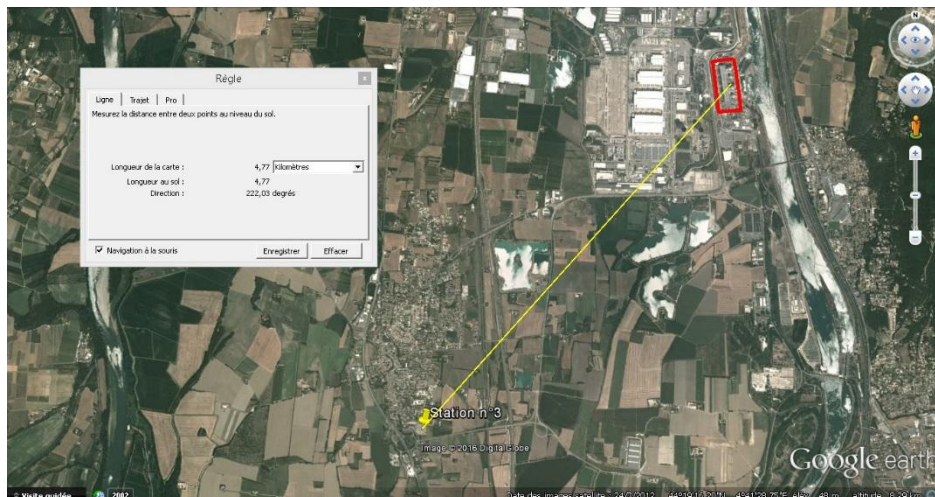
Un premier échantillon a été prélevé au niveau de cette station. Toutefois, compte tenu de l'emplacement non optimal de la station vis-à-vis de la route, un second repérage a été effectué le 9 janvier au sud du site. Celui-ci a permis de localiser deux autres stations, la première (station n°2) à proximité du barrage hydroélectrique de Bollène et la seconde (station n°3) au cimetière de Lapalud.



Emplacement de la station n°2



Distance entre la station n°2 et la centrale nucléaire du Tricastin

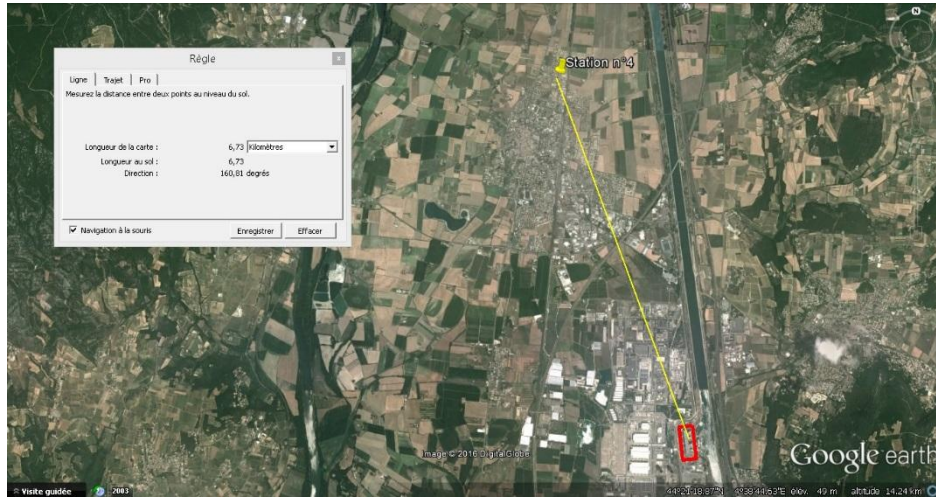


Distance entre la station n°3 et la centrale nucléaire du Tricastin

Compte tenu de la proximité entre la station n°1 et la station n°2, et de l'absence de pollution potentielle par des écoulements issus de la route pour la station n°2, cette dernière sera préférée pour un prélèvement futur en cas d'incident.

Le dernier repérage, effectué le 19 juin 2015, a permis de localiser un point de prélèvement au nord du site. Il s'agit de la station n°4, située au niveau du cimetière nord de Pierrelatte, à 6,7 kilomètres au nord-

nord-ouest de la centrale nucléaire du Tricastin. La commune de Pierrelatte possède un autre cimetière, situé à 1,2 kilomètre plus au sud et donc plus proche de la centrale nucléaire, mais ce cimetière est adossé au nord de la colline correspondant au centre ancien de Pierrelatte, ce qui n'est pas le cas du cimetière nord qui est de ce fait moins protégé vis-à-vis du vent du sud et donc plus exposé à d'éventuelles retombées.



Distance entre la station n°4 et la centrale nucléaire du Tricastin

Sur chacune des 4 stations, un prélèvement de mousses terrestres a été effectué pour analyses ultérieures en laboratoire.

3. RESULTATS DES MESURES RADIAMETRIQUES

3.1 OBJECTIFS

La majorité des radionucléides émet en se désintégrant des **rayonnements gamma**. Il s'agit de rayonnements de nature électromagnétique qui, compte tenu de leur énergie (plusieurs dizaines de keV à plusieurs MeV) peuvent parcourir plusieurs mètres, voire dizaines de mètres dans l'air (et au-delà). Ils sont responsables de l'exposition externe. Il existe un flux de rayonnement gamma naturel en surface du sol, même en l'absence d'ajout de substances radioactives dans le sol.

On peut distinguer une composante tellurique, liée à la désintégration des radionucléides primordiaux contenus dans le sol (chaînes de désintégration de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232 et potassium 40) et une composante liée au rayonnement cosmique. Localement, les variations spatiales du flux de rayonnement gamma en surface sont liées essentiellement aux variations des caractéristiques radiochimiques du sol.

La mesure du flux de rayonnement gamma à la surface du sol d'un site permet de vérifier l'absence de contamination surfacique importante par des radionucléides émetteurs de rayonnement gamma.

3.2 RESULTATS DES MESURES

Des mesures radiamétriques ont été effectuées au niveau des stations n°2, 3 et 4 le jour de chaque prélèvement. Les mesures n'ont pas été réalisées sur les ouvrages maçonnés où les mousses ont été prélevées, mais sur le terrain végétalisé le plus proche des points de prélèvement.

Le flux de rayonnement gamma, exprimé en coups par seconde (c/s), a été mesuré au moyen d'un scintillomètre de type DG5 (marque Novelec)³.

Le débit d'équivalent de dose (H*10) a été mesuré avec un compteur proportionnel compensé en énergie Berthold LB123D⁴.

Les résultats des mesures de flux de rayonnement gamma et de débit de dose sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Station	DG5 (c/s)		LB123 (μSv/h)	
	Contact sol	1m sol	Contact sol	1m sol
N°1	-	-	-	-
N°2	80-100	70-90	0,111	0,113
N°3	50-70	45-65	0,106	0,086
N°4	70-80	70-10	0,104	0,101

Relevés radiamétriques à proximité des points de prélèvement des mousses terrestres

Ces résultats restent dans la gamme des niveaux de radioactivité correspondant au bruit de fond naturel dans la région. Ils serviront, à l'avenir, de référence pour ces sites.

³ Le détecteur est un scintillateur organique couplé à un photomultiplicateur. Il enregistre les rayonnements gamma à partir de 50 keV. La réponse en fonction de l'énergie est de ± 10 % de 100 keV à 700 keV et de ± 50 % de 60 keV à 1,3 MeV. La constante de temps de détection est de 0,1 seconde et la constante de temps de mesure de 2 secondes. Le temps mort est de 33 microsecondes.

⁴ Cet appareil est constitué d'une électronique de mesure et d'affichage universel LB 1230 reliée à une sonde LB 1236. La plage de mesure s'étend de 0,05 μSv/h à 10 mSv/h sur une plage d'énergie allant de 30 keV à 2 MeV. La réponse en fonction de l'énergie est de ± 30 % pour le Césium 137 à 661,7 keV. Le mouvement propre de l'appareil est de 0,0175 μSv/h. Chaque résultat est en réalité la moyenne d'au moins 3 mesures de 100 secondes.

4. RESULTATS DES ANALYSES

4.1 GENERALITES SUR LES REJETS RADIOACTIFS ATMOSPHERIQUES DU SITE NUCLEAIRE DU TRICASTIN

Le site nucléaire du Tricastin comporte une centrale nucléaire de production d'électricité (CNPE) de 4 réacteurs de 900 MW, exploitée par EDF, ainsi que 5 installations nucléaires de base (INB) exploitées par AREVA.

Ces installations sont autorisées à rejeter dans l'atmosphère divers éléments radioactifs.

S'agissant du CNPE, la déclaration des rejets effectués en 2014 (cf. ci-dessous) montre que les radionucléides prépondérants sont le tritium (1 720 GBq) et le carbone 14 (0,712 TBq ou 712 GBq). Viennent ensuite les gaz rares (420 GBq), les iodes radioactifs (0,023 GBq) puis les autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta et gamma (0,00283 GBq).

REJETS RADIOACTIFS GAZEUX POUR LES RÉACTEURS EN FONCTIONNEMENT

	UNITÉ	LIMITE RÉGLEMENTAIRE ANNUELLE	ACTIVITÉ REJETÉE	% DE LA LIMITE RÉGLEMENTAIRE
Gaz rares	TBq	72	0,420	0,58
Tritium	GBq	8000	1 720	21,5
Carbone 14	TBq	2.2	0,712	32,4
Iodes	GBq	1.6	0,023	1,44
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta et gamma	GBq	1.6	0,00283	0,18

1 TBq (térabecquerel) : 10^{12} Bq

1 GBq (gigabecquerel) : 10^9 Bq

Rejets radioactifs gazeux des réacteurs du CNPE du Tricastin (année 2014, source EDF-TSN 2014)

Dans le cas des INB exploitées par AREVA, les principaux radionucléides rejetés dans l'atmosphère sont également le tritium (0,85 GBq en 2014)⁵ et le carbone 14 (1,82 GBq en 2014)⁶. Ces INB rejettent également d'autres radionucléides : elles bénéficient notamment d'autorisations de rejet pour les isotopes de l'uranium, les transuraniens émetteurs alpha, les produits de fission et d'activation, ...

Par ailleurs, le site du Tricastin est situé à une vingtaine de kilomètres au nord du site nucléaire de Marcoule. Ce site comporte 4 INB (Phénix, Atalante, Melox et Socodei) ainsi qu'une INB secrète (INBS) qui rejette notamment des quantités très importantes de tritium. A titre de comparaison, l'autorisation de rejets gazeux annuels de tritium est de 2 600 TBq pour l'INBS de Marcoule contre 8 TBq pour le CNPE du Tricastin. Si l'activité rejetée a diminué au cours de ces dernières années (de 246 TBq en 2010 à 37 TBq en 2014), elle reste en 2014 plus de 20 fois supérieure à l'activité rejetée par le CNPE du Tricastin.

RADIOÉLÉMENTS	LIMITES ANNUELLES
Tritium	2 600 TBq, dont 1 920 TBq liés aux opérations de démantèlement de l'atelier tritium de Marcoule (ATM)
Gaz rares	600 TBq
Carbone 14	10 GBq
Iodes radioactifs	370 MBq
Emetteurs alpha	45 MBq
Autres émetteurs bêta gamma	270 MBq

Autorisations de rejets de l'INBS de Marcoule⁷

⁵ 0,38 GBq par AREVA NC (INB155) et 0,47 GBq par la SOCATRI. Source : données chiffrées et informations sur la sûreté nucléaire et la radioprotection du site AREVA Tricastin – Edition 2014.

⁶ 0,69 GBq par AREVA NC (INB155) et 1,134 GBq par la SOCATRI. Source : données chiffrées et informations sur la sûreté nucléaire et la radioprotection du site AREVA Tricastin – Edition 2014.

⁷ Arrêté du 16 avril 2012 autorisant le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives à poursuivre les rejets d'effluents liquides et gazeux, les prélèvements et consommations d'eau pour l'exploitation de l'installation nucléaire de base secrète de Marcoule.

4.2 SPECTROMETRIE GAMMA

Chaque échantillon a été analysé par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD.

Les rapports d'essai sont joints en annexe 2.

4.2.1 RADIONUCLEIDES NATURELS

En ce qui concerne les chaînes de désintégration du thorium 232 et de l'uranium 238, les activités mesurées sont classiques et n'indiquent aucune situation atypique.

L'excès de plomb 210 (600 à 2 400 Bq/kg sec) par rapport aux autres radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 (10 à 40 Bq/kg sec) est habituel pour des mousses terrestres. Le radon 222, gaz radioactif naturellement présent dans l'air ambiant, se désintègre et donne naissance à des métaux lourds radioactifs parmi lesquels le plomb 210. Du fait de sa période physique relativement longue (22,3 ans), le plomb 210 est susceptible de s'accumuler sur les surfaces des végétaux et les sols. Il s'accumule également dans les mousses terrestres.

Les 4 échantillons contiennent par ailleurs du béryllium 7 (700 à 950 Bq/kg sec). D'origine naturelle cosmogénique, ce radionucléide est présent dans l'air ambiant (typiquement quelques milliBecquerels par mètre cube d'air) et se retrouve dans les mousses terrestres, la surface des végétaux et les sols superficiels.

4.2.1 RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS

Dans chacun des 4 échantillons, un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté, le césium 137. Les activités mesurées sont comprises entre 7 et 140 Bq/kg sec.

Pour les autres produits de fission et d'activation émetteurs gamma comme : manganèse 54, cobalt 58, cobalt 60, ruthénium-rhodium 106, argent 110^m, antimoine 125, iode 131⁸, iode 129, césium 134, cérium 144, ... les activités sont inférieures aux limites de détection (< 0,4 Bq/kg sec à < 7 Bq/kg sec selon les analyses et les radionucléides). C'est également le cas de l'américium 241 (< 0,7 à < 1,1 Bq/kg sec).

S'agissant du césium 137, à 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 Tarn⁹ (sud-ouest de la France) donnaient une contamination en césium 137 comprise entre 6,8 et 38 Bq/kg sec. Par ailleurs, une analyse réalisée par la CRIIRAD en 2012 dans l'environnement de la centrale nucléaire du Bugey avait indiqué, sur une mousse terrestre de la même espèce prélevée à Hières-sur-Amby (Isère) une contamination en césium 137 de 309 Bq/kg sec¹⁰.

Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour déterminer l'origine de l'hétérogénéité des teneurs en césium 137 sur les 4 échantillons.

4.3 TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE

Comme indiqué plus haut, le tritium est le principal radionucléide rejeté par les sites nucléaires du Tricastin et de Marcoule. Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène de période 12,3 ans. Il émet en se désintégrant des rayonnements bêta.

⁸ S'agissant de l'iode 131, dont la période est de 8 jours, les échantillons des stations n°1 et 4 ont pu être analysés rapidement après le prélèvement (le jour même pour la station n°1, 4 jours après le prélèvement pour la station n°4), ce qui a permis d'obtenir des limites de détection comparables à celles des autres radionucléides (respectivement < 0,7 Bq/kg sec et < 0,8 Bq/kg sec). Pour les stations n°2 et 3, les analyses ayant été effectuées plusieurs semaines après les prélèvements, les limites de détection sont trop élevées pour présenter un intérêt et ne sont donc pas publiées.

⁹ Rapport CRIIRAD n°12-17 / Contrôles radiologiques du CTSDU de Mariolle à Graulhet (81), suivi année 2011, B. Chareyron, Mars 2012.

¹⁰ Note 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, B. Chareyron, novembre 2013 et octobre 2014.

Ce tritium artificiel s'ajoute au faible niveau de tritium présent naturellement dans l'air ambiant et les précipitations (d'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. Les analyses ont été effectuées par le laboratoire RDC-Lockinge en Angleterre.

Les 4 échantillons présentent des activités en tritium organiquement lié comprises entre 4,3 et 8,9 Bq/l d'eau de combustion.

Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues :

- 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)¹¹,
- dans un échantillon prélevé par la CRIIRAD en avril 2012 à Hières-sur-Amby (Isère), à proximité de la centrale nucléaire du Bugey (3,6 Bq/l) dans le cadre de l'étude précitée.

Des investigations complémentaires seraient nécessaires afin de déterminer la part de l'excès de tritium imputable aux rejets du site du Tricastin, et la part imputable aux rejets du site de Marcoule.

4.4 CARBONE 14

Comme indiqué plus haut, le carbone 14 est le second radionucléide le plus rejeté par la centrale nucléaire du Tricastin. 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.

Selon l'IRSN¹², 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.

En avril 2009, la CRIIRAD avait prélevé au sud de Genève, à Bellegarde-sur-Valserine et à Bonne, hors de l'influence directe des rejets des installations nucléaires du secteur, des mousses dans lesquels les teneurs étaient de $230 \pm 2,0$ Bq/kg C et $233 \pm 2,1$ Bq/kg C).

Dans les mousses terrestres prélevées par la CRIIRAD en 2015 autour du site du Tricastin, les activités sont de $231 \pm 2,1$ Bq/kg C, $234 \pm 2,0$ Bq/kg C, $235 \pm 2,0$ Bq/kg C et $241 \pm 2,2$ Bq/kg C.

Pour trois échantillons, les valeurs mesurées sont comparables au bruit de fond. Le quatrième échantillon présente un léger excès de carbone 14. Il s'agit de l'échantillon prélevé à la station n°2 (barrage hydroélectrique de Bollène, à 3 km au sud du CNPE). Compte tenu de l'incertitude des mesures, des investigations complémentaires seraient nécessaires afin de confirmer l'excès supposé et, le cas échéant, afin d'en déterminer l'origine.

¹¹ Rapport CRIIRAD n°12-73 / Point zéro radiologique dans l'environnement du CERN avant démarrage du LHC (Large Hadron Collider) / B. Chareyron, octobre 2012.

¹² Constat Radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu terrestre. Rapport IRSN PRP-ENV / SESURE / 2012-06 / Juin 2012, page 28.

5. CONCLUSION

Les repérages réalisés par le laboratoire de la CRIIRAD ont permis de localiser 4 stations de prélèvement de mousses terrestres dans un rayon de 7 kilomètres autour du CNPE du Tricastin.

En cas de suspicion de rejets inhabituels de radionucléides dans l'atmosphère, le choix de la ou des stations sera pris en fonction des vents.

Si l'événement a lieu pendant un épisode de vent du nord, dominant dans la région, les prélèvements pourront être effectués en priorité aux stations n°1 et 2. La station n°2, située à 3 km au sud du CNPE, sera préférée à la station n°1, cette dernière étant située en contrebas d'une route susceptible d'entraîner une pollution locale.

Si l'événement a lieu pendant un épisode de vent du sud, le prélèvement pourra être effectué en priorité à la station n°4, située à 6,7 km au nord-nord-ouest du CNPE.

L'échantillonnage pourra être complété à la station n°3, située à 4,8 km au sud-ouest du CNPE.

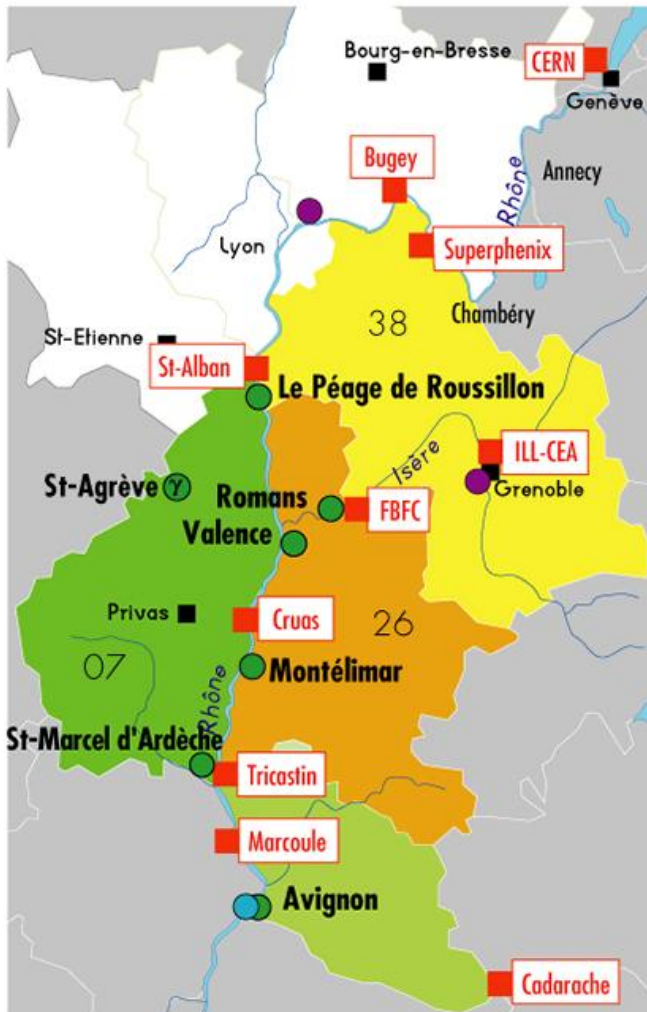
Les teneurs des échantillons en radionucléides naturels et artificiels émetteurs gamma, ainsi qu'en tritium organiquement lié et en carbone 14 pourront être comparées aux valeurs présentées dans ce rapport, et synthétisées dans le tableau ci-dessous¹³.

Station	Coordonnées GPS	Date de prélèvement	¹³⁷ Cs (Bq/kg sec)	¹³⁴ Cs (Bq/kg sec)	¹³¹ I (Bq/kg sec)	³ H organiquement lié (Bq/l H ₂ O)	¹⁴ C (Bq/kg C)	DG5 (c/s)		LB123 (μSv/h)	
								Contact sol	1m sol	Contact sol	1m sol
N°1	44°18'29.29"N 4°44'8.87"E	08/01/15	7,0 ± 2,4	< 0,7	< 0,7	4,8 ± 0,7	235 ± 2,0	-	-	-	-
N°2	44°18'16.23"N 4°44'22.99"E	09/01/15	18 ± 4	< 0,7	-	4,3 ± 0,7	241 ± 2,2	80-100	70-90	0,111	0,113
N°3	44°17'56.06"N 4°41'28.39"E	09/01/15	140 ± 17	< 0,4	-	8,9 ± 0,8	231 ± 2,1	50-70	45-65	0,106	0,086
N°4	44°23'17.67"N 4°42'13.14"E	19/06/15	37 ± 6	< 0,6	< 0,8	6,2 ± 0,7	234 ± 2,0	70-80	70-10	0,104	0,101

Principaux résultats des analyses effectuées sur des échantillons de mousses terrestres (Grimmia) prélevés par la CRIIRAD autour du site du Tricastin

¹³ Pour les autres radionucléides émetteurs gamma que le césium 137, le césium 134 et l'iode 131, les résultats figurent sur les rapports d'essai en annexe 2.

ANNEXE 1 – PRESENTATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA CRIIRAD



- Réseau de balises atmosphériques existant
- Balise d'eau d'Avignon
- Projet d'installation ou d'exploitation de balise
- Installations nucléaires

Communes du réseau Montilien :

- | | | |
|---------------------|---------------|------------------|
| Aleyrac | Saint-Montan | Loriol-sur-Drôme |
| Cliouclat | Souspierre | Rochebaudin |
| Dieulefit | Larnas | Saint-Bauzile |
| La Bégude de Mazenc | Le Poët-Laval | |

ANNEXE 2 – RAPPORTS D'ESSAI

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

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.

RAPPORT D'ESSAI N° 28106-1 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude CRRA 2014 INB TRICASTIN

Code Prélèvement Non précisé
Code Enregistrement 080115A1
N° d'analyse C 28106

Nature de l'échantillon Mousses terrestres
Grimmias

Taux de matière sèche 88,3%

Lieu de prélèvement Sud du CNPE Tricastin (26)
Localisation du prélèvement Proche site Areva (EX STM)
sur contrefort pont-canal

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR713

CRRA 2014 INB TRICASTIN

STATION N°1

Valence, le 05 avril 2016

Prélèvement

Date de prélèvement 08/01/2015
Opérateur de prélèvement Laboratoire CRIIRAD (C. COURBON)
Mode de prélèvement Non précisé

Pré-traitement

Date de préparation 08/01/2015
Délai avant analyse (j) 1
Conditions de préparation Tri, frottis sur tamis 2mm pour
extraction de terre

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 08/01/2015
Géométrie de comptage Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais
Masse analysée (g) 80,14
Temps de comptage (s) 52 059

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 <

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	37
Radium 226***	18 ±	6
Plomb 214	17 ±	6
Bismuth 214	20 ±	6
Plomb 210**	630 ±	90

Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	11

Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	<	22
Plomb 212	13,1 ±	4,0
Thallium 208	4,7 ±	2,3

Potassium 40	<	390
Béryllium 7	950 ±	120

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

Césium 137	7,0 ±	2,4
Césium 134	<	0,7
Cobalt 58	<	0,8
Cobalt 60	<	0,7
Manganèse 54	<	0,7
Antimoine 125	<	1,9
Iode 131	<	0,7
Cérium 144	<	3,7
Argent 110m	<	0,7
Américium 241**	<	1,1
Iode 129**	<	1,3
Ruthénium 106	<	7

* 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.

Activités calculées à la date de mesure

(excepté pour le Béryllium 7, période 53 jours, dont l'activité est ramenée à la date de prélèvement)

Activités ramenées à la date de prélèvement

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Julien SYREN
Chargé d'étude

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

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.

RAPPORT D'ESSAI N° 28205-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude CRRA 2014 INB TRICASTIN

Code Prélèvement Non précisé
Code Enregistrement 130115B2
N° d'analyse C 28205

Nature de l'échantillon Mousses terrestres
Grimmias

Taux de matière sèche 93,4%

Lieu de prélèvement Bollène (84)
Localisation du prélèvement Barrage hydroélectrique

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR826

CRRA 2014 INB TRICASTIN

STATION N°2

Prélèvement

Date de prélèvement 09/01/2015
Opérateur de prélèvement Laboratoire CRIIRAD (C. COURBON)
Mode de prélèvement Non précisé

Pré-traitement

Date de préparation 22/01/2015
Délai avant analyse (j) 49
Conditions de préparation Tri, frottis sur tamis 2mm pour extraction de terre

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 11/03/2015
Géométrie de comptage Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais
Masse analysée (g) 87,92
Temps de comptage (s) 54 857

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 <

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	70
Radium 226***	29 ±	6
Plomb 214	24 ±	6
Bismuth 214	33 ±	7
Plomb 210**	1 010 ±	130

Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	10

Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	21 ±	9
Plomb 212	16,0 ±	4,1
Thallium 208	7,1 ±	2,2

Potassium 40	<	400
Béryllium 7	890 ±	130

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

Césium 137	18,2 ±	3,8
Césium 134	<	0,7
Cobalt 58	<	1,2
Cobalt 60	<	0,6
Manganèse 54	<	0,7
Antimoine 125	<	1,8
Iode 131	<	110
Cérium 144	<	3,6
Argent 110m	<	0,7
Américium 241**	<	0,9
Iode 129**	<	1,0
Ruthénium 106	<	6

* 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 à l'équilibre, soit plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

Activités calculées à la date de mesure

(excepté pour le Béryllium 7, période 53 jours, dont l'activité est ramenée à la date de prélèvement)

Activités ramenées à la date de prélèvement

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Julien SYREN
Chargé d'étude

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

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.

RAPPORT D'ESSAI N° 28190-1 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude CRRRA 2014 INB Tricastin

Code Prélèvement Non précisé
Code Enregistrement 130115B1
N° d'analyse C 28190

Nature de l'échantillon Mousses terrestres
Grimmias

Taux de matière sèche 93,4%

Lieu de prélèvement Lapalud (84)
Localisation du prélèvement Cimetière

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR826

CRRRA 2014 INB Tricastin

STATION N°3

Valence, le 05 avril 2016

Prélèvement

Date de prélèvement 09/01/2015
Opérateur de prélèvement Laboratoire CRIIRAD (C. COURBON)
Mode de prélèvement Non précisé

Pré-traitement

Date de préparation 22/01/2015
Décal avant analyse (j) 42
Conditions de préparation Tri, frottis sur tamis 2mm pour extraction de terre

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 04/03/2015
Géométrie de comptage Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais
Masse analysée (g) 120,98
Temps de comptage (s) 56 577

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 <

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	42
Radium 226**	23,4 ±	4,8
Plomb 214	24,3 ±	4,8
Bismuth 214	22,6 ±	4,7
Plomb 210**	1 990 ±	230

Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	7

Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	20 ±	7
Plomb 212	22,0 ±	4,1
Thallium 208	7,6 ±	2,1

Potassium 40	<	280
Béryllium 7	700 ±	100

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

Césium 137	140 ±	17
Césium 134	<	0,41
Cobalt 58	<	0,8
Cobalt 60	<	0,5
Manganèse 54	<	0,5
Antimoine 125	<	1,4
Iode 131	<	49
Cérium 144	<	2,7
Argent 110m	<	0,6
Américium 241**	<	0,7
Iode 129**	<	0,9
Ruthénium 106	<	4,6

* 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 à l'équilibre, soit plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

Activités calculées à la date de mesure

(excepté pour le Béryllium 7, période 53 jours, dont l'activité est ramenée à la date de prélèvement)

Activités ramenées à la date de prélèvement

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Julien SYREN
Chargé d'étude

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

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.
Déflecteur 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° 28367-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CRRA 2014 INB TRICASTIN
Code Prélèvement Aucun
Code Enregistrement 190615A1
N° d'analyse C 28367
Nature de l'échantillon Mousses terrestres
Grimmias
Taux de matière sèche 93,7%
Lieu de prélèvement Pierrelatte (26)
Localisation du prélèvement Cimetière nord sur murs
et tombes
Code de l'unité territoriale (NUTS) FR713

CRRA 2014 INB TRICASTIN

STATION N°4

Valence, le 05 avril 2016

Prélèvement
Date de prélèvement 19/06/2015
Opérateur de prélèvement Laboratoire CRIIRAD (C. COURBON)
Mode de prélèvement Non précisé

Pré-traitement
Date de préparation 23/06/2015
Délai avant analyse (j) 1
Conditions de préparation Tri, frottis sur tamis 2mm pour
extraction de terre

Analyse en spectrométrie gamma
Date de mesure 23/06/2015
Géométrie de comptage Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais
Masse analysée (g) 88,2
Temps de comptage (s) 55 536

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 <
Chaîne de l'Uranium 238	
Thorium 234**	< 100
Radium 226***	14,2 ± 4,9
Plomb 214	14,9 ± 4,7
Bismuth 214	13 ± 5
Plomb 210**	2 350 ± 280
Chaîne de l'Uranium 235	
Uranium 235	< 10
Chaîne du Thorium 232	
Actinium 228	< 27
Plomb 212	15,1 ± 3,9
Thallium 208	5,4 ± 2,1
Potassium 40	< 240
Béryllium 7	810 ± 100

Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <
Césium 137	37 ± 6
Césium 134	< 0,6
Cobalt 58	< 0,6
Cobalt 60	< 0,5
Manganèse 54	< 0,7
Antimoine 125	< 1,7
Iode 131	< 0,8
Cérium 144	< 3,4
Argent 110m	< 0,6
Américium 241**	< 0,9
Iode 129**	< 1,1
Ruthénium 106	< 6

Activités calculées à la date de mesure

(excepté pour le Béryllium 7, période 53 jours, dont l'activité est ramenée à la date de prélèvement)

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

Julien SYREN
Chargé d'étude

R
C¹⁴ Lockinge
D

Unit 1
Lockinge Stables
East Lockinge
Wantage
Oxon, OX12 8QY

Measurement of ³H and ¹⁴C in Moss

for

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

2nd March 2016

1.0 Analysis Required

Measurements of ^3H OBT and ^{14}C in moss samples supplied January 2016.

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 ^3H in the original weight to be related to the measured ^3H 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 ₂ O	Measured Bq/kg dry material	Measured Bq/kg Carbon	Deduced Bq/kg dry material
T-15132	080115 A1	4.8 ± 0.7	1.8 ± 0.3		
R-8559				235 ± 2.0	72.1 ± 3.7
T-15133	130115 B2	4.3 ± 0.7	1.8 ± 0.3		
R-8560				241 ± 2.2	81.8 ± 4.2
T-15134	130115 B1	8.9 ± 0.8	3.1 ± 0.3		
R-8561				231 ± 2.1	62.3 ± 3.2
T-15135	190615 A1	6.2 ± 0.7	2.6 ± 0.3		
R-8562				234 ± 2.0	74.8 ± 3.8

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-15132	080115 A1	1.49	4.94	37.5	30.7
R-8559					
T-15133	130115 B2	1.57	5.10	40.7	34.0
R-8560					
T-15134	130115 B1	1.39	4.52	34.8	27.0
R-8561					
T-15135	190615 A1	1.64	5.47	42.3	32.0
R-8562					

R L Otlet/A J Walker
 RCD Lockinge
 Unit 1 Lockinge Stables, East Lockinge,
 Wantage, Oxon OX12 8QY

2nd March 2016