

Rapport d'étude N° 15-48 /
Cadarache / Ravin de la Bête

CONTROLE DE LA RADIOACTIVITE DE SEDIMENTS ET TERRES POTENTIELLEMENT IMPACTES PAR LES ACTIVITES DU SITE NUCLEAIRE DE CADARACHE

**Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD
à la demande de l'association Médiane soutenue financièrement par le
Conseil Général du Vaucluse**

Date de la mission sur le terrain : 17 et 18 décembre 2013

Date de rédaction du rapport final : 31 mai 2016

Responsable d'étude et rédaction du rapport : **Bruno CHAREYRON**, Ingénieur en physique nucléaire.

Responsable mission de terrain : **Christian COURBON**, Technicien spécialisé.

Analyses : **Stéphane PATRIGEON**, Technicien métrologue

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

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD
29 Cours Manuel de Falla, 26 000 VALENCE
☎ 04 75 41 82 50 📠 04 75 81 26 48
<http://www.criirad.org> laboratoire@criirad.org

SOMMAIRE

1. Contexte	1
2. Réalisation des mesures et échantillonnages sur le terrain	2
3. Traitement des échantillons au laboratoire.....	6
4. Résultats des mesures par spectrométrie gamma	7
4.1. Radionucléides artificiels émetteurs gamma	7
4.2. Radionucléides naturels émetteurs gamma	9
5. Résumé et conclusions	9
Liste des ANNEXES	12
ANNEXE 1 Agréments du laboratoire de la CRIIRAD	13
ANNEXE 2 Résultats détaillés d'analyses par spectrométrie gamma	14
ANNEXE 3 Courrier CRIIRAD au directeur du CEA de Cadarache.....	30
ANNEXE 4 Réponse du directeur du CEA de Cadarache.....	32

1. Contexte

Recommandations CRIIRAD de 2008-2009 pour la CLI de Cadarache

Dans le cadre d'une expertise demandée par la CLI de Cadarache en 2008 et intitulée « Etude documentaire : impact sur l'environnement de l'activité du centre de Cadarache » (cf rapport CRIIRAD N° 08-167 et résumé), la CRIIRAD avait formulé un certain nombre de recommandations afin de combler des lacunes du dispositif de surveillance radioécologique mis en œuvre par le CEA (cf. note N°09-24).

Plusieurs de ces recommandations portaient sur le suivi de l'impact des rejets radioactifs liquides en Durance d'une part et des contaminations liées aux eaux de ruissellement d'autre part. Il s'agissait par exemple des points suivants :

« [D 12] La surveillance des sédiments est très difficile compte tenu du régime torrentiel de la Durance. Cette surveillance pourrait être facilitée par l'installation de pièges à sédiments.

[D 13] Elle pourrait être complétée par la recherche d'un secteur soumis aux débordements de la Durance en aval proche du rejet où pourraient être effectués de manière ponctuelle des contrôles de type « terre de berges ».

[D 14] Afin d'approfondir la question de l'impact des rejets « historiques », il serait utile d'étudier la faisabilité de l'échantillonnage d'une carotte de sédiments en Durance au niveau d'une zone de retenue.

[E 8] Mise en oeuvre d'une surveillance sur les sédiments (et si possible bioindicateurs) du ravin de la Bête et de la zone aval Technicatome en plusieurs stations et réalisation d'un carottage de sédiments dans le ravin de la Bête (en aval des bassins de 3 000 m³) et dans la zone aval Technicatome (étude historique). »

En effet, le cours d'eau du « **ravin de la Bête** » prend naissance au cœur du site nucléaire et s'écoule en direction de l'ouest / nord-ouest. Il passe sous la route, sous le canal, longe les terrains où sont implantés les bassins de décantation des effluents liquides du site nucléaire, puis redescend en direction sud / sud-ouest, passe sous l'autoroute du Val de Durance pour rejoindre la Durance dans une zone humide située en amont de l'émissaire des rejets contrôlés.

Demande de l'association Médiane

En 2010, l'association MEDIANE a demandé au laboratoire de la CRIIRAD d'effectuer un contrôle de la radioactivité des sédiments de la Durance potentiellement impactés par les activités du centre d'études nucléaires du CEA de CADARACHE.

Dans la mesure des moyens financiers disponibles (moins de 5 000 Euros), il n'était pas possible pour la CRIIRAD de réaliser à la fois la recherche de zones propices à la réalisation de carottages dans le val de Durance et dans le ravin de la Bête.

Compte tenu du régime torrentiel de la Durance, la CRIIRAD a considéré que les risques d'accumulation de radionucléides étaient plus importants pour les sédiments et / ou terres de berges du ravin de la Bête impactés par des écoulements diffus et non contrôlés. La CRIIRAD a donc proposé à Médiane de concentrer les contrôles sur le **ravin de la Bête**.

2. Réalisation des mesures et échantillonnages sur le terrain

L'intervention de la CRIIRAD a dû être repoussée à de nombreuses reprises compte tenu des conditions météorologiques (niveau d'eau élevé). Le technicien CRIIRAD, monsieur Christian COURBON, a effectué une mission de repérages, contrôles radiamétriques et échantillonnages les **17 et 18 décembre 2013**.

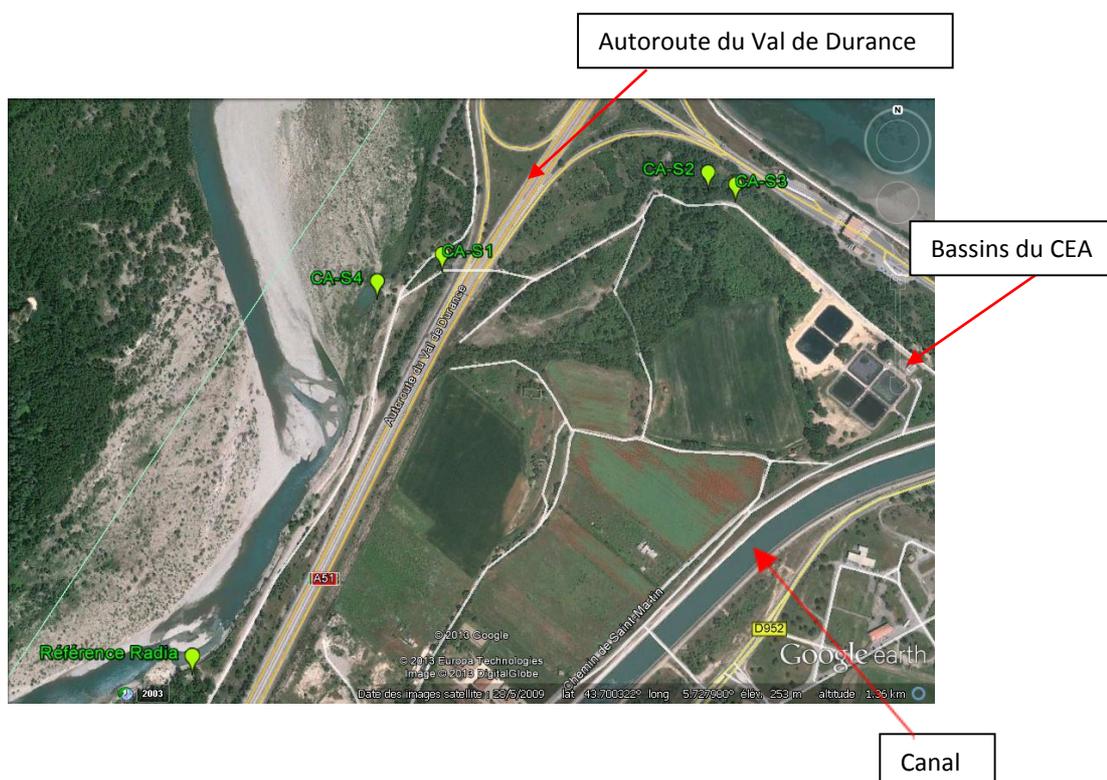
Il a recherché des zones propices à une stagnation des eaux qui s'écoulent via le ruisseau du ravin de la Bête. Cette recherche s'est appuyée sur un examen visuel et sur l'utilisation d'un appareil portatif de contrôle radiamétrique (scintillomètre DG5, N° d'appareil : 13000081).

Les principaux résultats des contrôles radiamétriques et la description des zones d'échantillonnage figurent dans le tableau 1 ci-dessous. Les points d'échantillonnage de sol / sédiments sont reportés sur la carte C1 et les planches photographiques pages suivantes.

Tableau 1 : Description des points de contrôle de la radioactivité des sols, sédiments et terres de berges (secteur du ravin de la Bête)

Point de contrôle	Description du lieu	Description du sol	Flux gamma DG5 au contact du sol	Flux gamma DG5 à 1 mètre du sol	Description de l'échantillon
REF	Niveau de référence / friche (rive gauche de la Durance)	Sol limoneux	55 à 70 c/s	50 à 65 c/s	Non prélevé
CA-S1	Zone inondable en cas de débordement, à 10 m du ruisseau, à 20 m de la sortie du tunnel sous A51, côté Durance	Sol limoneux	75 à 95 c/s	70 à 90 c/s	4 strates de 10 cm
CA-S2	Rive droite du ruisseau à environ 1 m du lit dans un replat à environ 50 cm au dessus du niveau de l'eau	Terre de berge limoneuse	70 à 95 c/s	60 à 75 c/s	4 strates de 10 cm
CA-S3	Bas côté à 3 m du chemin	Terre brune, matériaux noir, sol marron	190 à 210 c/s	90 à 105 c/s	Horizon 0-10 cm
CA-S4	A 30 cm du bord de la "lagune" dans une zone humide proche du lit de la Durance, en aval de la confluence du ravin de la Bête et d'un ancien émissaire	Limon marron-gris	55 à 70 c/s	50 à 60 c/s	8 strates de 10 cm (l'eau suinte à partir de 40-50 cm)

Carte 1 : localisation des points d'échantillonnage de sol, sédiments et terres de berges (CA-S1 à CA-S4)



Station de référence

La station de référence radiamétrique, bien que située à environ 250 mètres en aval du point de rejet en Durance correspond à un sol limoneux dans une friche située en rive gauche de la Durance, hors d'eau (à environ 4 mètres au-dessus du lit de la rivière), et donc hors influence des rejets liquides du site nucléaire. Le flux de rayonnement gamma au contact du sol est de **55 à 70 c/s**.

Anomalie radiamétrique sur et en bordure de chemin (station CA-S3)

Une élévation très nette du niveau de rayonnement gamma au contact du sol (triplement) a été relevée au niveau du chemin situé en rive gauche du ravin de la Bête (photographie N°1), sur une portion de près de 800 mètres, située en aval des bassins. On relève sur le chemin près de **200 c/s** sur une trentaine de mètres et jusqu'à 230 c/s.

Le technicien CRIIRAD a prélevé l'échantillon CA-S3 à environ 3 mètres du chemin (Photographie N°2) dans une friche présentant une anomalie radiamétrique de l'ordre de 190-210 c/s. En effet, il n'était pas opportun d'effectuer un carottage directement sur le chemin.

Le carottage a été effectué sur 10 cm de profondeur car au-delà on atteint un horizon caillouteux. L'échantillon est constitué de terre brune en surface et d'une couche noire (cf photographie N°3) qui est à l'origine de l'excès de rayonnement gamma. Cette couche noire semble être de même nature que la sous-couche constituant le chemin.

Photographies 1 à 3 : chemin présentant des anomalies radiamétriques et prélèvement CA-S3 en bordure de chemin (au niveau de la caisse rouge sur la photographie)



Stations CA-S1 et CA-S2 / bordure du ruisseau du ravin de la Bête

La première section du ravin de la Bête après passage sous le canal et en amont des bassins du CEA est droite et busée (béton). L'écoulement est à caractère torrentiel comme le montrent l'aspect « couché » des herbes et les amoncellements de débris végétaux (jusqu'au point CA-S3).

La CRIIRAD s'est attachée à rechercher des sédiments ou terres de berges susceptibles d'avoir été impactés lors de débordements. Dans de nombreux cas, en effet, l'activité des terres de berges peut être supérieure à celle des sédiments sous eau.

A partir de la station CA-S2, le lit est plus encaissé. Le prélèvement **CA-S2** a été effectué en rive droite du ruisseau, à 1 mètre du lit, dans un replat pouvant être propice aux dépôts de radionucléides lors de débordements (photographies N°4 et 5).

Le ruisseau traverse ensuite l'autoroute par un tunnel en sortie duquel a été effectué le prélèvement **CA-S1** dans une zone où pourraient stagner les eaux du ruisseau du ravin de la Bête lors de débordements (photographie N°6).

Au niveau des stations CA-S1 et CA-S2 on observe des valeurs de flux de rayonnement gamma au contact du sol (**70 à 95 c/s**) légèrement supérieures à la valeur de référence. Sur chacune de ces stations, le technicien CRIIRAD a effectué un carottage constitué de 4 strates de 10 cm jusqu'à 40 cm de profondeur.

Photographies 4 et 5 : prélèvement CA-S2 (caisse rouge) en bordure du ruisseau du ravin de la Bête

Photographie 6 : prélèvement CA-S1 en sortie du tunnel sous autoroute**Lagune et station CA-S4**

Plus en aval, le ruisseau du ravin de la bête est rejoint par un ruisseau venant du nord. Les deux cours d'eau atteignent une zone inondable (lagune au moment des prélèvements).

Le technicien CRIIRAD a effectué un carottage constitué de 8 strates de 10 cm jusqu'à 80 cm de profondeur à la station CA-S4. Elle est située à environ 30 cm du bord de la lagune (photographie N°8), en rive gauche, en aval de la confluence avec le ruisseau provenant du ravin de la Bête et en aval de ce qui semble être un ancien émissaire (photographie N°7). Le site a été choisi car il constituait a priori un secteur d'accumulation. Le flux de rayonnement gamma mesuré au contact du sol est comparable au niveau mesuré à la station de référence.

Photographies 7 et 8 : lagune (secteur CA-S4) : ancien émissaire et station CA-S4

Comme le montrent les photographies pages suivantes, des barrages de castors sont visibles dans le secteur. Leur action peut avoir un impact sur la circulation des eaux.

Photographies 9 et 10 : barrages de castor sur le ruisseau du ravin de la Bête et la lagune



3. Traitement des échantillons au laboratoire

Les échantillons prélevés ont été conditionnés en sac plastique, identifiés et ramenés au laboratoire de la CRIIRAD pour analyse par spectrométrie gamma.

Le budget disponible n'a pas permis de procéder à la recherche de radionucléides émetteurs bêta purs (tritium, carbone 14, strontium 90, plutonium 241) ou alpha purs (plutonium 238-239-240).

A réception au laboratoire, chaque échantillon a fait l'objet d'un contrôle radiométrique au moyen d'un scintillomètre DG5 et d'un contaminomètre alpha-bêta-gamma MCB2 utilisé sans capot. Seul l'échantillon CA-S3 a donné des taux de comptages alpha-bêta-gamma supérieurs au bruit de fond : 1,2 à 2,6 c/s pour un bruit de fond de 0,2 à 2 c/s.

Les échantillons ont fait l'objet d'une dessiccation par étuvage à 105 °C (sauf CA S3), d'un tamisage à 2 mm et d'un conditionnement en géométrie calibrée (boîte de Pétri ou géométrie Marinelli).

Il a été décidé de procéder dans un premier temps à l'analyse du sol CA-S3 correspondant à l'anomalie radiométrique et à l'ensemble des 8 strates de la carotte CA-S4, cette dernière étant susceptible d'avoir été impactée par l'ensemble des écoulements du ravin de la Bête.

Dans un deuxième temps, ont été analysées deux strates de la carotte CA-S1 et les 4 strates de la carotte CA-S2, cette dernière présentant a priori le plus fort risque d'accumulation de radionucléides.

Les comptages ont été réalisés sur détecteur au Germanium Hyperpur, pendant 150 000 à 300 000 secondes.

La liste des agréments du laboratoire de la CRIIRAD figure en ANNEXE 1.

4. Résultats des mesures par spectrométrie gamma

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma figurent en ANNEXE 2.

Les principaux résultats sont regroupés dans le tableau 2 page suivante.

Tous les radionucléides artificiels et naturels émetteurs de rayonnement gamma ont été recherchés.

Afin d'alléger la présentation, dans les rapports d'essai en annexe, sont publiés :

- les résultats pour lesquels un radionucléide émetteur gamma a été détecté. L'activité (exprimée en Bq/kg est suivie de la marge d'incertitude (établie avec un intervalle de confiance de 95%),
- les limites de détection précédées du symbole < (inférieur à) pour une sélection de radionucléides artificiels courants.

4.1. Radionucléides artificiels émetteurs gamma

Deux radionucléides artificiels émetteurs gamma sont détectés : le **césium 137** dans tous les échantillons et l'**américium 241**, dans les 4 strates de la carotte CA-S2.

Césium 137

Le césium 137 est un radionucléide émetteur bêta-gamma de période physique égale à 30 ans, c'est-à-dire que sa radioactivité est divisée par deux au bout de 30 ans et qu'il faut 300 ans pour qu'elle soit divisée par 1000.

Il est couramment détecté dans la couche superficielle des sols et sédiments en France, du fait des retombées des essais nucléaires atmosphériques, particulièrement intenses dans les années 50-60, et des retombées de Tchernobyl en 1986. L'impact des retombées de Fukushima en 2011 est inférieur de plusieurs ordres de grandeur à la contamination antérieure. Le césium 137 est également présent dans les rejets du CEA de Cadarache.

L'activité du césium 137 est comprise entre :

- **3,7 ± 1,1 Bq/kg sec** (20-30 cm) et **7,2 ± 1,4 Bq/kg sec** (10-20 cm) dans la carotte de sédiments **CA-S4** ;
- **10,5 ± 1,9 Bq/kg sec** et **9,1 ± 1,9 Bq/kg sec** dans les deux premières strates de la carotte **CA-S1**
- **22,6 ± 3,3 Bq/kg sec** et **112 ± 13 Bq/kg sec** dans les 4 strates de la carotte **CA-S2**.

Son activité est de **37,3 ± 4,3 Bq/kg frais** dans le sol CA-S3.

Américium 241

L'américium 241 est un élément transuranien, émetteur alpha et gamma de période 432 ans, dont la présence suggère celle d'isotopes du plutonium.

Il est détecté dans les 4 strates de la carotte CA-S2 avec des activités comprises entre **1,8 ± 1,1 Bq/kg sec** et **3,6 ± 0,9 Bq/kg sec**.

Du fait des retombées anciennes, on détecte des contaminations en césium 137 de plusieurs Bq/kg à plusieurs dizaines de Bq/kg dans la couche superficielle des sols de l'Est de la France. Dans ces conditions, il est souvent difficile de mettre clairement en évidence la contamination liée aux activités nucléaires locales.

Cependant, les activités en césium 137 plus élevées relevées dans la carotte CA-S2 (et en particulier la valeur de 112 Bq/kg sec dans la strate 30-40 cm), couplées à la présence systématique d'américium 241, suggèrent un impact spécifique du site du CEA de Cadarache. En effet, même dans des¹ secteurs de forte accumulation des retombées anciennes, étudiés par la CRIIRAD en milieu Alpin, des activités en américium 241 supérieures ou égales au Bq/kg sec n'ont été observées que pour des contaminations en césium 137 supérieures à 1 000 Bq/kg sec.

¹ <http://www.criirad.org/tchernobyl/points-accumulation.pdf>

Tableau 2 : Principaux résultats des analyses par spectrométrie gamma des sédiments et terres de berges (Bq/kg sec pour CA-S1, CA-S2 et CA-S4, Bq/kg frais pour CA-S3).

Strate (cm)	Code CRIIRAD	N° analyse	Chaîne de l'uranium 238			Uranium 235	Actinium 228	Potassium 40	Césium 137	Am 241
			Uranium 238	Radium 226	Pomb 210					

Carottage CA-S1 du 18/12/2013 (zone inondable à proximité du ravin de la Bête après traversée autoroute)

0-10	020114A1	C28699	< 41	38 ± 5	54 ± 13	< 7	32 ± 7	< 450	10,5 ± 1,9	< 1,7
10-20	020114A2	C28700	< 32	31 ± 5	37 ± 13	< 8	30 ± 8	< 500	9,1 ± 1,9	< 0,5

Carottage CA-S2 du 18/12/2013 (Rive droite du ravin de la Bête, replat à 1 m du lit)

0-10	020114A5	C28704	< 42	34 ± 5	97 ± 19	< 12	33 ± 8	< 450	22,6 ± 3,3	2,2 ± 0,7
10-20	020114A6	C28705	< 40	34 ± 6	96 ± 22	< 13	34 ± 9	< 490	27,0 ± 4,2	2,0 ± 0,9
20-30	020114A7	C28708	< 40	34 ± 6	59 ± 17	< 9	33 ± 9	< 480	30,8 ± 4,5	1,8 ± 1,1
30-40	020114A8	C28710	< 23	28 ± 4	47 ± 13	< 8	28 ± 7	< 460	112 ± 13	3,6 ± 0,9

Carottage CA-S3 du 18/12/2013 (bas-côté du chemin)

0-10	020114A9	C27744	620 ± 70	620 ± 60	416 ± 48	34 ± 8	37 ± 5	199 ± 29	37,3 ± 4,3	< 0,38
------	----------	--------	----------	----------	----------	--------	--------	----------	------------	--------

Carottage CA-S4 du 18/12/2013 (lagune au débouché du ravin de la Bête)

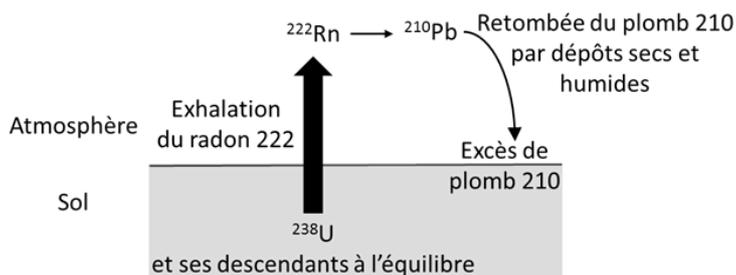
0-10	020114A10	C27739	< 29	23 ± 4	28 ± 11	< 5	20 ± 6	< 370	5,1 ± 1,1	< 0,27
10-20	020114A11	C27819	< 31	25 ± 4	32 ± 12	< 5	24 ± 7	< 400	7,2 ± 1,4	< 0,30
20-30	020114A12	C27757	< 32	22 ± 4	28 ± 11	< 13	23 ± 6	< 350	3,7 ± 1,1	< 0,27
30-40	020114A13	C27788	< 42	24 ± 4	38 ± 13	< 6	22 ± 7	< 400	6,3 ± 1,6	< 0,37
40-50	020114A14	C27763	< 31	23 ± 4	24 ± 11	< 11	26 ± 7	< 400	6,3 ± 1,4	< 0,33
50-60	020114A15	C27809	< 37	24 ± 4	26 ± 11	< 5	24 ± 6	< 390	4,3 ± 1,1	< 0,29
60-70	020114A16	C27773	< 29	25 ± 4	40 ± 13	< 9	21 ± 7	< 410	6,3 ± 1,4	< 0,32
70-80	020114A17	C27808	< 24	25 ± 4	35 ± 13	< 6	22 ± 7	< 410	6,0 ± 1,4	< 0,34

4.2. Radionucléides naturels émetteurs gamma

Carottages CA-S1, CA-S2 et CA-S4

Dans les différentes strates des carottes de sols-sédiments CA-S1, CA-S2 et CA-S4, les activités de l'uranium 238 et de ses descendants sont comprises entre **20 et 40 Bq/kg sec**, soit des valeurs inférieures ou égales à la moyenne de l'écorce terrestre. On observe un excès significatif de plomb 210 par rapport au radium 226 dans les couches superficielles des carottes CA-S1 et CA-S2.

Ce phénomène d'excès en plomb 210 dans les horizons de surface, déjà observé par de nombreux scientifiques (Greeman & Rose, 1990² ; Von Gunten *et al.*, 1996³) provient de l'existence du radon 222 gazeux, descendant de l'uranium 238. Ce radionucléide gazeux migre des sols vers l'atmosphère et donne naissance lors de sa désintégration à des radionucléides solides⁴, notamment le plomb 210, qui se redépose à la surface du sol et des sédiments et vont ainsi enrichir les horizons de surface (voir schéma ci-dessous).



Les activités des descendants du thorium 232 sont classiques (comprises entre **20 et 34 Bq/kg sec** pour l'actinium 228).

Sol CA-S3

Par contre, le sol CA-S3 présente des activités nettement supérieures à la normale pour l'uranium 238 et ses descendants avec des valeurs de **620 Bq/kg**. La matière noire étant difficile à séparer de la terre brune, l'activité intrinsèque de la matière noire est probablement supérieure. L'activité de l'uranium 235 est de 34 Bq/kg et le ratio uranium 238 / uranium 235 est compatible avec celui de l'uranium naturel (facteur 21,7), compte tenu des marges d'incertitude.

5. Résumé et conclusions

A la demande de l'association Médiane, le laboratoire de la CRIIRAD a effectué une campagne de mesures radiométriques et de prélèvements de sédiments et sols, en décembre 2013, dans le ravin de la Bête, en aval du site nucléaire du CEA de Cadarache.

Le ravin de la Bête reçoit une partie des eaux de ruissellement en provenance du site nucléaire puis s'écoule en rive gauche de la Durance, en amont du point de rejet en Durance des effluents liquides du site nucléaire.

Les mesures effectuées par la CRIIRAD ont révélé la présence d'anomalies radiométriques sur plusieurs centaines de mètres, sur le chemin qui longe le ravin de la Bête et son bas-côté, avec un niveau de rayonnement gamma au contact du sol 3 fois supérieur au niveau naturel.

Elles ont également mis en évidence la contamination de certains sédiments et terres de berges par des radionucléides artificiels (césium 137 et américium 241) liés au débordement du ravin de la Bête et pouvant être imputés aux activités du CEA de Cadarache.

² 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.

³ 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.

⁴ La plupart de ces radionucléides solides ont des périodes radioactives de l'ordre de la micro seconde à la minute (cf. annexe 2).

Impact des activités du CEA de Cadarache

La carotte sédimentaire prélevée par la CRIIRAD, sur une profondeur de 80 cm, en bordure d'une lagune, en rive gauche de la Durance, en aval du ravin de la Bête, présente une contamination en césium 137 relativement homogène sur l'ensemble du profil **3,7 ± 1,1 Bq/kg sec à 7,2 ± 1,4 Bq/kg sec**.

Les activités mesurées sont comparables à celles obtenues par le laboratoire ALGADE⁵ dans ce secteur, dans le cadre d'une étude demandée par la CLI de Cadarache (4,8 et 6 Bq/kg sec dans les strates 0-20 cm et 3,1 Bq/kg sec dans un échantillon moyen de 0 à 150 cm).

Ces sédiments étant fréquemment sous eaux, ils ne présentent cependant pas de bonnes conditions de « conservation » de la contamination ancienne.

C'est pourquoi la CRIIRAD a effectué également des contrôles sur des sédiments et terres de berges prélevés à sec, sur des secteurs soumis au débordement du ravin de la Bête. Un de ces carottages, réalisé à 1 mètre du lit du ruisseau, présente une contamination en césium 137 qui atteint **112 ± 13 Bq/kg sec dans la strate 30-40 cm. On y détecte également la présence d'un élément transurannique associé au plutonium, l'américium 241 (1,8 ± 1,1 Bq/kg sec et 3,6 ± 0,9 Bq/kg sec selon les strates). Ces résultats suggèrent une contamination d'origine locale en plus de celle imputable aux retombées de la catastrophe de Tchernobyl en 1986 et aux retombées des essais nucléaires atmosphériques particulièrement intenses dans les années 50-60.**

L'IRSN avait effectué des analyses de sédiments du ravin de la Bête en septembre 2010 dans le cadre d'une campagne demandée au CEA par l'ASN. Les résultats présentés lors d'un séminaire Environnement Santé IRSN-ANCLI du 14-15 novembre 2012 indiquaient une présence de césium 137 (12 Bq/kg sec), américium 241 (1,5 Bq/kg sec), plutonium 238 (0,12 Bq/kg sec) et plutonium 239+240 (1,9 Bq/kg sec).

Monsieur Alain Maillat (Cli de Cadarache) concluait sa présentation ainsi « *Une contamination limitée – 5 à 10 fois le niveau habituel – a été mesurée dans les sédiments du Ravin de la Bête à l'extérieur du Centre. Le CEA l'attribue à un débordement de cuves de la Station de traitement des effluents actifs et des déchets solides survenu en juin 1993 : 10 à 12 m³ d'eau faiblement radioactive s'étaient alors écoulés vers la Durance par les collecteurs des eaux pluviales* ».

Les documents disponibles sur le site de la CLI ne permettent pas de se faire une idée précise de la méthodologie mise en œuvre (localisation exacte, présence ou absence d'eau, profondeur) et n'indiquent pas si des relevés radiométriques ont été effectués aux points de prélèvement. La CRIIRAD a d'ailleurs signalé à la CLI plusieurs erreurs dans les tableaux présentés par l'ASN (par exemple erreur d'un facteur 1 000 pour l'américium et le plutonium).

On notera que la contamination en césium 137 relevée par la CRIIRAD est 9 fois supérieure à celle mentionnée dans l'étude ASN-IRSN.

La CRIIRAD recommande que le CEA indique la composition radiologique et chimique détaillée des 10 à 12 m³ d'eau contaminée qui se sont écoulés en Juin 1993 vers la Durance, précise l'impact de cet incident et les dispositions prises pour éviter à l'avenir ces débordements et collecter les eaux de ruissellement contaminées.

Une copie de ce rapport sera transmise à la CLI de Cadarache.

Impact de la réutilisation de scories pour le remblayage de chemins

Les anomalies radiométriques détectées par la CRIIRAD sur le chemin correspondent a priori à un apport d'un matériau de couleur noire présentant une activité en **uranium 238 de 620 Bq/kg**, environ **15 fois supérieure à la moyenne de l'écorce terrestre** et une activité en **césium 137 de 37,3 Bq/kg**.

La CRIIRAD a informé la CLI de Cadarache et le directeur du CEA de ces résultats (cf. Annexe 3) afin que puisse être déterminée la nature et l'origine de ces matériaux.

Par courrier en date du 22 février 2016, reproduit en Annexe 4, le directeur du CEA Cadarache a confirmé les constatations de la CRIIRAD. Il indique que les niveaux élevés de radionucléides naturels relevés par la CRIIRAD en bordure de chemin sont comparables à « ceux qui résultent de l'analyse d'échantillons de scories » faites par les laboratoires du CEA et que « *Le sol noirâtre trouvé sur le terrain pourrait donc provenir d'un remblai de scories, matériau communément utilisé en France dans les années 1990 et 2000 comme remblai des routes, de stades de*

⁵ Selon le tableau publié dans la revue CLIC info N°44 juillet-Août-septembre 2013.

sport... Dans la région, le charbon le plus communément utilisé dans les chaufferies à l'origine de ces scories était le charbon de la mine de Gardanne. »

Cette découverte soulève plusieurs interrogations :

1. Elle pose question quant à la pertinence du suivi environnemental effectué par le CEA (auto-contrôle) et par des laboratoires mandatés par l'ASN ou par la CLI de Cadarache pour effectuer des prélèvements dans le ravin de la Bête.

Il est étonnant que ces campagnes de mesure n'aient pas détecté une radioactivité trois fois supérieure au niveau naturel sur le chemin qui longe le ravin de la Bête.

2. Elle pose question quant à la teneur en radionucléides naturels des charbons et scories issues de la combustion de ces charbons et à l'impact lié à la combustion de ces charbons et à la réutilisation de ces matériaux dans le domaine public.

Cette problématique s'inscrit dans celle de la radioactivité naturelle renforcée, sur laquelle la CRIIRAD est intervenue à de nombreuses reprises (silicate de soude SEPR, déchets de Rhône-Poulenc à la Rochelle, radioactivité du lignite de Serviers-Labaume, radioactivité du phosphogypse, problèmes de la gestion des cendres de bois, etc..).

Compte tenu de l'activité massique de l'uranium 238 et de ses descendants mesurée par la CRIIRAD dans ces scories (620 Bq/kg), on peut en déduire une augmentation du débit de dose sensiblement supérieure à 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ à 1 mètre d'un sol remblayé par une couche homogène de ces scories. Ceci représente une exposition cumulée non négligeable (supérieure à 10 microSieverts par an pour un temps de présence de 8 minutes par jour chaque jour de l'année).

A cette exposition externe, il faut ajouter l'exposition par ingestion et par inhalation. En cas d'utilisation de ces scories dans un lieu confiné (sous couche dans un bâtiment par exemple), l'exposition par inhalation du radon qui émane de ces matériaux pourrait être significative.

La réutilisation de ces scories est à mettre en question compte tenu des principes de justification et d'optimisation de la protection dans le domaine de l'exposition aux rayonnements ionisants.

La CRIIRAD recommande que soit effectué un recensement des lieux de réutilisation de ces scories et un point de la situation actuelle. Une copie du présent rapport sera transmise à la DREAL à cette fin.

Liste des ANNEXES

<i>ANNEXE 1 Agréments du laboratoire de la CRIIRAD.....</i>	<i>13</i>
<i>ANNEXE 2 Résultats détaillés d'analyses par spectrométrie gamma</i>	<i>14</i>
<i>ANNEXE 3 Courrier CRIIRAD au directeur du CEA de Cadarache</i>	<i>30</i>
<i>ANNEXE 4 Réponse du directeur du CEA de Cadarache.....</i>	<i>32</i>

ANNEXE 1

Agréments du laboratoire de la CRIIRAD

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.

Une liste actualisée au 1er janvier 2016 est présentée ci-dessous :

1 / Les eaux :

- Emetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV (agrément valable jusqu'au 31/12/2020).
- Tritium (agrément valable jusqu'au 30/06/2019)

2 / Les sols :

- Emetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV (agrément valable jusqu'au 30/06/2016).
- Isotopes de l'uranium, isotopes du thorium, Ra 226 et descendants, Ra 228 et descendants (agrément valable jusqu'au 30/06/2020)

3 / Les matrices biologiques :

Emetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV (agrément valable jusqu'au 31/12/2018)

4 / Les matrices gaz :

- Emetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV. (agrément valable jusqu'au 30/06/2017).
- Gaz halogénés (agrément valable jusqu'au 30/06/2017).

En outre, le laboratoire de la CRIIRAD est agréé pour la mesure du radon dans les lieux ouverts au public : niveaux 1 A et 2 (validité jusqu'au 15 septembre 2016).

ANNEXE 2

Résultats détaillés d'analyses par spectrométrie gamma

CA S1 0-10 cm

CA S1 10-20 cm

CA S2 0-10 cm

CA S2 10-20 cm

CA S2 20-30 cm

CA S2 30-40 cm

CA S3 0-10 cm

CA S4 0-10 cm

CA S4 10-20 cm

CA S4 20-30 cm

CA S4 30-40 cm

CA S4 40-50 cm

CA S4 50-60 cm

CA S4 60-70 cm

CA S4 70-80 cm

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 31 décembre 2015

CADARACHE

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° 28699-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE

Code Prélèvement CA-S1
Code Enregistrement 020114A1
N° d'analyse C 28699

Nature de l'échantillon Carotage de sol
Strate (cm) 0-10

Taux de matière sèche 76,6%

Lieu de prélèvement CA-S1 (CA-S1)
Localisation du prélèvement Zone inondable proche du Ravin de la Bête

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 11/12/2015
Délai avant analyse (j) 8
Conditions de préparation Etuvage 105°C
Tamisage 2mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 18/12/2015
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 73,85
Temps de comptage (s) 233 429

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 <

Activités calculées à la date de mesure

Chaîne de l'Uranium 238			
Thorium 234**	<		41
Radium 226***	38	±	5
Plomb 214	41	±	6
Bismuth 214	34	±	5
Plomb 210**	54	±	13
Chaîne de l'Uranium 235			
Uranium 235	<		7
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	32	±	7
Plomb 212	32,1	±	4,7
Thallium 208	9,7	±	2,0
Potassium 40	<		450
Béryllium 7	<		2,8

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

Activités ramenées à la date de prélèvement

Césium 137	10,5	±	1,9
Césium 134	<		0,7
Cobalt 58	<		460
Cobalt 60	<		0,40
Manganèse 54	<		1,9
Antimoine 125	<		1,5
Cérium 144	<		10
Argent 110m	<		2,9
Américium 241**	<		1,7
Iode 129**	<		0,39
Ruthénium 106	<		13

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

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

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

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 31 décembre 2015

CADARACHE

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° 28700-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE

Code Prélèvement CA-S1
Code Enregistrement 020114A2
N° d'analyse C 28700

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Strate (cm) 10-20

Taux de matière sèche 77,3%

Lieu de prélèvement CA-S1
Localisation du prélèvement Zone inondable proche du ravin de la Bête

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 11/12/2015
Délai avant analyse (j) 11
Conditions de préparation Etuvage 105°C
Concassage et tamisage 2mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 21/12/2015
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 70,27
Temps de comptage (s) 140 935

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 <

Activités calculées à la date de mesure

Chaîne de l'Uranium 238			
Thorium 234**	<		32
Radium 226***	31	±	5
Plomb 214	31	±	5
Bismuth 214	31	±	5
Plomb 210**	37	±	13
Chaîne de l'Uranium 235			
Uranium 235	<		8
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	30	±	8
Plomb 212	33	±	5
Thallium 208	11,0	±	2,3
Potassium 40	<		500
Béryllium 7	<		3,8

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

Activités ramenées à la date de prélèvement

Césium 137	9,1	±	1,9
Césium 134	<		0,9
Cobalt 58	<		700
Cobalt 60	<		0,6
Manganèse 54	<		2,6
Antimoine 125	<		2,1
Cérium 144	<		13
Argent 110m	<		3,7
Américium 241**	<		0,5
Iode 129**	<		0,5
Ruthénium 106	<		17

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

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

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

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 31 décembre 2015

CADARACHE

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° 28704-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE

Code Prélèvement CA-S2
Code Enregistrement 020114A5
N° d'analyse C 28704

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Strate (cm) 0-10

Taux de matière sèche 70,8%

Lieu de prélèvement CA-S2
Localisation du prélèvement Rive droite du Ravin de la Bête
Replat à 1 m du lit

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 14/12/2015
Délai avant analyse (j) 10
Conditions de préparation Etuvage 105 °C
Concassage et tamisage 2mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 24/12/2015
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 61,09
Temps de comptage (s) 300 000

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 <

Activités calculées à la date de mesure

Chaîne de l'Uranium 238			
Thorium 234**	<		42
Radium 226***	34 ±		5
Plomb 214	35 ±		5
Bismuth 214	33 ±		5
Plomb 210**	97 ±		19
Chaîne de l'Uranium 235			
Uranium 235	<		12
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	33 ±		8
Plomb 212	32,2 ±		4,9
Thallium 208	11,0 ±		2,3
Potassium 40	<		450
Béryllium 7	<		2,9
Eléments radioactifs artificiels Activité et incertitude ou limite de détection si <			
Césium 137	22,6 ±		3,3
Césium 134	<		0,7
Cobalt 58	<		500
Cobalt 60	<		0,46
Manganèse 54	<		2,0
Antimoine 125	<		1,7
Cérium 144	<		10
Argent 110m	<		2,9
Américium 241**	2,2 ±		0,7
Iode 129**	<		0,40
Ruthénium 106	<		13

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

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

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

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 31 décembre 2015

CADARACHE

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° 28705-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE

Code Prélèvement CA-S2
Code Enregistrement 020114A6
N° d'analyse C 28705

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Strate (cm) 10-20

Taux de matière sèche 70,9%

Lieu de prélèvement CA-S2
Localisation du prélèvement Rive droite du ravin de la Bête
Replat à 1 m du lit

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 14/12/2015
Délai avant analyse (j) 14
Conditions de préparation Etuvage 105 °
Concassage et tamisage 2mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 28/12/2015
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 62,37
Temps de comptage (s) 115 149

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 <

Activités calculées à la date de mesure

Chaîne de l'Uranium 238			
Thorium 234**	<		40
Radium 226***	34	±	6
Plomb 214	36	±	6
Bismuth 214	33	±	6
Plomb 210**	96	±	22
Chaîne de l'Uranium 235			
Uranium 235	<		13
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	34	±	9
Plomb 212	33	±	5
Thallium 208	11,3	±	2,7
Potassium 40	<		490
Béryllium 7	<		4,6

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

Activités ramenées à la date de prélèvement

Césium 137	27,0	±	4,2
Césium 134	<		1,1
Cobalt 58	<		800
Cobalt 60	<		0,7
Manganèse 54	<		3,2
Antimoine 125	<		2,8
Cérium 144	<		16
Argent 110m	<		4,8
Américium 241**	2,0	±	0,9
Iode 129**	<		0,6
Ruthénium 106	<		22

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

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

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

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

**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

Valence, le 06 janvier 2016

CADARACHE

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° 28708-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE

Code Prélèvement CA-S2
Code Enregistrement 020114A7
N° d'analyse C 28708

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Strate (cm) 20-30

Taux de matière sèche 68,6%

Lieu de prélèvement CA-S2
Localisation du prélèvement Rive droite du ravin de la Bête
Replat à 1 m du lit

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 14/12/2015
Délai avant analyse (j) 16
Conditions de préparation Séchage 105°C
Tamisage 2mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 29/12/2015
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 62,74
Temps de comptage (s) 157 205

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)

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

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	40
Radium 226***	34 ±	6
Plomb 214	34 ±	6
Bismuth 214	33 ±	6
Plomb 210**	59 ±	17
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	9
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	33 ±	9
Plomb 212	34 ±	5
Thallium 208	12,5 ±	2,7
Potassium 40	<	480
Béryllium 7	<	3,9

Activités calculées à la date de mesure

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

Césium 137	30,8 ±	4,5
Césium 134	<	0,9
Cobalt 58	<	700
Cobalt 60	<	0,6
Manganèse 54	<	2,7
Antimoine 125	<	2,3
Cérium 144	<	14
Argent 110m	<	3,9
Amercium 241**	1,8 ±	1,1
Iode 129**	<	0,5
Ruthénium 106	<	18

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs

par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

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

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

**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

Valence, le 06 janvier 2016

CADARACHE

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° 28710-1 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE

Code Prélèvement CA-S2
Code Enregistrement 020114A8
N° d'analyse C 28710

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Strate (cm) 30-40

Taux de matière sèche 69,8%

Lieu de prélèvement CA-S2
Localisation du prélèvement Rive droite du ravin de la Bête
Replat à 1 m du lit

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 14/12/2015
Délai avant analyse (j) 18
Conditions de préparation étuvage 105 °c
tamisage 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 31/12/2015
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 72,43
Temps de comptage (s) 300 000

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)

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

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	23
Radium 226**	28,3 ±	4,4
Plomb 214	29,4 ±	4,5
Bismuth 214	27,1 ±	4,4
Plomb 210**	47 ±	13

Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	8

Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	28 ±	7
Plomb 212	28,5 ±	4,3
Thallium 208	9,4 ±	2,0

Potassium 40	<	460
Béryllium 7	<	2,7

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

Césium 137	112 ±	13
Césium 134	<	0,6
Cobalt 58	<	450
Cobalt 60	<	0,38
Manganèse 54	<	1,8
Antimoine 125	<	1,5
Cérium 144	<	9
Argent 110m	<	2,6
Américium 241**	3,6 ±	0,9
Iode 129**	<	0,36
Ruthénium 106	<	12

Activités calculées à la date de mesure

Activités ramenées à la date de prélèvement

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

* Éléments 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.

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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° 27744-3 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE / MEDIANE

Code Prélèvement CA-S3
Code Enregistrement 020114A9
N° d'analyse C 27744

Nature de l'échantillon Carottage de sol
0-10 cm

Lieu de prélèvement Bas-côté chemin, aval bassins (13)
Localisation du prélèvement CA-S3

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement Laboratoire de la CRIIRAD (Cco)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 07/05/2014
Géométrie de comptage Marinelli
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais
Masse analysée (g) 419,99
Temps de comptage (s) 169 237

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

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

Eléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <	
Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	620 ±	70
Radium 226***	620 ±	60
Plomb 214	650 ±	70
Bismuth 214	600 ±	60
Plomb 210**	416 ±	48
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	34 ±	8
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	37 ±	5
Plomb 212	40,0 ±	4,7
Thallium 208	14,1 ±	1,8
Potassium 40	199 ±	29
Béryllium 7	<	1,2
Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <	
Césium 137	37,3 ±	4,3
Césium 134	<	0,17
Cobalt 58	<	0,6
Cobalt 60	<	0,15
Manganèse 54	<	0,22
Antimoine 125	<	0,5
Cérium 144	<	1,4
Argent 110m	<	0,22
Américium 241**	<	0,38
Iode 129**	<	0,33
Ruthénium 106	<	1,7

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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.
Décteur 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° 27739-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude CADARACHE / MEDIANE

Code Prélèvement CA-S4
Code Enregistrement 020114A10
N° d'analyse C 27739

Nature de l'échantillon Carottage de sol
0-10 cm

Taux de matière sèche 70,0%

Localisation du prélèvement (13)
CA-S4

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement Laboratoire de la CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 28/01/2014
Délai avant analyse (j) 95
Conditions de préparation dessiccation
tamisage 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 02/05/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 81,04
Temps de comptage (s) 257 942

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**	<	29
Radium 226***	23,2 ±	3,6
Plomb 214	24,0 ±	3,6
Bismuth 214	22,5 ±	3,6
Plomb 210**	28 ±	11
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	4,9
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	20 ±	6
Plomb 212	26,2 ±	3,8
Thallium 208	8,3 ±	1,6
Potassium 40	<	370
Béryllium 7	<	1,8
Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <	
Césium 137	5,1 ±	1,1
Césium 134	<	0,25
Cobalt 58	<	0,9
Cobalt 60	<	0,23
Manganèse 54	<	0,33
Antimoine 125	<	0,7
Cérium 144	<	1,4
Argent 110m	<	0,34
Américium 241**	<	0,27
Iode 129**	<	0,25
Ruthénium 106	<	2,9

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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.
Détekteur 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° 27819-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / Mediane

Code Prélèvement CAS4
Code Enregistrement 020114A11
N° d'analyse C 27819

Nature de l'échantillon Carottage de sol
10-20 cm

Taux de matière sèche 67,9%

Lieu de prélèvement CAS4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 07/02/2014
Délai avant analyse (j) 141
Conditions de préparation Dessiccation
Tamisage < 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 27/06/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 77,41
Temps de comptage (s) 232 318

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)

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

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	31
Radium 226***	25,4 ±	3,9
Plomb 214	25,3 ±	3,8
Bismuth 214	25,5 ±	4,0
Plomb 210**	32 ±	12
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	5
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	24 ±	7
Plomb 212	28,1 ±	4,1
Thallium 208	9,1 ±	1,7
Potassium 40	<	400
Béryllium 7	<	2,0
Éléments radioactifs artificiels		
Césium 137	7,2 ±	1,4
Césium 134	<	0,30
Cobalt 58	<	1,7
Cobalt 60	<	0,24
Manganèse 54	<	0,41
Antimoine 125	<	0,8
Cérium 144	<	1,8
Argent 110m	<	0,44
Américium 241**	<	0,30
Iode 129**	<	0,28
Ruthénium 106	<	3,5

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** 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.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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° 27757-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / Mediane
Code Prélèvement CA-S4
Code Enregistrement 020114A12
N° d'analyse C 27757
Nature de l'échantillon Carottage de sol
20-30 cm
Taux de matière sèche 72,1%
Lieu de prélèvement CA-S4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune
Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 28/01/2014
Délai avant analyse (j) 109
Conditions de préparation Dessiccation
Tamisage < 2mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 16/05/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 81,88
Temps de comptage (s) 228 700

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)

Éléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <	
Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	29
Radium 226***	21,6 ±	3,5
Plomb 214	22,4 ±	3,4
Bismuth 214	20,8 ±	3,6
Plomb 210**	28 ±	11
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	12
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	23 ±	6
Plomb 212	26,4 ±	3,8
Thallium 208	7,6 ±	1,5
Potassium 40	<	350
Béryllium 7	<	1,9
Éléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <	
Césium 137	3,7 ±	1,1
Césium 134	<	0,26
Cobalt 58	<	1,1
Cobalt 60	<	0,25
Manganèse 54	<	0,36
Antimoine 125	<	0,7
Cérium 144	<	1,6
Argent 110m	<	0,38
Américium 241**	<	0,27
Iode 129**	<	0,26
Ruthénium 106	<	3,0

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** 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.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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° 27788-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / Mediane
Code Prélèvement CA-S4
Code Enregistrement 020114A13
N° d'analyse C 27788
Nature de l'échantillon Carottage de sol
Profondeur 30-40 cm
Taux de matière sèche 69,2%
Lieu de prélèvement CA-S4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune
Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 07/02/2014
Délai avant analyse (j) 117
Conditions de préparation Dessiccation
Tamisage < 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 03/06/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 75,6
Temps de comptage (s) 159 320

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

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme 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***	24,4 ±	4,2
Plomb 214	24,8 ±	4,1
Bismuth 214	23,9 ±	4,4
Plomb 210**	38 ±	13
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	6
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	22 ±	7
Plomb 212	27,2 ±	4,2
Thallium 208	9,7 ±	1,9
Potassium 40	<	400
Béryllium 7	<	2,5
Eléments radioactifs artificiels		
Césium 137	6,3 ±	1,6
Césium 134	<	0,35
Cobalt 58	<	1,7
Cobalt 60	<	0,34
Manganèse 54	<	0,48
Antimoine 125	<	0,9
Cérium 144	<	2,1
Argent 110m	<	0,5
Américium 241**	<	0,37
Iode 129**	<	0,35
Ruthénium 106	<	4,0

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

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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° 27763-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / mediane

Code Prélèvement CA-S4
Code Enregistrement 020114A14
N° d'analyse C 27763

Nature de l'échantillon Carottage de sol
40-50 cm

Taux de matière sèche 68,4%

Lieu de prélèvement CA-S4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 30/01/2014
Délai avant analyse (j) 111
Conditions de préparation Dessiccation
Tamisage < 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 21/05/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 81,08
Temps de comptage (s) 168 700

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**	<	31
Radium 226***	23,2 ±	3,9
Plomb 214	24,2 ±	3,9
Bismuth 214	22,2 ±	3,9
Plomb 210**	24 ±	11
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	11
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	26 ±	7
Plomb 212	26,8 ±	4,0
Thallium 208	9,1 ±	1,7
Potassium 40	<	400
Béryllium 7	<	2,1

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

Césium 137	6,3 ±	1,4
Césium 134	<	0,32
Cobalt 58	<	1,3
Cobalt 60	<	0,29
Manganèse 54	<	0,41
Antimoine 125	<	0,8
Cérium 144	<	1,9
Argent 110m	<	0,43
Américium 241**	<	0,33
Iode 129**	<	0,31
Ruthénium 106	<	3,6

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

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

*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214 à l'équilibre, soit plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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° 27809-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / Médiane

Code Prélèvement CAS-4
Code Enregistrement 020114A15
N° d'analyse C 27809

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Tranche 50-60 cm

Taux de matière sèche 69,6%

Lieu de prélèvement CA-S4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 07/02/2014
Délai avant analyse (j) 134
Conditions de préparation Dessiccation
tamisage < 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 20/06/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 79,86
Temps de comptage (s) 231 368

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)

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

Chaîne de l'Uranium 238

Thorium 234**	<	37
Radium 226***	24,2 ±	3,8
Plomb 214	26,4 ±	4,0
Bismuth 214	22,0 ±	3,7
Plomb 210**	26 ±	11

Chaîne de l'Uranium 235

Uranium 235	<	5
-------------	---	---

Chaîne du Thorium 232

Actinium 228	24 ±	6
Plomb 212	27,3 ±	4,0
Thallium 208	8,8 ±	1,6

Potassium 40	<	390
Béryllium 7	<	1,9

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

Césium 137	4,3 ±	1,1
Césium 134	<	0,28
Cobalt 58	<	1,5
Cobalt 60	<	0,27
Manganèse 54	<	0,39
Antimoine 125	<	0,7
Cérium 144	<	1,8
Argent 110m	<	0,42
Américium 241**	<	0,29
Iode 129**	<	0,27
Ruthénium 106	<	3,3

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** 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.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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.
Décteur 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° 27773-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / Médiane

Code Prélèvement CA-S4
Code Enregistrement 020114A16
N° d'analyse C 27773

Nature de l'échantillon Carottage de sol
60-70 cm

Taux de matière sèche 63,3%

Lieu de prélèvement CA-S4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement Laboratoire de la CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 30/01/2014
Délaï avant analyse (j) 114
Conditions de préparation Dessiccation
Tamisage < 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 23/05/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 73,68
Temps de comptage (s) 230 364

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**	<	29
Radium 226***	24,7 ±	4,1
Plomb 214	26,6 ±	4,1
Bismuth 214	22,9 ±	4,0
Plomb 210**	40 ±	13
Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	9
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	21 ±	7
Plomb 212	27,7 ±	4,1
Thallium 208	9,0 ±	1,7
Potassium 40	<	410
Béryllium 7	<	2,1
Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <	
Césium 137	6,3 ±	1,4
Césium 134	<	0,30
Cobalt 58	<	1,3
Cobalt 60	<	0,28
Manganèse 54	<	0,40
Antimoine 125	<	0,8
Cérium 144	<	1,8
Argent 110m	<	0,41
Américium 241**	<	0,32
Iode 129**	<	0,29
Ruthénium 106	<	3,5

Activités ramenées à la date de prélèvement

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

* 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.

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

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

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

Valence, le 03 décembre 2015

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° 27808-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA**

Identification de l'échantillon analysé

Etude Cadarache / Médiane

Code Prélèvement CAS-4
Code Enregistrement 020114A17
N° d'analyse C 27808

Nature de l'échantillon Carottage de sol
Tranche 70-80 cm

Taux de matière sèche 65,8%

Lieu de prélèvement CA-S4 (13)
Localisation du prélèvement Lagune

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR824

Prélèvement

Date de prélèvement 18/12/2013
Opérateur de prélèvement CRIIRAD (CCO)
Mode de prélèvement Tube de carottage

Pré-traitement

Date de préparation 07/02/2014
Décalai avant analyse (j) 131
Conditions de préparation Dessiccation
Tamisage < 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure 18/06/2014
Géométrie de comptage Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse Sec
Masse analysée (g) 74,09
Temps de comptage (s) 199 467

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)

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

Chaîne de l'Uranium 238

Thorium 234**	<	24
Radium 226***	25,1 ±	4,1
Plomb 214	26,1 ±	4,1
Bismuth 214	24,0 ±	4,0
Plomb 210**	35 ±	13

Chaîne de l'Uranium 235

Uranium 235	<	6
-------------	---	---

Chaîne du Thorium 232

Actinium 228	22 ±	7
Plomb 212	27,9 ±	4,1
Thallium 208	9,4 ±	1,8

Potassium 40	<	410
Béryllium 7	<	2,2

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

Césium 137	6,0 ±	1,4
Césium 134	<	0,32
Cobalt 58	<	1,8
Cobalt 60	<	0,32
Manganèse 54	<	0,46
Antimoine 125	<	0,9
Cérium 144	<	2,0
Argent 110m	<	0,47
Américium 241**	<	0,34
Iode 129**	<	0,31
Ruthénium 106	<	3,7

Activités ramenées à la date de prélèvement

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

** 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.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

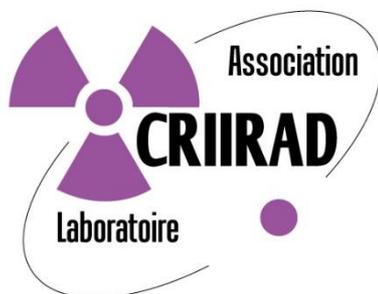
Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire



ANNEXE 3

Courrier CRIIRAD au directeur du CEA de Cadarache

Valence, le 8 janvier 2016



Monsieur le Directeur
CEA CADARACHE
Saint Paul les Durance Cedex
13108 SAINT PAUL LEZ DURANCE

Objet : niveau anormalement élevé d'uranium naturel en bordure d'un chemin dans le secteur du ravin de la Bête.

Monsieur le directeur

Le laboratoire de la CRIIRAD finalise un rapport portant sur l'analyse de sédiments et sols prélevés dans le secteur du ravin de la Bête à la demande de l'association Médiane.

Afin de faciliter l'interprétation de nos résultats, je vous serais reconnaissant de nous adresser copie des études réalisées par le CEA sur les sédiments du ravin de la Bête.

Par ailleurs, le technicien CRIIRAD a relevé des anomalies radiométriques sur un chemin situé en rive gauche du ravin de la bête (flux de rayonnement gamma DG5 au contact du sol de 200 c/s environ soit une valeur 3 fois supérieure au bruit de fond). Cette anomalie semble provenir de la sous-couche. Le technicien a effectué un carottage de 10 cm de profondeur à 3 mètres du chemin (voir document **joint**), afin de ne pas endommager le chemin. Il semble que ces matériaux, de couleur noire, pourraient être de même nature que les matériaux de la sous-couche du chemin. Le mélange terre brune et matériau de couleur noire présente une activité en **uranium 238** de **620 Bq/kg**, environ **15 fois supérieure à la moyenne de l'écorce terrestre** et une activité en **césium 137** de **37,3 Bq/kg**.

Nous sommes à la recherche d'informations permettant de déterminer la nature et l'origine de ces matériaux et la date de réalisation de la sous-couche de ce chemin.

Vous remerciant par avance des éléments que vous serez en mesure de nous communiquer, je vous prie d'agréer, monsieur le Directeur, l'expression de ma sincère considération et reste à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Le Directeur du laboratoire
Bruno CHAREYRON
Ingénieur en physique nucléaire

PJ : carte de localisation et photographies

Chemin présentant des anomalies radiométriques (relevés CRIIRAD, cercle rouge sur la carte) et prélèvement CA-S3 en bordure de chemin (au niveau de la caisse rouge sur la photographie)



ANNEXE 4

Réponse du directeur du CEA de Cadarache

Direction de l'énergie nucléaire
Direction du Cea/Cadarache



Monsieur Bruno CHAREYRON
CRIIRAD
29 Cours Manuel de Falla
26000 Valence

Cadarache le 22 février 2016



Monsieur,

Pour faire suite au courrier daté du 8 janvier 2016 que vous m'avez fait parvenir concernant un rapport portant sur l'analyse de sédiments et de sols prélevés dans le secteur du Ravin de la Bête à la demande de l'association Médiane, je vous prie de trouver les éléments de réponse à vos deux questions.

- Concernant les sédiments du Ravin de la Bête, vous trouverez ci-dessous un extrait du rapport annuel 2014 qui traite des mesures qui sont faites sur les sédiments prélevés dans la Durance, en amont et en aval du point de rejet du Centre et dans le Ravin de la Bête.

« Des prélèvements de sédiments sont réalisés annuellement à Manosque (en Durance en amont du Centre), à Vinon-sur-Verdon (dans le Verdon) et au lieu-dit Saint-Eucher (en Durance, à 800 m de l'exutoire du Centre).

Des prélèvements annuels sont également réalisés dans le Ravin de la Bête (en sortie vers la Durance) ainsi que dans les bacs de prélèvements des stations de Mirabeau (Aval Durance) et Jouques (canal de Provence).

Les résultats des analyses des sédiments prélevés en 2014 sont reportés dans le Tableau 36.

Tableau 36 : Activités en bêta global, des émetteurs gamma (K-40 et Cs-137), du Sr-Y-90 et des isotopes du Pu dans les sédiments prélevés en 2014

	Activités (Bq/kg sec)					
	β global	^{40}K	^{137}Cs	^{238}Pu	^{239}Pu et ^{240}Pu	^{90}Sr
VINON SUR VERDON	360	63	1,1	< 0,05	< 0,05	< 5
S ^T EUCHER	370	240	0,93	< 0,05	0,062	< 2,3
RAVIN DE LA BÊTE	420	200	2,8	< 0,05	0,19	< 7,44
STATION DE JOUQUES	450	230	1	< 0,05	0,035	< 3,1

Notons l'absence de sédiments au point de rejet du Centre, d'où l'absence de mesures en ce lieu. Aucun sédiment n'a pu être prélevé à Mirabeau et Manosque en 2014. En effet, les cours d'eau torrentiels comme la Durance ou le Verdon ne favorisent pas la sédimentation d'éléments fins (présence majoritaire de galets et sables) à de nombreux endroits du cours d'eau.

Les émetteurs gamma mesurés sont le potassium 40, isotope radioactif du potassium naturellement présent dans les sédiments et le césium 137, radioélément artificiel, dont des traces dues aux retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986, sont encore mesurables.

On relève la présence à l'état de traces des isotopes 239 et 240 du plutonium en Durance, à St Eucher, en aval du point de rejet, et dans le canal de Provence à la station de Jouques dont l'origine est due aux retombées des essais nucléaires atmosphériques.

On note également des traces de plutonium 239 et de plutonium 240 dans le Ravin de la Bête. La valeur mesurée reste cependant relativement proche du seuil de décision.

Toutes les mesures en strontium 90 sont inférieures aux seuils de décision. »

2. Concernant le chemin sur la rive gauche du Ravin de la Bête, suite à votre demande nous avons procédé à une enquête dont les éléments de conclusion qui, je l'espère, pourront vous aider dans votre démarche, sont les suivants :

Nous avons effectué des mesures sur le chemin qui confirment l'augmentation du bruit de fond naturel dès que l'on se rapproche du chemin.

Les analyses effectuées sur deux prélèvements montrent des traces de césium-137 dont le niveau d'activité est comparable à celui que l'on mesure sur le sol hors influence du Centre de Cadarache.

Elles montrent également la présence de radioéléments naturels (uranium, radium et potassium), les niveaux d'activité sont équivalents à ceux que vous avez mesurés. Ces mesures donnent des résultats comparables à ceux qui résultent de l'analyse d'échantillons de scories faites par nos laboratoires.

Le sol noirâtre trouvé sur le terrain pourrait donc provenir d'un remblai de scories, matériau communément utilisé en France dans les années 1990 et 2000 comme remblai des routes, de stades de sport ...

Dans la région, le charbon le plus communément utilisé dans les chaufferies à l'origine de ces scories était le charbon de la mine de Gardanne.

En espérant avoir apporté des éléments de réponse qui pourront compléter votre rapport, je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de ma considération distinguée.

Christian BONNET
Directeur du CEA Cadarache

