



Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

Rapport N° 15-04

CARACTERISATION RADIOLOGIQUE DU SOL ET DE L'HERBE DE SAINT AGREVE (07)

Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD dans le cadre de
l'exploitation du réseau de balises de surveillance de la radioactivité

Date de la mission de terrain : 30 octobre 2014

Date de rédaction du rapport : Janvier – mars 2015

Responsable d'étude : **Bruno CHAREYRON**, directeur du laboratoire

Rédacteur du rapport : **Marion JEAMBRUN**, docteur en géochimie

Mission de terrain : **Christian COURBON**, technicien spécialisé, **Marion JEAMBRUN**, responsable qualité et **Bruno CHAREYRON**, ingénieur en physique nucléaire

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

Préparations des échantillons : **Jocelyne RIBOUËT**, technicienne de laboratoire.

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

29 cours Manuel de Falla, 26000 Valence

☎ 04 75 41 82 50

📠 04 75 81 26 48

	Emetteur	Approbateur
Nom	Marion JEAMBRUN	Bruno CHAREYRON
Fonction	Responsable qualité	Directeur du laboratoire
Date	31/03/15	31/03/15
Signature		

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
2	REALISATION DES PRELEVEMENTS.....	3
3	RESULTATS DES MESURES RADIOMETRIQUES	4
3.1	Objectifs	4
3.2	Résultats des mesures.....	4
3.2.1	Flux de photons.....	4
3.2.2	Débit d'équivalent de dose (H*10).....	5
3.2.3	Taux de contamination alpha-bêta-gamma	5
4	PREPARATION DES ECHANTILLONS POUR ANALYSE PAR SPECTROMETRIE GAMMA	5
4.1	Carottage en trois points.....	5
4.2	Horizon de sol de surface et herbe	6
5	RESULTATS DES ANALYSES DU CAROTTAGE DE SOL	6
5.1	Radionucléides naturels	6
5.2	Radionucléides artificiels.....	7
6	RESULTATS DES ANALYSES D'HERBE ET DES HORIZONS DE SURFACE	8
6.1	Radionucléides naturels	8
6.2	Radionucléides artificiels.....	9
7	CONTRIBUTION DU CESIUM 137 A L'EXPOSITION EXTERNE	9
	ANNEXE 1 SCHEMA EXPLICATIF DU TRAITEMENT DES ECHANTILLONS DE SOL DU CAROTTAGE EN TROIS POINTS.....	11
	ANNEXE 2 RESULTATS DES ANALYSES DE SPECTROMETRIE GAMMA REALISEES PAR LA CRIIRAD SUR LES STRATES DU CAROTTAGE DE SOL EN TROIS POINTS.....	12
	ANNEXE 3 RESULTATS DES ANALYSES DE SPECTROMETRIE GAMMA REALISEES PAR LA CRIIRAD SUR LES ECHANTILLONS D'HERBE ET DE SOL DE SURFACE	13

1 Contexte et objectifs

Contexte

Le laboratoire de la CRIIRAD gère une sonde gamma implantée à Saint Agrève dans un but de surveillance de la radioactivité atmosphérique.

Cet outil fait partie du réseau de surveillance de la radioactivité de l'air exploité par la CRIIRAD. Sur la partie ardéchoise, le réseau comporte également une balise située à Saint-Marcel d'Ardèche. Les stations situées en Drôme et en Ardèche sont exploitées grâce au soutien financier du Conseil Régional de Rhône-Alpes, du Conseil Général de l'Ardèche et du Conseil Général de la Drôme ainsi que d'autres collectivités locales¹. 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.

L'accord cadre 2014-2016, qui précise les conditions d'exploitation de ce réseau, prévoit que 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.

La réalisation de ces prélèvements est particulièrement utile dans le cas de la sonde de Saint-Agrève, car cette dernière ne renseigne que sur le débit de dose dans l'air ambiant et ne comporte pas de dispositif d'échantillonnage de l'air, contrairement aux autres stations du réseau.

Dans le cadre du programme 2014, la CRIIRAD a mis œuvre les contrôles complémentaires décrits ci-après.

Carottage de sol en 3 points sur 50 cm de profondeur

Ce prélèvement s'inscrit dans la continuité des évaluations conduites par le laboratoire de la CRIIRAD depuis la mise au point, en 1987, du protocole de prélèvement de sol par carottage qui permet de rendre compte de la distribution verticale de la contamination, d'évaluer la migration en profondeur des radionucléides et de reconstituer les activités surfaciques. Grâce au traceur que constituait alors le césium 134, il était possible de déterminer les niveaux de retombées radioactives imputables à Tchernobyl ainsi que la contamination antérieure, imputable aux essais nucléaires militaires (particulièrement intenses dans les années 50-60). En 2014, le césium 134 de Tchernobyl a totalement disparu compte tenu de sa période courte (2 ans). Il devrait subsister par contre le **césium 137**, dont la période physique est de **30 ans**, cela signifie que moins de la moitié du césium 137 échappé du réacteur de Tchernobyl en 1986 s'est désintégrée. En 2046, subsistera encore un quart du césium 137 ; un huitième en 2076.

La réalisation de ce carottage avait deux objectifs : déterminer le niveau de contamination résiduelle en césium 137 et sa répartition en fonction de la profondeur et disposer d'une caractérisation actualisée de l'activité massique des principaux radionucléides naturels et artificiels émetteurs gamma dans les sols (état de référence).

Afin de rendre compte au mieux des contaminations anciennes (et en particulier de celle de Tchernobyl), le choix des terrains doit satisfaire, dans la mesure du possible, aux critères suivants :

- Terrain plat.

¹ Ces stations sont exploitées avec le soutien de la **Région Rhône-Alpes**, des départements d'**Ardèche**, de **Drôme** et d'**Isère**, des communautés d'agglomération **Valence Romans Sud Rhône-Alpes** et de **Montélimar-Agglomération**, des communautés de communes du **Pays Roussillonnais**, **Du Rhône Aux Gorges de l'Ardèche**, de la **Ville de Romans**, de la **Ville de Saint-Agrève**, et des communes du réseau montilien (**Aleyrac**, **Clionsclat**, **Dieulefit**, **La Bégude-de-Mazenc**, **Larnas**, **Le Poët-Laval**, **Loriol-sur-Drôme**, **Rochebaudin**, **Saint-Bauzile**, **Saint-Montan**, **Souspierre**).

- Terrain n'ayant pas subi de remaniement depuis l'accident de Tchernobyl.
- Terrain dégagé, dépourvu de végétation pérenne.
- Terrain non soumis aux prélèvements de végétation (ni cultivé, ni pâturé).

Il s'agit d'exclure les prélèvements en zone d'accumulation (point bas, sous-sol forestier, etc.) et de déperdition des radionucléides (point haut, zone cultivée avec retrait de la végétation) de façon à obtenir des conditions de « bonne conservation » des dépôts de 1986.

Echantillonnage d'herbe et de sol superficiel

En cas de contamination nouvelle, il sera très important de déterminer rapidement les niveaux de retombées au sol (exprimés en Becquerels par mètre carré). La CRIIRAD a donc choisi une seconde station, d'accès aisé, proche de la sonde gamma, qui pourra être retenue à l'avenir pour un échantillonnage rapide du couvert végétal et du sol superficiel. En effet, en cas d'alarme de la sonde gamma, il sera nécessaire d'échantillonner rapidement ces milieux.

Choix des stations

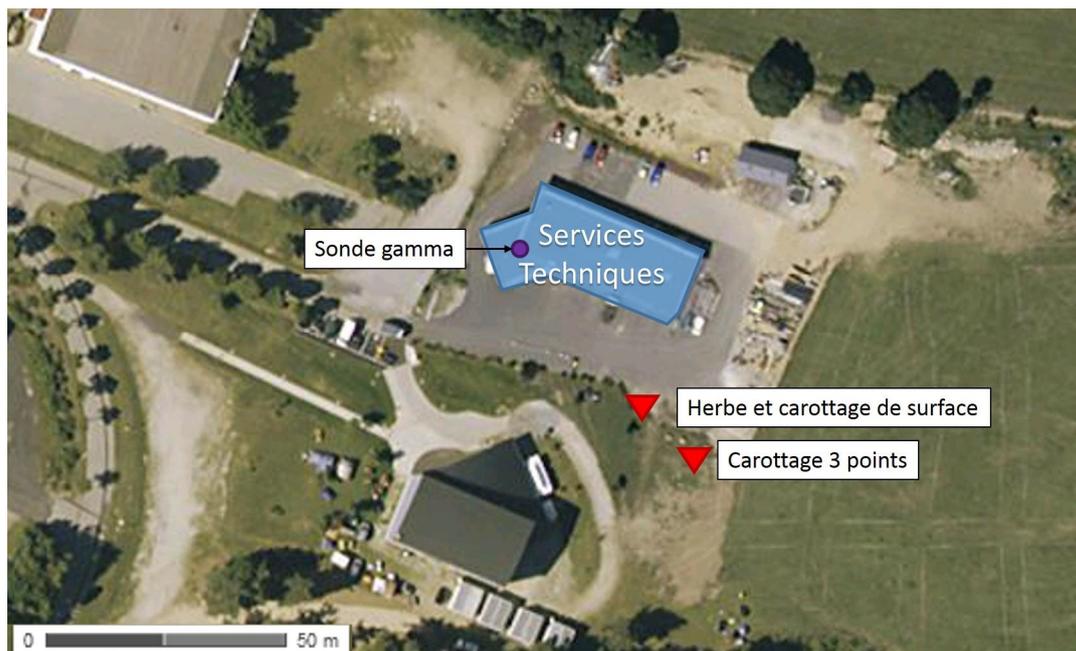
La station pour le carottage de sol a été choisie par monsieur Christian Courbon, technicien spécialisé en charge des interventions de terrain, avec l'aide des services techniques de la ville de Saint Agrève et après vérifications sur photographies satellite que le terrain n'avait pas été remanié depuis 1986.

Il s'agit d'un terrain plat, non cultivé, et présentant ainsi une certaine capacité de « conservation » des retombées anciennes. La couverture du terrain consiste en une prairie non fauchée. Cependant, il a été constaté sur le terrain, la présence de bouses de vaches ce qui indique une pâture occasionnelle susceptible d'avoir entraîné une « exportation » de la contamination ancienne.

La station d'échantillonnage de l'herbe et des horizons de surface des sols a été choisie par monsieur Bruno Chareyron, directeur du laboratoire. Il s'agit d'un terrain plat, légèrement en contrebas de la station de carottage de sol en trois points. Le sol y est recouvert d'une pelouse entretenue avec récupération de la tonte. Ceci signifie que la couverture en herbe est extraite régulièrement ce qui peut conduire à une « exportation » de la part de la contamination associée au couvert végétal.

L'emplacement des deux stations d'échantillonnage est précisé sur la Figure 1.

Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage du carottage trois points et de l'herbe et du carottage de surface.



Les coordonnées GPS des deux stations sont : N 45.01104° E 004.41173° pour la station de carottage de sols en trois points et N 45.01121° E 004.41151° pour la station d'échantillonnage de l'herbe et du sol superficiel.

2 Réalisation des prélèvements

Les mesures radiométriques et de débit de dose, *in situ* et le carottage de sol en trois points ont été effectués le **30 octobre 2014** par monsieur Christian Courbon, technicien spécialisé, et madame Marion Jeambrun, responsable qualité du laboratoire de la CRIIRAD.

Le sol de référence a été prélevé par carottage (tube calibré d'un diamètre de 68 mm). Trois carottes (A, B et C) ont été effectuées aux sommets d'un triangle équilatéral de 1 m de côté.

Chaque carotte comporte six strates constituant six échantillons :

- 0 - 5 cm (avec racines)
- 5 - 10 cm
- 10 - 20 cm
- 20 - 30 cm
- 30 - 40 cm
- 40 - 50 cm

A noter, la présence d'arènes granitiques dans l'horizon de 10 à 20 cm des trois carottes.

A proximité du premier emplacement (*cf.* figure 1 page précédente), un prélèvement de la végétation de surface (**herbe**) a été effectué au ciseau sur 0,04 m² (carré de 20 cm de côté) par monsieur Bruno Chareyron, directeur du laboratoire, suivi d'un prélèvement en deux points des horizons de surface du sol (0 - 5 cm et 5 - 10 cm) au moyen d'un petit carottier (diamètre de 62,5 mm).

Les prélèvements sont illustrés par les photographies suivantes.

Photo 1 : Vue de la station de prélèvement des sols par carottage en trois points durant les mesures radiométriques



Photo 2 : Réalisation du carottage de sol



3 Résultats des mesures radiamétriques

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. L'utilisation d'un contaminomètre alpha-bêta-gamma permet de compléter le diagnostic.

3.2 Résultats des mesures

Des mesures radiamétriques ont été effectuées le **30 octobre 2014** au niveau des deux stations d'échantillonnage et à leurs abords.

3.2.1 Flux de photons

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, appareil CRIIRAD N°6). 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 $\pm 10\%$ de 100 keV à 700 keV et de $\pm 50\%$ 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.

Station de carottage en trois points :

- Contact du sol : 150 à 170 c/s
- 1 m du sol : 140 à 160 c/s
- Balayage aléatoire à 1 m du sol sur un parcours de 50 m : 110 à 140 c/s

3.2.2 Débit d'équivalent de dose (H*10)

Le débit d'équivalent de dose (H*10) a été mesuré avec un compteur proportionnel compensé en énergie Berthold LB123D à la station de carottage en trois points. 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 $\mu\text{Sv/h}$ 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 $\pm 30 \%$ pour le césium 137 à 661,7 keV. Chaque résultat est en réalité la moyenne d'au moins 3 mesures de 100 secondes.

- Moyenne au contact du sol : 0,23 $\mu\text{Sv/h}$
- Moyenne à 1 m du sol : 0,20 $\mu\text{Sv/h}$

3.2.3 Taux de contamination alpha-bêta-gamma

Le taux de contamination a été mesuré avec un contaminomètre alpha-bêta-gamma MCB2 de marque Canberra (mesure durant 30 secondes). Cet appareil est constitué d'un détecteur Geiger Muller équipé d'un capot métallique permettant de discriminer les rayonnements alpha et bêta des rayonnements gamma. Le rendement de détection est compris entre 17 et 50 % selon le type de rayonnement. Les résultats sont exprimés en coups par seconde (c/s).

Station de carottage en trois points :

- Contact du sol, sans capot (alpha-bêta-gamma) : 0,4 à 3,6 c/s
- Contact du sol, avec capot (bêta-gamma) : 0,4 à 2,6 c/s

Station d'échantillonnage de l'herbe et des horizons de surface :

- Contact du sol, sans capot (alpha-bêta-gamma) : 0,2 à 3,0 c/s
- Contact du sol, avec capot (bêta-gamma) : 0,4 à 2,6 c/s

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 ce site.

4 Préparation des échantillons pour analyse 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 uranium 235) et artificiels (césium 137, cobalt 60, iode 131, américium 241, etc.).

4.1 Carottage en trois points

Lorsqu'il s'agit d'étudier l'impact de retombées anciennes, il est préférable de procéder à des analyses sur le sol après dessiccation et tri. La dessiccation permet en effet d'améliorer l'homogénéisation de l'échantillon et la précision de la mesure. Pour des retombées anciennes, le fait de procéder à une dessiccation et donc de rallonger le temps écoulé entre le prélèvement et la mesure ne pose pas de problème puisque l'on cherche à mesurer des radionucléides à période longue.

Les trois carottes de sol sont regroupées et homogénéisées par strate. Chaque échantillon est soumis à une dessiccation à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante. Les strates sont ensuite concassées afin de désagglomérer les mottes de terre, puis tamisées à 2 mm afin d'éliminer les cailloux. Seule la fraction inférieure à 2 mm est conditionnée en géométrie Marinelli (500 cc) et fait l'objet d'une analyse par spectrométrie gamma.

L'ANNEXE 1 illustre par un schéma explicatif le traitement des échantillons de sol prélevés par carottage en trois points.

4.2 Horizon de sol de surface et herbe

En cas d'intervention en urgence suite à une alarme de la sonde gamma, ou d'une manière générale 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. 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 les meilleurs délais et de réduire l'exposition du personnel en charge du traitement des échantillons au laboratoire.

NB : Pour les sols, il était intéressant de comparer les résultats obtenus pour le césium 137 selon le protocole classique (analyse en géométrie Marinelli 500 cc après dessiccation) avec ceux obtenus dans le cadre du protocole d'urgence (analyse directe sur matière fraîche en géométrie 250 cc).

Les échantillons de sol de surface prélevés en deux points sont regroupés par strate. La première strate de 0 à 5 cm, constituée de terre, de racine et d'herbe est homogénéisée sommairement avant son conditionnement en géométrie B250. Une fois conditionnés en B250, les échantillons sont analysés sans délais à l'état frais par spectrométrie gamma.

5 Résultats des analyses du carottage de sol

Les résultats des analyses du carottage de sol par spectrométrie gamma sont détaillés en ANNEXE 2.

5.1 Radionucléides naturels

Les principaux résultats, exprimés en Bq/kg sec, concernant les radionucléides naturels dans les 6 strates de sol sont regroupés dans le Tableau 1.

Radioactivité naturelle	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm	40 - 50 cm	Moyenne
Chaîne de l'Uranium 238							
Thorium 234	63 ± 16	56 ± 11	57 ± 13	70 ± 12	75 ± 14	79 ± 13	67 ± 10
Radium 226 ²	71 ± 10	74 ± 9	75 ± 9	73 ± 8	75 ± 9	76 ± 9	74 ± 2
Plomb 210	77 ± 17	67 ± 12	58 ± 13	61 ± 11	70 ± 13	64 ± 12	66 ± 7
Uranium 235	< 4	< 3	< 3	< 2	< 3	< 2	
Chaîne du Thorium 232							
Actinium 228	53 ± 9	60 ± 8	67 ± 9	69 ± 9	65 ± 9	71 ± 9	64 ± 7
Plomb 212	55 ± 7	63 ± 7	66 ± 8	69 ± 8	70 ± 8	73 ± 8	66 ± 6
Potassium 40	850 ± 110	900 ± 100	970 ± 110	1 010 ± 110	930 ± 110	990 ± 110	942 ± 60

Tableau 1 : Activités des radionucléides naturels dans les différentes strates du sol en Bq/kg sec.

² L'activité du radium 226 est établie à partir de l'activité de ses descendants, le plomb 214 et le bismuth 214. Il s'agit ici d'une évaluation hors équilibre (évaluation par défaut).

Dans les différentes strates de sol, les activités massiques des radionucléides naturels des chaînes de l'uranium 238, du thorium 232 et celle du potassium 40 sont supérieures aux valeurs moyennes de l'écorce terrestre qui sont respectivement de 40, 40 et 400 Bq/kg sec (valeurs typiques). **Elles sont cependant cohérentes avec les valeurs mesurées dans les sols de régions granitiques** (5 et 15 ppm pour l'uranium et le thorium respectivement³ soit environ 60 Bq/kg).

Les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont globalement à l'équilibre, aux marges d'incertitude près.

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 activités massiques du césium 134 et du césium 137 sont présentées dans le Tableau 2. L'activité surfacique du césium 137, également présentée dans ce tableau, est calculée à partir des données suivantes :

- activité massique mesurée,
- masse totale d'échantillon prélevée à laquelle est soustraite la masse de la fraction supérieure à 2 mm (masse de cailloux ne contenant pas de césium 137).
- surface prélevée : il s'agit dans le cas présent de trois fois la surface du carottier d'un diamètre de 68 mm.

Radioactivité artificielle	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm	40 - 50 cm	Total
¹³⁴ Cs (Bq/kg sec)	< 0,27	< 0,12	< 0,17	< 0,12	< 0,18	< 0,12	
¹³⁷ Cs (Bq/kg sec)	13 ± 2	11 ± 2	4 ± 1	< 0,9	< 0,2	< 0,2	
¹³⁷ Cs (Bq/m ²)	853 ± 148	976 ± 139	565 ± 127	< 95	< 28	< 13	2 395 ± 550

Tableau 2 : Activité massique (en Bq/kg sec) du césium 134 et du césium 137 et activité surfacique (en Bq/m²) du césium 137 dans les différentes strates de sol.

Dans tous les échantillons de sol issus du carottage en trois points, l'activité du césium 134 est inférieure aux limites de détection.

L'activité massique du césium 137 varie de < 0,2 Bq/kg sec, pour les strates de 30 à 50 cm, à 13 ± 2 Bq/kg sec pour la strate de 0 à 5 cm. Les activités les plus fortes sont présentes dans les horizons de surface.

L'activité totale cumulée sur les différentes strates correspond à un dépôt résiduel de **2 395 Bq/m²**.

Le dépôt initial de mai 1986 lié à Tchernobyl⁴ ainsi que les dépôts antérieurs (retombées des essais nucléaires particulièrement intenses dans les années 50-60), étaient nécessairement plus élevés du fait :

- de la décroissance par désintégration du césium 137 au cours du temps (48 % du césium 137 présent dans les sols en mai 1986 se sont désintégrés).
- des différents mécanismes de redistribution de la contamination tels que le lessivage en profondeur ou le ruissellement de surface par les pluies, et le transfert aux végétaux.

³ Tzortzis, M., Tsertos, H., 2004. Determination of thorium, uranium and potassium elemental concentrations in surface soils in Cyprus. Journal of Environmental Radioactivity, 77, 325–338.

⁴ Une partie du césium 137 détecté en 2014 pourrait provenir en outre des retombées de la catastrophe de Fukushima qui ont atteint la France à partir de la fin du mois de mars 2011. Cependant, l'absence de niveaux mesurables de césium 134 dans la couche superficielle du sol ne permet pas de distinguer la part de césium 137 liée aux retombées de Fukushima.

En tenant compte uniquement de la décroissance du césium 137 l'activité surfacique totale en mai 1986 serait d'environ **4 700 Bq/m²**. D'après les études menées par le laboratoire de la CRIIRAD sur l'évolution de la contamination en césium 137 dans les sols d'Alsace⁵, il s'avère qu'une part importante de césium 137 a été transférée dans les premières années suivant les dépôts de Tchernobyl. Le facteur de déperdition dépend de nombreux paramètres et est donc susceptible d'être très différent d'un sol à l'autre. A partir du facteur moyen déduit des études de la CRIIRAD, on peut estimer, qu'à Saint Agrève, l'activité surfacique totale en césium 137 en 1986 serait plutôt de l'ordre de **15 000 Bq/m²**.

On remarque que ce dépôt est comparable aux valeurs relevées par le laboratoire de la CRIIRAD dans la couche superficielle des sols de l'est de la France suite aux retombées de l'accident de Tchernobyl en mai 1986 et du reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 50-60.

En effet, les carottages de sol réalisés de 1988 à 1989, en 7 sites en Ardèche avaient permis au laboratoire de la CRIIRAD d'estimer une activité surfacique totale en césium 137 (ramené à mai 1986) comprise entre **7 461 Bq/m²** (Bouliou les Annonay) et **22 670 Bq/m²** (Mirabel).

6 Résultats des analyses d'herbe et des horizons de surface

6.1 Radionucléides naturels

Les principaux résultats, exprimés en Bq/kg frais, concernant les radionucléides naturels dans l'herbe et les horizons de surface sont regroupés dans le tableau 3.

Radioactivité naturelle	Herbe	Sol	
		0 - 5 cm	5 - 10 cm
Chaîne de l'Uranium 238			
Thorium 234	< 42	< 48	46 ± 13
Radium 226 ⁶	< 8	42 ± 8	44 ± 6
Plomb 210	< 46	56 ± 17	41 ± 12
Uranium 235	< 27	< 7	< 4,3
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	< 40	48 ± 10	50 ± 8
Plomb 212	< 10	45 ± 7	53 ± 7
Potassium 40	< 340	550 ± 90	750 ± 100
Béryllium 7	177 ± 50	26 ± 10	< 2,1

Tableau 3 : Activité des radionucléides naturels dans l'échantillon d'herbe et les horizons de sol de surface en Bq/kg frais.

Dans l'échantillon d'herbe, les activités des radionucléides naturels sont inférieures aux limites de détection de la méthode utilisée, excepté pour le béryllium 7, radionucléide d'origine cosmogénique, qui présente une activité de 177 ± 50 Bq/kg frais. La période radioactive de ce radionucléide est de 53,3 jours ce qui ne permet pas son accumulation dans les strates plus profondes.

Les activités des radionucléides naturels d'origine tellurique mesurées dans les horizons de surface du sol sont cohérentes avec les activités mesurées dans les premières strates du carottage en trois points si l'on considère un taux de matière sèche de 80 % (les taux de matières sèches mesurés étaient de 81,3 et 82,9%).

⁵ Rapport CRIIRAD N°99-11 Bilan des retombées de Tchernobyl dans les sols de la région Alsace (1999).

⁶ L'activité du radium 226 correspond à une évaluation par défaut, les conditions d'équilibre avec ses descendants, le plomb 214 et le bismuth 214 n'étant pas respectées.

6.2 Radionucléides artificiels

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

Les activités massiques de l'iode 131, du césium 134 et du césium 137 sont présentées dans le Tableau 4, ci-dessous. L'activité surfacique du césium 137 est également présentée dans ce tableau. Elle tient compte, dans ce cas, d'une surface de 2 fois celle du petit carottier de diamètre de 62,5 mm.

Dans l'herbe, les activités massiques de tous les radionucléides artificiels émetteurs gamma recherchés sont inférieures aux limites de détection (par exemple pour le césium 137 < 2,4 Bq/kg frais, soit < 3,8 Bq/m²).

Seul le **césium 137** a été détecté dans les échantillons de sol de surface analysés. Son activité massique est comprise entre **11 et 13 Bq/kg frais** soit des valeurs comparables, à celles mesurées dans les strates équivalentes du carottage en 3 points. Les dépôts respectifs correspondants sont de 611 ± 126 et 736 ± 129 Bq/m².

Pour tous les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma recherchés, présentés en ANNEXE 3, (manganèse 54, cobalt 58, cobalt 60, ruthénium 106, argent 110^m, antimoine 125, césium 134, cérium 144, américium 241), les activités sont inférieures aux limites de détection.

Radioactivité artificielle	Herbe	Sol 0 - 5 cm	Sol 5 - 10 cm
¹³¹ I (Bq/kg frais)	< 1,80	< 0,60	< 0,35
¹³⁴ Cs (Bq/kg frais)	< 1,80	< 0,42	< 0,27
¹³⁷ Cs (Bq/kg frais)	< 2,4	13 ± 3	11 ± 2
¹³⁷ Cs (Bq/m ²)	< 3,8	611 ± 126	736 ± 129

Tableau 4 : Activité massique (en Bq/kg frais) de l'iode 131, du césium 134 et du césium 137 et activité surfacique (en Bq/m²) du césium 137 dans l'herbe et les horizons de surface du sol.

7 Contribution du césium 137 à l'exposition externe

A partir des teneurs en radionucléides naturels et artificiels émetteurs gamma mesurées au laboratoire de la CRIIRAD dans la strate superficielle (0 – 5 cm) du carottage de sol en trois points, il est possible d'estimer le débit de dose théorique à 1 mètre du sol, comme présenté dans le Tableau 5.

Radionucléides	Facteur de conversion nGy/h par Bq/kg	Activité mesurée (Bq/kg sec)	Débit de dose théorique à 1 m nGy/h
Uranium 238 / Radium 226	0,386	71	27,4
Thorium 232	0,523	53	27,7
Potassium 40	0,038	850	32,3
Rayonnement cosmique	-	-	37,5
Césium 137	0,12	13	1,6
Total général (μSv/h)			0,126
Total naturel (μSv/h)			0,125
Ajout dû au Cs 137			1 %

Tableau 5 : Reconstitution du débit de dose à 1 mètre du sol à partir des activités mesurées dans la strate superficielle du carottage de sol en trois points.

On obtient une valeur théorique de 0,126 $\mu\text{Sv}/\text{h}$. Cette valeur est probablement sous-estimée⁷ compte tenu de la densité du sol (notamment du fait de la présence de cailloux). Dans le cadre de cette estimation, on constate qu'environ 1 % de cette irradiation est imputable au césium 137 artificiel.

L'exposition externe imputable au césium 137 présent dans le sol reste donc dans la gamme des très faibles doses de rayonnements ionisants, avec un surcroît d'exposition qui est en 2014, de l'ordre de quelques $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Des activités plus importantes seraient relevées dans des zones d'accumulation (fonds de fossé, pieds de gouttières, base de certains arbres) et dans les sols en milieu forestier du fait d'une interception plus importante qu'en milieu ouvert des particules radioactives présentes dans l'atmosphère.

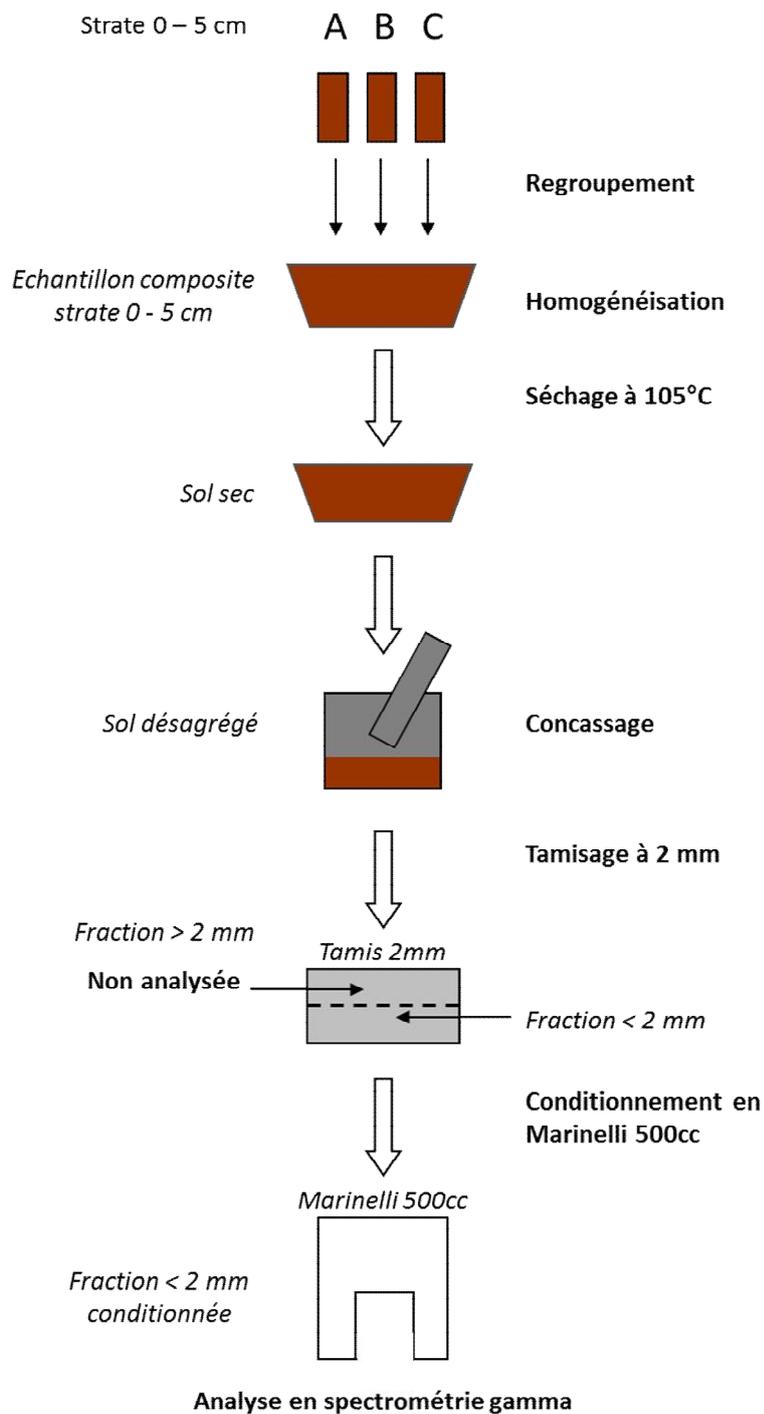
L'impact résiduel de Tchernobyl et des essais nucléaires, doit s'apprécier de façon globale, en ajoutant les doses par expositions internes, et notamment par ingestion de denrées alimentaires contaminées. En effet, il faut garder à l'esprit le fait que l'exposition interne peut constituer la part la plus importante de la dose, compte tenu de la contamination résiduelle de certaines denrées issues des milieux forestiers (baies, champignons, gibiers) qui restent contaminées en France à des niveaux qui peuvent atteindre des dizaines à quelques centaines de becquerels par kilogramme frais. En fonction des régimes alimentaires, la consommation de ces produits peut induire une exposition non négligeable, ce qui nécessite une vigilance pendant encore de nombreuses années.

Concernant l'impact spécifique de Tchernobyl, on ne peut que déplorer que la réglementation en vigueur au niveau européen, presque 30 ans après la catastrophe de Tchernobyl, ne porte que sur les produits importés, avec des limites d'activité massique inchangées depuis 1986 et particulièrement élevées (370 Bq/kg de césium 137 dans le lait et les aliments pour nourrissons, 600 Bq/kg dans les autres produits, viandes, baies, champignons par exemple). La réglementation aurait dû être étendue aux productions et cueillettes issues des Etats membres de l'Union européenne dont certains ont été fortement impactés par les retombées de Tchernobyl et les niveaux de contamination « admissible » auraient dû être notablement abaissés en application du principe d'optimisation et compte tenu de l'évolution des connaissances sur les effets sanitaires d'une contamination interne chronique.

⁷ A noter que la valeur mesurée sur le terrain à 1 m au-dessus du sol avec la sonde LB 1236 est de 0,20 $\mu\text{Sv}/\text{h}$. Compte tenu des marges d'incertitude, qui sont de l'ordre de 30 %, ce résultat est compatible avec la valeur théorique calculée.

ANNEXE 1

Schéma explicatif du traitement des échantillons de sol du carottage en trois points.



ANNEXE 2

Résultats des analyses de spectrométrie gamma réalisées par la CRIIRAD sur les strates du carottage de sol en trois points.

Saint Agrève

Date de prélèvement : 30/10/2014
 Altitude (mètre) : 1058
 Coordonnées GPS : 45.01104° 004.41173°

	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm	40 - 50 cm
Code échantillon	311014A4	311014A5	311014A6	311014A7	311014A8	311014A9
N° d'analyse	28041	28061	28069	28070	28071	28072
Date d'analyse	04/12/2014	11/12/2014	17/12/2014	17/12/2014	18/12/2014	18/12/2014
Temps de comptage (s)	13 070	56 297	29 241	55 868	30 679	53 146
Géométrie	MAR500CC	MAR500CC	MAR500CC	MAR500CC	MAR500CC	MAR500CC
Masse sèche analysée (g)	544,13	593,99	627,61	619,13	597,08	633,04
Masse sèche < 2 mm (g)	732,11	949,90	1 539,32	1 146,63	1 373,88	973,22
Masse sèche totale (g)	732,11	963,90	1 825,33	1 587,95	1 709,28	1 338,17
Taux de matière sèche	81%	83%	85%	88%	84%	86%

Activités ramenées à la date d'analyse, exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec).

Radioactivité naturelle	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm	40 - 50 cm	Moyenne
Chaîne de l'Uranium 238							
Thorium 234**	63 ± 16	56 ± 11	57 ± 13	70 ± 12	75 ± 14	79 ± 13	67 ± 10
Radium 226 *	71 ± 10	74 ± 9	75 ± 9	73 ± 8	75 ± 9	76 ± 9	74 ± 2
Plomb 210**	77 ± 17	67 ± 12	58 ± 13	61 ± 11	70 ± 13	64 ± 12	66 ± 7
Uranium 235	< 4	< 2,7	< 2,6	< 2,4	< 2,6	< 2	
Chaîne du Thorium 232							
Actinium 228	53 ± 9	60 ± 8	67 ± 9	69 ± 9	65 ± 9	71 ± 9	64 ± 7
Plomb 212	55 ± 7	63 ± 7	66 ± 8	69 ± 8	70 ± 8	73 ± 8	66 ± 6
Potassium 40	850 ± 110	900 ± 100	970 ± 110	1010 ± 110	930 ± 110	990 ± 110	942 ± 60

Activités ramenées à la date du prélèvement, exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec).

Radioactivité artificielle	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm	40 - 50 cm
Césium 137	13 ± 2	11 ± 2	4 ± 1	< 0,9	< 0,2	< 0,2
Césium 134	< 0,27	< 0,12	< 0,17	< 0,12	< 0,18	< 0,12
Cobalt 58	< 0,41	< 0,19	< 0,27	< 0,2	< 0,3	< 0,2
Cobalt 60	< 0,33	< 0,13	< 0,17	< 0,13	< 0,18	< 0,14
Manganèse 54	< 0,36	< 0,16	< 0,24	< 0,18	< 0,22	< 0,16
Antimoine 125	< 0,7	< 0,36	< 0,48	< 0,34	< 0,48	< 0,35
Cérium 144	< 1,8	< 0,8	< 1,2	< 0,8	< 1,2	< 0,9
Argent 110m	< 0,29	< 0,14	< 0,2	< 0,15	< 0,2	< 0,14
Américium 241**	< 0,6	< 0,29	< 0,38	< 0,29	< 0,4	< 0,29
Iode 129**	< 0,5	< 0,26	< 0,36	< 0,26	< 0,35	< 0,26
Ruthénium 106	< 2,5	< 1,2	< 1,7	< 1,3	< 1,7	< 1,3

Légende :

± : marge d'incertitude

< : limite de détection

* Le Radium 226 est évalué par défaut à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214, l'équilibre séculaire n'étant pas atteint.

** : 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.

ANNEXE 3

Résultats des analyses de spectrométrie gamma réalisées par la CRIIRAD sur les échantillons d'herbe et de sol de surface

Saint Agrève

Date de prélèvement : 30/10/2014
 Altitude (mètre) : 1058
 Coordonnées GPS : 45.01104° 004.41173°

	Herbe	Sol 0 - 5 cm	Sol 5 - 10 cm
Code échantillon	311014A1	311014A2	311014A3
N° d'analyse	27998	28000	28001
Date d'analyse	31/10/2014	03/11/2014	03/11/2014
Temps de comptage (s)	25 348	30 479	55 828
Géométrie	B250	B250	B250
Masse fraîche analysée (g)	63,12	297,43	395,93

Activités ramenées à la date d'analyse, exprimées en Becquerels par kilogramme frais (Bq/kg frais)

Radioactivité naturelle	Herbe	Sol 0 - 5 cm	Sol 5 - 10 cm
Chaîne de l'Uranium 238			
Thorium 234**	< 42	< 48	46 ± 13
Radium 226 *	< 8	42 ± 8	44 ± 6
Plomb 210**	< 46	56 ± 17	41 ± 12
Uranium 235	< 27	< 7	< 4,3
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	< 40	48 ± 10	50 ± 8
Plomb 212	< 10	45 ± 7	53 ± 7
Potassium 40	< 340	550 ± 90	750 ± 100
Béryllium 7	177 ± 50	26 ± 10	< 2,1

Activités ramenées à la date du prélèvement, exprimées en Becquerels par kilogramme frais (Bq/kg frais)

Radioactivité artificielle	Herbe	Sol 0 - 5 cm	Sol 5 - 10 cm
Césium 137	< 2,4	13 ± 3	11,4 ± 2
Césium 134	< 1,8	< 0,42	< 0,27
Cobalt 58	< 2	< 0,38	< 0,27
Cobalt 60	< 1,9	< 0,43	< 0,26
Manganèse 54	< 1,8	< 0,44	< 0,28
Antimoine 125	< 4,7	< 1,2	< 0,7
Iode 131	< 1,8	< 0,6	< 0,35
Cérium 144	< 8	< 2,5	< 1,6
Argent 110 m	< 1,7	< 0,44	< 0,28
Américium 241**	< 2,2	< 0,7	< 0,45
Iode 129**	< 2,3	< 0,5	< 0,34
Ruthénium 106	< 17	< 3,8	< 2,6

Légende :

± : marge d'incertitude

< : limite de détection

* Le Radium 226 est évalué par défaut à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214, l'équilibre séculaire n'étant pas atteint.

** : 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.