



RAPPORT N°19-62

**CARACTERISATION RADIOLOGIQUE D'ECHANTILLONS DE  
MOUSSES TERRESTRES PRELEVES EN RHONE-ALPES ET DANS LE  
VAUCLUSE – VERSION FINALE**

**Etude réalisée dans le cadre de la gestion des balises CRIIRAD  
de Rhône-Alpes en 2016 et 2017**

**Secteurs : Drôme, Ardèche, Ouest-Isère, Loire, Nord Vaucluse**

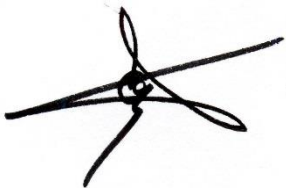


Rédaction : Jérémie Motte, ingénieur environnement, responsable du service balises

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>                                                                                  | <b>3</b>  |
| <b>2. REPERAGE DES STATIONS DE PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE .....</b>                                                | <b>4</b>  |
| 2.1 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU CNPE DE CRUAS MEYSSE .....                                                 | 5         |
| 2.2 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU CNPE DE SAINT ALBAN.....                                                   | 6         |
| 2.3 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU SITE NUCLEAIRE DU TRICASTIN .....                                          | 7         |
| 2.4 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU SITE AREVA NP DE ROMANS-SUR-ISERE .....                                    | 10        |
| <b>3. RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA .....</b>                                                         | <b>11</b> |
| 3.1 RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS .....                                                                                   | 11        |
| 3.2 RADIONUCLEIDES NATURELS .....                                                                                      | 15        |
| <b>4. ANALYSES COMPLEMENTAIRES : TRITIUM, CARBONE 14 ET URANIUM.....</b>                                               | <b>16</b> |
| 4.1 METHODOLOGIE .....                                                                                                 | 16        |
| 4.2 TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE .....                                                                                    | 17        |
| 4.3 CARBONE 14 .....                                                                                                   | 19        |
| 4.4 URANIUM .....                                                                                                      | 21        |
| <b>5. CONCLUSION .....</b>                                                                                             | <b>22</b> |
| <b>ANNEXE 1 – RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA ET CARTES<br/>D’IMPLANTATION DES STATIONS .....</b>       | <b>23</b> |
| <b>ANNEXE 2 – RESULTATS DES ANALYSES – TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE .....</b>                                             | <b>31</b> |
| <b>ANNEXE 3 – RESULTATS DES ANALYSES – CARBONE 14.....</b>                                                             | <b>33</b> |
| <b>ANNEXE 4 – RESULTATS DES ANALYSES TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE ET CARBONE 14<br/>- ECHANTILLONS DE REFERENCE .....</b> | <b>35</b> |
| <b>ANNEXE 5 – IMPLANTATION DES BALISES DU RESEAU CRIIRAD – COLLECTIVITES<br/>PARTENAIRES.....</b>                      | <b>36</b> |

|           | EMETTEUR                                                                            | APPROBATION                                                                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Nom       | Jérémie MOTTE                                                                       | Bruno CHAREYRON                                                                      |
| Fonction  | Responsable du service balises                                                      | Directeur du laboratoire                                                             |
| Date      | 24/05/2019                                                                          | 24/05/2019                                                                           |
| Signature |  |  |

## 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

### Contexte

Le laboratoire de la CRIIRAD gère un réseau indépendant de contrôle de la radioactivité atmosphérique en Rhône-Alpes et en Avignon grâce au soutien de différentes collectivités partenaires<sup>1</sup>. Au niveau de la région Rhône-Alpes, ce réseau est composé de 6 stations :

- des balises implantées dans la **Drôme** à Romans-sur-Isère, Valence et Montélimar, en **Isère** à Péage de Roussillon et en **Ardèche** à Saint-Marcel d'Ardèche ;
- une sonde gamma à Saint-Agrève en **Ardèche**.

Le réseau permet d'effectuer une surveillance en continu de la radioactivité dans l'atmosphère et de déclencher automatiquement une alerte en cas de forte contamination radioactive de l'air.

En complément, le laboratoire de la CRIIRAD effectue des prélèvements et des analyses d'échantillons de l'environnement (précipitations, sols, bioindicateurs, etc.). Ces analyses complémentaires répondent à plusieurs objectifs :

- Détecter des radionucléides dont la présence n'est pas mise en évidence par les balises (par exemple le tritium dont l'activité est suivie dans les précipitations).
- Analyser des compartiments de l'environnement susceptibles d'intégrer la contamination sur plusieurs mois ou plusieurs années (sols, bioindicateurs). Ceci peut permettre de mettre en évidence l'impact des rejets chroniques des INB (ce que ne permet pas en règle générale le réseau de balises).
- Caractériser la radioactivité de différents compartiments de l'environnement afin d'obtenir un état de référence indispensable pour pouvoir, le cas échéant, et par comparaison, évaluer l'intensité de futures retombées radioactives et en déduire les mesures à prendre pour protéger au mieux la population.

C'est dans ce contexte qu'au cours des années **2016** et **2017**, le laboratoire de la CRIIRAD a prélevé et analysé (et a fait analyser<sup>2</sup>) des échantillons de **bio-indicateurs atmosphériques (mousses terrestres)** autour des CNPE de **Cruas Meyssse** et de **Saint-Alban**, et du site **AREVA NP à Romans-sur-Isère** (fabrication de combustible nucléaire).

Un autre prélèvement a également été effectué à proximité de la balise située à Saint-Marcel d'Ardèche, non loin du site nucléaire du **Tricastin** afin de compléter l'étude réalisée en 2015 (dans le cadre du programme 2014 de la convention pluriannuelle d'objectifs 2014/2016 entre la Région Rhône-Alpes et la CRIIRAD).

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

Cette étude a été réalisée dans le cadre des programmes 2016 et 2017<sup>3</sup> de gestion du réseau de balises en région Rhône-Alpes.

### Choix du bio-indicateur

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

---

<sup>1</sup> Les stations du réseau et les collectivités partenaires sont présentées en annexe 5.

<sup>2</sup> Pour certaines analyses (détermination du tritium organiquement lié, carbone 14, uranium), le laboratoire de la CRIIRAD a eu recours à des prestations auprès d'autres laboratoires.

<sup>3</sup> Le programme s'est étalé sur 2 années, pour des raisons budgétaires.

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

Ces bio-indicateurs peuvent accumuler plusieurs types de radionucléides<sup>4</sup> d'origine naturelle ou artificielle. Pour ce qui concerne un suivi de l'impact des activités nucléaires, on peut citer par exemple :

- De nombreux produits de fission et d'activation susceptibles d'être présents dans les rejets des centrales nucléaires et/ou dans les retombées en cas d'accident nucléaire. Nombreux parmi ces radionucléides sont détectables par spectrométrie gamma comme par exemple iode 131, césium 137, césium 134, cobalt 60, cobalt 58, manganèse 54, argent 110<sup>m</sup>, etc...). C'est pourquoi, dans le cadre de la campagne 2016, les échantillons ont systématiquement fait l'objet d'analyses par spectrométrie gamma.
- Le tritium et le carbone 14 (émetteurs bêta d'origine naturelle, mais également présents dans les rejets des centrales nucléaires).
- Des transuraniens (américium 241, isotopes du plutonium, etc..).
- Des isotopes naturels et artificiels de l'uranium susceptibles d'être présents dans les rejets des installations nucléaires de l'amont du cycle du combustible (par exemple certaines installations du site du Tricastin, usine AREVA NP de Romans-sur-Isère, etc..).

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

En complément des mousses terrestres, il est utile d'analyser les sols ainsi que les précipitations afin d'évaluer les retombées atmosphériques. Ce type d'échantillons a fait l'objet d'autres campagnes de prélèvements réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD au cours des années précédentes, dans le cadre de l'exploitation du réseau de balises.

## **2. REPERAGE DES STATIONS DE PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE**

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

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

Par ailleurs, les points de prélèvement doivent être situés sous les vents dominants (nord-sud dans le cas des installations nucléaires de Cruas Meysses, Saint Alban, Tricastin situées dans la Vallée du Rhône mais aussi du site AREVA NP à Romans-sur-Isère), et le plus près possible de la source potentielle de rejet.

Compte tenu de ces critères, les stations sélectionnées pour cette étude 2016 correspondaient aux cimetières des communes proches des sites nucléaires précédemment cités. Cinq stations, deux au nord et trois au sud ont été choisies autour de chaque site. Un prélèvement unique a été effectué en 2016 à proximité de la balise de Saint Marcel d'Ardèche, au sud-ouest du site du Tricastin, venant compléter les 4 prélèvements effectués en [2015](#) autour de ce site.

Des échantillons de référence ont été prélevés également à Valence (Drôme) et à Saint-Agrève (Ardèche).

Les cartes de localisation figurent en Annexe 1.

---

<sup>4</sup> En revanche, l'étude des mousses terrestres n'est pas adaptée pour étudier l'impact des rejets de gaz rares car ces derniers ne sont pas vraiment métabolisés par les bio-indicateurs.

## 2.1 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU CNPE DE CRUAS MEYSSE

Après repérage sur un plan, 5 stations ont été retenues (voir carte ci-dessous). Il s'agit :

- des cimetières de Cruas et de Saulce-sur-Rhône, situés respectivement à 2 et 7 kilomètres au nord du site,
- des cimetières de Meyssse, Ancône et Montélimar (Saint-Lazare) situés respectivement à 2,5 ; 5,5 et 7,5 kilomètres au sud du CNPE.

Les prélèvements de mousses terrestres ont été effectués le 28 juin 2016 pour les stations de Cruas et de Saulce-sur-Rhône et le 21 juillet 2016 pour les stations de Meyssse, Ancône et Montélimar.

La mission du 28 juin a été effectuée par M. Christian COURBON, technicien CRIIRAD en charge des interventions de terrain et M. Stéphane PATRIGEON, technicien métrologue au laboratoire de la CRIIRAD, celle du 21 juillet a été réalisée par M. COURBON et Mme Sara ORTUNO, assistante au laboratoire de la CRIIRAD.



**Emplacement des stations de prélèvement au voisinage du CNPE de Cruas Meyssse**

Les stations de Cruas et de Meyssse présentent l'avantage d'être très proches du CNPE (2 à 2,5 kilomètres). Les stations de Saulce sur Rhône au Nord, d'Ancône et de Montélimar au Sud, un peu plus éloignées mais bien situées dans l'axe des vents dominants Nord-Sud, complètent l'étude dans des zones plus urbanisées.

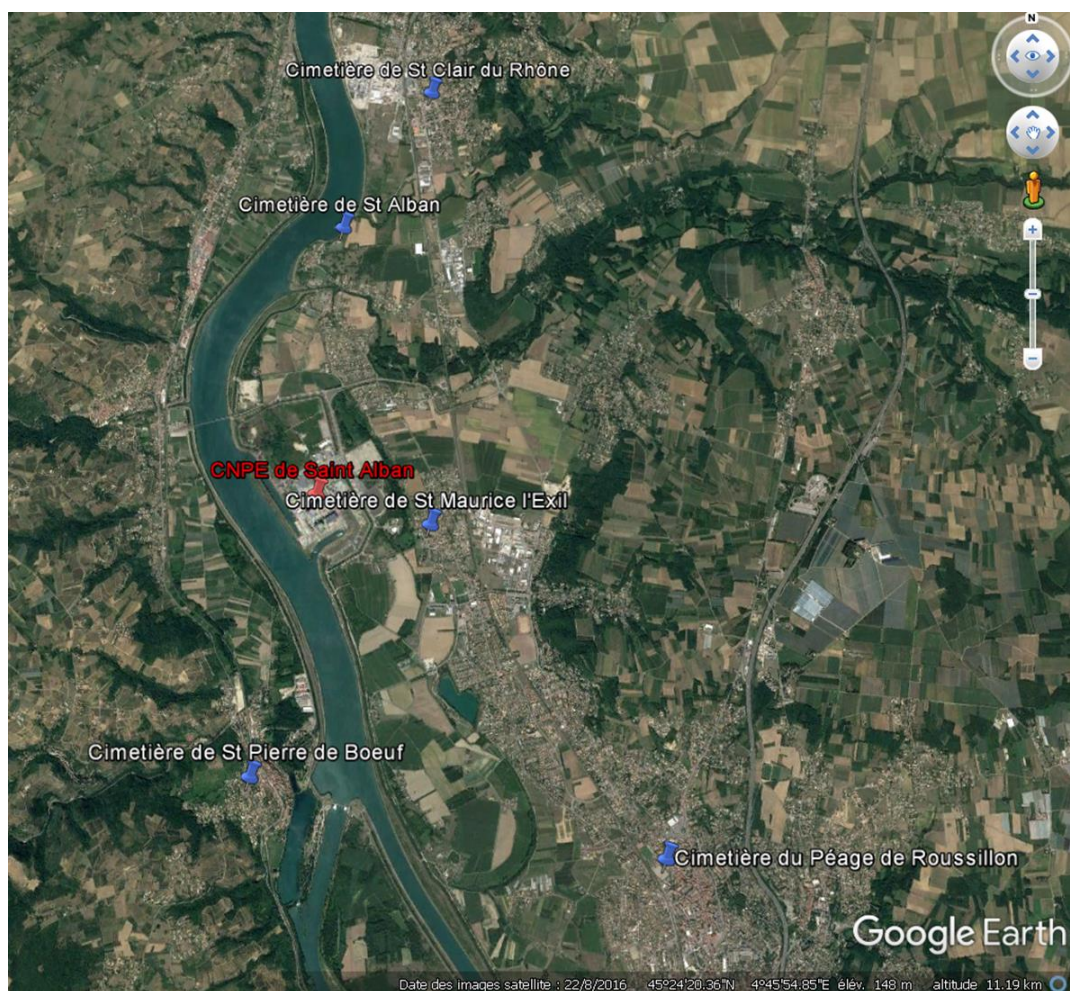


## 2.2 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU CNPE DE SAINT ALBAN

A l'issue du repérage, cinq stations de prélèvement ont été retenues au voisinage de la centrale nucléaire de Saint-Alban :

- les cimetières de Saint-Alban-du-Rhône et de Saint-Clair-du-Rhône, situés respectivement à 2,5 et 4 kilomètres au nord du site,
- les cimetières de Saint-Maurice-L'Exil, Saint-Pierre-de-Bœuf et Péage de Roussillon, situés respectivement à 1 km au sud-est, 2,5 km au sud et 4,5 km au sud-est de la centrale.

Les mousses terrestres ont été prélevées dans la journée du 26 juillet 2016 par M. COURBON et Mme ORTUNO.



**Emplacement des stations de prélèvement au voisinage du CNPE de Saint-Alban**



## 2.3 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU SITE NUCLEAIRE DU TRICASTIN

Au cours du premier semestre 2015, des mousses terrestres avaient déjà été prélevées par la CRIIRAD en 4 stations au voisinage du site nucléaire du Tricastin, dans le cadre d'une étude réalisée avec le soutien de la région Rhône-Alpes. Les stations retenues étaient situées sur des ouvrages de travaux publics ou dans des cimetières (voir ci-dessous). En 2016 un échantillon complémentaire a été prélevé, dans le cimetière de Saint-Marcel d'Ardèche, à proximité de la balise de surveillance de la CRIIRAD.

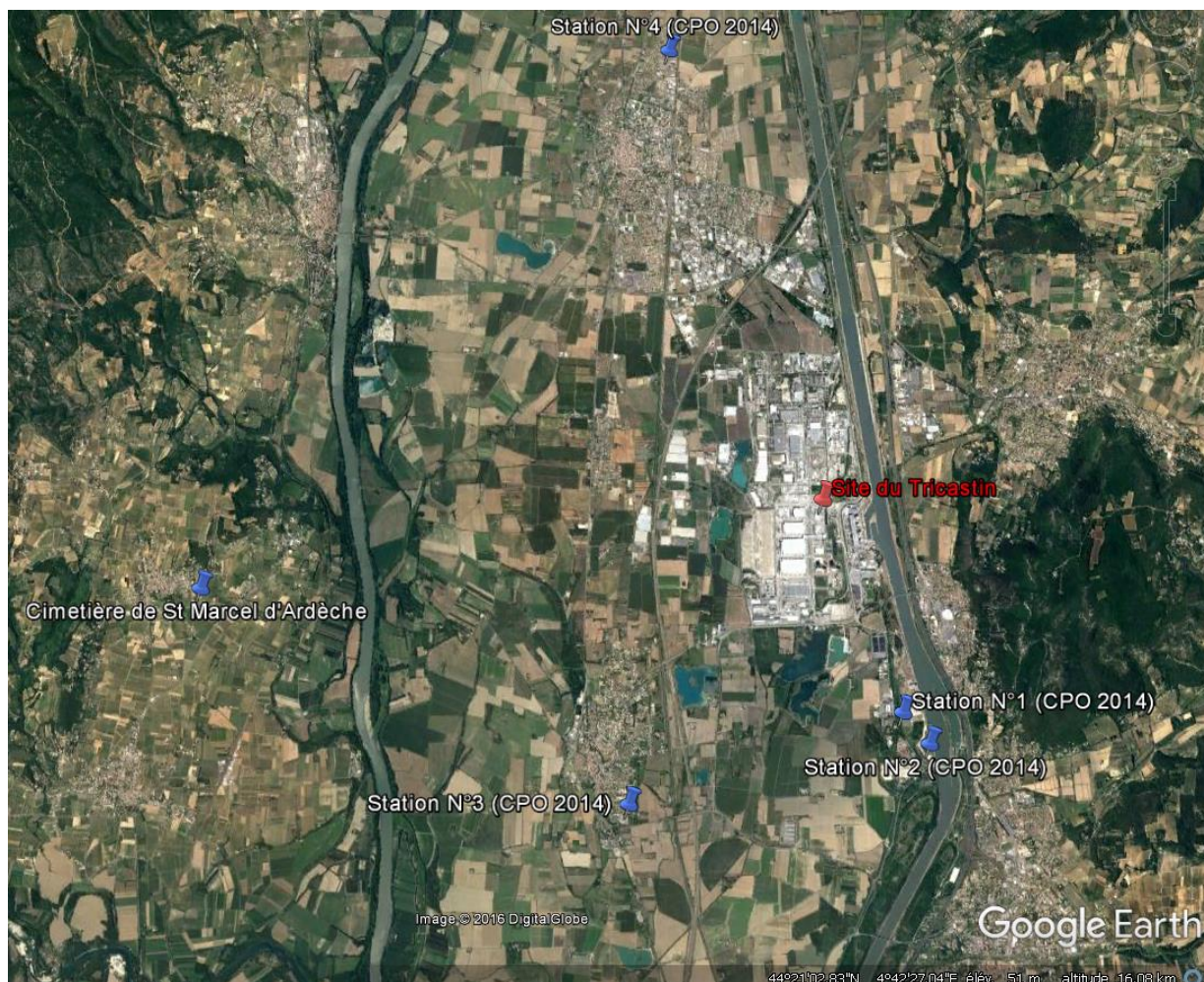
Le repérage des 4 premières stations avait été réalisé lors de 3 interventions sur site :

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

Les missions du 8 janvier 2015 et du 19 juin 2015 ont été réalisées par monsieur Christian COURBON, technicien CRIIRAD en charge des interventions de terrain.

La mission du 9 janvier 2015 a été réalisée par M. COURBON et Mme Marion JEAMBRUN, docteur en géochimie, responsable qualité du laboratoire de la CRIIRAD.

La mission du 3 août 2016 a été menée par M. COURBON.

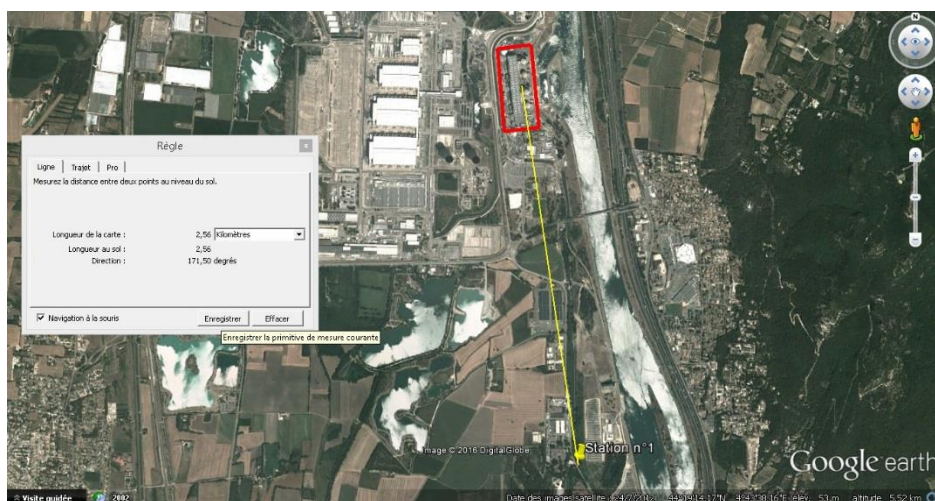


**Emplacement des stations de prélèvement au voisinage du site du Tricastin**

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



Emplacement de la station n°1



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

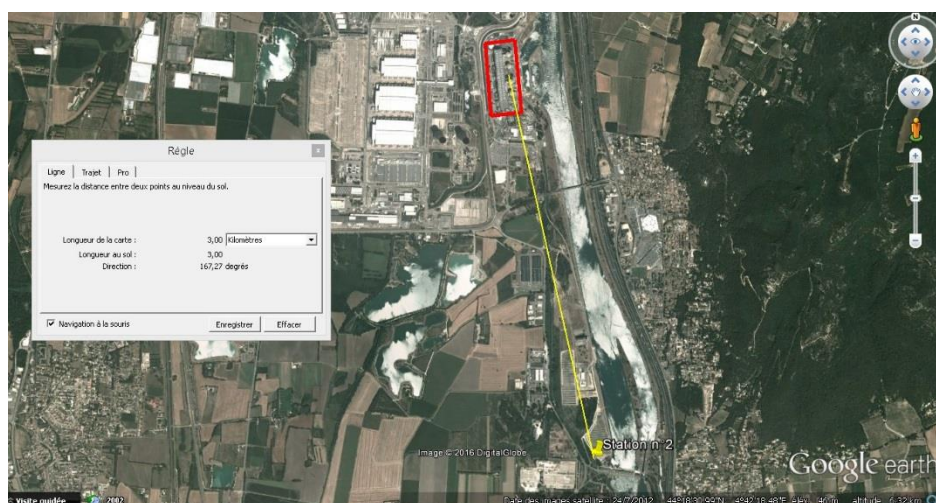
Cette station a le double avantage d'être proche du site du Tricastin (à 2,5 kilomètres de la centrale nucléaire) et d'être située sous les vents dominants. Elle a en revanche l'inconvénient d'être située en contrebas de la D243 : les mousses terrestres sont soumises à la pollution liée aux écoulements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

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

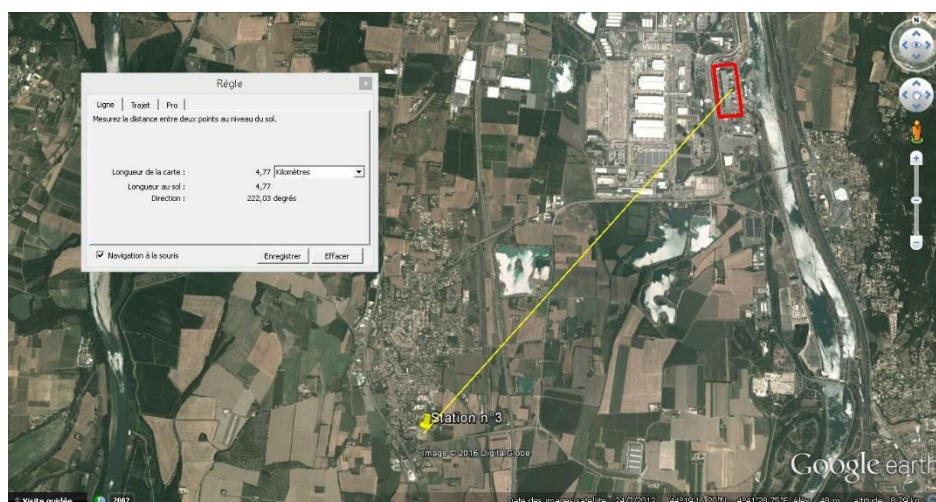




Emplacement de la station n°2



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

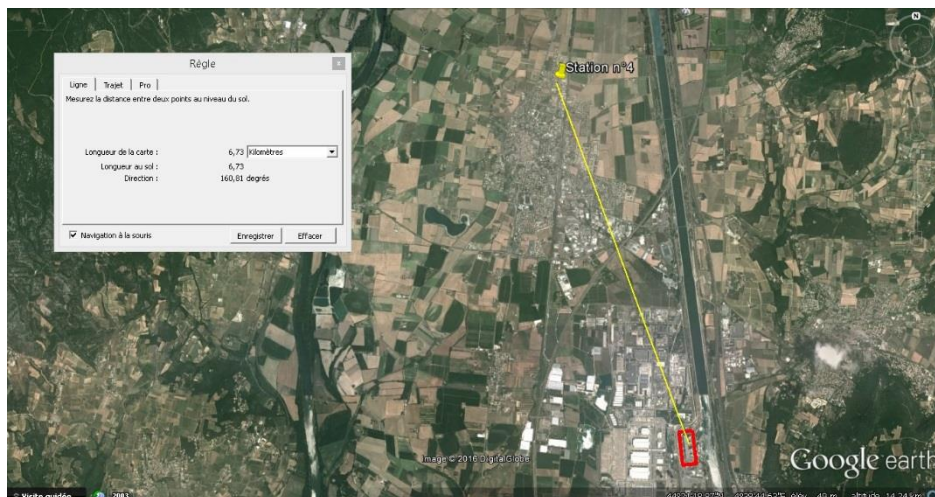


Distance entre la station n°3 et la centrale nucléaire du Tricastin

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

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

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



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

## **2.4 STATIONS DE PRELEVEMENT AU VOISINAGE DU SITE AREVA NP DE ROMANS-SUR-ISERE**

A l'issue du repérage, cinq stations de prélèvement ont été retenues au voisinage du site AREVA NP de Romans-sur-Isère:

- le cimetière de Génissieux à 3,6 kilomètres au nord du site,
- le cimetière de Saint-Paul-Lès-Romans à 1,8 kilomètre au nord-est du site,
- les cimetières de Pizançon et Chatuzange-le-Goubet, situés respectivement à 1,5 et 5,8 kilomètres au sud du site,
- un muret (face à la déchetterie) situé à l'extrémité Sud-Ouest de l'usine AREVA NP

Les mousses terrestres ont été prélevées dans la journée du 28 juillet 2016 par M. COURBON et Mme ORTUNO.





**Emplacement des stations de prélèvement au voisinage du site AREVA NP de Romans-sur-Isère**

### **3. RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA**

Chaque échantillon, après séchage préalable à l'air libre pendant une durée minimale d'une nuit et d'une journée, a été trié, conditionné en géométrie de comptage calibrée et analysé par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD, dans les meilleurs délais<sup>5</sup>, en fonction des contraintes de planning du laboratoire. Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par l'ASN pour la détermination de l'activité des émetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV dans les matrices biologiques (agrément valable jusqu'au 31/12/2018)

Les activités mesurées sont exprimées en Becquerel par kilogramme « frais ». A l'issue de l'analyse, les échantillons ont subi une dessiccation en étuve à 45°C qui a permis de déterminer les taux de matière sèche, puis d'exprimer les résultats en Becquerels par kilogramme de matière sèche (Bq/kg sec).

Des précisions techniques et les résultats complets des analyses sont donnés en annexe 1.

#### **3.1 RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS**

##### **Détection de césium 137**

Le césium 137 (Cs 137) est le seul radionucléide artificiel émetteur gamma détecté dans tous les échantillons analysés (cf. tableau 1 page suivante).

<sup>5</sup> Un délai réduit entre prélèvement et analyse est nécessaire pour obtenir les limites de détection les plus faibles lorsque les radionucléides recherchés ont une courte période physique (par exemple 8 jours pour l'iode 131).



**Tableau 1 : Résultats des analyses par spectrométrie gamma (césium 137)**

| Code | Espèce<br><br>Nom français | Provenance |                        |                    | Activité en césium 137   |                       |                        |
|------|----------------------------|------------|------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
|      |                            | Dpt        | Commune                | Date de cueillette | Césium 137 (Bq/kg frais) | Taux de matière sèche | Césium 137 (Bq/kg sec) |
| VAL  | Mousses terrestres         | 26         | Valence                | 21/06/16           | 246,1 ± 27,9             | 96,1%                 | <b>256</b> ± 29        |
| SAG  | Mousses terrestres         | 07         | Saint Agrève           | 22/06/16           | 13 ± 2                   | 96,1%                 | <b>13,2</b> ± 2,5      |
| CRU1 | Mousses terrestres         | 26         | Saulce-sur-Rhône       | 21/07/16           | 275,6 ± 30,7             | 96,0%                 | <b>287</b> ± 32        |
| CRU2 | Mousses terrestres         | 07         | Cruas                  | 21/07/16           | 189 ± 22                 | 96,1%                 | <b>197</b> ± 23        |
| CRU3 | Mousses terrestres         | 07         | Meysse                 | 21/07/16           | 194,4 ± 22,8             | 94,8%                 | <b>205</b> ± 24        |
| CRU4 | Mousses terrestres         | 26         | Ancône / Cimetière     | 28/06/16           | 156 ± 18                 | 98,5%                 | <b>158</b> ± 18        |
| CRU5 | Mousses terrestres         | 26         | Montélimar             | 28/06/16           | 82,5 ± 9,7               | 97,0%                 | <b>85</b> ± 10         |
| SAL1 | Mousses terrestres         | 38         | Saint Clair du Rhône   | 26/07/16           | 28 ± 4                   | 94,3%                 | <b>30,2</b> ± 4,5      |
| SAL2 | Mousses terrestres         | 38         | Saint Alban            | 26/07/16           | 19,2 ± 3,2               | 93,3%                 | <b>21</b> ± 3          |
| SAL3 | Mousses terrestres         | 38         | Saint Maurice l'Exil   | 26/07/16           | 22 ± 3                   | 94,6%                 | <b>23,1</b> ± 3,6      |
| SAL4 | Mousses terrestres         | 42         | Saint Pierre de Bœuf   | 26/07/16           | 25,0 ± 3,7               | 94,9%                 | <b>26</b> ± 4          |
| SAL5 | Mousses terrestres         | 38         | Péage de Roussillon    | 26/07/16           | 162 ± 18                 | 97,3%                 | <b>167</b> ± 19        |
| TRI1 | Mousses terrestres         | 26         | Sud du CNPE Tricastin  | 08/01/15           | 6,2 ± 2,1                | 88,3%                 | <b>7</b> ± 2           |
| TRI2 | Mousses terrestres         | 84         | Bollène                | 09/01/15           | 17 ± 4                   | 93,4%                 | <b>18,2</b> ± 3,8      |
| TRI3 | Mousses terrestres         | 84         | Lapalud                | 09/01/15           | 130,7 ± 15,9             | 93,4%                 | <b>140</b> ± 17        |
| TRI4 | Mousses terrestres         | 26         | Pierrelatte            | 19/06/15           | 35 ± 6                   | 93,7%                 | <b>37</b> ± 6          |
| TRI5 | Mousses terrestres         | 07         | Saint Marcel d'Ardèche | 03/08/16           | 169,0 ± 18,1             | 95,5%                 | <b>177</b> ± 19        |
| ROM1 | Mousses terrestres         | 26         | Génissieux             | 28/07/16           | 36 ± 5                   | 94,7%                 | <b>38</b> ± 5          |
| ROM2 | Mousses terrestres         | 26         | Saint Paul les Romans  | 28/07/16           | 38,0 ± 5,7               | 94,9%                 | <b>40</b> ± 6          |
| ROM3 | Mousses terrestres         | 26         | Pizançon               | 28/07/16           | 50 ± 7                   | 95,6%                 | <b>52</b> ± 7          |
| ROM4 | Mousses terrestres         | 26         | Chatuzange le Goubet   | 28/07/16           | 54,2 ± 6,7               | 95,1%                 | <b>57</b> ± 7          |
| ROM5 | Mousses terrestres         | 26         | Romans-sur-Isère       | 28/07/16           | 7 ± 1                    | 95,8%                 | <b>7,4</b> ± 1,3       |

Pour les autres produits de fission et d'activation émetteurs gamma comme : manganèse 54, cobalt 58, cobalt 60, ruthénium-rhodium 106, argent 110<sup>m</sup>, antimoine 125, iode 131, iode 129, césium 134, cérium 144, ... les activités sont inférieures aux limites de détection<sup>6</sup> (< 0,3 Bq/kg sec à < 7 Bq/kg sec selon les analyses et les radionucléides). C'est également le cas de l'américium 241 (< 0,4 à < 1,4 Bq/kg sec).

### Répartition du césium 137

Les activités en **césium 137** mesurées au voisinage des différents sites nucléaires sont reportées sur les cartes en annexe 1.

On n'observe pas de corrélation entre les valeurs mesurées et le positionnement par rapport aux sites nucléaires. Les valeurs sont assez variables, comprises entre **7 et 287 Bq/kg sec** et sont comprises dans la gamme de celles obtenues sur les 2 stations de référence, Saint-Agrève et Valence, soit respectivement **13 Bq/kg sec** et **256 Bq/kg sec**.

Par exemple, dans le cas du CNPE de Saint Alban, les activités en césium 137 sont comprises entre 21 Bq/kg sec à Saint Alban (2,5 km au nord du site) et 167 Bq/kg sec au Péage de Roussillon (4,5 km au sud-

<sup>6</sup> Les valeurs d'activité mentionnées ici concernent les échantillons prélevés dans le cadre de la campagne 2016.

est du site). Ces résultats, sont inférieurs à la mesure de référence à Valence (256 Bq/kg sec), et sans corrélation avec la proximité du site nucléaire.

A titre de comparaison, les analyses effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD sur 4 échantillons de cette même espèce de mousse terrestre prélevés en octobre 2011 dans le département du **Tarn**<sup>7</sup> (sud-ouest de la France, moins exposé aux retombées de Tchernobyl) donnaient une contamination en césium 137 comprise entre 6,8 et 38 Bq/kg sec.

Par ailleurs, une analyse réalisée par la CRIIRAD en 2012 dans l'environnement de la centrale nucléaire du Bugey avait indiqué, sur une mousse terrestre de la même espèce prélevée à Hières-sur-Amby (Isère) une contamination en césium 137 de 309 Bq/kg sec<sup>8</sup>.

### Origine du césium 137

Les campagnes de carottage de sol réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD en 2014 et 2015 à proximité des balises et sur d'autres lieux de prélèvement en Rhône-Alpes avaient confirmé la présence systématique de **césium 137** dans le **sol**, avec des activités surfaciques variant de **2 395 Bq/m<sup>2</sup> à 14 229 Bq/m<sup>2</sup>** (voir tableau 2 ci-dessous).

Compte tenu de la décroissance du césium 137 (période physique<sup>9</sup> de 30 ans), les niveaux obtenus étaient compatibles avec ceux déduits des mesures effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD, il y a 20 à 30 ans. Le césium 137 détecté alors provenait principalement du reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques (particulièrement intenses dans les années 50-60) et de la catastrophe de Tchernobyl en 1986.

**Tableau 2 : Activité surfacique du césium 137  
dans les sols de la région Rhône-Alpes en 2014-2015**

| Site de prélèvement    | Département  | Date du prélèvement | Césium 137<br>(Bq/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup> |
|------------------------|--------------|---------------------|---------------------------------------------------|
| Vassieux sol forestier | Drôme        | 04/06/2015          | 14 229 ± 1 890                                    |
| Vassieux pelouse       | Drôme        | 04/06/2015          | 12 468 ± 2 109                                    |
| Péage de Roussillon    | Isère        | 10/01/2014          | 11 116 ± 1 646                                    |
| St Clair du Rhône      | Isère        | 23/10/2015          | 10 973 ± 1 648                                    |
| Semnoz                 | Haute Savoie | 01/07/2015          | 8 723 ± 1 303                                     |
| Montélimar             | Drôme        | 03/12/2015          | 8 119 ± 1 133                                     |
| Valence                | Drôme        | 02/04/2015          | 7 612 ± 1 110                                     |
| Malafretaz             | Ain          | 03/09/2015          | 6 816 ± 955                                       |
| Romans-sur-Isère       | Drôme        | 28/08/2015          | 6 537 ± 897                                       |
| St Marcel d'Ardèche    | Ardèche      | 11/12/2014          | 5 592 ± 898                                       |
| St Jean de Moirans     | Isère        | 04/12/2015          | 4 186 ± 661                                       |
| St Genest Malifaux     | Loire        | 30/07/2015          | 2 768 ± 498                                       |
| St Agrève              | Ardèche      | 30/10/2014          | 2 395 ± 550                                       |

<sup>(1)</sup> Carottage de sol de profondeur comprise entre 30 et 50 cm

<sup>7</sup> Rapport CRIIRAD n°12-17 / Contrôles radiologiques du CTSDU de Mariole à Graulhet (81), suivi année 2011, B. Chareyron, Mars 2012.

<sup>8</sup> Note CRIIRAD n°13-36 / Contrôles radiologiques ponctuels effectués par la CRIIRAD en Isère dans l'environnement du CNPE du Bugey dans le cadre d'une formation des citoyens et associations, B. Chareyron, novembre 2013 et octobre 2014.

<sup>9</sup> Temps au bout duquel l'activité est réduite de moitié.

Il n'est donc pas étonnant de retrouver du césium 137 dans les mousses terrestres prélevées en 2016, y compris pour les stations éloignées des sites nucléaires de la région. Ce radionucléide peut provenir en effet :

- des dépôts anciens (essais nucléaires, Tchernobyl), pour les colonies de mousses les plus âgées.
- de la remise en suspension du césium 137 des poussières du sol en fonction des activités humaines (travaux, labour, etc..) et des conditions météorologiques (vent,...).

La contribution des rejets chroniques autorisés des centrales nucléaires proches est très probablement secondaire par rapport à l'impact résiduel des retombées anciennes, comme le confirme l'absence de détection d'autres radionucléides artificiels émetteurs gamma présents dans les rejets chroniques.

Ceci peut être illustré à travers l'exemple du CNPE de Cruas Meyss. Les rejets atmosphériques déclarés par EDF pour l'année 2014 sont reproduits dans le tableau 3 ci-dessous.

Les gaz rares (xénon 133, krypton 85), le tritium et le carbone 14 constituent la grande majorité (entre 99% et 100%) des rejets atmosphériques.

On retrouve ensuite les produits de fission et d'activation comme le césium 137, le césium 134 (période radioactive de 2 ans), le cobalt 58 (période 70,8 jours) ou le cobalt 60 (période de 5 ans) rejetés à des niveaux comparables, proches de 0,004 GBq (soit 4 millions de Bq).

Si une fraction significative du césium 137 détecté dans les mousses terrestres proches de la centrale provenait bien des rejets chroniques autorisés de cette dernière, les autres radionucléides artificiels et en particulier le cobalt 60 devraient également être détectés. Ce n'est pas le cas ici, leur activité est inférieure aux limites de détection ( $< 0,42$  à  $< 0,5$  Bq/kg sec pour le cobalt 60).

Le même constat est valable pour les mousses analysées au voisinage des autres sites nucléaires.

Tableau 3 : Rejets radioactifs à l'atmosphère du CNPE de Cruas en 2014

| Radionucléide                                                     | Autorisation de rejet (GBq) | Activité (GBq) | en % du total |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------|
| Gaz rares                                                         | 72 000                      | 857            | 33,24%        |
| Tritium                                                           | 8 000                       | 1 180          | 45,77%        |
| Carbone 14                                                        | 2200                        | 541            | 20,98%        |
| Iodes                                                             | 1,6                         | 0,0381         | 0,00148%      |
| Autres produits de fission ou activation émetteurs bêta ou gamma* | 0,8                         | 0,0172         | 0,0007%       |

| Autres produits de fission ou activation émetteurs bêta ou gamma:<br>rejet en GBq |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Cs 134                                                                            | 0,0045100        |
| Co 58                                                                             | 0,0043800        |
| Co60                                                                              | 0,0042700        |
| Cs 137                                                                            | 0,0039300        |
| Ag 110m                                                                           | 0,0001280        |
| <b>Sous-total</b>                                                                 | <b>0,0172180</b> |

Source : rapport annuel de surveillance de l'environnement 2014 (EDF), page 18



### Remarques sur la taille des colonies de mousses

Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour déterminer l'origine de l'hétérogénéité des teneurs en césium 137 sur les échantillons. Il faudrait pour cela disposer d'un nombre de stations beaucoup plus important et de prendre en compte de nombreux paramètres dont l'âge des colonies de mousses terrestres, ce qui n'était pas possible dans le cadre de la présente campagne (pour des raisons budgétaires).

Le laboratoire de la CRIIRAD a cependant effectué un contrôle spécifique sur l'une des stations afin d'examiner l'influence de la taille des colonies sur leur niveau de contamination par le césium 137. Pour cela, deux échantillons de colonies de taille différente, le premier d'un diamètre inférieur à 3,5 cm et le second d'un diamètre supérieur à 6 cm ont été prélevés à Saint-Agrève et analysés par spectrométrie gamma. Les activités en césium 137 sont identiques pour les 2 colonies ( $19 \pm 8$  Bq/kg frais et  $17 \pm 8$  Bq/kg frais).

Tableau 4 : Résultats des analyses par spectrométrie gamma (césium 137) pour deux colonies de mousses terrestres de taille différente

| Lieu de prélèvement                                              | Code échantillon | Date du prélèvement | Analyse par spectrométrie gamma |                               |
|------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|
|                                                                  |                  |                     | Date comptage                   | Résultat Cs 137 (Bq/kg frais) |
| Saint-Agrève (référence) pétri grosses colonies ( $\geq 6$ cm)   | 230616A1b        | 22/06/2016          | 05/07/2016                      | $19 \pm 8$                    |
| Saint-Agrève (référence) pétri petites colonies ( $\leq 3,5$ cm) | 230616A1a        | 22/06/2016          | 28/06/2016                      | $17 \pm 8$                    |

### 3.2 RADIONUCLÉIDES NATURELS

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

Pour la chaîne de désintégration de l'uranium 238 :

- L'activité de son premier descendant, le thorium 234, est inférieure aux limites de détection ( $< 12$  à  $< 100$  Bq/kg sec).
- L'activité du **radium 226** est relativement homogène ( $6,2 \pm 2,5$  à  $29 \pm 6$  Bq/kg sec).
- Dans tous les échantillons on constate un excès de **plomb 210** ( $630 \pm 90$  à  $2390 \pm 270$  Bq/kg sec) par rapport au radium 226. Ceci est habituel pour des mousses terrestres. Le radon 222, gaz radioactif naturellement présent dans l'air ambiant, se désintègre et donne naissance à des métaux lourds radioactifs parmi lesquels le plomb 210. Du fait de sa période physique relativement longue (22,3 ans), le plomb 210 est susceptible de s'accumuler nettement dans les mousses terrestres.

L'activité de l'**uranium 235** est inférieure aux limites de détection pour tous les échantillons ( $< 6$  à  $< 17$  Bq/kg sec).

Le **béryllium 7** (période physique de 53,3 jours) est systématiquement détecté ( $282$  à  $1\,140$  Bq/kg sec). Il s'agit d'un radionucléide cosmogénique naturellement présent dans l'air ambiant (typiquement quelques milliBecquerels par mètre cube d'air) et qui se retrouve dans les mousses terrestres, la surface des végétaux et les sols superficiels.

## 4. ANALYSES COMPLEMENTAIRES : TRITIUM, CARBONE 14 ET URANIUM

### 4.1 METHODOLOGIE

Dans le cadre de la campagne 2016, pour des raisons budgétaires, seules ont été effectuées des analyses par spectrométrie gamma. Ceci répond à l'objectif de détermination des niveaux de contamination par les radionucléides artificiels comme césium 134, césium 137 et iode 131 qui sont parmi les plus importants à contrôler en cas d'incidents ou d'accidents sur des centrales électronucléaires.

Cependant, d'autres radionucléides non détectables par spectrométrie gamma sont susceptibles d'être présents dans les rejets autorisés des installations nucléaires de la région et/ou dans les retombées liées à un accident nucléaire. C'est le cas des radionucléides qui n'émettent en se désintégrant que des rayonnements bêta (par exemple **tritium**, **carbone 14**, strontium 90, etc..) ou alpha (plutonium 238, 239, 240 ; **uranium 234**, **238** etc...).

Par ailleurs, une étude plus fine sur les teneurs en uranium dans les mousses est utile si l'on s'intéresse plus spécifiquement à l'impact de certaines installations de l'amont du cycle du combustible (usines de conversion et d'enrichissement de l'uranium du Tricastin, usine AREVA NP de Romans-sur-Isère). En effet, la spectrométrie gamma ne permet d'atteindre que des limites de détection relativement élevées pour l'uranium 238 (détecté à partir de son premier descendant le thorium 234) et pour l'uranium 235. Pour affiner, il est nécessaire de recourir à d'autres méthodes analytiques (ICP-MS, spectrométrie alpha, etc..).

Dans le cadre de l'exercice budgétaire 2017 du service balises, le laboratoire de la CRIIRAD a donc lancé certaines analyses complémentaires.

#### Détermination des teneurs en tritium organiquement lié et carbone 14.

La détermination de l'activité du tritium organiquement lié et du carbone 14 a été effectuée sur **18 échantillons** de mousses terrestres prélevés :

- Au niveau des deux **stations de référence** (Valence et Saint-Agrève),
- Au voisinage des centrales électronucléaires de **Saint-Alban, Cruas et Tricastin**.
- Dans un seul des 5 échantillons prélevés au voisinage du site **AREVA NP de Romans-sur-Isère**. (station ROM 5 située au sud de l'usine, sous les vents). Afin de tenir compte des contraintes budgétaires la priorité a été donnée en effet aux échantillons prélevés au voisinage des centrales électronucléaires qui effectuent des rejets chroniques de tritium et carbone 14 dans l'atmosphère.

Les analyses ont été confiées au laboratoire RCD en Angleterre, spécialisé dans ce type de détermination. Les résultats sont exprimés en Bq/l d'eau de combustion pour le tritium organiquement lié et en becquerels de carbone 14 par kilogramme de carbone total pour le carbone 14.

#### Détermination de la concentration en uranium total et évaluation du rapport isotopique U235/U238

La détermination de la concentration en uranium a été effectuée dans **12 échantillons** :

- Au niveau des deux **stations de référence** (Valence et Saint-Agrève),
- Dans les 5 échantillons prélevés au voisinage de l'usine **AREVA NP de Romans sur Isère**. Ce site est en effet autorisé à rejeter dans l'atmosphère divers isotopes de l'uranium. Il s'agit des isotopes naturels de l'uranium (234, 235 et 238) et également des isotopes artificiels (232 et 236) contenus en tant qu'impuretés (uranium de retraitement).
- Dans les 5 échantillons prélevés au voisinage du **site du Tricastin** où plusieurs installations nucléaires (ORANO Cycle Tricastin) sont autorisées à rejeter de l'uranium à l'atmosphère (activités de conversion et enrichissement de l'uranium). Quatre des échantillons ont été prélevés en 2015 dans le cadre d'un autre projet conduit par le laboratoire de la CRIIRAD.

Les analyses ont été effectuées par ICP-MS au LDA 26 à Valence. La concentration en uranium est exprimée en milligrammes d'uranium total par kilogramme de matière sèche : mg (U)/kg MS. Le rapport isotopique massique U 235 / U 238 est exprimé en %.

#### **4.2 TRITIUM ORGANIQUEMENT LIÉ**

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène de période physique égale à **12,3 ans**. Il est présent naturellement dans l'air ambiant et les précipitations (origine cosmogénique).

Du tritium d'origine artificielle est également présent dans les rejets de certaines installations nucléaires dont les centrales électronucléaires.

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

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

#### **Résultats**

Les résultats concernant le tritium organiquement lié sont présentés dans le tableau 5 ci-après et sur les cartes en Annexe 2.



Tableau 5 : Résultats des analyses pour le tritium organiquement lié (Bq/l d'eau de combustion)

| Code | Provenance |                        |                       | Activité tritium<br>(analyses RCD<br>Lockinge) |
|------|------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|
|      | Dpt        | Commune                | Date de<br>cueillette | Tritium : Bq/l<br>(eau de<br>combustion)       |
| VAL  | 26         | Valence                | 21/06/16              | < 3,0                                          |
| SAG  | 07         | Saint Agrève           | 22/06/16              | < 3,0                                          |
| CRU1 | 26         | Saulce-sur-Rhône       | 21/07/16              | < 3,0                                          |
| CRU2 | 07         | Cruas                  | 21/07/16              | <b>3,4 ± 0,7</b>                               |
| CRU3 | 07         | Meysse                 | 21/07/16              | < 3,0                                          |
| CRU4 | 26         | Ancône / Cimetière     | 28/06/16              | < 3,0                                          |
| CRU5 | 26         | Montélimar             | 28/06/16              | < 3,0                                          |
| SAL1 | 38         | Saint Clair du Rhône   | 26/07/16              | < 3,0                                          |
| SAL2 | 38         | Saint Alban            | 26/07/16              | < 3,0                                          |
| SAL3 | 38         | Saint Maurice l'Exil   | 26/07/16              | < 3,0                                          |
| SAL4 | 42         | Saint Pierre de Bœuf   | 26/07/16              | < 3,0                                          |
| SAL5 | 38         | Péage de Roussillon    | 26/07/16              | <b>9,1 ± 0,8</b>                               |
| TRI1 | 26         | Sud du CNPE Tricastin  | 08/01/15              | <b>4,8 ± 0,7</b>                               |
| TRI2 | 84         | Bollène                | 09/01/15              | <b>4,3 ± 0,7</b>                               |
| TRI3 | 84         | Lapalud                | 09/01/15              | <b>8,9 ± 0,8</b>                               |
| TRI4 | 26         | Pierrelatte            | 19/06/15              | <b>6,2 ± 0,7</b>                               |
| TRI5 | 07         | Saint Marcel d'Ardèche | 03/08/16              | <b>5,5 ± 0,8</b>                               |
| ROM5 | 26         | Romans-sur-Isère       | 28/07/16              | <b>5,5 ± 0,7</b>                               |

Le tritium organiquement lié est détecté dans **8 des 18 échantillons** prélevés avec des niveaux d'activité compris entre  $3,4 \pm 0,7$  et  $9,1 \pm 0,8$  Bq/l d'eau de combustion. Il s'agit :

- De l'échantillon prélevé à **Cruas**, à environ 2 km au nord de la centrale de Cruas-Meysse ( **$3,4 \pm 0,7$  Bq/l** d'eau de combustion).
- De l'échantillon prélevé à **Péage-de-Roussillon**, à 4,5 km au sud-est et sous les vents dominants de la centrale nucléaire de **Saint-Alban** ( **$9,1 \pm 0,8$  Bq/l** d'eau de combustion).
- Des 5 échantillons prélevés à proximité de la centrale de **Tricastin**, avec des valeurs d'activité comprises entre  **$4,3 \pm 0,7$  et  $8,9 \pm 0,8$  Bq/l** d'eau de combustion.
- De l'échantillon prélevé à Romans-sur-Isère à proximité immédiate du site AREVA NP :  **$5,5 \pm 0,7$  Bq/l** d'eau de combustion.

Dans les autres échantillons de mousses terrestres, dont ceux de référence, le tritium n'a pas été détecté (< 3,0 Bq/l d'eau de combustion).

#### Interprétation

Il est probable que les rejets des centrales électronucléaires de **Saint-Alban, Cruas et du Tricastin** soient à l'origine des valeurs supérieures au bruit de fond détectées à proximité de ces sites. Les rejets de tritium

de ces centrales nucléaires sur la période 2015 et 2016 étaient compris entre **1 410 et 1 620 GBq/an** et par centrale.

Dans le cas du site du Tricastin, il n'est pas exclu qu'une part du tritium détecté provienne des rejets atmosphériques du CEA de **Marcoule** qui effectue des rejets importants (77 GBq en 2015 et **25 000 GBq en 2016**).

Une interprétation plus fine de ces résultats nécessiterait la prise en compte de nombreux paramètres tels que l'analyse plus fine des rejets des différentes installations dans les semaines précédant l'échantillonnage, l'étude des conditions atmosphériques locales (vitesse et direction des vents au moment des rejets, intensité des précipitations), la prise en compte de l'âge moyen des colonies de mousses échantillonnées, etc.

A noter : le site internet du Réseau National de Mesures (RNM), consulté le 10 juillet 2018 ne fait apparaître aucun résultat d'analyse de tritium sur ce type d'échantillon (en particulier la catégorie «Mousses (mousses terrestres, mousses aquatiques) hépatiques et lichens ») ou sur tout autre végétal, qu'il s'agisse du site du Tricastin ou des autres sites nucléaires de la région.

### **4.3 CARBONE 14**

Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone de période physique égale à **5 730 ans**. Il est présent naturellement dans l'air ambiant et les précipitations (origine cosmogénique) et on le retrouve dans la matière organique.

Le niveau naturel du carbone 14 dans l'environnement terrestre avant l'ère « nucléaire » était de l'ordre de **226 Bq/kg C** (Becquerels de carbone 14 par kilogramme de carbone).

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

Dans une publication de 2012, l'IRSN<sup>10</sup> faisait état de valeurs typiques attendues, hors autres apports anthropiques locaux, de l'ordre de  $237 \pm 3$  Bq/kg C en 2009 et  $234 \pm 2$  Bq/kg C en 2010. L'évaluation<sup>11</sup> pour 2011 était de **232 Bq/kg C**. Cette valeur peut être considérée comme représentative du « bruit de fond ».

Du carbone 14 d'origine artificielle est également présent dans les rejets de certaines installations nucléaires dont les centrales électronucléaires.

#### **Résultats et interprétation**

Les résultats concernant le carbone 14 sont présentés dans le tableau 6 ci-après et sur les cartes en Annexe 3.

---

<sup>10</sup> Constat Radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu terrestre. Rapport IRSN PRP-ENV / SESURE / 2012-06 / Juin 2012, page 28.

<sup>11</sup> <https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/environnement/Pages/carbone-14-environnement.aspx#3>

Tableau 6 : Résultats des analyses pour le carbone 14 (Bq/kg carbone)

| Code | Provenance |                        |                    | Activité carbone 14 (analyses RDC Lockinge) |
|------|------------|------------------------|--------------------|---------------------------------------------|
|      | Dpt        | Commune                | Date de cueillette | Carbone 14 (Bq/kg carbone)                  |
| VAL  | 26         | Valence                | 21/06/16           | 231,0 ± 1,9                                 |
| SAG  | 07         | Saint Agrève           | 22/06/16           | 235,0 ± 2,0                                 |
| CRU1 | 26         | Saulce-sur-Rhône       | 21/07/16           | 236,0 ± 2,0                                 |
| CRU2 | 07         | Cruas                  | 21/07/16           | <b>243,0 ± 2,0</b>                          |
| CRU3 | 07         | Meyssse                | 21/07/16           | 236,0 ± 2,1                                 |
| CRU4 | 26         | Ancône / Cimetière     | 28/06/16           | <b>242,0 ± 2,0</b>                          |
| CRU5 | 26         | Montélimar             | 28/06/16           | 230,0 ± 1,9                                 |
| SAL1 | 38         | Saint Clair du Rhône   | 26/07/16           | 232,0 ± 2,3                                 |
| SAL2 | 38         | Saint Alban            | 26/07/16           | <b>240,0 ± 2,1</b>                          |
| SAL3 | 38         | Saint Maurice l'Exil   | 26/07/16           | 235,0 ± 2,0                                 |
| SAL4 | 42         | Saint Pierre de Bœuf   | 26/07/16           | 236,0 ± 2,0                                 |
| SAL5 | 38         | Péage de Roussillon    | 26/07/16           | 230,0 ± 2,0                                 |
| TRI1 | 26         | Sud du CNPE Tricastin  | 08/01/15           | 235,0 ± 2,0                                 |
| TRI2 | 84         | Bollène                | 09/01/15           | <b>241,0 ± 2,2</b>                          |
| TRI3 | 84         | Lapalud                | 09/01/15           | 231,0 ± 2,1                                 |
| TRI4 | 26         | Pierrelatte            | 19/06/15           | 234,0 ± 2,0                                 |
| TRI5 | 07         | Saint Marcel d'Ardèche | 03/08/16           | 234,0 ± 2,0                                 |
| ROM5 | 26         | Romans-sur-Isère       | 28/07/16           | 224,0 ± 1,9                                 |

Le carbone 14 est détecté dans tous les échantillons.

L'activité mesurée (**224 ± 1,9 Bq/kg C**) est **nettement inférieure au bruit de fond** attendu dans l'échantillon prélevé à **Romans-sur-Isère** près du site AREVA NP. Une explication possible pourrait être la combustion de combustibles fossiles (donc à faible teneur en C 14 naturel) par les installations industrielles proches y compris celles d'AREVA NP (par exemple incinérateur et installation de production de calories).

Les activités mesurées sont proches du bruit de fond attendu (hors contribution anthropique locale), pour les mousses terrestres de référence prélevées à **Valence : 231 ± 1,9 Bq/kg C** et à **Saint-Agrève : 235 ± 2,0 Bq/kg C**.

Pour 12 autres mousses terrestres, les activités sont comprises entre **230 ± 2,0 Bq/kg C** (Péage de Roussillon, Montélimar) et **236 ± 2,0 Bq/kg C** (Saulce-sur-Rhône, Meyssse, Saint-Pierre de Bœuf). De telles valeurs sont dans la **fourchette du bruit de fond attendu**. Mais pour les plus élevées d'entre elles, l'impact des rejets des centrales nucléaires proches est probable.



Pour 4 échantillons (valeurs en rouge dans le tableau), les activités mesurées sont égales ou supérieures à 240 Bq/kg C et donc nettement supérieures au bruit de fond attendu ce qui suggère un **apport anthropique lié aux rejet des installations nucléaires proches**. Il s'agit :

- de 2 échantillons prélevés à proximité du **CNPE de Cruas Meyssse**, avec **243 ± 2,0 Bq/kg de C** à Cruas (à environ 2 km au nord de la centrale) et **242 ± 2,0 Bq/kg de C** à Ancône (à environ 5 km au sud),
- de l'échantillon prélevé à **Saint-Alban** (à environ 2,5 km au nord de la centrale nucléaire), avec une activité de **240 ± 2,1 Bq/kg de C**.
- de l'échantillon prélevé à **Bollène**, à environ 3 km au sud du site nucléaire du **Tricastin**, avec une activité de **241 ± 2,2 Bq/kg de C**.

#### 4.4 URANIUM

Les résultats concernant l'uranium sont présentés dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Résultats des analyses pour l'uranium

| Code | Provenance |                        |                    | Rapports isotopiques de l'uranium (analyses LDA) |                        |
|------|------------|------------------------|--------------------|--------------------------------------------------|------------------------|
|      | Dpt        | Commune                | Date de cueillette | U 235/238 (%)                                    | Uranium en mg(U)/kg MS |
| VAL  | 26         | Valence                | 21/06/16           | 0,72                                             | 1,2                    |
| SAG  | 07         | Saint Agrève           | 22/06/16           | 0,71                                             | 2,6                    |
| TRI1 | 26         | Sud du CNPE Tricastin  | 08/01/15           | 0,75                                             | 0,9                    |
| TRI2 | 84         | Bollène                | 09/01/15           | 0,76                                             | 1,3                    |
| TRI3 | 84         | Lapalud                | 09/01/15           | 0,69                                             | 1,2                    |
| TRI4 | 26         | Pierrelatte            | 19/06/15           | 0,69                                             | 1,4                    |
| TRI5 | 07         | Saint Marcel d'Ardèche | 03/08/16           | 0,71                                             | 1,5                    |
| ROM1 | 26         | Génissieux             | 28/07/16           | 0,73                                             | 1,1                    |
| ROM2 | 26         | Saint Paul les Romans  | 28/07/16           | 0,73                                             | 1,0                    |
| ROM3 | 26         | Pizançon               | 28/07/16           | 0,73                                             | 1,3                    |
| ROM4 | 26         | Chatuzange le Goubet   | 28/07/16           | 0,71                                             | 1,1                    |
| ROM5 | 26         | Romans-sur-Isère       | 28/07/16           | 0,88                                             | 0,8                    |

Les teneurs en uranium mesurées dans les mousses terrestres à proximité des sites nucléaires de Romans-sur-Isère (0,8 à 1,3 mg/kg MS) et du Tricastin (0,9 à 1,5 mg/kg MS) sont du même ordre de grandeur que celles obtenues pour les stations de référence de Valence (1,2 mg/kg MS) et Saint-Agrève (2,6 mg/kg MS). On notera d'ailleurs que les roches du substratum à Saint-Agrève présentent des teneurs en uranium 238 supérieures à la moyenne de l'écorce terrestre ce qui peut expliquer la valeur plus élevée mesurée dans les mousses sur ce secteur.

Les rapports isotopiques U235/U238 des stations de référence de Valence et Saint-Agrève (0,72 et 0,71 %) sont conformes à la valeur typique pour de l'uranium naturel.

C'est également le cas pour 7 autres stations de prélèvement proches des sites nucléaires du Tricastin et de AREVA NP à Romans sur Isère où l'on mesure entre 0,69 et 0,73 %.

Les rapports isotopiques obtenus sont sensiblement supérieurs à la valeur naturelle pour les stations « Sud du CNPE Tricastin » (0,75 %) et Bollène (0,76 %) ce qui suggère une présence d'uranium enrichi donc d'origine anthropique.

Cet **impact anthropique est clairement marqué** pour la station la plus proche du site **AREVA NP de Romans-sur-Isère (0,88 %)**.

## **5. CONCLUSION**

Les repérages réalisés en 2015 et 2016 par le laboratoire de la CRIIRAD ont permis de localiser des stations de prélèvement de **mousses terrestres** autour des centrales nucléaires de Saint Alban, Cruas, et du Tricastin, ainsi qu'au voisinage de l'usine AREVA NP de Romans-sur-Isère. Le positionnement de ces stations (5 autour de chaque site) a été choisi en fonction des vents dominants de nord et de sud, de l'accessibilité des sites et de la pérennité des colonies de mousses.

Deux stations de référence ont été ajoutées à Saint-Agrève (Ardèche) et Valence (Drôme).

D'une manière générale, une station a été choisie au voisinage des balises ou sondes gamma gérées par le laboratoire de la CRIIRAD

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

Les teneurs des échantillons en radionucléides naturels et artificiels émetteurs gamma, notamment en césium 137, pourront être comparées aux valeurs présentées dans ce rapport<sup>12</sup>.

Des analyses complémentaires ont été menées courant 2017, notamment la détermination des teneurs en tritium organiquement lié et en carbone 14 dans les mousses prélevées à proximité des centrales nucléaires de production d'électricité et la détermination des teneurs en uranium dans les mousses terrestres prélevées à proximité du site AREVA NP de Romans-sur-Isère. Les valeurs présentées dans ce rapport<sup>13</sup> constitueront également pour le laboratoire de la CRIIRAD des valeurs de référence.

---

<sup>12</sup> Les résultats des radionucléides naturels et artificiels émetteurs gamma figurent en annexe 1.

<sup>13</sup> Les résultats des analyses complémentaires (tritium organiquement lié, carbone 14, uranium) figurent dans les annexes 2, 3 et 4.

## ANNEXE 1 – RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA ET CARTES D'IMPLANTATION DES STATIONS

**Tableau 8 : Description des échantillons**

| Code  | Espèce             |                   | Provenance |                         |                             | Echantillon      |                     |                    |                       |           |              |                |                       |
|-------|--------------------|-------------------|------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------|-----------------------|
|       | Nom français       | Nom latin         | Dpt        | Commune                 | Localisation                | Code échantillon | Date de prélèvement | Masse analysée (g) | Taux de matière sèche | Géométrie | N° d'analyse | Date d'analyse | Durée du comptage (s) |
| VAL   | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Valence                 | Cimetière Saint-Lazare      | 230616a2         | 21/06/16            | 127,77             | 96,1%                 | MAR500CC  | C 28924      | 27/06/16       | 85 801                |
| SAG   | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 07         | Saint-Agrève            | Ancien cimetière            | 230616A1         | 22/06/16            | 98,63              | 96,1%                 | MAR500CC  | C 28923      | 23/06/16       | 81 659                |
| CRU1  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Saulce-sur-Rhône        | Cimetière                   | 210716A2         | 21/07/16            | 114,07             | 96,0%                 | MAR500CC  | C 28958      | 25/07/16       | 86 400                |
| CRU2  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 07         | Cruas                   | Cimetière                   | 210716A3         | 21/07/16            | 99,47              | 96,1%                 | MAR500CC  | C 28961      | 26/07/16       | 86 400                |
| CRU3  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 07         | Meyssse                 | Cimetière                   | 210716A1         | 21/07/16            | 91,06              | 94,8%                 | MAR500CC  | C 28956      | 22/07/16       | 86 400                |
| CRU4  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Ancône                  | Cimetière                   | 290616A2         | 28/06/16            | 114,84             | 98,5%                 | MAR500CC  | C 28930      | 29/06/16       | 86 821                |
| CRU5  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Montélimar              | Cimetière Saint-Lazare      | 290616A1         | 28/06/16            | 116,12             | 97,0%                 | MAR500CC  | C 28939      | 04/07/16       | 85 760                |
| SAL1  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 38         | Saint-Clair-du-Rhône    | Cimetière                   | 260716A2         | 26/07/16            | 95,22              | 94,3%                 | MAR500CC  | C 28965      | 29/07/16       | 86 400                |
| SAL2  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 38         | Saint-Alban-du-Rhône    | Cimetière                   | 260716A5         | 26/07/16            | 99,05              | 93,3%                 | MAR500CC  | C 28968      | 01/08/16       | 83 858                |
| SAL3  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 38         | Saint-Maurice-l'Exil    | Cimetière                   | 260716A3         | 26/07/16            | 104,32             | 94,6%                 | MAR500CC  | C 28967      | 31/07/16       | 80 119                |
| SAL4  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 42         | Saint-Pierre-de-Bœuf    | Cimetière                   | 260716A4         | 26/07/16            | 114,60             | 94,9%                 | MAR500CC  | C 28966      | 30/07/16       | 86 400                |
| SAL5  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 38         | Péage-de-Roussillon     | Cimetière                   | 260716A1         | 26/07/16            | 116,48             | 97,3%                 | MAR500CC  | C 28964      | 28/07/16       | 86 063                |
| TRI1  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Sud du CNPE Tricastin   | Contrefort pont-canal       | 080115A1         | 08/01/15            | 80,14              | 88,3%                 | Marinelli | C 28106      | 08/01/15       | 52 059                |
| TRI2  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 84         | Bollène                 | Barrage hydro-électrique    | 130115B2         | 09/01/15            | 87,92              | 93,4%                 | Marinelli | C 28205      | 11/03/15       | 54 857                |
| TRI3  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 84         | Lapalud                 | Cimetière                   | 130115B1         | 09/01/15            | 120,98             | 93,4%                 | Marinelli | C 28190      | 04/03/15       | 56 577                |
| TRI4  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Pierrelatte             | Cimetière nord              | 190615A1         | 19/06/15            | 88,20              | 93,7%                 | Marinelli | C 28367      | 23/06/15       | 55 536                |
| TRI5  | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 07         | Saint Marcel d'Ardèche  | Cimetière                   | 040816A1         | 03/08/16            | 106,76             | 95,5%                 | MAR500CC  | C 29002      | 26/08/16       | 231 250               |
| ROM 1 | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Génissieux              | Cimetière                   | 280716A1         | 28/07/16            | 98,56              | 94,7%                 | MAR500CC  | C 28972      | 03/08/16       | 86 400                |
| ROM 2 | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Saint-Paul-Lès-Romans   | Cimetière                   | 280716A3         | 28/07/16            | 93,34              | 94,9%                 | MAR500CC  | C 28975      | 08/08/16       | 85 891                |
| ROM 3 | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Pizançon                | Cimetière                   | 280716A2         | 28/07/16            | 117,83             | 95,6%                 | MAR500CC  | C 28973      | 04/08/16       | 83 791                |
| ROM 4 | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Chatuzange-le-Goubet    | Cimetière                   | 280716A4         | 28/07/16            | 97,22              | 95,1%                 | MAR500CC  | C 28977      | 09/08/16       | 104 526               |
| ROM 5 | Mousses terrestres | Grimmia pulvinata | 26         | Sud de l'usine AREVA NP | Muret face à la déchetterie | 280716A5         | 28/07/16            | 98,53              | 95,8%                 | MAR500CC  | C 28974      | 05/08/16       | 231 640               |

**Tableau 9 : résultats des analyses par spectrométrie gamma (radionucléides naturels émetteurs gamma)**

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

| Code | Chaîne de l'uranium 238 |              |             | Uranium 235 | Chaîne du thorium 232 |            | Autres radionucléides |             |
|------|-------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------------|------------|-----------------------|-------------|
|      | Thorium 234*            | Radium 226** | Plomb 210*  | Uranium 235 | Actinium 228          | Plomb 212  | Potassium 40          | Béryllium 7 |
| VAL  | < 28                    | 11,4 ± 2,6   | 2 270 ± 250 | < 6         | 11,2 ± 4,3            | 11,2 ± 2,5 | < 230                 | 780 ± 90    |
| SAG  | < 80                    | 25,8 ± 4,7   | 1 530 ± 180 | < 9         | 27 ± 7                | 29,2 ± 4,7 | < 310                 | 850 ± 100   |
| CRU1 | < 42                    | 13,0 ± 3,1   | 1 960 ± 220 | < 7         | < 14                  | 11,9 ± 2,5 | < 210                 | 470 ± 60    |
| CRU2 | < 45                    | 15,2 ± 3,3   | 2 080 ± 230 | < 8         | 13 ± 6                | 11,3 ± 2,6 | < 220                 | 550 ± 70    |
| CRU3 | < 36                    | 9,1 ± 2,9    | 2 090 ± 240 | < 9         | < 17                  | 10,8 ± 2,7 | < 270                 | 690 ± 90    |
| CRU4 | < 41                    | 13,8 ± 3,0   | 1 400 ± 160 | < 7         | 19 ± 6                | 19,8 ± 3,3 | < 220                 | 282 ± 38    |
| CRU5 | < 25                    | 11,8 ± 2,7   | 2 180 ± 240 | < 7         | 15 ± 5                | 12,8 ± 2,6 | < 250                 | 1 140 ± 130 |
| SAL1 | < 34                    | 6,3 ± 2,4    | 1 250 ± 150 | < 8         | < 12                  | 9,2 ± 2,4  | < 230                 | 960 ± 110   |
| SAL2 | < 15                    | 6,2 ± 2,5    | 1 110 ± 130 | < 15        | < 11                  | 4,3 ± 1,9  | < 230                 | 580 ± 70    |
| SAL3 | < 12                    | 6,2 ± 2,2    | 1 110 ± 130 | < 8         | < 10                  | 5,3 ± 1,9  | < 180                 | 530 ± 70    |
| SAL4 | < 60                    | 14,1 ± 3,0   | 1 280 ± 150 | < 17        | 17 ± 6                | 13,6 ± 2,7 | < 240                 | 590 ± 70    |
| SAL5 | < 31                    | 12,2 ± 2,8   | 1 730 ± 200 | < 7         | 12,1 ± 4,8            | 11,8 ± 2,6 | < 190                 | 530 ± 70    |
| TRI1 | < 37                    | 18 ± 6       | 630 ± 90    | < 11        | < 22                  | 13,1 ± 4,0 | < 390                 | 950 ± 120   |
| TRI2 | < 70                    | 29 ± 6       | 1 010 ± 130 | < 10        | 21 ± 9                | 16,0 ± 4,1 | < 400                 | 890 ± 130   |
| TRI3 | < 42                    | 23,4 ± 4,8   | 1 990 ± 230 | < 7         | 20 ± 7                | 22,0 ± 4,1 | < 280                 | 700 ± 100   |
| TRI4 | < 100                   | 14,2 ± 4,9   | 2 350 ± 280 | < 10        | < 27                  | 15,1 ± 3,9 | < 240                 | 810 ± 100   |
| TRI5 | < 35                    | 16,0 ± 2,9   | 1 940 ± 210 | < 8         | 18 ± 5                | 16,0 ± 2,7 | < 260                 | 620 ± 70    |
| ROM1 | < 27                    | 17,7 ± 3,8   | 1 670 ± 190 | < 8         | < 14                  | 9,6 ± 2,6  | < 200                 | 1 060 ± 120 |
| ROM2 | < 40                    | 8,9 ± 2,7    | 1 530 ± 180 | < 8         | < 15                  | 8,3 ± 2,3  | < 240                 | 880 ± 100   |
| ROM3 | < 38                    | 13,5 ± 3,0   | 1 620 ± 180 | < 7         | 17 ± 5                | 15,3 ± 2,8 | < 250                 | 800 ± 90    |
| ROM4 | < 35                    | 12,6 ± 2,9   | 2 390 ± 270 | < 8         | < 13                  | 9,6 ± 2,4  | < 200                 | 1 010 ± 120 |
| ROM5 | < 27                    | 8,6 ± 2,0    | 660 ± 80    | < 7         | < 13                  | 10,8 ± 2,2 | < 270                 | 690 ± 80    |

Légende

NM : non mesuré

± : marge d'incertitude

< : limite de détection

\* : 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.



**Tableau 10 : résultats des analyses par spectrométrie gamma (radionucléides artificiels émetteurs gamma)**

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

| Code | Césium<br>137 | Césium<br>134 | Cobalt<br>58 | Cobalt<br>60 | Manganèse<br>54 | Antimoine<br>125 | Cérium<br>144 | Argent<br>110m | Américium<br>241* | Iode<br>129* | Ruthénium<br>106 | Iode<br>131 |
|------|---------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|--------------|------------------|-------------|
| VAL  | 256 ± 29      | < 0,36        | < 0,42       | < 0,40       | < 0,39          | < 1,2            | < 2,0         | < 0,42         | < 0,6             | < 0,9        | < 3,6            | < 0,6       |
| SAG  | 13 ± 3        | < 0,47        | < 0,5        | < 0,45       | < 0,6           | < 1,4            | < 2,5         | < 0,5          | < 0,7             | < 0,9        | < 4,7            | < 0,49      |
| CRU1 | 287 ± 32      | < 0,40        | < 0,43       | < 0,44       | < 0,43          | < 1,4            | < 2,1         | < 0,49         | < 0,8             | < 0,9        | < 3,9            | < 0,6       |
| CRU2 | 197 ± 23      | < 0,44        | < 0,5        | < 0,5        | < 0,5           | < 1,4            | < 2,4         | < 0,5          | < 0,7             | < 1,0        | < 4,6            | < 0,7       |
| CRU3 | 205 ± 24      | < 0,49        | < 0,5        | < 0,5        | < 0,5           | < 1,6            | < 2,6         | < 0,5          | < 0,8             | < 1,1        | < 5,0            | < 0,6       |
| CRU4 | 158 ± 18      | < 0,35        | < 0,41       | < 0,43       | < 0,42          | < 1,2            | < 2,0         | < 0,44         | < 0,6             | < 0,8        | < 4,0            | < 0,44      |
| CRU5 | 85 ± 10       | < 0,38        | < 0,46       | < 0,42       | < 0,46          | < 1,1            | < 2,1         | < 0,43         | < 0,6             | < 0,9        | < 3,7            | < 0,7       |
| SAL1 | 30 ± 5        | < 0,47        | < 0,6        | < 0,5        | < 0,5           | < 1,3            | < 2,4         | < 0,5          | < 0,7             | < 0,9        | < 4,6            | < 0,6       |
| SAL2 | 21 ± 3        | < 0,47        | < 0,5        | < 0,49       | < 0,5           | < 1,2            | < 2,3         | < 0,49         | < 0,7             | < 0,8        | < 4,8            | < 0,7       |
| SAL3 | 23 ± 4        | < 0,42        | < 0,5        | < 0,49       | < 0,5           | < 1,2            | < 2,3         | < 0,48         | < 0,6             | < 0,8        | < 4,3            | < 0,7       |
| SAL4 | 26 ± 4        | < 0,40        | < 0,45       | < 0,44       | < 0,44          | < 1,1            | < 2,0         | < 0,43         | < 0,6             | < 0,8        | < 3,8            | < 0,5       |
| SAL5 | 167 ± 19      | < 0,39        | < 0,45       | < 0,39       | < 0,41          | < 1,2            | < 2,0         | < 0,41         | < 0,6             | < 0,8        | < 3,9            | < 0,48      |
| TRI1 | 7 ± 2         | < 0,7         | < 0,8        | < 0,7        | < 0,7           | < 1,9            | < 3,7         | < 0,7          | < 1,1             | < 1,3        | < 7              | < 0,7       |
| TRI2 | 18 ± 4        | < 0,7         | < 1,2        | < 0,6        | < 0,7           | < 1,8            | < 3,6         | < 0,7          | < 0,9             | < 1,0        | < 6              | < 110       |
| TRI3 | 140 ± 17      | < 0,41        | < 0,8        | < 0,5        | < 0,5           | < 1,4            | < 2,7         | < 0,6          | < 0,7             | < 0,9        | < 4,6            | < 49        |
| TRI4 | 37 ± 6        | < 0,6         | < 0,6        | < 0,5        | < 0,7           | < 1,7            | < 3,4         | < 0,6          | < 0,9             | < 1,1        | < 6              | < 0,8       |
| TRI5 | 177 ± 19      | < 0,27        | < 0,35       | < 0,28       | < 0,31          | < 0,8            | < 1,5         | < 0,29         | < 1,4**           | < 2,1        | < 2,7            | < 2,0       |
| ROM1 | 38 ± 5        | < 0,45        | < 0,5        | < 0,5        | < 0,5           | < 1,3            | < 2,4         | < 0,5          | < 0,6             | < 0,9        | < 4,4            | < 0,7       |
| ROM2 | 40 ± 6        | < 0,5         | < 0,6        | < 0,5        | < 0,6           | < 1,3            | < 2,5         | < 0,50         | < 0,7             | < 0,9        | < 5              | < 1,2       |
| ROM3 | 52 ± 7        | < 0,39        | < 0,45       | < 0,36       | < 0,46          | < 1,1            | < 2,0         | < 0,41         | < 0,6             | < 0,8        | < 4,0            | < 0,7       |
| ROM4 | 57 ± 7        | < 0,42        | < 0,5        | < 0,49       | < 0,46          | < 1,2            | < 2,3         | < 0,45         | < 0,7             | < 0,8        | < 4,2            | < 1,1       |
| ROM5 | 7 ± 1         | < 0,27        | < 0,34       | < 0,30       | < 0,30          | < 0,8            | < 1,4         | < 0,30         | < 0,39            | < 0,5        | < 2,7            | < 0,5       |

Légende

NM : non mesuré      ± : marge d'incertitude      < : limite de détection

\* : 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.

\*\* : des traces d'américium 241 (Am 241) ont été détectées dans l'échantillon prélevé à Saint Marcel d'Ardèche. L'échantillon a été soumis une seconde fois en analyse longue (résultats publiés ici). Pour chacune des analyses, l'Am 241 a été détectée mais en quantité trop faible pour pouvoir être quantifiée (incertitude liée à la méthode de calcul supérieure à 50%) : la limite de détection de l'analyse longue pour l'Am 241 est de 1,4 Bq/kg sec. Une autre méthode analytique (détermination des isotopes du plutonium présents dans l'échantillon) est ici nécessaire pour déterminer l'activité de ce transurien, essentiellement émetteur alpha. L'analyse sera confiée à un laboratoire spécialisé courant 2017.

## Cartes de localisation des stations et activité du Césium 137

### Répartition par site

Stations de « référence » (Valence et Saint-Agrève)



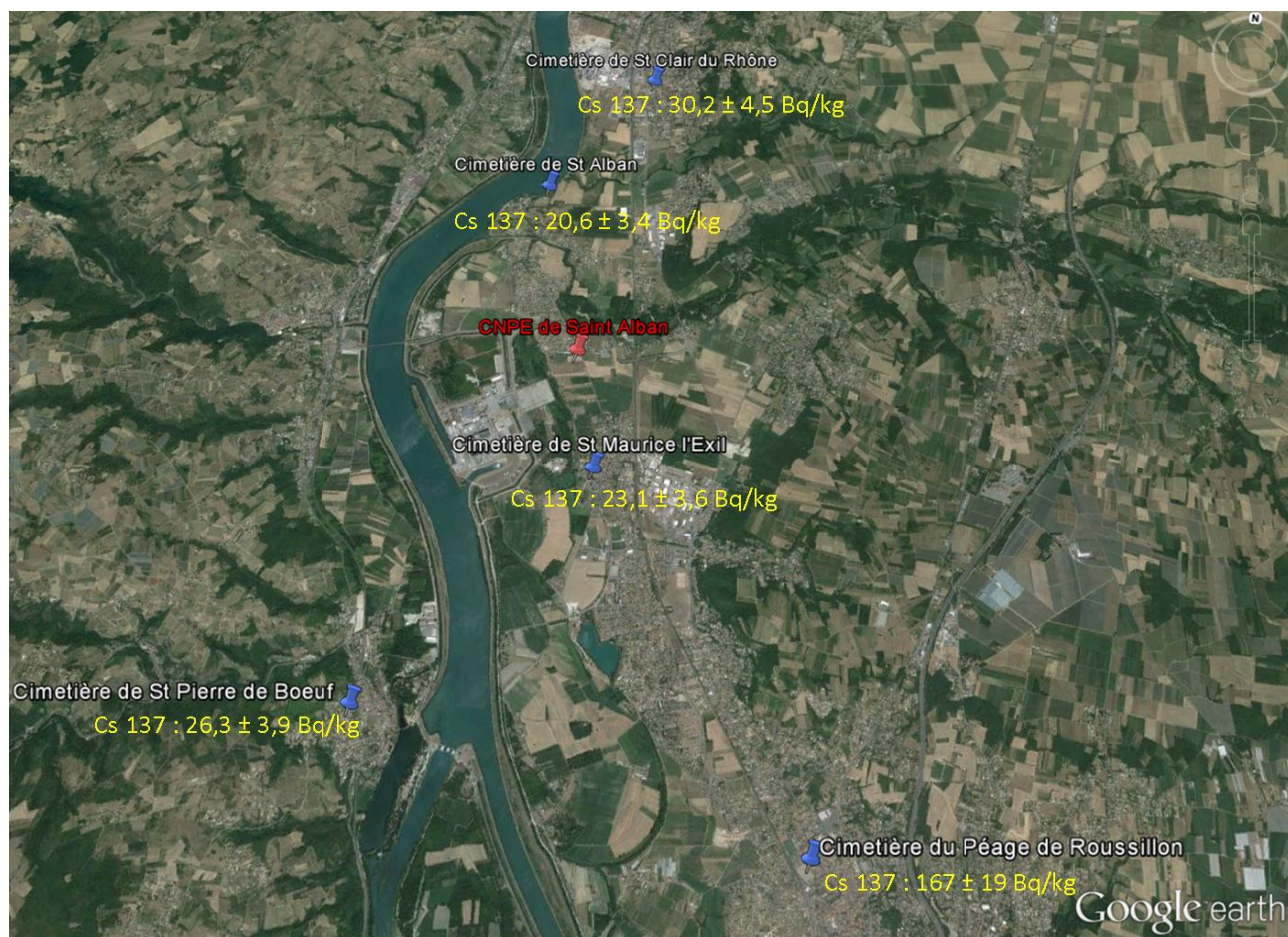


Stations situées au voisinage du site de Cruas Meysse





### Stations situées au voisinage du site de Saint-Alban





Stations situées au voisinage du site de Tricastin





Stations situées au voisinage du site AREVA NP de Romans-sur-Isère



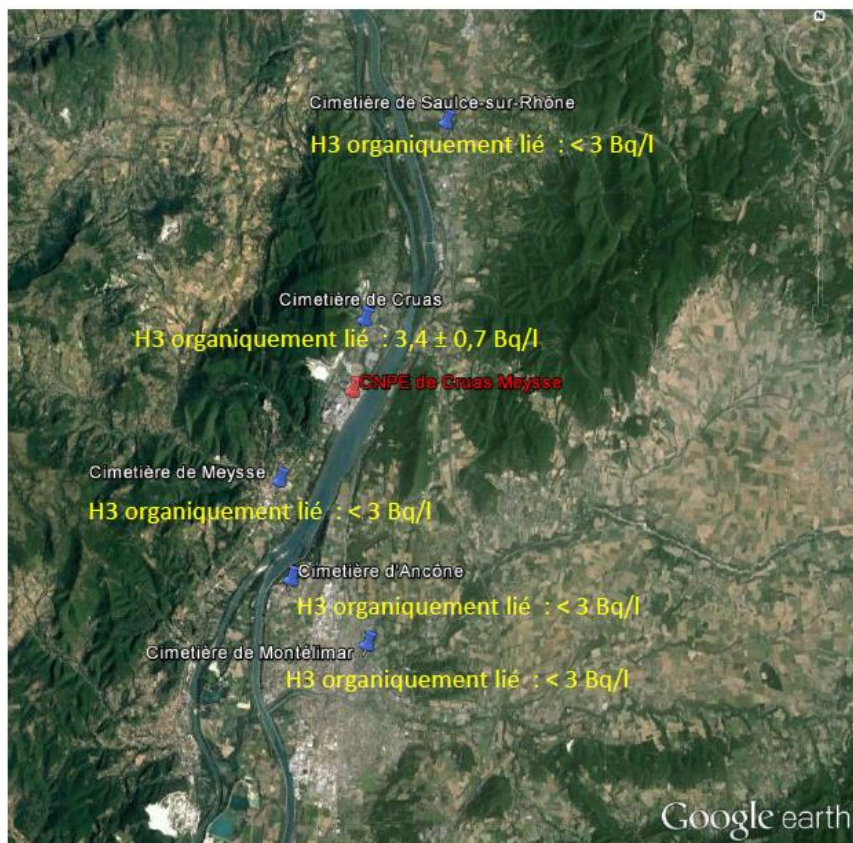


## ANNEXE 2 – RESULTATS DES ANALYSES – TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE

Stations situées au voisinage du site de Saint Alban



Stations situées au voisinage du site de Cruas Meysse

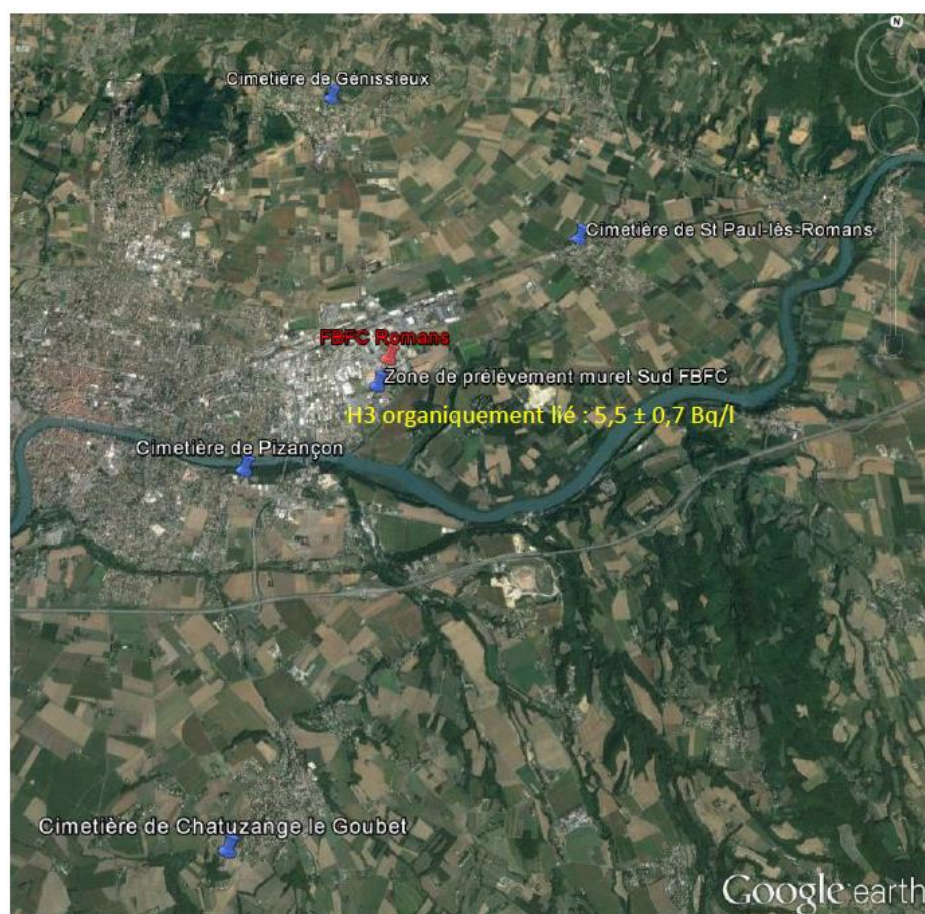




### Stations situées au voisinage du site de Tricastin



### Stations situées au voisinage du site AREVA NP de Romans-sur-Isère (1 échantillon analysé)





## ANNEXE 3 – RESULTATS DES ANALYSES – CARBONE 14

Stations situées au voisinage du site de Saint Alban



Stations situées au voisinage du site de Cruas Meysse





### Stations situées au voisinage du site de Tricastin



### Stations situées au voisinage du site AREVA NP de Romans-sur-Isère (1 échantillon analysé)



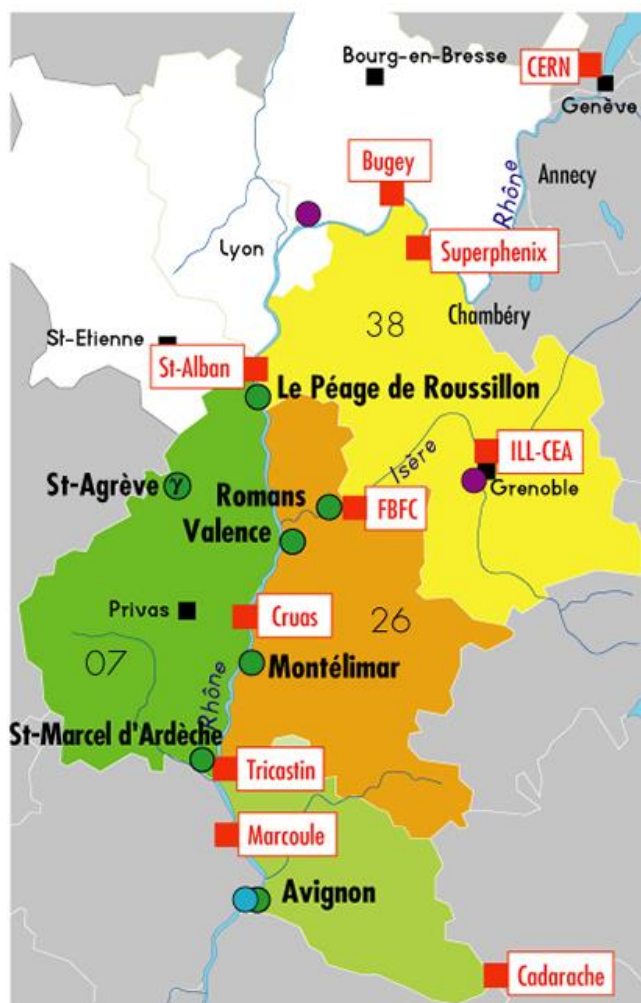


## ANNEXE 4 – RESULTATS DES ANALYSES TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE ET CARBONE 14 - ECHANTILLONS DE REFERENCE





## ANNEXE 5 – IMPLANTATION DES BALISES DU RESEAU CRIIRAD – COLLECTIVITES PARTENAIRES



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



### Communes du réseau Montilien :

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