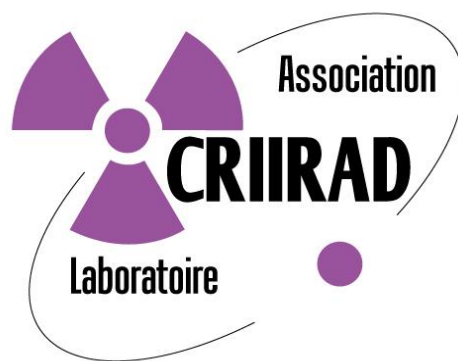




Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

Note CRIIRAD N° 17-36

ANALYSE DE SOL SUPERFICIEL DANS LE CADRE DE LA MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE PRELEVEURS BENEVOLES CRIIRAD

Date de finalisation du rapport : 26 avril 2017

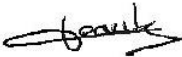
Responsable d'étude : **Marion JEAMBRUN**, docteur en géochimie.

Rédaction : **Marion JEAMBRUN** et **Bruno CHAREYRON**, ingénieur en physique nucléaire

Préparations des échantillons : **Sara ORTUNO**, technicienne de laboratoire.

Analyses par spectrométrie gamma : **Stéphane PATRIGEON**, technicien métrologue.

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD
29 cours Manuel de Falla, 26000 Valence
☎ 04 75 41 82 50 📠 04 75 81 26 48
<http://www.criirad.org> laboratoire@criirad.org

	Emetteur	Approbateur
Nom	Marion JEAMBRUN	Bruno CHAREYRON
Fonction	Responsable qualité	Directeur du laboratoire
Date	26/4/17	26/4/17
Signature		

REMERCIEMENTS

Merci à tous les membres du réseau de préleveurs de la CRIIRAD pour la réalisation des prélèvements et des mesures radiométriques.

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
2	MESURES RADIOMETRIQUES ET PRELEVEMENTS DE SOL	2
3	RESULTATS DES MESURES RADIOMETRIQUES.....	3
3.1	OBJECTIFS.....	3
3.2	RESULTATS DES MESURES.....	4
4	PREPARATION DES ECHANTILLONS DE SOL POUR ANALYSE PAR SPECTROMETRIE GAMMA.....	5
5	RESULTATS DES ANALYSES DE SOL SUPERFICIEL	5
5.1	RADIONUCLEIDES NATURELS	5
5.2	RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS.....	8
	ANNEXE 1 PRESENTATION DU RESEAU DE BALISES DE LA CRIIRAD	12

1 Contexte et objectifs

Contexte

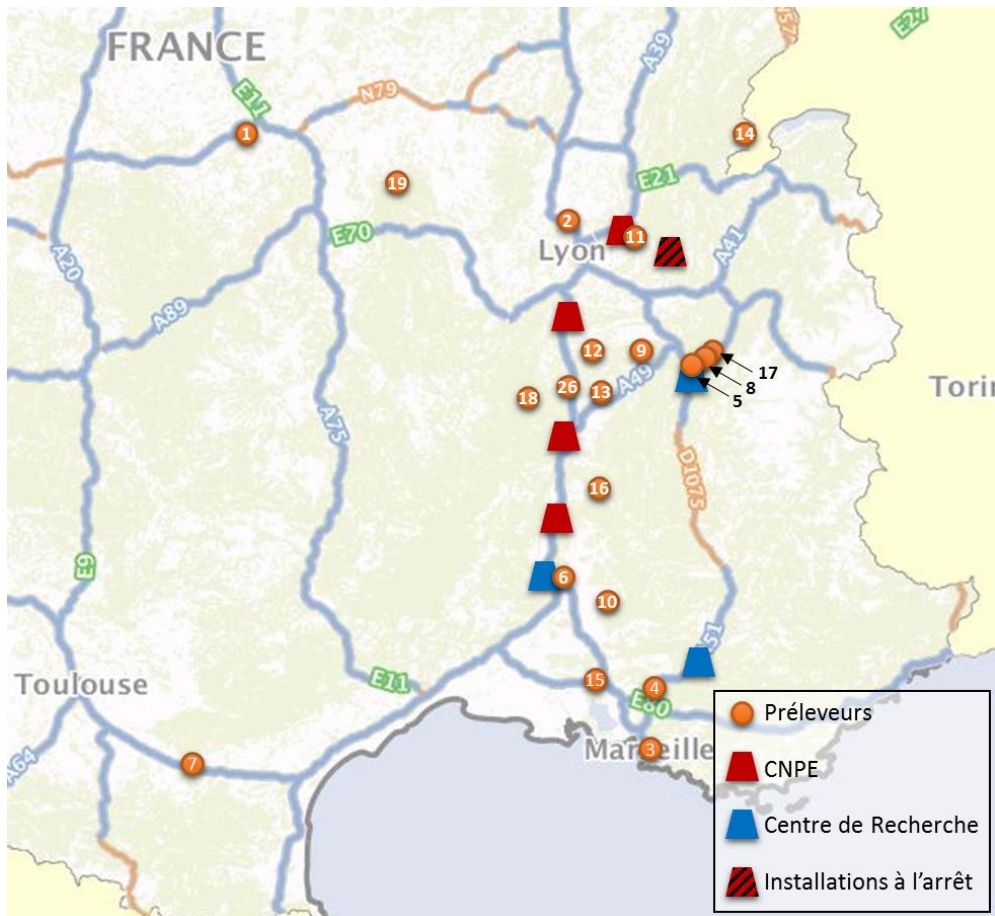
En cas de catastrophe nucléaire, il est important de disposer rapidement d'une évaluation fiable de la nature et de l'intensité de la contamination afin d'évaluer la pertinence des mesures de protection que les autorités mettent en œuvre (ou pas) au niveau collectif et de pouvoir conseiller les citoyens sur les mesures individuelles.

En 1986, en réaction aux [mensonges des autorités françaises](#) sur l'impact de la catastrophe de Tchernobyl, des citoyens ont créé la CRIIRAD (Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la RADioactivité). La CRIIRAD dispose de son propre [laboratoire d'analyse](#) de la radioactivité et gère, avec le soutien de collectivités locales, un [réseau de balises](#), dans la vallée du Rhône, d'Avignon au Péage-de-Roussillon, afin d'être en capacité de détecter, dans les meilleurs délais, une contamination radioactive de l'atmosphère (voir Annexe 1). Le **réseau de balises** 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 ces outils, et suite au retour d'expérience de 2011 à l'issue de la catastrophe de Fukushima, la CRIIRAD a décidé de développer sur le territoire national, un **réseau de préleveurs bénévoles**. Il s'agit de citoyens, adhérents à l'association CRIIRAD, formés par la CRIIRAD et capables d'effectuer des mesures radiométriques et des prélèvements d'eau de pluie, du couvert végétal et du sol en cas de suspicion de contamination.

Les objectifs et la méthodologie ont été définis dans le cadre de réunions de travail entre le bureau de l'association, le directeur de la CRIIRAD, Yves Girardot et le directeur du laboratoire, Bruno Chareyron. La coordination avec les bénévoles est assurée par Sylviane Poulenard, coordinatrice du réseau de préleveurs et Vice-présidente de la CRIIRAD, et Emily Bonfort, coordinatrice adjointe du réseau de préleveurs et administratrice de la CRIIRAD.

Carte 1 : Répartition des préleveurs du réseau de la CRIIRAD.



Le réseau de préleveurs dans son état actuel comprend 20 membres principalement répartis sur le quart sud-est du territoire français (voir carte 1). Dix-huit des 20 préleveurs ont suivi un stage de formation d'une journée le **17 septembre 2016** dans les locaux de la CRIIRAD, animé principalement par Roland Desbordes, Président de la CRIIRAD et Christian Courbon, technicien responsable des investigations de terrain. Chaque bénévole est équipé d'un kit de mesure et de prélèvement fourni par le laboratoire de la CRIIRAD.

Objectifs

Dans un premier temps, le réseau de préleveurs a pour mission de réaliser des mesures du niveau de radiation ambiant et des prélèvements destinés à constituer une référence (ou point zéro) du lieu choisi selon les critères fixés par le laboratoire :

- Terrain naturel ou réaménagé **plat**,
- Couverture végétale type « herbe »,
- Etat du lieu **pérenne** dans le temps,
- Suffisamment éloigné des arbres ou des bâtiments pour répondre aux critères d'installation du pluviomètre.

Il s'agit d'exclure les prélèvements de sol en zone d'accumulation (point bas, sous-sol forestier, etc.) et de déperdition des radionucléides (point haut, zone cultivée avec retrait de la végétation, zone humide, zone de ruissellement) de façon à obtenir des conditions de « bonne conservation ».

Les études de suivi de la contamination radioactive des sols en Alsace (2014)¹ et en Rhône Alpes (2015)² montrent que le césium 137 provenant de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques antérieurs est toujours présent dans le sol à des quantités très variables dépendant, entre autre, du lieu de prélèvement.

L'acquisition de données de référence permettra ainsi, en cas de contamination future, d'évaluer l'intensité des dépôts de substances radioactives au niveau du couvert végétal et du sol en tenant compte de la contamination résiduelle de Tchernobyl et des essais nucléaires.

Le réseau de préleveurs pourra être mobilisé, sur demande du laboratoire de la CRIIRAD pour réaliser de nouveaux prélèvements d'échantillons (eau de pluie, couvert végétal et sol superficiel de 0 à 10 cm) en vue de vérifier l'existence d'une contamination radioactive. Les préleveurs effectuent en outre une surveillance régulière du niveau de rayonnement gamma ambiant.

En effet, en cas de suspicion de contamination, il sera nécessaire d'échantillonner rapidement le couvert végétal et le sol superficiel. L'analyse du couvert végétal est très importante pour anticiper les transferts à l'homme : herbe, bétail, lait-viande. Elle donne également une première estimation du dépôt sur les cultures. Si l'intervention est effectuée rapidement, le prélèvement des 10 premiers centimètres de sol est a priori suffisant pour évaluer les retombées. En effet, les éléments radioactifs n'auraient pas le temps³ de migrer vers les strates plus profondes.

2 Mesures radiométriques et prélèvements de sol

Les mesures radiométriques *in situ* et les prélèvements de sol ont été effectués entre février et avril 2017.

Les mesures radiométriques ont été réalisées, sauf exception, à l'aide de **compteurs Geiger-Muller** « grand public » Kindenoo PG-15 vérifiés par le laboratoire de la CRIIRAD et capables de détecter les particules bêta et gamma et les rayons X. La plage de mesure s'étend de 0,05 µSv/h à 300 µSv/h. Les résultats sont donnés avec une marge d'incertitude de l'ordre de 50 %.

Le **gabarit** fourni par le laboratoire permet de délimiter une surface de 0,04 m² (carré de 20 cm de côté). Une première série de 3 mesures a été réalisée au contact du sol et une seconde à 1 m au-dessus du niveau du sol.

¹ CRIIRAD, 2015. [Contamination radioactive des sols alsaciens](#), Etat des lieux 2014. *Le Dniepr* N°72, avril 2015 N°ISSN 1253-2207.

² CRIIRAD, 2017. [Suivi de la contamination radioactive des sols en Rhône Alpes](#). CRIIRAD Rapport N°17-34.

³ A moins de conditions très spécifiques : pluies diluviennes par exemple.

L'herbe présente sur l'aire délimitée par le gabarit a été retirée. Pour l'élaboration d'un point de référence, l'analyse de l'herbe présente peu d'intérêt. En effet, les analyses d'herbe réalisées par le laboratoire dans le cadre de l'exploitation du réseau de balises en 2014 et 2015 n'ont révélé aucune activité significative de césium 137.

Le sol de référence a ensuite été prélevé à l'aide d'un carottier de jardin (diamètre d'environ 62 mm). Deux carottes (A et B) ont été échantillonnées. La strate de 0 à 5 cm (avec racines) a systématiquement été prélevée et dans 12 cas, la strate de 5 à 10 cm a également été prélevée.

Les prélèvements sont illustrés par les photos 1 et 2, ci-dessous :

Photo 2 : Mise en place du gabarit et retrait de l'herbe



Photo 1 : Carottage en 2 points A et B



3 Résultats des mesures radiométriques

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 artificielles dans le sol.

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

La mesure du niveau de rayonnement gamma à la surface du sol permet de vérifier l'absence de contamination surfacique importante par des radionucléides émetteurs de rayonnement gamma. En cas de suspicion de contamination atmosphérique, ce type de mesure peut permettre de réaliser une évaluation rapide du niveau de risque.

3.2 Résultats des mesures

Tableau 1 : Résultats des mesures radiométriques réalisées par les préleveurs (exprimés en $\mu\text{Sv/h}$).

N° préleveur	Commune	Département	Date de la mesure	Appareil de mesure	Moyenne contact	Moyenne à 1 m
1	VILLEBRET	03	18/03/2017 10:00	Kindenoo PG 15-01	0,31	0,30
2	MASSIEUX	01	19/02/2017 17:30	Kindenoo PG 15-02	0,18	0,16
3	MARSEILLE	13	11/03/2017 09:30	Kindenoo PG 15-03	0,08	0,11
4	PUYRICARD	13	18/02/2017 11:00	Kindenoo PG 15-04	0,10	0,11
5	FONTAINE	38	25/02/2017 10:00	Kindenoo PG 15-05	0,14	0,18
6	ORANGE	84	10/03/2017 14:00	Kindenoo PG 15-06	0,15	0,11
7	ALAIRAC	11	19/03/2017 0:00	Kindenoo PG 15-07	0,17	0,19
8	MEYLAN	38	26/03/2017 19:00	Kindenoo PG 15-08	0,17	0,16
9	VARACIEUX	38	21/03/2017 17:00	Kindenoo PG 15-09	0,13	0,15
10	SAINT DIDIER	84	01/03/2017 13:00	Kindenoo PG 15-10	0,17	0,17
11	HIERES SUR AMBY	38	05/03/2017 8:00	Kindenoo PG 15-11	0,20	0,19
12	CHATEAUNEUF DE GALLAURE	26	15/03/2017 18:00	Kindenoo PG 15-12	0,18	0,18
13	St BARDOUX	26	30/03/2017 17:00	Kindenoo PG 15-13	0,15	0,13
14	SEGNY	01	05/03/2017 12:38	Kindenoo PG 15-14	0,20	0,19
15	GRANS	13	04/04/2017 15:00	Kindenoo PG 15-15	0,17 0,15	0,14 0,14
16	DIEULEFIT	26	24/02/2017	Radex : carotte A Radex : carotte B	0,24 0,20	0,18 0,20
17	CROLLES	38	29/03/2017 17:00	Kindenoo PG 15-17	Non réalisée	Non réalisée
18	PAILHARES	07	20/03/2017 7:30	Kindenoo PG 15-18	0,37	0,29
19	NIZEROLLES	03	14/02/2017 11:00	Kindenoo PG 15-19	0,37	0,36
26	TOURNON	07	07/03/2017 10:30	Kindenoo PG 15-26	0,17	0,22

Les résultats des mesures au contact et à un mètre sont respectivement compris entre 0,08 et 0,37 $\mu\text{Sv/h}$ et entre 0,11 et 0,36 $\mu\text{Sv/h}$. Les valeurs maximales sont mesurées en zone granitique (Nizerolles 03, Pailhares 07, Villebret 03), ce qui est attendu, compte tenu de la plus forte teneur en éléments radioactifs naturels des sols concernés (voir tableau 2 pages suivantes).

4 Préparation des échantillons de sol pour analyse par spectrométrie gamma

En cas d'urgence, pour caractériser des retombées récentes, il est préférable de réaliser des analyses sur matière fraîche (sans dessiccation). En effet, de telles mesures permettent de réduire le temps de préparation des échantillons au laboratoire, et ainsi de détecter des radionucléides à courte période physique⁴. Par ailleurs, la mesure sur matière fraîche permet de limiter la déperdition des radionucléides volatils. Il est en outre possible de disposer des résultats dans de meilleurs délais et de réduire l'exposition du personnel en charge du traitement des échantillons au laboratoire.

Les échantillons de sol de surface prélevés en deux points (A et B) sont regroupés par strate (0-5 cm et 5-10 cm) dans une barquette. Les échantillons de sol sont désagglomérés et homogénéisés sommairement avant leur conditionnement en géométrie B250. Les grosses racines et les gros cailloux ont parfois été retirés de l'échantillon. Une fois conditionnés en B250, les échantillons sont analysés sans délais à l'état frais par spectrométrie gamma.

La spectrométrie gamma permet de détecter et de quantifier de nombreux radionucléides naturels (potassium 40, descendants de l'uranium 238, du thorium 232 et de l'uranium 235) et artificiels (césium 137, cobalt 60, iode 131, américium 241, etc.).

Le laboratoire de la CRIIRAD dispose de 2 chaînes de Spectrométrie Gamma HPGe type N (EGG / ORTEC, GMX-N). Efficacité relative 22,3 à 24 % à 1,33 MeV. La résolution typique est de 1,72 keV de largeur à mi-hauteur sur le pic à 1,33 MeV du cobalt 60. Les détecteurs sont refroidis en permanence à l'azote liquide. Les chaînes de détection (haute tension, détecteurs, amplificateur, PC de contrôle) sont situées dans une salle dédiée et climatisée qui n'est accessible qu'au personnel du laboratoire. Le laboratoire de la CRIIRAD est [agréé](#) par l'Autorité de sûreté nucléaire pour les mesures de radioactivité de l'environnement. La portée détaillée de l'agrément est disponible sur le site internet de l'Autorité de sûreté nucléaire.

5 Résultats des analyses de sol superficiel

5.1 Radionucléides naturels

Les principaux résultats, exprimés en Bq/kg frais, concernant les radionucléides naturels dans les sols sont regroupés dans le tableau 2. Dans les différents sols, les activités massiques des radionucléides naturels sont comprises entre < 10 et 87 ± 27 Bq/kg frais pour l'uranium 238 (estimé à partir de son descendant direct le thorium 234), entre 17 ± 5 et 97 ± 16 Bq/kg frais pour le thorium 232 (déterminé à partir de son descendant direct l'actinium 228) et entre < 160 et $1\,130 \pm 160$ Bq/kg frais pour le potassium 40.

Les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont globalement à l'équilibre, aux marges d'incertitude près, à l'exception du **plomb 210** qui est présent en excès. Ce phénomène d'excès, déjà observé par de nombreux scientifiques (Greeman & Rose, 1990⁵ ; Von Gunten *et al.*, 1996⁶) provient de l'existence du radon 222 gazeux, descendant de l'uranium 238. Ce radionucléide migre des sols vers l'atmosphère et donne naissance, lors de sa désintégration, à des radionucléides solides qui se redéposent à la surface du sol. Du fait de sa période physique (22,3 ans), le plomb 210 va ainsi enrichir les horizons de surface.

⁴ La période physique, ou demi-vie, est le temps nécessaire pour que l'activité soit divisée par 2. Après 2 périodes, elle est divisée par 4 ; après 3 périodes par 8 ; après 4 périodes par 16, etc.

⁵ Greeman, D., & Rose, A. (1990). Form and behaviour of radium, uranium and thorium in central Pennsylvania soils derived from dolomite. *Geophysical Research Letters*, 17, p. 833.

⁶ Von Gunten, H. R., Surbeck, H., & Rössler, E. (1996). Uranium Series Disequilibrium and High Thorium and Radium Enrichments in Karst Formations. *Environmental Science and Technology*, 30, p. 1268.

Tableau 2 : Activités des radionucléides naturels dans les différents sols prélevés en Bq/kg frais.

N° préleveur	Commune	Département	Strates	Chaîne de l'uranium 238			Chaîne du thorium 232		Potassium 40
				Thorium 234	Radium 226	Plomb 210	Actinium 228	Plomb 212	
1	VILLEBRET	03	0 - 5 cm	< 60	37 ± 5	52 ± 11	86 ± 11	92 ± 10	780 ± 90
2	MASSIEUX	01	0 - 5 cm	< 42	25 ± 5	52 ± 17	30 ± 7	32 ± 5	< 460
			5 - 10 cm	< 60	25 ± 5	30 ± 12	34 ± 7	32 ± 5	420 ± 70
03	MARSEILLE	13	0 - 5 cm	< 70	28 ± 6	62 ± 21	28 ± 9	18 ± 4	< 270
			5 - 10 cm	< 45	25 ± 5	29 ± 15	< 17	15 ± 4	< 230
4	PUYRICARD	13	0 - 5 cm	< 41	15 ± 4	36 ± 14	< 18	14 ± 3	< 240
			5 - 10 cm	< 38	14 ± 4	35 ± 14	< 17	16 ± 3	< 250
5	FONTAINE	38	0 - 5 cm	< 45	24 ± 4	39 ± 12	23 ± 6	23 ± 4	410 ± 70
			5 - 10 cm	< 43	22 ± 4	31 ± 10	22 ± 6	24 ± 4	370 ± 60
6	ORANGE	84	0 - 5 cm	< 26	14 ± 2	62 ± 13	19 ± 5	19 ± 3	< 160
7	ALAIRAC	11	0 - 5 cm	< 42	21 ± 5	31 ± 14	43 ± 10	42 ± 7	680 ± 110
			5 - 10 cm	< 37	19 ± 4	< 31	40 ± 8	38 ± 6	660 ± 100
8	MEYLAN	38	0 - 5 cm	< 10	15 ± 3	34 ± 13	23 ± 6	26 ± 4	< 360
9	VARACIEUX	38	0 - 5 cm	< 33	12 ± 3	32 ± 13	24 ± 6	8 ± 3	< 470
			5 - 10 cm	< 19	9 ± 2	21 ± 10	17 ± 5	19 ± 3	< 420
10	SAINT DIDIER	84	0 - 5 cm	< 22	20 ± 4	30 ± 12	24 ± 6	23 ± 4	< 360
			5 - 10 cm	< 35	19 ± 4	37 ± 11	24 ± 6	22 ± 4	< 370

Tableau 2 (suite) : Activités des radionucléides naturels dans les différents sols prélevés en Bq/kg frais.

N° préleveur	Commune	Département	Strates	Chaîne de l'uranium 238			Chaîne du thorium 232		Potassium 40
				Thorium 234	Radium 226	Plomb 210	Actinium 228	Plomb 212	
11	HIERES SUR AMBY	38	0 - 5 cm	< 18	18 ± 4	37 ± 12	26 ± 6	22 ± 4	< 310
			5 - 10 cm	< 19	17 ± 3	22 ± 8	19 ± 4	20 ± 3	< 280
12	CHATEAUNEUF DE GALLAURE	26	0 - 5 cm	< 28	16 ± 3	33 ± 11	22 ± 5	24 ± 4	370 ± 60
13	St BARDOUX	26	0 - 5 cm	< 40	25 ± 5	58 ± 17	34 ± 8	38 ± 6	< 480
			5 - 10 cm	< 46	15 ± 4	< 31	22 ± 6	21 ± 4	< 350
14	SEGNY	01	0 - 5 cm	< 23	22 ± 5	38 ± 14	27 ± 8	20 ± 4	< 350
			5 - 10 cm	< 37	24 ± 5	43 ± 15	27 ± 7	28 ± 5	< 440
15	GRANS	13	0 - 5 cm	< 37	13 ± 3	32 ± 12	18 ± 6	17 ± 3	< 360
16	DIEULEFIT	26	0 - 5 cm	87 ± 27	54 ± 9	77 ± 23	76 ± 15	92 ± 12	< 390
17	CROLLES	38	0 - 5 cm	< 33	21 ± 4	35 ± 13	29 ± 7	25 ± 4	< 430
			5 - 10 cm	< 25	16 ± 3	26 ± 9	18 ± 4	19 ± 3	307 ± 48
18	PAILHARES	07	0 - 5 cm	< 70	54 ± 9	60 ± 19	44 ± 10	50 ± 7	1 130 ± 160
			5 - 10 cm	76 ± 21	52 ± 8	48 ± 17	49 ± 10	49 ± 7	1 110 ± 150
19	NIZEROLLES	03	0 - 5 cm	73 ± 21	49 ± 8	73 ± 19	97 ± 16	99 ± 13	940 ± 130
26	TOURNON	07	0 - 5 cm	< 80	45 ± 9	101 ± 29	44 ± 12	49 ± 8	< 700

5.2 Radionucléides artificiels

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma a été détecté dans les échantillons de sol analysés. Il s'agit du **césium 137**, produit de fission émetteur bêta-gamma de période physique égale à **30 ans**.

Les échantillons ayant été analysés sans délai à l'état frais, les conditions sont propices à la mesure de l'iode 131, radionucléide volatil de période courte (8 jours).

Dans le tableau 3 sont reportées les activités massiques ou les limites de détection pour le césium 134 et 137, l'iode 131, ainsi que l'activité surfacique du césium 137, estimée à partir des données suivantes :

- activité massique mesurée,
- masse d'échantillon analysée (lors du conditionnement seuls les cailloux et les racines ligneuses ont été retirés, nous faisons l'hypothèse que ces éléments ne contiennent pas de césium 137),
- surface prélevée : il s'agit dans le cas présent de deux fois la surface du carottier de diamètre de 62 mm.

L'activité massique du **césium 137** varie de **< 3,5 Bq/kg frais** pour la strate de 0 à 5 cm prélevée à Alairac (Aude), à **68 ± 9 Bq/kg frais** pour la strate de 0 à 5 cm prélevée à St Bardoux (Drôme).

L'objectif de cette étude étant d'établir un point zéro, seuls les 5 premiers centimètres de sols ont été prélevés et analysés de manière systématique.

Les dépôts retenus dans la strate de 0 à 5 cm sont compris entre **< 165 Bq/m²** pour Alairac et **2 506 Bq/m²** pour St Bardoux. L'activité surfacique en césium 137 obtenue ne représente pas l'ensemble de la contamination résiduelle du sol.

En effet, les études réalisées en 2014 (Alsace) et 2015 (Rhône-Alpes) par le laboratoire de la CRIIRAD au moyen de carottages en profondeur montrent que 80 % environ du césium 137 déposé par les retombées de Tchernobyl (en 1986) et par les retombées des essais nucléaires atmosphériques (particulièrement intenses dans les années 50-60⁷), est présent dans les 20 premiers centimètres de sol et qu'une partie a migré vers les strates plus profondes (jusqu'à 30 à 50 cm de profondeur et potentiellement au-delà).

Dans tous les échantillons de sol étudiés, les activités du césium 134 et de l'iode 131 sont inférieures aux limites de détection.

⁷ Les essais militaires atmosphériques perpétrés par les Etats-Unis (à partir de 1945), l'Union Soviétique (1949), le Royaume Uni (1952), la France (1960) et enfin la Chine (1964) ont engendré des retombées radioactives sur l'ensemble des deux hémisphères dont les principaux radionucléides sont ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁹¹Y, ⁹⁵Zr, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹²⁵Sb, ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴¹Ce, ¹⁴⁴Ce, ⁵⁴Mn et ⁵⁵Fe (UNSCEAR, (2000)).

Tableau 3 : Activité massique (en Bq/kg frais) du césium 137, du césium 134 et de l'iode 131 dans les sols et activité surfacique (en Bq/m²) du césium 137 dans les strates analysées

N° préleveur	Commune	Département	Strates	Activité massique (Bq/kg frais)			Activité surfacique (Bq/m²)
				Césium 137	Césium 134	Iode 131	Césium 137
1	VILLEBRET	03	0 - 5 cm	6,6 ± 1,1	< 0,20	< 0,34	354 ± 59
2	MASSIEUX	01	0 - 5 cm	7,7 ± 1,9	< 0,44	< 1,0	314 ± 78
			5 - 10 cm	8,7 ± 1,9	< 0,42	< 1,0	397 ± 87
3	MARSEILLE	13	0 - 5 cm	15 ± 3	< 0,7	< 1,2	499 ± 112
			5 - 10 cm	12 ± 3	< 0,7	< 1,2	433 ± 101
4	PUYRICARD	13	0 - 5 cm	4,9 ± 1,7	< 0,7	< 1,2	203 ± 71
			5 - 10 cm	5,1 ± 1,6	< 0,6	< 1,7	238 ± 75
5	FONTAINE	38	0 - 5 cm	10 ± 2	< 0,41	< 0,48	478 ± 95
			5 - 10 cm	9,7 ± 1,9	< 0,39	< 0,5	474 ± 93
6	ORANGE	84	0 - 5 cm	11 ± 2	< 0,22	< 0,4	415 ± 63
7	ALAIRAC	11	0 - 5 cm	< 3,5	< 0,6	< 0,9	< 165
			5 - 10 cm	3,3 ± 1,1	< 0,43	< 0,8	210 ± 70
8	MEYLAN	38	0 - 5 cm	8,5 ± 1,9	< 0,44	< 1,1	473 ± 106
9	VARACIEUX	38	0 - 5 cm	16 ± 3	< 0,44	< 0,7	667 ± 118
			5 - 10 cm	17 ± 3	< 0,38	< 0,7	807 ± 132
10	SAINT DIDIER	84	0 - 5 cm	4,8 ± 1,3	< 0,41	< 1,5	213 ± 58
			5 - 10 cm	4,9 ± 1,3	< 0,41	< 2,0	227 ± 60
11	HIERES SUR AMBY	38	0 - 5 cm	14 ± 2	< 0,36	< 0,4	663 ± 118
			5 - 10 cm	14 ± 2	< 0,23	< 0,27	856 ± 127
12	CHATEAUNEUF DE GALLAURE	26	0 - 5 cm	10 ± 2	< 0,32	< 0,5	602 ± 112
13	St BARDOUX	26	0 - 5 cm	68 ± 9	< 0,49	< 1,0	2 506 ± 332
			5 - 10 cm	30 ± 5	< 0,5	< 1,1	1 481 ± 239
14	SEGNY	01	0 - 5 cm	9,4 ± 2,4	< 0,60	< 1,1	419 ± 107
			5 - 10 cm	11 ± 2	< 0,50	< 0,9	428 ± 91
15	GRANS	13	0 - 5 cm	7 ± 2	< 0,46	< 0,9	364 ± 94
16	DIEULEFIT	26	0 - 5 cm	18 ± 4	< 0,7	< 1,1	681 ± 142

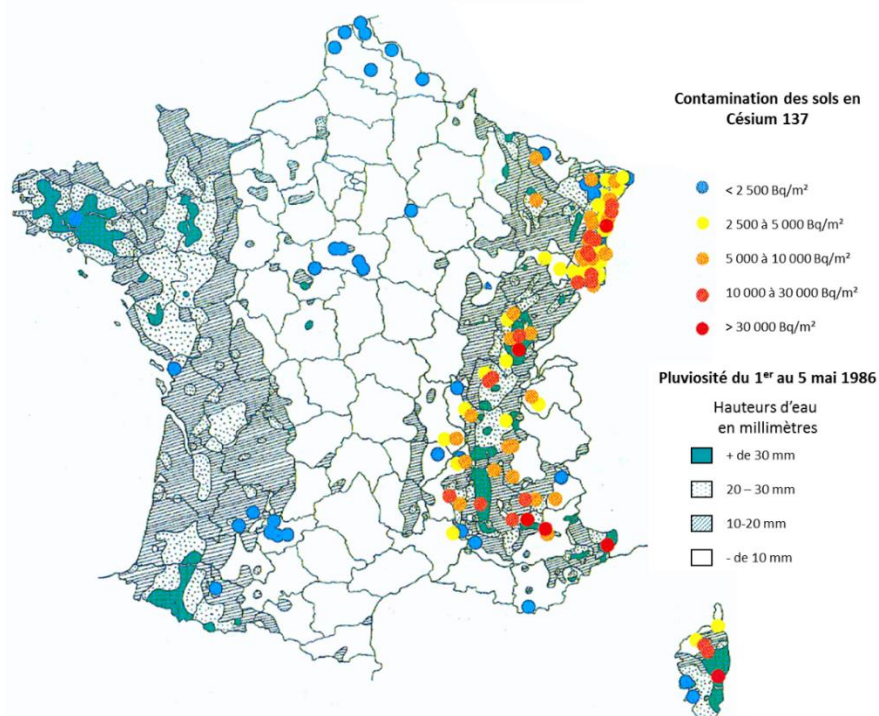
Tableau 3 (suite) : Activité massique (en Bq/kg frais) du césium 137, du césium 134 et de l'iode 131 dans les sols et activité surfacique (en Bq/m²) du césium 137 dans les strates analysées

N° préleveur	Commune	Département	Strates	Activité massique (Bq/kg frais)			Activité surfacique (Bq/m ²)
				Césium 137	Césium 134	Iode 131	Césium 137
17	CROLLES	38	0 - 5 cm	3,5 ± 1,4	< 0,47	< 0,7	137 ± 55
			5 - 10 cm	2,8 ± 0,8	< 0,28	< 0,5	175 ± 50
18	PAILHARES	07	0 - 5 cm	7,0 ± 2,1	< 0,6	< 0,6	331 ± 99
			5 - 10 cm	8,7 ± 1,9	< 0,5	< 0,6	500 ± 109
19	NIZEROLLES	03	0 - 5 cm	10 ± 2	< 0,5	< 1,8	621 ± 133
26	TOURNON	07	0 - 5 cm	27 ± 5	< 1,0	< 1,2	852 ± 158

Comparaison avec les mesures CRIIRAD antérieures

La carte des retombées de Tchernobyl en césium 137 sur le territoire français, établie sur la base de 152 carottages réalisés de **1987 à 1993** et publiée par le laboratoire de la CRIIRAD montre que les dépôts s'étendaient en mai 1986 de < 2 500 Bq/m² à **plus de 30 000 Bq/m²** (carte 2). La zone la plus affectée par les retombées de Tchernobyl recouvrait un large tiers est de la France, de la **Corse à l'Alsace-Lorraine**. Dans cette bande orientale, près de la moitié des sites contrôlés présentait des dépôts de césium 137 supérieurs à 5 000 Bq/m² et plus d'un cinquième (22 %), des dépôts supérieurs à 10 000 Bq/m². A cette époque, du fait de la persistance du césium 134, la CRIIRAD a pu distinguer la contamination imputable à Tchernobyl de celle, antérieure, liée aux essais nucléaires militaires.

Carte 2 : Carte CRIIRAD des retombées de Tchernobyl en césium 137 sur le territoire français (activité surfacique du césium 137 ramenée à mai 1986 et exprimée en Bq/m²).



Entre **1999 et 2001**, le géologue indépendant André Paris a réalisé plus de 3000 mesures dans toute la France, et jusqu'en Ukraine. Les activités en césium 137 obtenues ont permis de réaliser un [Atlas](#). La partie sud de la carte détaillée du territoire français, montre une contamination résiduelle des sols en césium 137 s'étendant de 1 000 à plus de 50 000 Bq/m² (carte 3).

Ces mesures effectuées selon une méthodologie établie avec le laboratoire de la CRIIRAD, rendent compte de la contamination superficielle des sols dits « de bonne conservation ». Quatorze ans après la catastrophe, les sols restaient contaminés par le césium 137 provenant essentiellement du reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques, particulièrement intenses dans les années 50-60 et des retombées de la catastrophe de Tchernobyl en 1986. Du fait de la disparition du césium 134, il n'était plus possible alors de discriminer les différentes contributions.

En **2017**, on remarque que les sols pour lesquels les activités surfaciques en césium 137 sur les 10 premiers centimètres dépassent 1 000 Bq/m² (St Bardoux 26, Varacieux 38, Hière sur Amby 01, etc.) correspondent aux secteurs sur lesquels la contamination détectée en 2000 était supérieure à 5 000 Bq/m².

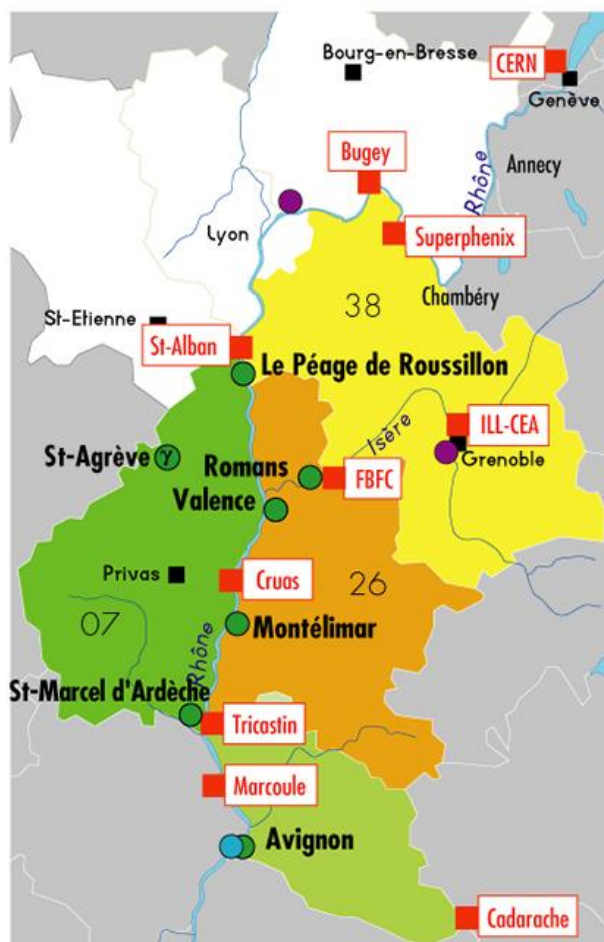
Le rapport [CRIIRAD N°17-34](#) apporte une discussion complémentaire sur les profils de contamination et les facteurs de diminution de la contamination au cours du temps.

Carte 3 : Niveaux de contamination par le césium 137 du sol superficiel en 1999-2000 (en Bq/m²) obtenus par mesures *in situ* au moyen d'un spectromètre portable (source : Atlas des contaminations radioactives France-Europe, A Paris et CRIIRAD)



ANNEXE 1

Présentation du réseau de balises de la CRIIRAD



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

Rhône-Alpes

Association
CRIIRAD
Laboratoire

Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur

LA
DRO
ME
LE DÉPARTEMENT

ardèche
LE CONSEIL GÉNÉRAL

isère
Conseil Général
Plus proche de vous !

Département
de
VAUCLUSE

AVIGNON
www.avignon.fr

La ville de
Romans

VALENCE ROMANS
SUD RHÔNE-ALPES

grand
avignon
conseil d'agglomération

montélimar
agglomération

COMMANAUTE DES COMMUNES
DU PAYS D'ARDECHE

BOULEVARD
D'ARDECHE

Ville de Saint-Agrève

Communes du réseau Montilien :

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