

# SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE ATMOSPHERIQUE ET AQUATIQUE BALISES D'AVIGNON

Rapport N° 17-07

RAPPORT TRIMESTRIEL  
OCTOBRE-NOVEMBRE-DECEMBRE 2016



CNPE du Tricastin et tours de refroidissement de l'usine EURODIF – Photo CRIIRAD



Rhône en amont du barrage de retenue de Villeneuve-lès-Avignon – Photo CRIIRAD

Document réalisé par le **laboratoire de la CRIIRAD**  
pour la **Mairie d'Avignon**, la **Communauté d'Agglomération du Grand Avignon**, le **Département de Vaucluse** et la **Région Provence Alpes Côte d'Azur**



LABORATOIRE DE LA CRIIRAD  
29, Cours Manuel de Falla – 26000 VALENCE

☎ 04 75 41 82 50  
📠 04 75 81 26 48

<http://www.criirad.org>  
[balises@criirad.org](mailto:balises@criirad.org)

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>2</b>
<b>SYNTHESE – AIR .....</b>	<b>3</b>
<b>SYNTHESE - EAU.....</b>	<b>4</b>
<b>BALISE ATMOSPHERIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>1    <u>RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE .....</u></b>	<b>5</b>
<b>1.1    PRESENTATION.....</b>	<b>5</b>
1.1.1    AEROSOLS.....	6
1.1.2    IODE .....	6
<b>1.2    RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU .....</b>	<b>7</b>
1.2.1    GRAPHES .....	7
1.2.2    COMMENTAIRES .....	10
<b>1.3    RESULTATS DES CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA .....</b>	<b>10</b>
1.3.1    TABLEAU .....	10
1.3.2    COMMENTAIRES .....	10
<b>2    <u>RADIOACTIVITE NATURELLE.....</u></b>	<b>11</b>
<b>2.1    QU'EST-CE QUE LE RADON ?.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2    RADON : RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU .....</b>	<b>12</b>
2.2.1    OCTOBRE 2016 .....	12
2.2.2    NOVEMBRE 2016 .....	13
2.2.3    DECEMBRE 2016 .....	14
2.2.4    COMMENTAIRES .....	15
<b>BALISE AQUATIQUE .....</b>	<b>16</b>
<b>1    <u>PRESENTATION.....</u></b>	<b>16</b>
1.1    POURQUOI ANALYSER L'EAU ?.....	16
1.2    PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE.....	16
1.3    CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA .....	16
1.4    INFLUENCE DES CONDITIONS CLIMATIQUES .....	17
<b>2    <u>CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU.....</u></b>	<b>18</b>
2.1    GRAPHES.....	18
2.2    COMMENTAIRES .....	21
<b>3    <u>CONTROLES DIFFERES EN LABORATOIRE .....</u></b>	<b>21</b>
<b><u>ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE ATMOSPHERIQUE .....</u></b>	<b>24</b>
<b><u>ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE AQUATIQUE .....</u></b>	<b>25</b>
<b><u>LABORATOIRE CRIIRAD.....</u></b>	<b>27</b>

**Avertissement** : toutes les valeurs horaires sont données en heures T.U. (temps universel). Pendant les heures d'été, il faut ajouter 2 heures pour revenir à l'heure locale, alors que pendant la période d'hiver, il faut ajouter 1 heure.

**SYNTHESE – AIR****1) TECHNIQUE**

- Les services techniques sont intervenus à la demande du laboratoire de la CRIIRAD le **5 octobre** pour vérifier l'état du filtre aérosols et de l'électronique de la balise suite à l'apparition d'un message d'erreur constaté lors de la vérification des données à la centrale de gestion située dans les locaux de la CRIIRAD. Aucune anomalie n'a été constatée par le technicien lors de cette intervention. C'est lors de l'intervention hebdomadaire suivante, effectuée le 11 octobre, que le technicien s'est aperçu d'un défaut du filtre : rupture de ce dernier et début de bourrage au niveau du compartiment du détecteur alpha-bêta-radon. Le filtre a été remis en place au cours de cette intervention.

- **Le taux de fonctionnement a été de 99,5 %<sup>1</sup>.**

**2) RESULTATS DES CONTRÔLES**

**Aucune contamination n'a été détectée pendant le trimestre.**

**CONTRÔLES AUTOMATIQUES EN CONTINU****Voie alpha direct**

Les activités volumiques sont restées inférieures à la limite de détection (1 Bq/m<sup>3</sup>).

**Voie bêta direct**

Les activités volumiques sont restées inférieures à la limite de détection (1 Bq/m<sup>3</sup>).

**Voie bêta retardé (temps t + 5j 10h)**

Les activités volumiques sont restées inférieures à la limite de détection (0,01 Bq/m<sup>3</sup>).

**Voie iode**


Les activités volumiques sont restées inférieures à la limite de détection (1 Bq/m<sup>3</sup>).

**CONTRÔLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA****Analyse en laboratoire du filtre mensuel**

Durant le trimestre, l'activité volumique moyenne en césium 137 est restée inférieure à la limite de détection dans les analyses de filtres mensuels (inférieure à 0,008 mBq/m<sup>3</sup>).

**Analyse en laboratoire d'une cartouche hebdomadaire**

L'analyse a été effectuée sur les gaz piégés entre le 30/11/2016 et le 06/12/2016. Sur la période considérée, l'activité volumique moyenne en iode 131 est inférieure à la limite de détection (0,125 mBq/m<sup>3</sup>).

	EMETTEUR	APPROBATION
<b>Nom - Fonction</b>	MOTTE J. - Responsable service balises	SYREN J. Responsable service radon
<b>Date</b>	23/02/17	23/02/17
<b>Signature</b>		

<sup>1</sup> A l'exception des prélèvements hebdomadaires pour lesquels les pompes de la balise sont arrêtées pendant 5 à 15 minutes et d'un arrêt ponctuel de l'alimentation électrique pendant une durée inférieure à 3 heures survenu le 27/11 en raison de travaux électriques à proximité du local balise.

## SYNTHESE - EAU

### 1) TECHNIQUE

- Une intervention du laboratoire CRIIRAD a été effectuée le **1<sup>er</sup> décembre** à la balise afin de nettoyer le fond de la cuve de comptage des sédiments qui se sont accumulés lors des épisodes de fortes précipitations automnales.
- Suite à des orages dans la nuit du 23 au 24 novembre, la CRIIRAD a constaté un arrêt des communications entre la balise et la centrale de gestion. La CNR a confirmé à la CRIIRAD que le problème était lié à une absence de tonalité de la ligne téléphonique. La CRIIRAD a contacté les services techniques de la Ville qui ont fait le nécessaire pour faire intervenir l'opérateur téléphonique sur la ligne. L'intervention le **29 novembre** de l'opérateur, en présence d'un technicien de la Ville, a permis de rétablir la ligne. Compte tenu du délai de 5 jours entre le début du dysfonctionnement (intervenu à l'approche de la fin de semaine) et le rétablissement de la ligne, des données ont été perdues entre le 23/11/2016 18h TU et le 24/11/2016 15h TU, du fait de la saturation de la mémoire tampon.
- **Le taux de fonctionnement de la balise a été de 98,9%, celui de l'astreinte (compte tenu du problème de communication) a été de 93,5%.**

### 2) RESULTATS DES CONTRÔLES

Aucune contamination n'a été détectée pendant le trimestre.

#### CONTRÔLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

##### Voie gamma total

La limite de détection (1,5 Bq/l) a été dépassée à plusieurs reprises au cours du trimestre. Le seuil d'alarme a été dépassé à plusieurs reprises les 14 et 17 octobre, le 5 novembre et le 19 décembre : l'activité volumique maximale mesurée le 5 novembre a été de 48 Bq/l.

##### Voie iode 131

La limite de détection (1,0 Bq/l) a été dépassée à plusieurs reprises au cours du trimestre. Le seuil d'alarme a été dépassé à plusieurs reprises les 14 et 17 octobre, le 5 novembre et le 19 décembre : l'activité volumique maximale mesurée a été de 15 Bq/l.

**Les dépassements mesurés lors des contrôles en continu sont liés à la variation de la charge et du débit du Rhône (lors de fortes pluies ou de crues) et ne constituent pas une anomalie.**

#### CONTRÔLES DIFFERES EN LABORATOIRE

##### Analyses en laboratoire d'un échantillon d'eau du Rhône

L'analyse trimestrielle a été effectuée sur un échantillon prélevé le 6 septembre.

Aucun radionucléide émetteur gamma n'a été détecté.

L'analyse par scintillation liquide a révélé la présence de tritium (activité de 7,3 Bq/l) laissant suggérer un impact des installations nucléaires situées en amont de la Ville d'Avignon.

##### Analyse en laboratoire d'un échantillon de sédiments de fond de cuve de la balise d'eau

L'analyse a été effectuée sur un échantillon de sédiments prélevé en fond de cuve le 1<sup>er</sup> décembre, lors de l'intervention de nettoyage de la cuve de comptage.

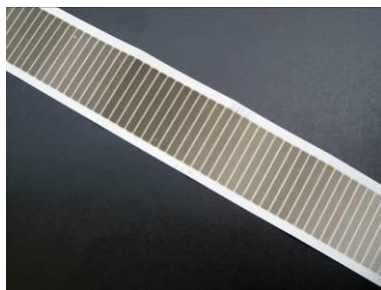
Le césium 137 est le seul radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle détecté dans l'échantillon, à un niveau de 3,7 Bq/kg sec. La présence de cette contamination peut trouver son origine dans le reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 50-60 et de la catastrophe de Tchernobyl en 1986.

## BALISE ATMOSPHERIQUE

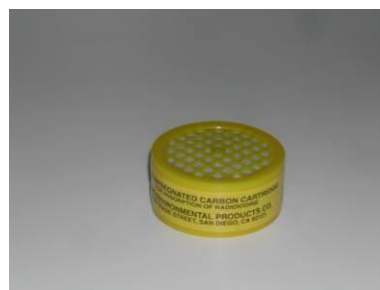
### 1 RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE

#### 1.1 Présentation

La balise atmosphérique est constituée d'un dispositif qui aspire l'air à contrôler par un système de pompes et le fait circuler dans plusieurs modules de piégeage. Un filtre papier retient les aérosols pour contrôle automatique continu des radionucléides émetteurs alpha et bêta. Une cartouche à charbon actif (remplacée chaque semaine par un technicien du service environnement hygiène santé de la ville d'Avignon) piège les gaz, ce qui permet un contrôle automatique continu en particulier de l'activité de l'iode 131 gazeux.



**Filtre papier (aérosols)**



**Cartouche à charbon actif (gaz)**

Les filtres et les cartouches peuvent être prélevés et soumis à des analyses complémentaires par spectrométrie gamma au laboratoire<sup>2</sup> CRIIRAD afin d'identifier et de quantifier précisément la nature et l'activité de chacun des radioéléments émetteurs gamma. En situation courante, sont analysés chaque mois l'intégralité du filtre et l'une des cartouches hebdomadaires. Ces contrôles sont réalisés sans délai en cas de détection de contamination par la balise.



**Analyse par spectrométrie gamma**

---

<sup>2</sup> Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour le dosage des émetteurs gamma dans les matrices biologiques et les matrices gaz, ainsi que pour le dosage des gaz halogénés.

### 1.1.1 Aérosols

Hors situation accidentelle, la radioactivité artificielle de l'air est due principalement :

- au reliquat des radionucléides dispersés par les essais nucléaires effectués dans l'atmosphère principalement dans les années 50/60,
- à la remise en suspension des retombées de Tchernobyl (1986),
- aux installations nucléaires (dont les centrales) qui, en fonctionnement normal, rejettent des éléments radioactifs dans l'atmosphère.

Selon leur mode de désintégration, ces radionucléides sont des émetteurs de rayonnement bêta ou, dans une plus faible proportion, de rayonnements alpha. Dans de nombreux cas, la désintégration s'accompagne de l'émission de rayonnements gamma.

La balise mesure en continu l'activité volumique globale des émetteurs alpha et bêta contenus dans les aérosols. Afin que la surveillance de la contamination artificielle ne soit pas perturbée par les fluctuations des niveaux de radon, gaz radioactif émanant du sol et naturellement présent dans l'atmosphère, le détecteur comptabilise séparément la radioactivité naturelle. De plus, l'activité des radionucléides émetteurs bêta est mesurée une seconde fois, 5 jours (et 10 heures) après la mesure directe de manière à affiner les résultats. En effet, le « bruit de fond » des mesures effectuées en différé est nettement plus bas que celui des mesures directes du fait de la quasi-disparition des descendants à vie courte du radon.

La **limite de détection des mesures directes (alpha et bêta)** est ainsi de **1 Bq/m<sup>3</sup>** alors que celle des **mesures retardées (bêta)** est de **0,01 Bq/m<sup>3</sup>**.

**L'analyse du filtre** par spectrométrie gamma au laboratoire CRIIRAD permet d'obtenir des niveaux de précision très supérieurs. Pour le césium 137, et pour un comptage d'environ 50 000 secondes, la **limite de détection** est typiquement **inférieure à 0,01 mBq/m<sup>3</sup>** (soit 0,00001 Bq/m<sup>3</sup>).

### 1.1.2 Iode

En cas d'incident, de nombreux produits de fission volatils peuvent être rejetés de façon massive dans l'air extérieur. L'expérience montre que l'une de celles qui a l'impact sanitaire le plus important est l'iode 131, un radionucléide émetteur de rayonnements bêta et gamma dont la période physique est de 8 jours.

Afin de mesurer en continu l'activité volumique de l'air en iode 131 gazeux (forme généralement prépondérante), la balise possède un dispositif de piégeage des gaz : une cartouche à charbon actif. Un détecteur spécifique est placé en vis-à-vis. Il s'agit d'un détecteur gamma dont la fenêtre de mesure (291-437 keV) est centrée sur le principal pic de l'iode 131 (364,5 keV). Afin de garantir les capacités de piégeage du dispositif, les cartouches à charbon actif sont prélevées et remplacées toutes les semaines. Chaque mois, l'une des cartouches fait l'objet d'une analyse de contrôle en laboratoire.

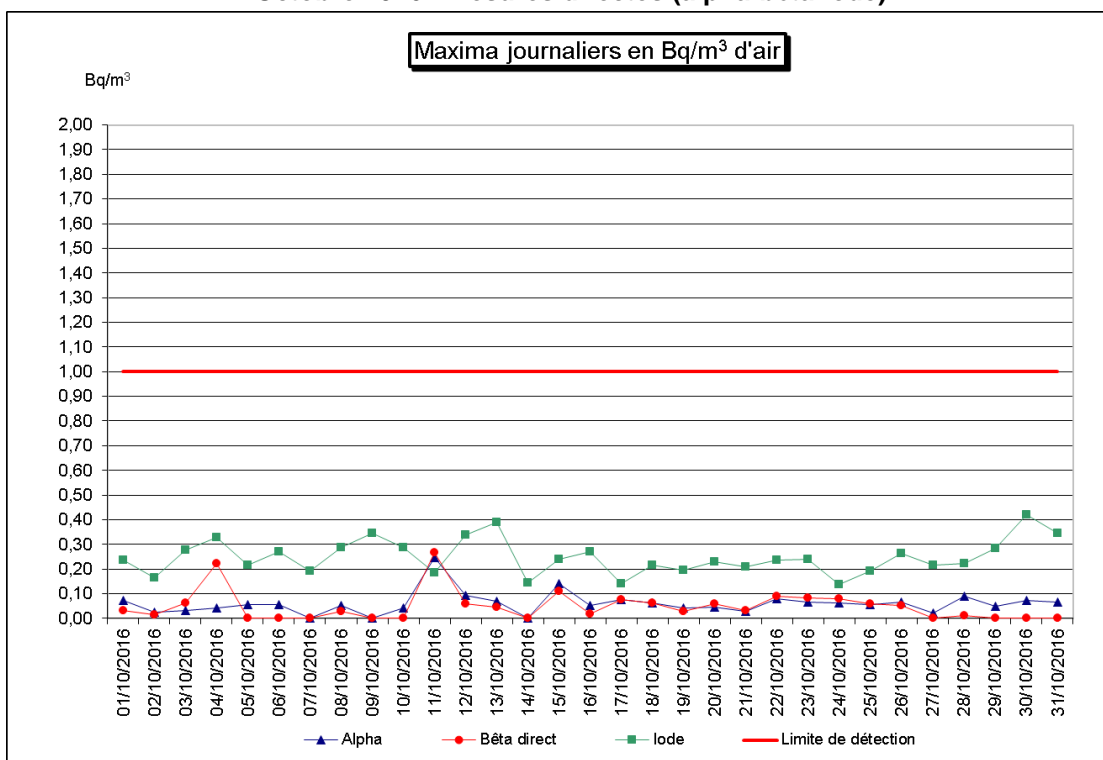
**La limite de détection des mesures en direct de l'activité d'iode 131 est de 1 Bq/m<sup>3</sup>.**

**L'analyse des cartouches à charbon actif** par spectrométrie gamma au laboratoire CRIIRAD, permet d'atteindre, typiquement, une **limite de détection inférieure à 0,1 mBq/m<sup>3</sup>** (pour l'iode 131 et pour un comptage d'environ 50 000 secondes).

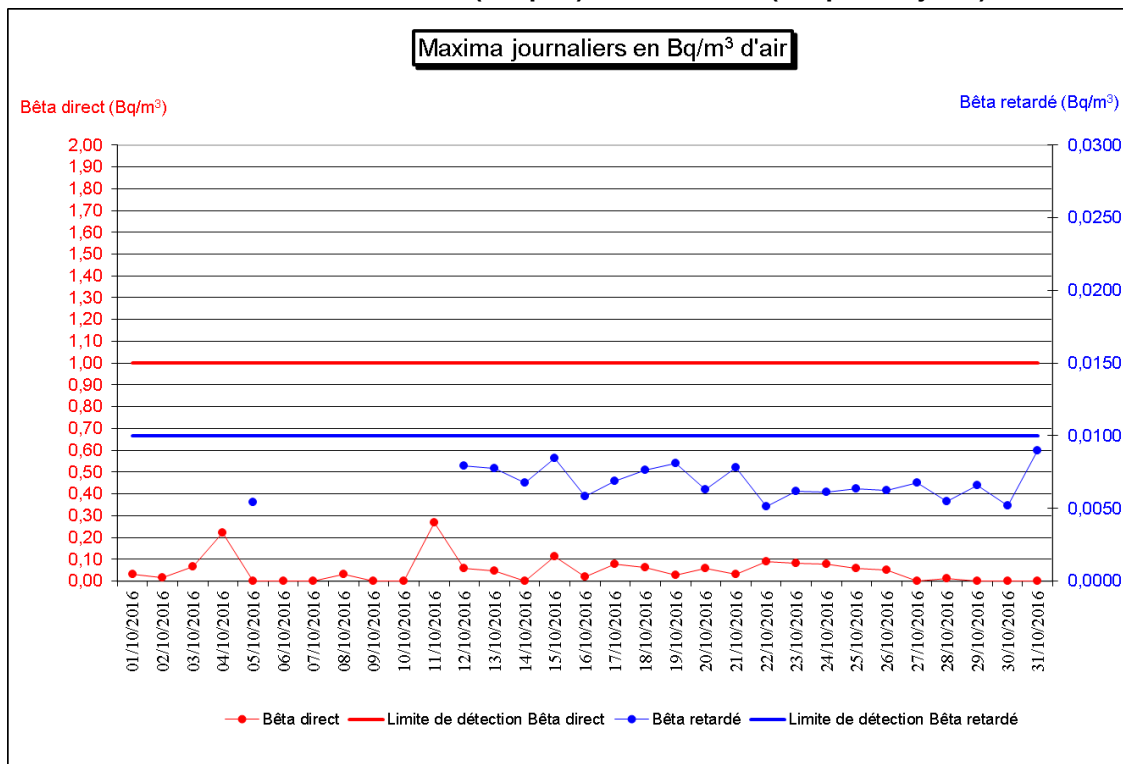
## 1.2 Résultats des contrôles automatiques en continu

### 1.2.1 Graphes

Octobre 2016 - Mesures directes (alpha-bêta-iode)

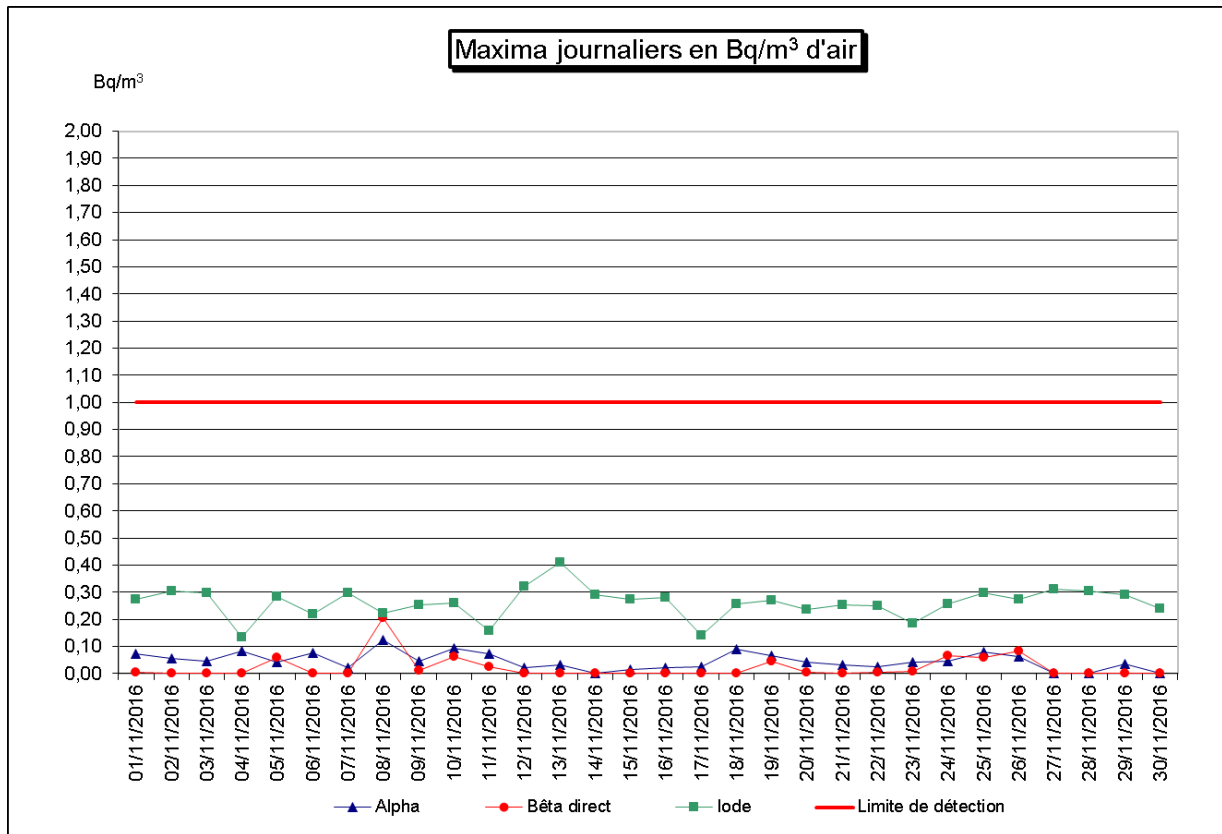


Octobre 2016 - Bêta direct (temps t) - bêta retardé (temps t + 5j 10h)<sup>3</sup>

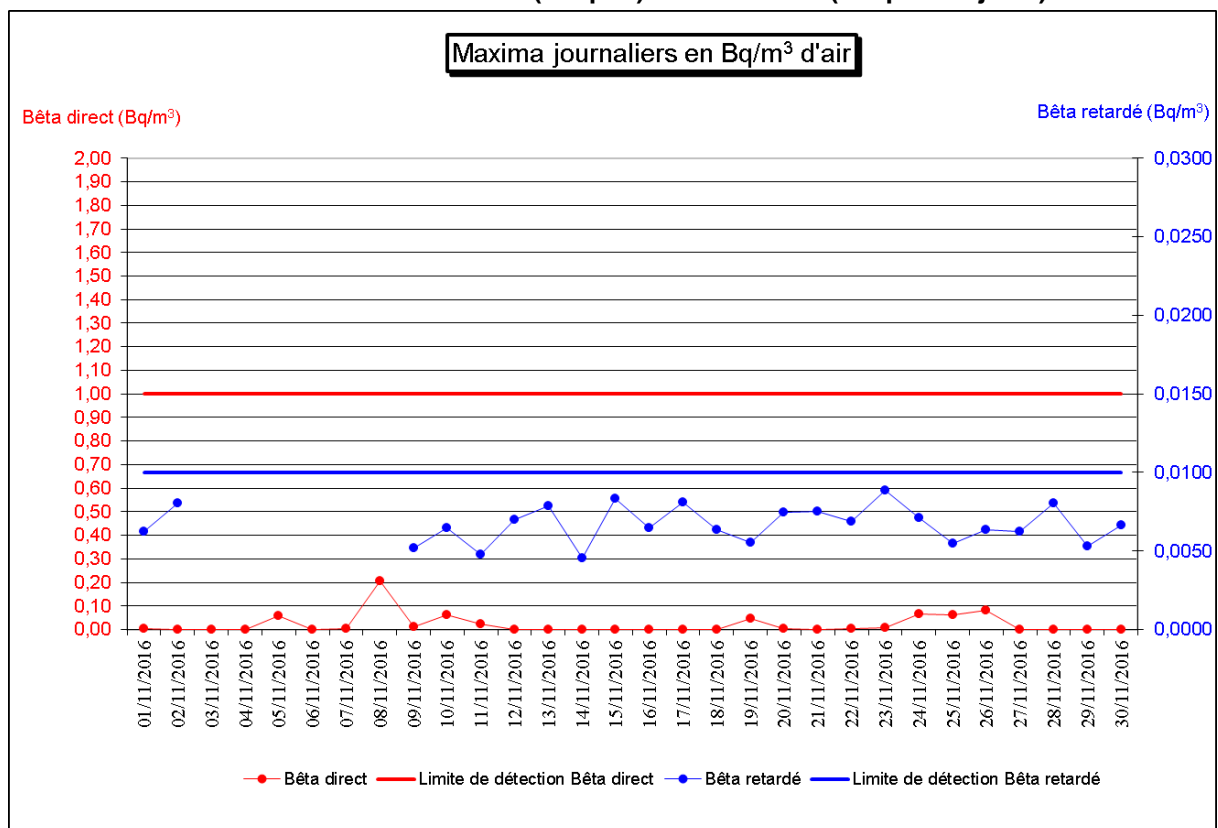


<sup>3</sup> Les mesures « bêta retardé » ne sont pas effectuées pendant les 5j 10h suivant un prélèvement de filtre. Dans le graphe ci-dessus, les résultats « bêta retardé » réalisés à « t + 5j10h » sont représentés à « t » afin d'être comparés aux résultats « bêta direct » correspondants.

Novembre 2016 - Mesures directes (alpha-bêta-iode)



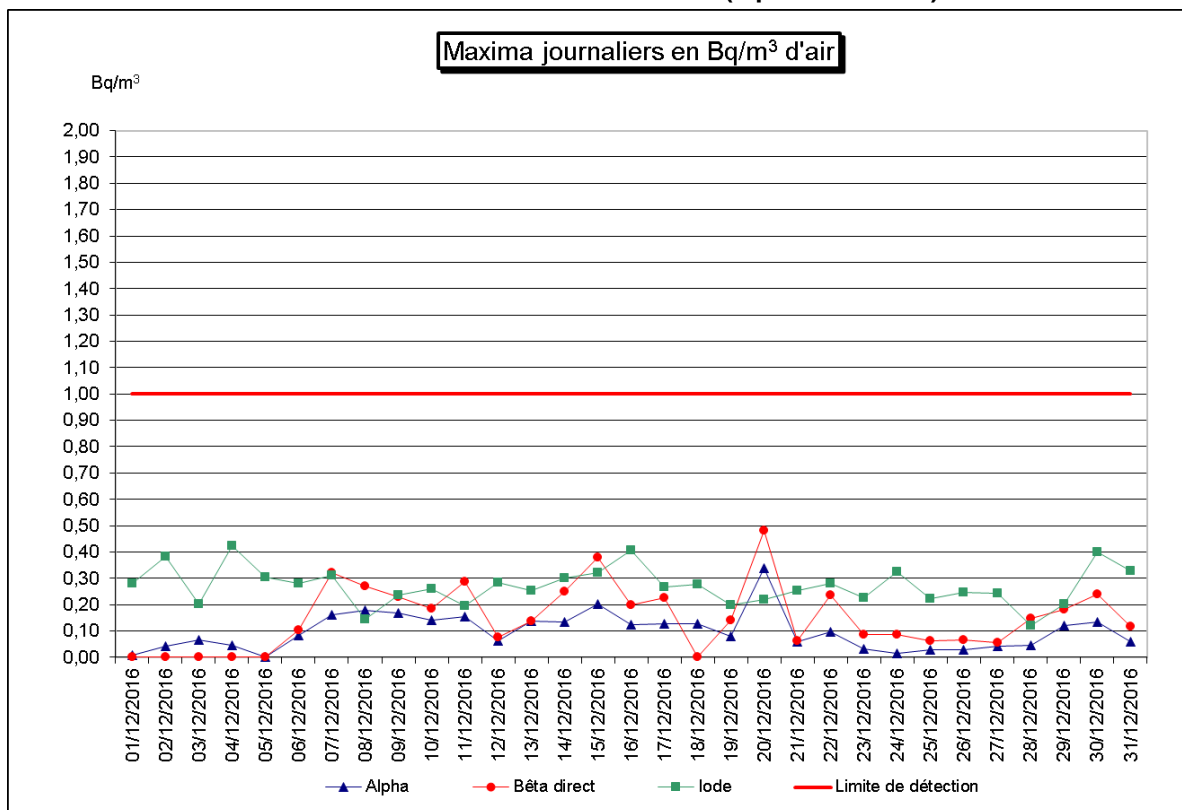
Novembre 2016 - Béta direct (temps t) - bêta retardé (temps t + 5j 10h)<sup>4</sup>



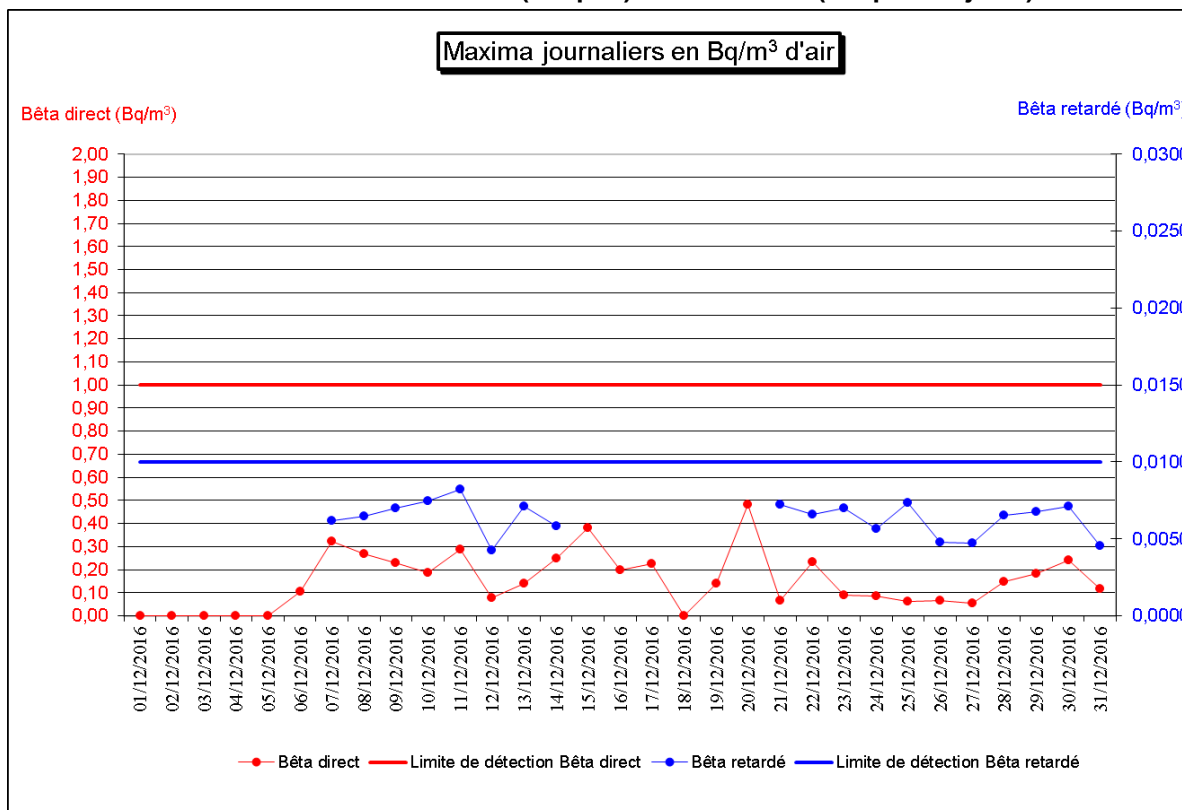
<sup>4</sup> Les mesures « bêta retardé » ne sont pas effectuées pendant les 5j 10h suivant un prélèvement de filtre. Dans le graphe ci-dessus, les résultats « bêta retardé » réalisés à « t + 5j10h » sont représentés à « t » afin d'être comparés aux résultats « bêta direct » correspondants.



Décembre 2016 - Mesures directes (alpha-bêta-iode)



Décembre 2016 - Bêta direct (temps t) - bêta retardé (temps t + 5j 10h)<sup>5</sup>



<sup>5</sup> Les mesures « bêta retardé » ne sont pas effectuées pendant les 5j 10h suivant un prélèvement de filtre. Dans le graphe ci-dessus, les résultats « bêta retardé » réalisés à « t + 5j10h » sont représentés à « t » afin d'être comparés aux résultats « bêta direct » correspondants.

### 1.2.2 Commentaires

#### Alpha, bêta direct, iode 131

Toutes les valeurs sont restées inférieures à la limite de détection (1 Bq/m<sup>3</sup>).

#### Bêta retardé

Aucune mesure n'a été effectuée entre le 1<sup>er</sup> et le 4 octobre, entre le 3 et le 8 novembre et entre le 1<sup>er</sup> et le 6 décembre, du fait du prélèvement de filtre aérosols respectivement le 4 octobre, le 8 novembre et le 6 décembre pour analyse (cf. note 3 page 7). A signaler également qu'aucune mesure n'a été effectuée entre le 6 et le 11 octobre suite au prélèvement le 11 octobre du filtre en raison de sa rupture et entre le 15 et le 20 décembre du fait de la mise en place d'un nouveau rouleau de filtre le 20 décembre.

## 1.3 Résultats des contrôles différés par spectrométrie gamma

### 1.3.1 Tableau

Le tableau ci-dessous présente pour le césium 137, le césium 134, l'iode 131 (radioactivité artificielle) et le béryllium 7<sup>6</sup> (radionucléide naturel) la limite de détection (précédée du signe <) ou l'activité mesurée (suivie de la marge d'incertitude) exprimés en millibecquerels par mètre cube (mBq/m<sup>3</sup>).

Média filtrant	Air échantillonné		Date de prélèvement	N° analyse	Date d'analyse	Cs 137 (mBq/m <sup>3</sup> )	Cs 134 (mBq/m <sup>3</sup> )	I 131 (mBq/m <sup>3</sup> )	Be 7 (mBq/m <sup>3</sup> )
	du	au							
Filtre aérosols	04/10/16 08:43	08/11/16 10:11	08/11/16	29 168	10/11/16	< 0,008	< 0,006	< 0,037	2,5 ± 0,4
	08/11/16 10:20	06/12/16 10:25	06/12/16	29 258	08/12/16	< 0,007	< 0,006	< 0,024	2,7 ± 0,4
	06/12/16 10:34	10/01/17 13:14	10/01/17	29 356	11/01/17	< 0,006	< 0,005	< 0,025	2,5 ± 0,4
Cartouche de charbon actif	30/11/16 13:54	06/12/16 10:23	06/12/16	29 257	08/12/16	-	-	< 0,125	-

Légende                      Résultats exprimés en millibecquerels par mètre cube d'air (mBq/m<sup>3</sup>) à la date de mesure.  
 ± : marge d'incertitude  
 < : limite de détection  
 - : non mesuré

### 1.3.2 Commentaires

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté.

L'activité volumique en béryllium 7 correspond aux niveaux habituellement mesurés.

<sup>6</sup> L'activité du béryllium 7 (de période physique 53 jours) est donnée à la date de mesure. C'est un produit radioactif naturel qui se forme dans les couches de la haute atmosphère et se dépose de manière assez homogène sur le sol.

## 2 RADIOACTIVITE NATURELLE

### 2.1 Qu'est-ce que le radon ?

Le radon appartient à la famille des gaz rares (hélium, néon, krypton, ...). Inodore, incolore, sans saveur, il ne réagit pas chimiquement avec les autres éléments. C'est le seul gaz rare naturellement radioactif. Son principal isotope, le radon 222, est produit par la désintégration du radium 226. Il appartient à la chaîne de l'uranium 238, un élément radioactif naturel omniprésent dans l'écorce terrestre, mais à des niveaux variables en fonction de la nature des roches.

Les émanations se produisent en permanence et en tous points du territoire mais elles sont plus élevées dans les zones dont le sol contient des roches riches en uranium (c'est notamment le cas des roches magmatiques, et en particulier des granites). Le Limousin, le Massif Central, la Bretagne et la Corse sont des régions particulièrement concernées par le radon. Dans les secteurs a priori plus pauvres en uranium, le radon produit par des roches plus profondes peut cependant remonter à la surface par le biais des failles.

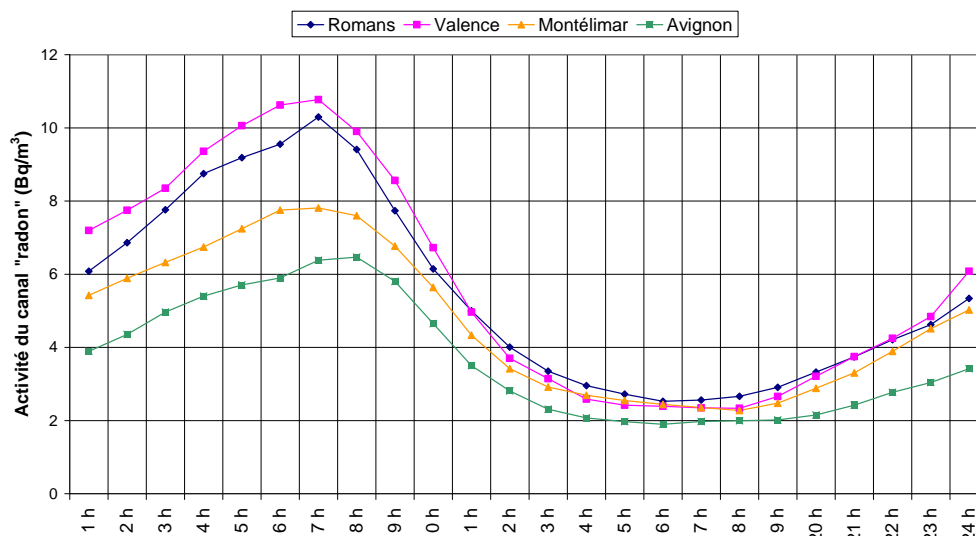
Présent en concentration élevée dans les sols, le radon se dilue rapidement dans l'air extérieur où les activités volumiques varient généralement **de quelques becquerels à quelques dizaines de becquerels par mètre cube d'air**, pour un climat tempéré continental. Des niveaux nettement plus élevés peuvent être mesurés à proximité des gisements uranifères et des sites d'extraction de l'uranium. Les concentrations dans l'air ambiant peuvent être alors de plusieurs centaines de becquerels par mètre cube, voire plus.

La concentration du radon dans l'atmosphère varie en fonction de différents paramètres :

- la teneur du sol en uranium 238 (radon 222) et thorium 232 (radon 220),
- la porosité du sol (qui favorise ou limite l'émanation du radon),
- les conditions météorologiques qui influent à la fois sur l'émission du radon et sur sa dispersion (vent, pression, température, pluie, neige, ...).

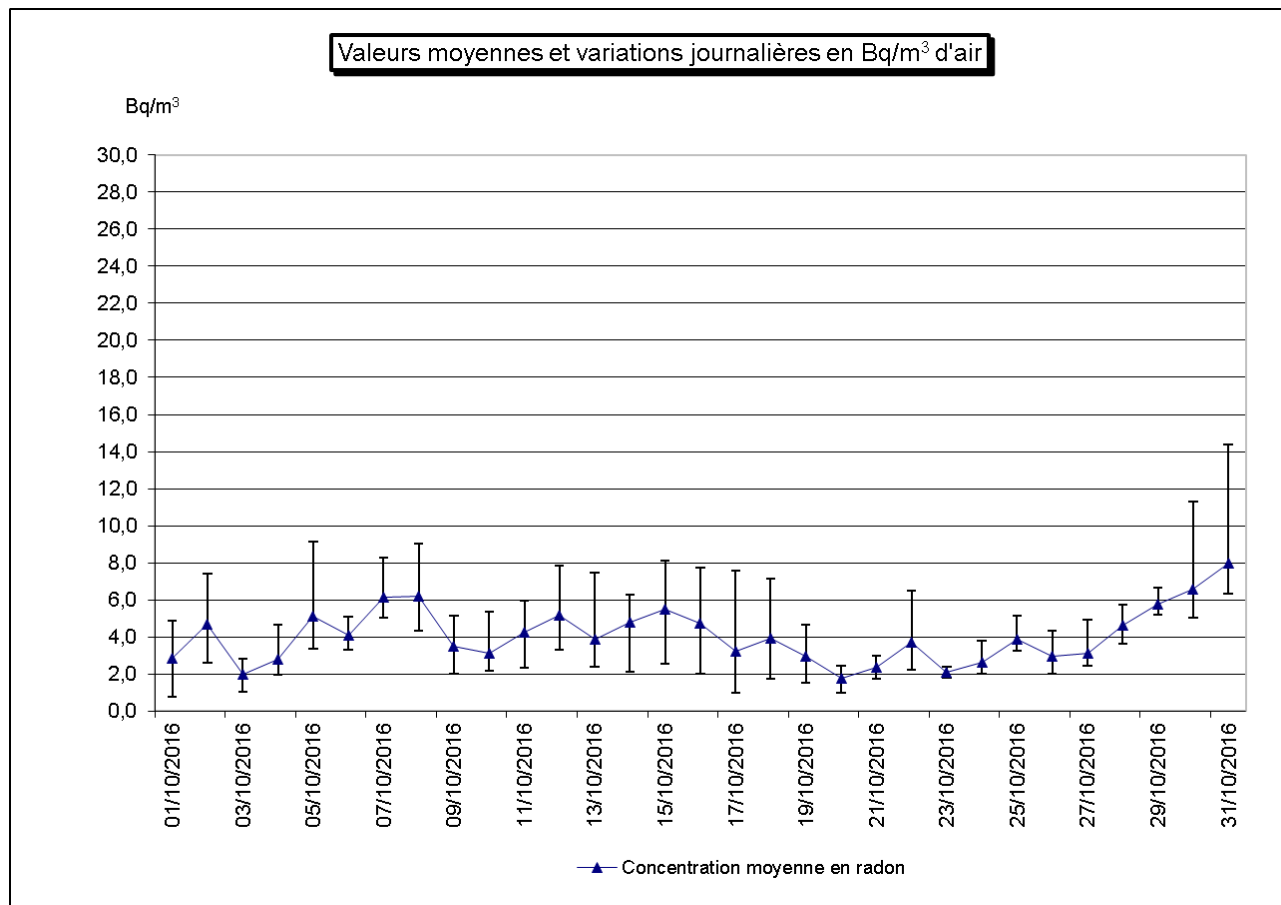
*A l'échelle d'une journée, on constate typiquement une augmentation des concentrations au cours de la nuit, des niveaux maximums en début de matinée (7h TU), puis une diminution, pour atteindre des valeurs minimales en fin d'après-midi (vers 15-17h TU). Voir ci-dessous l'évolution des concentrations moyennes en radon sur 24 heures pour 4 balises en septembre 2000.*

Radon - Activités horaires moyennes mesurées par les balises en septembre 2000



## 2.2 Radon : résultats des contrôles automatiques en continu

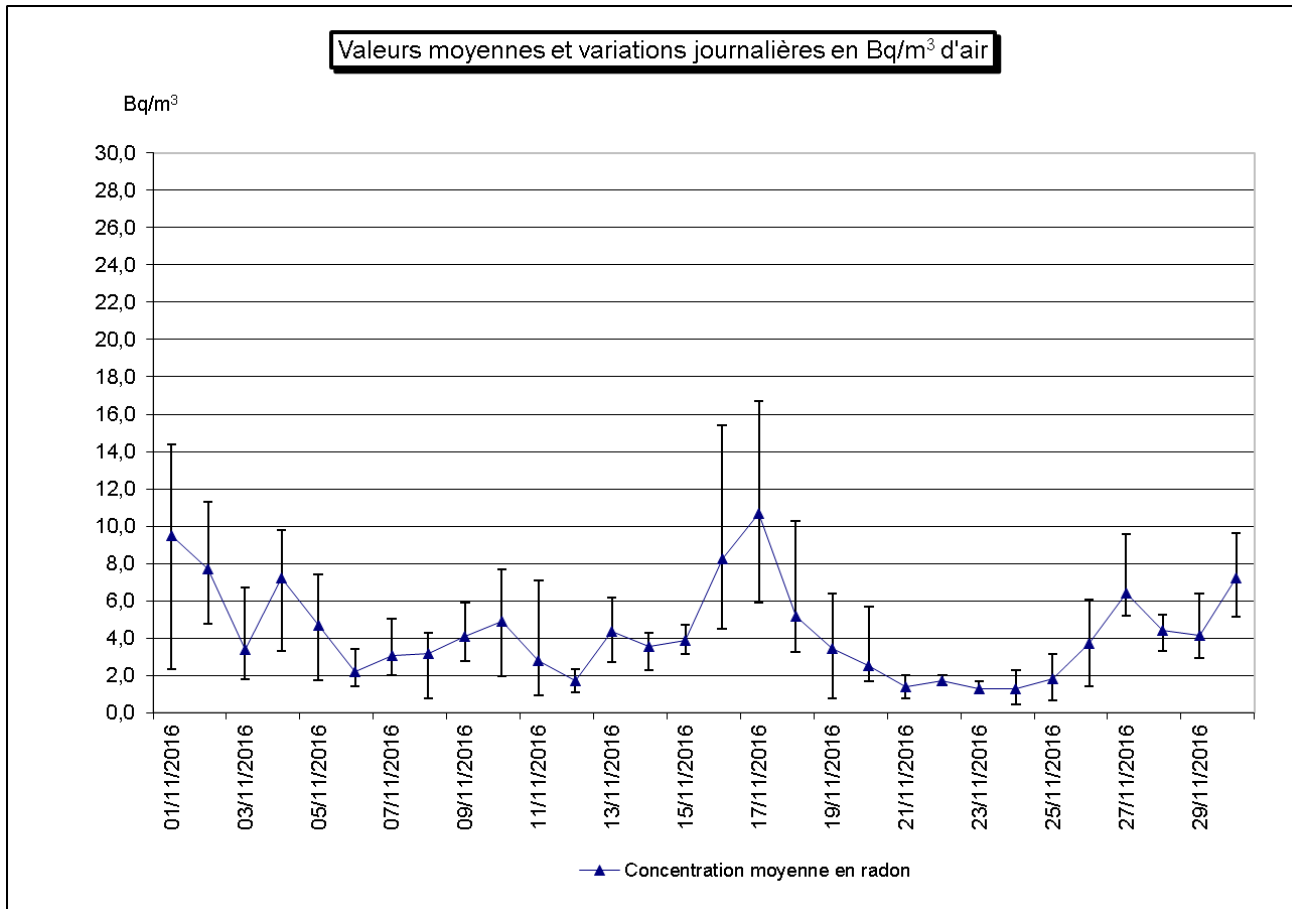
### 2.2.1 Octobre 2016<sup>7</sup>



Valeur horaire maximum relevée le 31/10/2016 à 23h00	14,4 Bq/m3
Valeur horaire minimum relevée le 01/10/2016 à 17h00	0,7 Bq/m3
Ecart le plus important le 31/10/2016	Ecart de 8 Bq/m3
Ecart le plus faible le 23/10/2016	Ecart de 0,6 Bq/m3
<b>Moyenne mensuelle</b>	<b>4,1 Bq/m3</b>

<sup>7</sup> Ce graphe présente pour chaque jour l'activité volumique horaire maximale, l'activité volumique horaire minimale et la moyenne journalière des activités volumiques horaires.

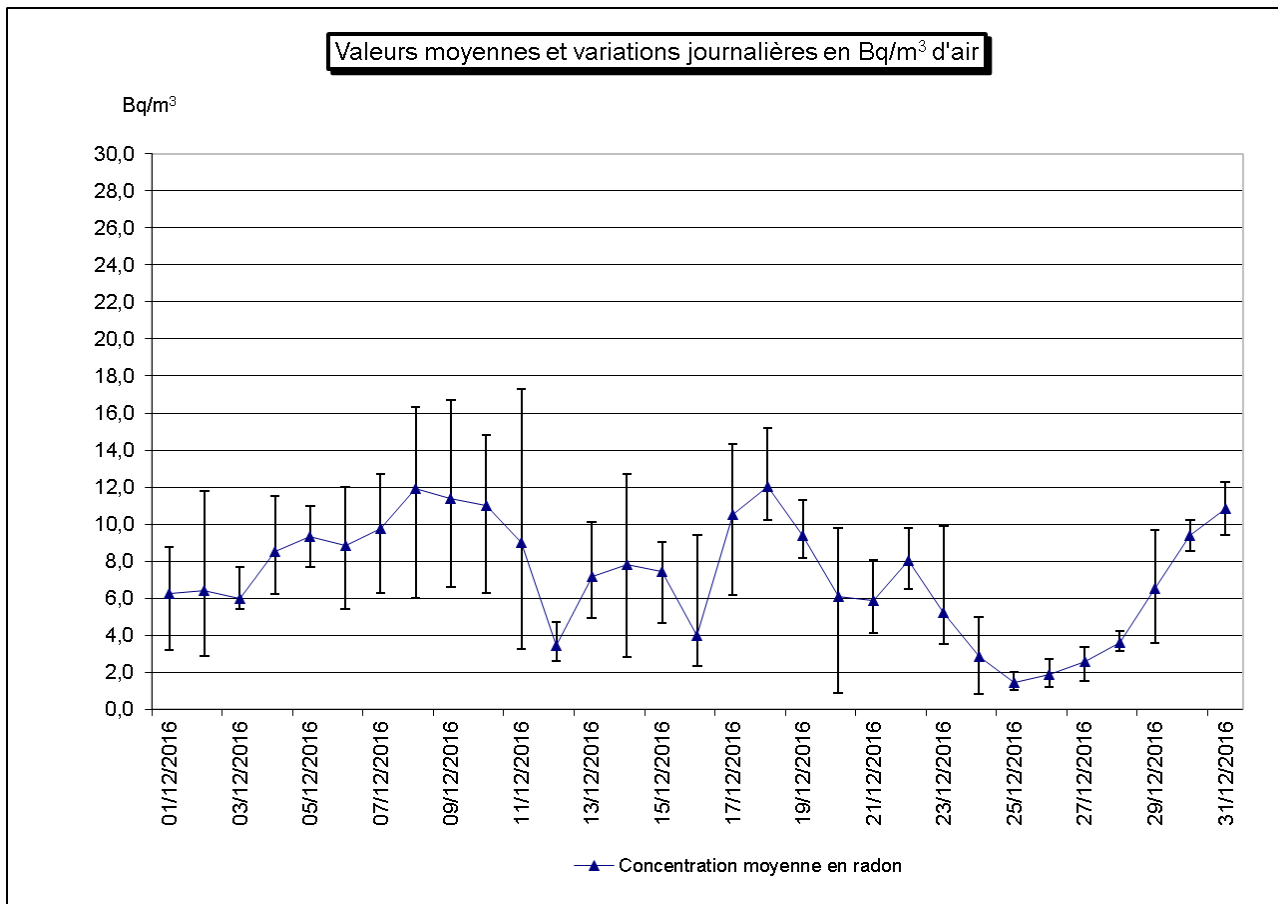
2.2.2 Novembre 2016<sup>8</sup>



Valeur horaire maximum relevée le 17/11/2016 à 08h00	16,7 Bq/m3
Valeur horaire minimum relevée le 24/11/2016 à 03h00	0,5 Bq/m3
Ecart le plus important le 01/11/2016	Ecart de 12,1 Bq/m3
Ecart le plus faible le 23/11/2016	Ecart de 0,6 Bq/m3
<b>Moyenne mensuelle</b>	<b>4,3 Bq/m3</b>

<sup>8</sup> Ce graphe présente pour chaque jour l'activité volumique horaire maximale, l'activité volumique horaire minimale et la moyenne journalière des activités volumiques horaires.

2.2.3 Décembre 2016<sup>9</sup>



Valeur horaire maximum relevée le 11/12/2016 à 06h00	17,3 Bq/m3
Valeur horaire minimum relevée le 24/12/2016 à 16h00	0,8 Bq/m3
Ecart le plus important le 11/12/2016	Ecart de 14,1 Bq/m3
Ecart le plus faible le 25/12/2016	Ecart de 1 Bq/m3
<b>Moyenne mensuelle</b>	<b>7,2 Bq/m3</b>

<sup>9</sup> Ce graphe présente pour chaque jour l'activité volumique horaire maximale, l'activité volumique horaire minimale et la moyenne journalière des activités volumiques horaires.

## 2.2.4 Commentaires

Aucune anomalie particulière n'a été mesurée. Les concentrations en radon sont normales pour la vallée du Rhône et la saison.

Les données mensuelles peuvent être comparées au tableau ci-dessous qui synthétise les résultats de l'année 2015 pour la balise atmosphérique d'Avignon.

AVIGNON	Minima	Moyennes	Maxima
janv-15	0,4	3,5	18,4
févr-15	0,4	3,2	13,9
mars-15	0,3	3,2	10,1
avr-15	0,3	2,9	10,2
mai-15	0,6	2,4	9,6
juin-15	0,6	3,0	11,9
juil-15	0,6	3,3	12,0
août-15	0,5	3,4	10,6
sept-15	0,5	2,9	12,1
oct-15	0,7	5,3	14,0
nov-15	0,3	3,8	13,6
déc-15	0,5	5,3	14,3
<b>2015</b>	<b>0,3</b>	<b>3,5</b>	<b>18,4</b>

**Activités volumiques du canal « radon » mesurées en 2015 (résultats en Bq/m<sup>3</sup>)**

## BALISE AQUATIQUE

### 1 PRESENTATION

#### 1.1 Pourquoi analyser l'eau ?

Les nombreuses installations nucléaires de la vallée du Rhône rejettent de manière chronique des substances radioactives dans le milieu aquatique. Compte tenu des facteurs de dilution et de l'éloignement des différentes installations, il est difficile d'effectuer, à partir d'un seul point de mesure, un suivi des rejets liquides courants. Toutefois, il est primordial de disposer d'une balise qui mesure de manière continue la radioactivité du fleuve en aval des principales installations afin de détecter, en cas d'incident, une augmentation de ces rejets dans le Rhône.



Local dans lequel est installée la balise aquatique

#### 1.2 Principe de fonctionnement de la balise

La balise aquatique est constituée d'un dispositif qui prélève en permanence l'eau du Rhône grâce à un dispositif de pompage et la fait transiter dans une cuve de comptage équipée d'un spectromètre gamma dont l'électronique comporte deux voies de comptage :

- une première voie (gamma total) prend en compte les rayonnements gamma détectés dans l'eau de la cuve sur une gamme de 100 à 2 000 keV en énergie. Cette mesure permet de suivre en continu l'évolution de la radioactivité globale de l'eau. Cette mesure globale ne permet toutefois pas d'identifier les radionucléides à l'origine du rayonnement ;
- la deuxième voie de mesure (gamma centrée sur la fenêtre d'énergie [320 keV ; 400 keV]) est centrée autour de l'énergie gamma de l'iode 131 (364 keV). L'iode 131 est l'un des radionucléides émetteurs gamma dont les rejets pourraient être très significatifs en cas d'incident sur une centrale électronucléaire.

#### 1.3 Contrôles différés par spectrométrie gamma

L'eau du Rhône peut être prélevée et soumise à des analyses complémentaires par spectrométrie gamma au laboratoire CRIIRAD. Ces analyses permettent d'identifier et de doser les radionucléides émetteurs gamma, et notamment les descendants du radon 222.

En situation courante, un échantillon d'eau du Rhône est prélevé par le service hygiène santé de la mairie d'Avignon en amont du Pont Saint-Bénézet sur l'ancien site de la capitainerie à Avignon et analysé par le laboratoire CRIIRAD. Ce type de contrôle peut également être réalisé



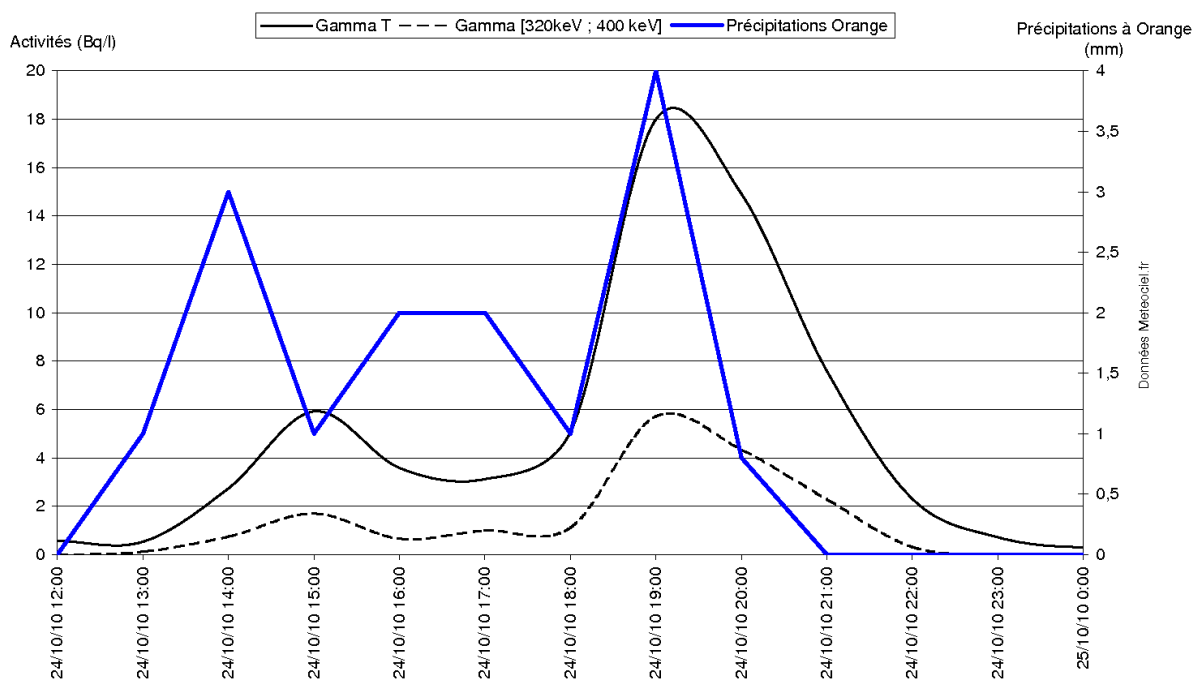
sans délai en cas de détection de contamination par la balise, grâce au service d'astreinte permanent du service hygiène santé de la mairie d'Avignon et du laboratoire CRIIRAD.

## 1.4 Influence des conditions climatiques

Les activités volumiques détectées par la voie gamma total et, dans une moindre mesure, par la voie gamma centrée autour de l'énergie de l'iode 131, sont influencées par les conditions climatiques. En effet, lors des épisodes de pluie, le radon 222 naturellement présent dans l'air et le sol du bassin versant du Rhône est lessivé vers le fleuve. La présence des descendants du radon émetteurs gamma dans l'eau du Rhône entraîne une augmentation des valeurs mesurées par la balise. Selon l'intensité de l'épisode pluvieux, cette augmentation peut induire un dépassement du seuil détection (1,5 Bq/l pour la voie gamma total et 1 Bq/l pour la voie gamma [320 keV ; 400 keV]), du seuil d'alerte de niveau 1 (10 Bq/l pour la voie gamma total et 3,5 Bq/l pour la voie gamma [320 keV ; 400 keV]) voire, exceptionnellement, du seuil d'alerte de niveau 2 (30 Bq/l pour la voie gamma total et 10 Bq/l pour la voie gamma [320 keV ; 400 keV]).

En cas de dépassement de seuil, l'étude du ratio entre les activités volumiques des deux voies de mesure permet de vérifier que l'augmentation est bien due aux conditions climatiques<sup>10</sup>.

Balise aquatique d'Avignon - Exemple de dépassement dû aux précipitations

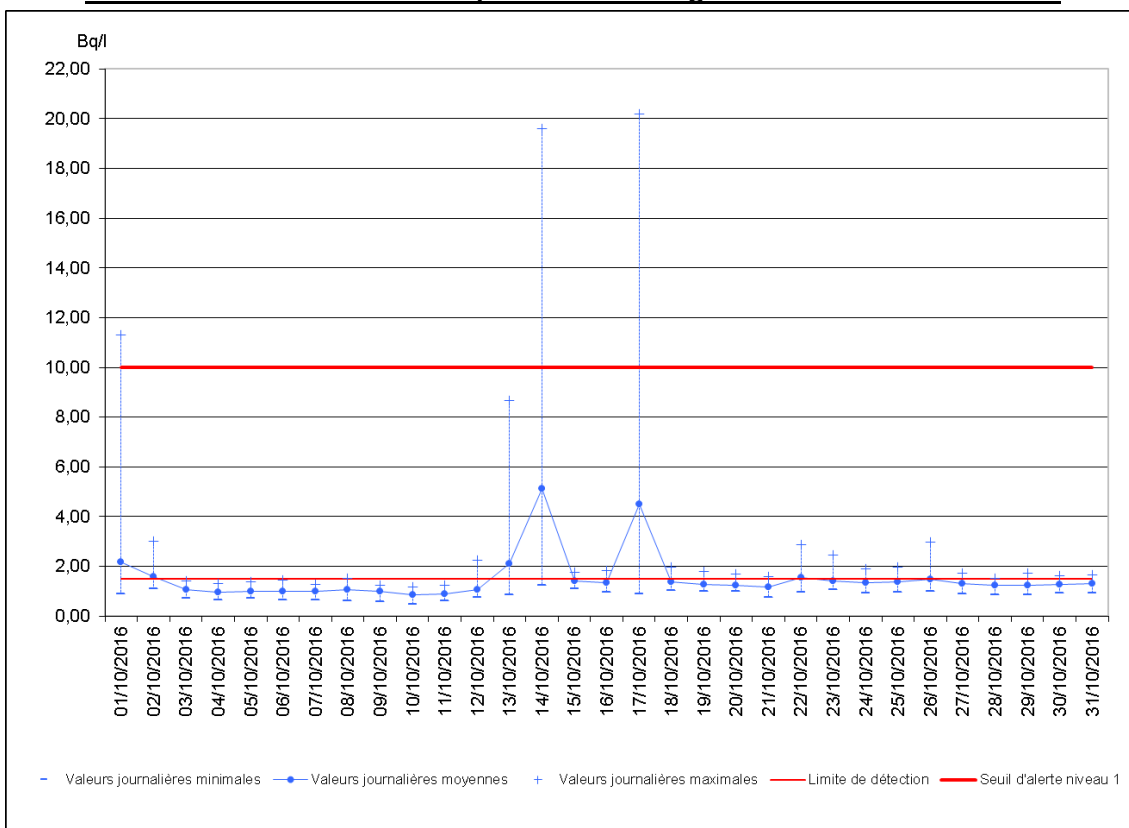


<sup>10</sup> L'expérience montre que lors d'un épisode orageux (dépassement ponctuel), le ratio gamma total / gamma [320 keV ; 400 keV] est compris entre 3 et 4,5. Lors d'un épisode de type crue (dépassement progressif), le ratio gamma total / gamma [320 keV ; 400 keV] est compris entre 4,5 et 6,3.

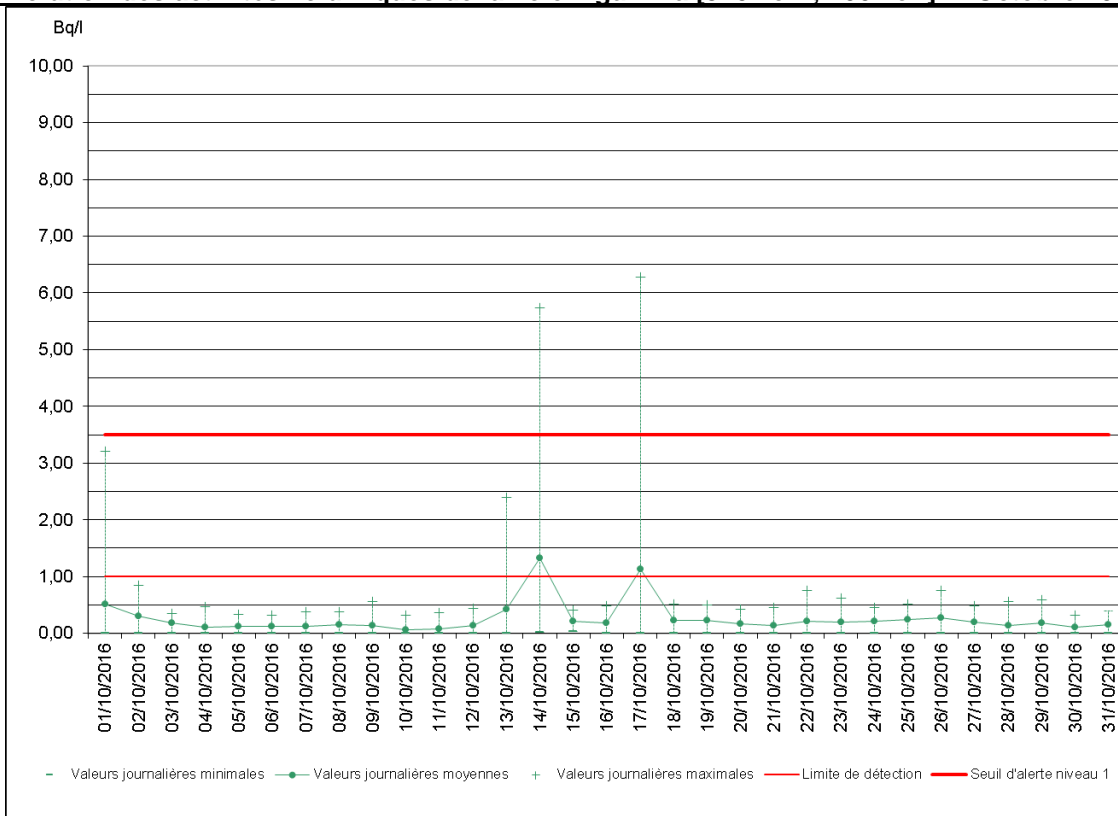
## 2 CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

### 2.1 Graphes

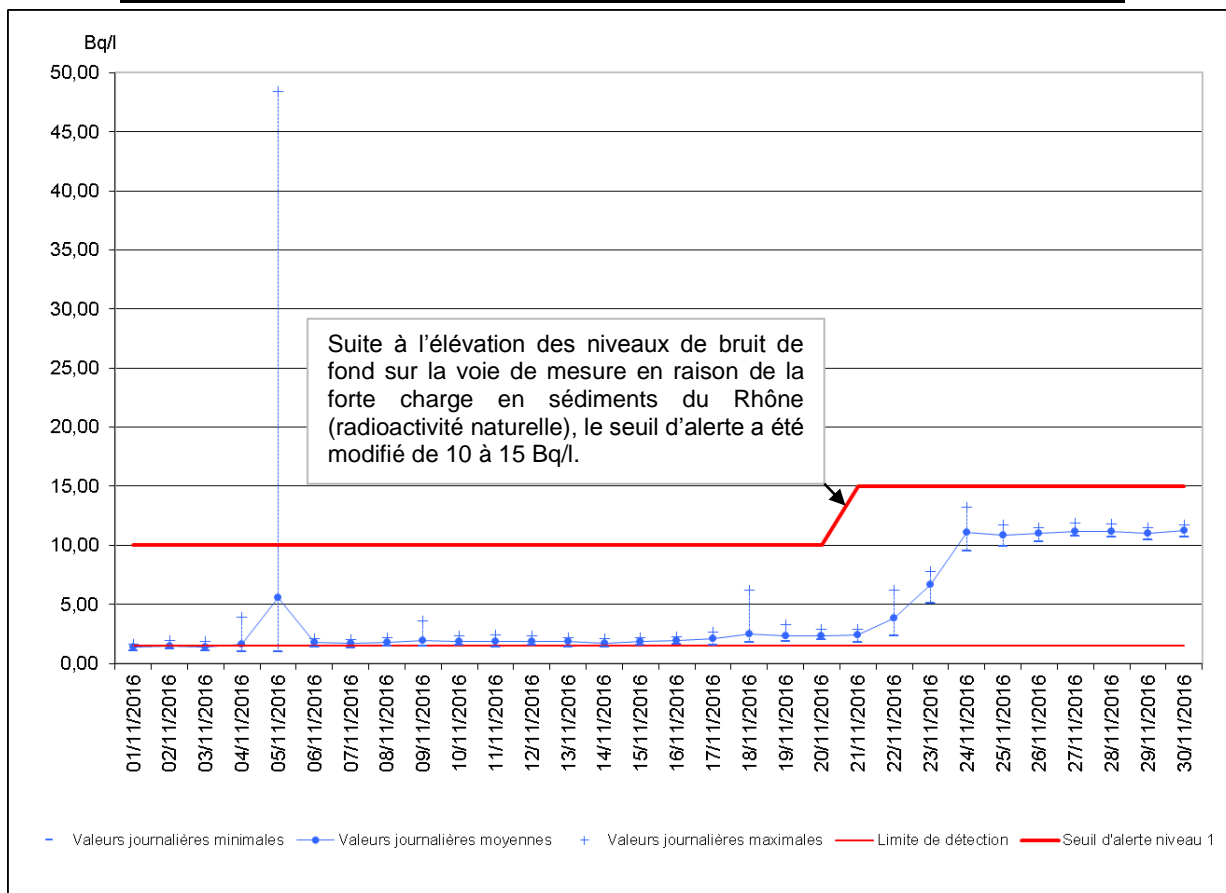
**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » - Octobre 2016**



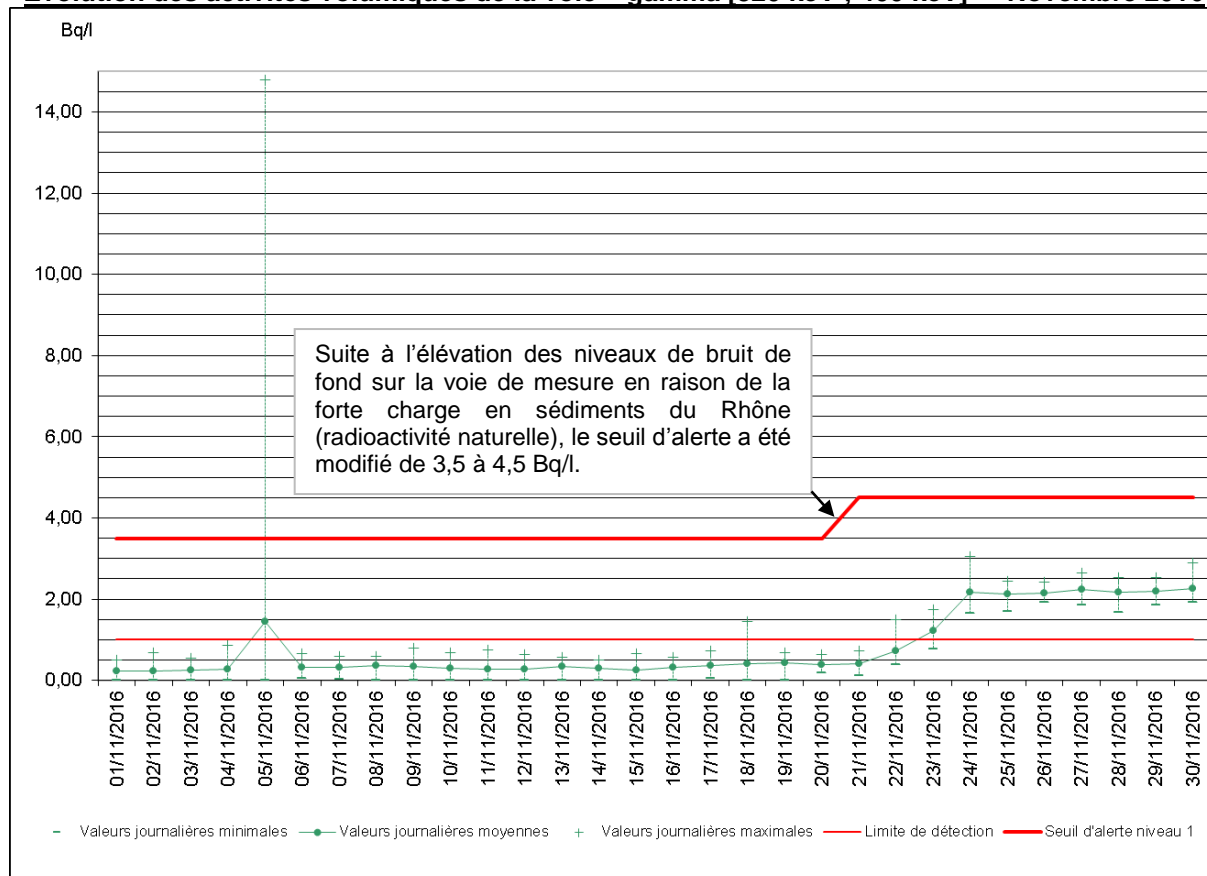
**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma [320 keV ; 400 keV] » - Octobre 2016**



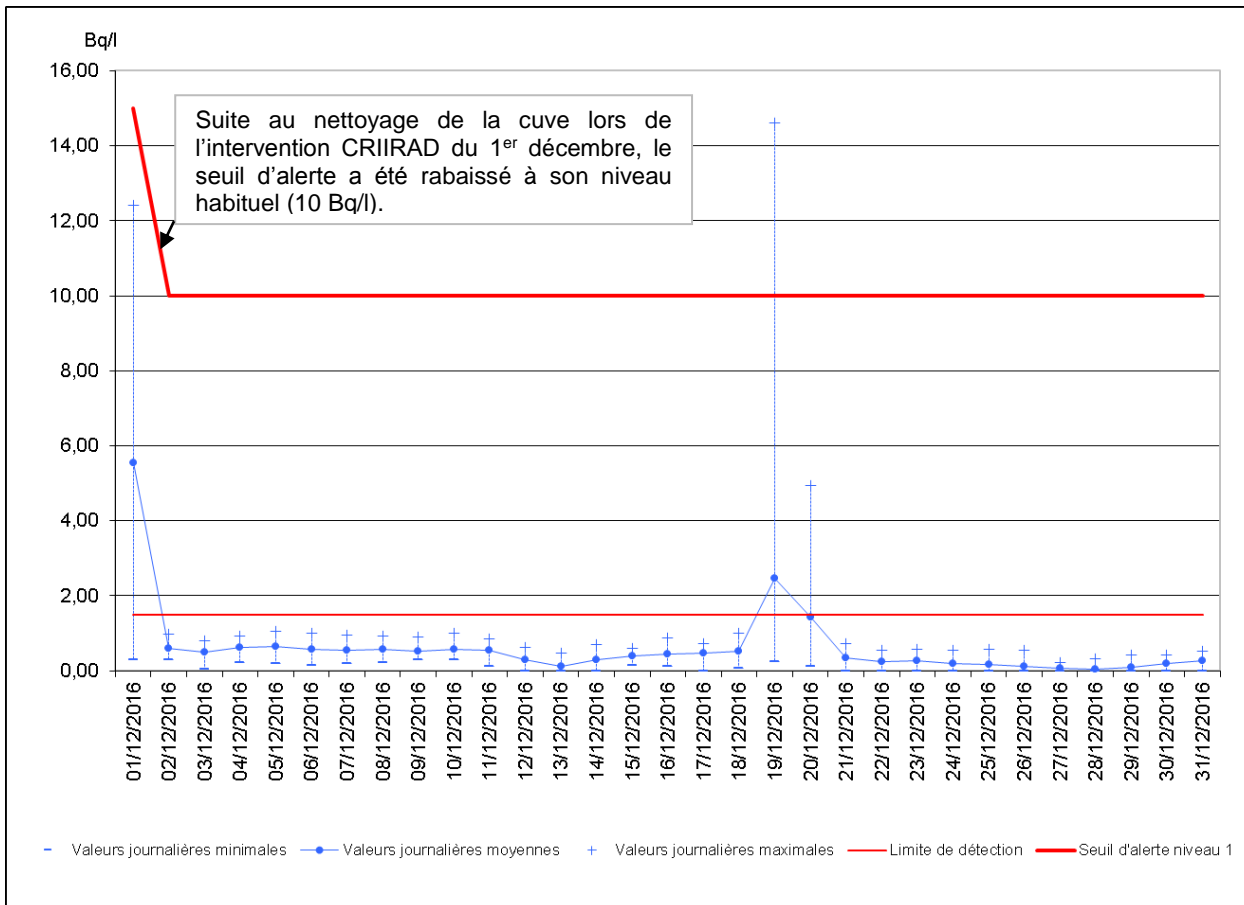
**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » - Novembre 2016**



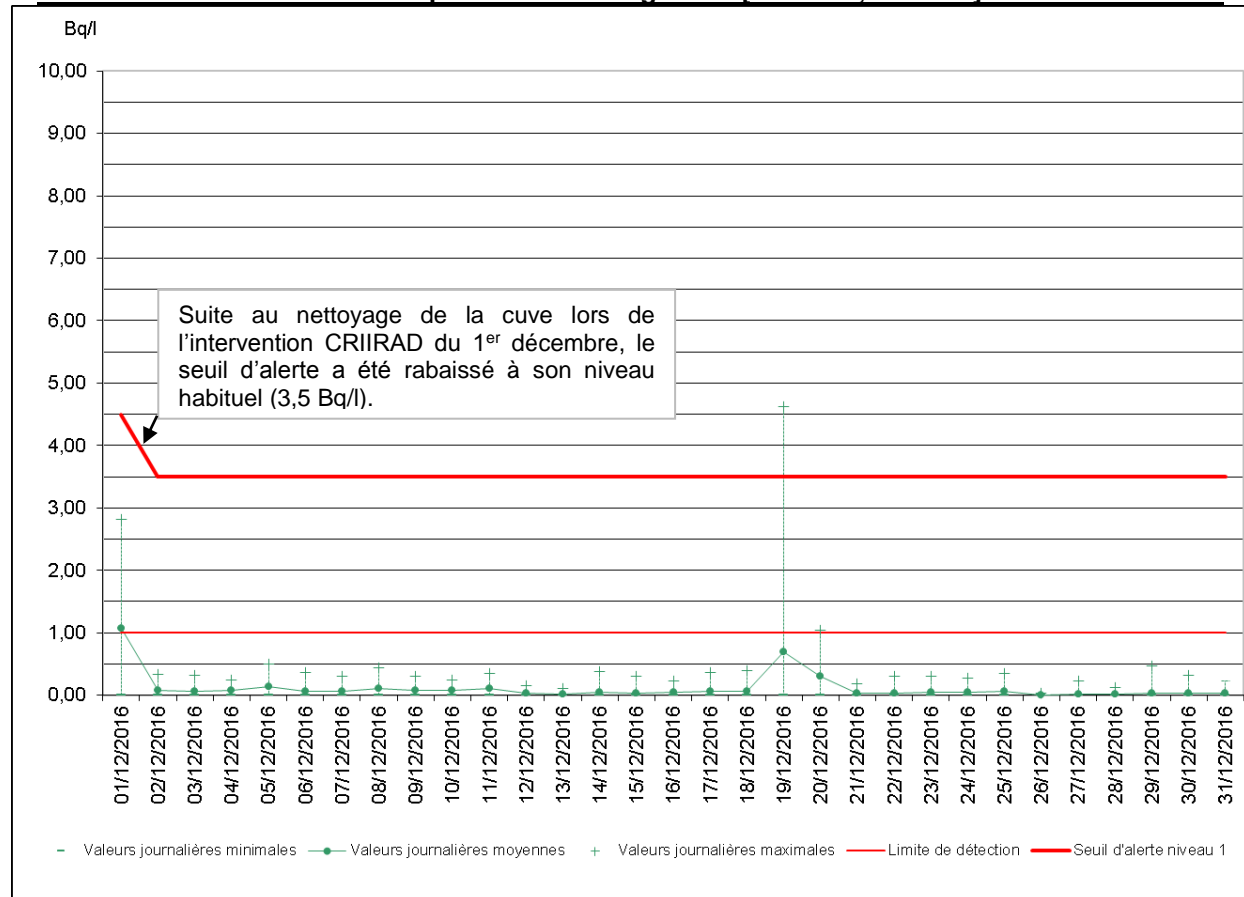
**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma [320 keV ; 400 keV] » - Novembre 2016**



**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » - Décembre 2016**



**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma [320 keV ; 400 keV]» - Décembre 2016**



## 2.2 Commentaires

### Voie gamma total

Des dépassements de la limite de détection (1,5 Bq/l) ont été observés durant le trimestre : de façon quasi-continue entre le 1<sup>er</sup> octobre et le 1<sup>er</sup> décembre, puis de façon ponctuelle les 19 et 20 décembre. L'activité maximale, mesurée le 5 novembre, a été de 48 Bq/l.

### Voie gamma centrée sur la fenêtre d'énergie [320keV ; 400 keV]

Des dépassements de la limite de détection (1 Bq/l) se sont produits durant le trimestre : de façon ponctuelle les 1<sup>er</sup>, 13, 14 et 17 octobre, les 5 et 18 novembre, les 19 et 20 décembre et de façon quasi-continue entre le 22 novembre et le 1<sup>er</sup> décembre. L'activité maximale, mesurée le 5 novembre, a été de 15 Bq/l.

Les dépassements observés au cours du trimestre sur les 2 voies sont liés aux conditions climatiques (épisodes pluvieux ayant entraîné la crue du Rhône), notamment lors des épisodes de dépassements continus. La forte charge continue du Rhône durant le mois de novembre a entraîné un dépôt important de sédiments en fond de cuve, ce qui n'a pas permis au système de nettoyage automatique de la cuve de comptage d'être aussi efficace qu'habituellement. Ces conditions exceptionnelles ont amené la laboratoire de la CRIIRAD à augmenter provisoirement le seuil d'alerte de 10 à 15 Bq/l sur la voie gamma total et de 3,5 à 4,5 Bq/l sur la voie gamma centrée sur la fenêtre d'énergie [320keV ; 400 keV].

Le laboratoire de la CRIIRAD est intervenu le 1<sup>er</sup> décembre afin de nettoyer la cuve de comptage des sédiments accumulés précédemment. Ces sédiments ont été récupérés et soumis à l'analyse par spectrométrie gamma (voir résultats en partie 3).

Les dépassements ponctuels de la limite de détection observés au cours du trimestre, sont liés à des épisodes orageux. Les dépassements de seuil d'alerte observés en particulier sur les 2 voies de mesure les 1<sup>er</sup>, 14 et 17 octobre, le 5 novembre et le 19 décembre ont provoqué un déclenchement de l'alarme d'astreinte. Les techniciens ont pu vérifier à distance que les dépassements observés lors de ces épisodes étaient bien d'origine naturelle (suite à de fortes pluies orageuses) : le ratio des activités volumiques Gamma Total/Iode est toujours resté dans la fourchette des valeurs de 3 à 4,5 caractéristique d'épisodes orageux (cf. note 10 page 18).

## 3 CONTROLES DIFFERES EN LABORATOIRE

1/ Analyses effectuées sur l'échantillon prélevé le 6 décembre 2016 par les services techniques de la Ville.

a / Le premier tableau ci-dessous présente les résultats de l'analyse par **spectrométrie gamma**.

Eau du Rhône	Date de prélèvement	Date d'analyse	N° d'analyse	I 131 (Bq/l)	Cs 137 (Bq/l)	K 40 (Bq/l)
4 <sup>e</sup> trimestre	06/12/16 12:00	12/12/16	29 267	< 0,12	< 0,09	< 4,2

Légende ± : indique la marge d'incertitude associée à la mesure.

< : signifie que le radionucléide n'a pas été détecté : la valeur annoncée constitue la limite de détection en dessous de laquelle le radionucléide n'est pas détectable.

**Radioactivité artificielle**

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté.

**Radioactivité naturelle**

Les activités volumiques des principaux radionucléides naturels émetteurs gamma recherchés sont inférieures aux limites de détection.

b/ Cet échantillon a également été soumis à une analyse par scintillation liquide pour déterminer le tritium : le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous.

Trimestre	Date du prélèvement	Période de comptage		Activité en tritium Bq/l
		Début	Fin	
4 <sup>e</sup> trimestre	06/12/2016 12:00	09/01/2017*	11/01/2017*	7,3 ± 1,4

\* Un comptage initial sur l'échantillon du 4<sup>e</sup> trimestre avait été fait en décembre 2016, mais a dû être effectué à nouveau début 2017 suite à un dysfonctionnement électronique

Le tritium est détecté sur le prélèvement, avec une activité de 7,3 Bq/l. Ce résultat suggère un impact des installations nucléaires situées le long de la Vallée du Rhône, Avignon étant situé en aval de toutes ces installations. L'étude pourrait être complétée en effectuant des analyses de tritium sur des prélèvements situés en amont et en aval des sites du Tricastin et de Marcoule.

**2/ Les sédiments accumulés en fond de cuve de la balise d'eau** ont été prélevés lors de l'intervention de nettoyage du 1<sup>er</sup> décembre afin de procéder à leur analyse par spectrométrie gamma en laboratoire.

Le rapport d'essai est présenté page suivante de ce bulletin.

**Interprétation des résultats :**

L'analyse par spectrométrie gamma des sédiments prélevés en fond de cuve n'ont pas fait apparaître d'anomalie.

En ce qui concerne les radionucléides naturels, les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont globalement à l'équilibre compte tenu des marges d'incertitude. Les activités mesurées (41 à 47 Bq/kg sec) sont du même ordre de grandeur que l'activité moyenne de l'écorce terrestre (40 Bq/kg pour l'uranium 238 et le thorium 232).

Les activités du potassium 40 (590 Bq/kg sec) et du béryllium 7 (13 Bq/kg sec) se situent dans des gammes classiques.

En ce qui concerne les radionucléides artificiels émetteurs gamma, seul le césium 137 est détecté à un niveau d'activité de 3,7 +/- 1,2 Bq/kg sec. Cette contamination peut trouver son origine dans le reliquat des retombées des essais nucléaires atmosphériques (particulièrement intenses dans les années 50-60), et de la catastrophe de Tchernobyl en 1986. Il n'est pas possible de déterminer la part du césium 137 imputable aux retombées de la catastrophe de Fukushima en 2011 ou aux rejets chroniques des installations nucléaires du bassin versant.

## 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 09 décembre 2016

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° 29249-2 PAGE 1 / PAGE 1  
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Code Enregistrement 011216B1  
N° d'analyse B 29249

Nature de l'échantillon Boues fonds cuve

Taux de matière sèche 66,8%

Lieu de prélèvement Balise aquatique d'Avignon  
Localisation du prélèvement Barrage hydroélectrique de Villeneuve

Code de l'unité territoriale (NUTS) FR 826

Prélèvement  
Date de prélèvement 01/12/2016  
Opérateur de prélèvement Laboratoire de la CRIIRAD  
Mode de prélèvement Racloir

Pré-traitement  
Date de préparation 01/12/2016  
Délai avant analyse (j) 6

Analyse en spectrométrie gamma  
Date de mesure 06/12/2016  
Géométrie de comptage B250  
Etat de l'échantillon à l'analyse Frais  
Masse analysée (g) 416,31  
Temps de comptage (s) 60 012

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 kilogrammeSec (Bq/kg sec)

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

Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234**	<	41
Radium 226***	45 ±	7
Plomb 214	47 ±	7
Bismuth 214	43 ±	7
Plomb 210**	41 ±	15

Chaîne de l'Uranium 235		
Uranium 235	<	7

Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	41 ±	8
Plomb 212	44 ±	6
Thallium 208	15,4 ±	2,6

Potassium 40	590 ±	80
Béryllium 7	13 ±	6

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

Césium 137	3,7 ±	1,2
Césium 134	<	0,40
Cobalt 58	<	0,47
Cobalt 60	<	0,43
Manganèse 54	<	0,47
Antimoine 125	<	1,3
Iode 131	<	0,6
Cérium 144	<	2,7
Argent 110m	<	0,45
Américium 241**	<	0,8
Iode 129**	<	0,7
Ruthénium 106	<	3,8

Activités calculées à la date de mesure

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.

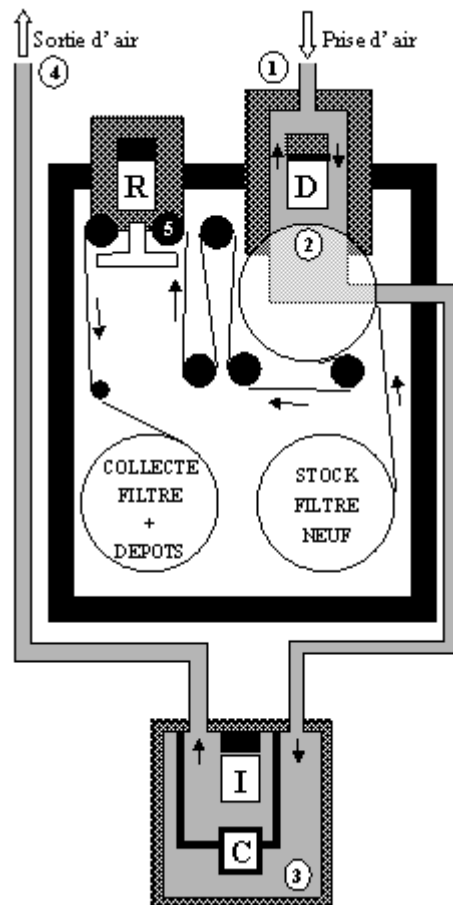
\*\* S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

\*\*\* 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  
Responsable du laboratoire

## ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE ATMOSPHERIQUE



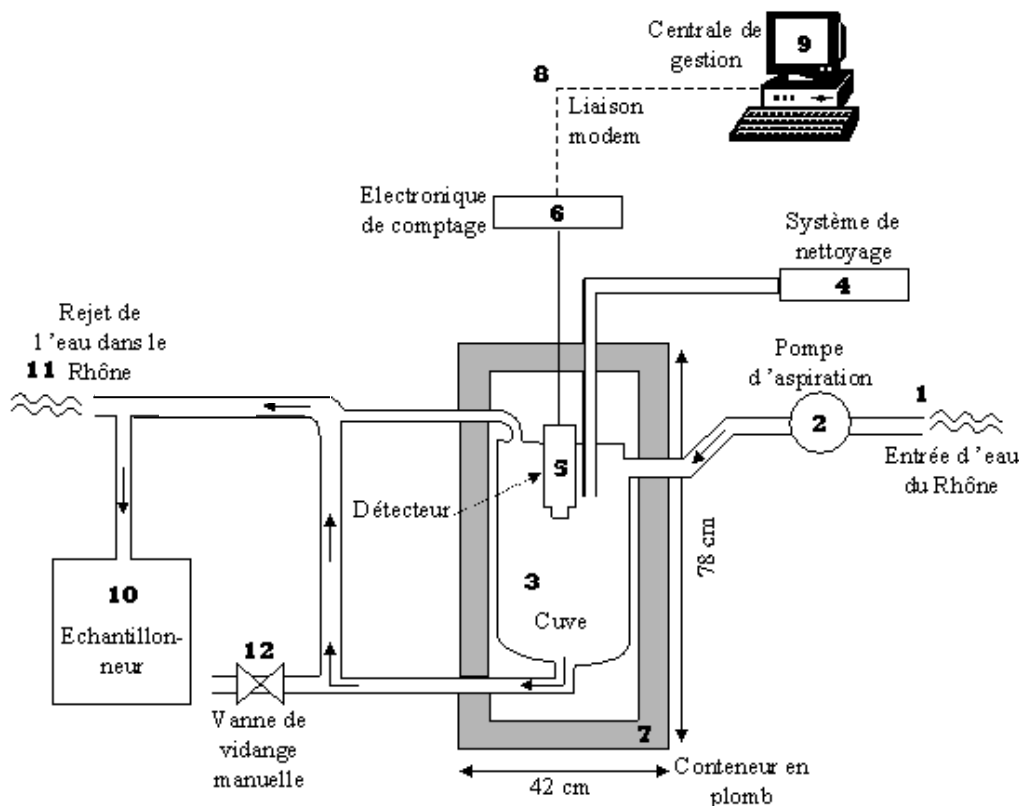
1. L'air extérieur est aspiré par une pompe à un débit nominal de 25 m<sup>3</sup>/heure.
2. Il passe à travers un filtre déroulant qui retient les particules en suspension dans l'air. Un double détecteur à scintillation (plastique et sulfure de zinc), disposé en regard du filtre (D), mesure en continu les rayonnements alpha et bêta émis par les poussières atmosphériques. Le système de détection permet de différencier la radioactivité artificielle (limite de détection : 1 Bq/m<sup>3</sup>) de la radioactivité naturelle.
3. L'air est ensuite canalisé vers la cartouche à charbon actif (C) où un détecteur spécifique de type NaI(I) mesure le rayonnement gamma dans une fenêtre comprise entre 291 et 437 keV centrée sur le principal pic de l'iode 131 (364,5 keV).
4. L'air est rejeté à l'extérieur.
5. Cinq jours après la mesure directe, le filtre passe sous un autre détecteur (R) qui effectue une seconde mesure du rayonnement bêta, dite mesure retardée, avec un niveau de détection plus bas (0,01 Bq/m<sup>3</sup>), la radioactivité naturelle (descendants à vie courte du radon 222) ayant pratiquement disparu.

Systématiquement... et en cas d'alerte

L'analyse complémentaire du filtre en spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD permet d'identifier et de quantifier précisément les éléments radioactifs qui y sont déposés.



## ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE AQUATIQUE



Les différents dispositifs du système sont détaillés dans les paragraphes qui suivent :

### A. Système de prélèvement d'eau en continu (cf. schéma, n°1, 2, 3)

L'eau du Rhône est prélevée grâce à un dispositif de pompage (1), situé sur la canalisation d'entrée d'eau (2), qui assure un débit de 2 à 4 m<sup>3</sup>/h. Elle transite dans une cuve en acier inoxydable (3) d'une capacité de 25 litres (volume actif : 23 litres) avant d'être évacuée par une sortie d'eau située vers le haut de la cuve. L'intérieur de la cuve est poli et sa partie inférieure est profilée de façon à limiter les dépôts de matières en suspension dans l'eau. Un cylindre en acier inoxydable terminé par un embout en polypropylène est monté dans le couvercle de la cuve, il abrite le détecteur.

### B. Le système de nettoyage (cf. schéma, n°4)

Un encrassement de la cuve par dépôt de fines particules peut se produire assez rapidement à cause de la charge de l'eau du Rhône et entraîner une augmentation du bruit de fond dans la cuve, ce qui perturbe les mesures. Pour supprimer ce problème, un compresseur (4) injecte de l'air sous pression quatre fois par jour, à 0h Temps Universel (TU), 6h (TU), 12h (TU) et 18h (TU) : les particules déposées sont entraînées hors de la cuve, et le bruit de fond reste stable. Ce dispositif n'arrête pas le système d'aspiration d'eau et ne perturbe pas les mesures. De plus, il peut être adapté en fonction de la charge de l'eau du Rhône en particules.

### C. Le système de détection (cf. schéma, n°5, 6, 7)

Le dispositif de surveillance est basé sur la détection des rayonnements gamma dont l'énergie est comprise entre 0,1 et 2 MeV (Méga électron Volt). Les radionucléides qui n'ont pas d'émission gamma ne sont donc pas détectés. Tel est le cas, par exemple, du tritium ou du strontium 90, émetteurs bêta purs, dont la mesure est délicate et exige des procédures spéciales. Cependant, la plupart des radionucléides rejetés par les installations nucléaires sont des émetteurs gamma (césium 137, césium 134, iode 131, rhodium 106, cobalt 60, cobalt 58, manganèse 54, etc...). Ce mode de contrôle est donc approprié pour la surveillance en continu de la radioactivité de l'eau.

- Description des différents éléments composant le détecteur gamma (5)
  - Le **scintillateur** est inséré dans l'embout en polypropylène. C'est un cristal d'iodure de sodium activé au thallium : NaI (TI). Le rayonnement est absorbé par le scintillateur et converti en photons lumineux.

- Le **photomultiplicateur** convertit ce signal lumineux en signal électrique (émission d'électrons).
- L'**électronique de détection** (6) : le signal électrique ainsi généré passe par un préamplificateur, puis est envoyé vers l'électronique de comptage où s'effectuent les calculs d'activité (cf. partie D).

- Dispositif de comptage (6)

L'électronique associée au détecteur comporte deux voies de comptage distinctes permettant le traitement des deux signaux.

- **Mesure du gamma total** : une première voie prend en compte l'ensemble des rayonnements gamma détectés entre 100 et 2000 keV. Cette mesure permet de suivre en continu l'évolution de la radioactivité globale de l'eau. Il n'est toutefois pas possible de connaître ainsi le spectre de la contamination (mesure globale sans identification des radionucléides).
- Mesure différentielle adaptée au cas de l'**iode 131** : en plus de la mesure de la radioactivité globale, le système de comptage permet de réaliser une mesure différentielle sur une deuxième voie. Actuellement, sur la balise fluviale, cette voie est centrée sur l'énergie gamma de l'iode 131 (fenêtre de 0,32 à 0,40 MeV). Ce réglage a été choisi en vue d'assurer un suivi spécifique de cet élément compte tenu de sa radiotoxicité et de sa présence dans les rejets effectués par les installations nucléaires et la médecine nucléaire.

Remarque : la fenêtre de détection de la voie "gamma total" englobe la fenêtre de la voie "gamma [320 keV ; 400 keV]". Il existe donc une corrélation entre les deux voies ; une augmentation de l'activité en iode 131 induit une augmentation du signal sur la voie " gamma [320 keV ; 400 keV]", mais également sur la voie "gamma total".

- Protection contre le rayonnement parasite

- **Blindage de plomb** (7) : la cuve est insérée dans un conteneur en plomb de 5 cm d'épaisseur, destiné à la protéger des émissions gamma extérieures et à réduire ainsi le bruit de fond ambiant. Le poids total de l'ensemble est d'environ 750 Kg. La partie supérieure est amovible et permet d'accéder à la cuve et au détecteur. Des orifices ont été aménagés afin de permettre le passage des tuyaux de circulation d'eau et d'air ainsi que les liaisons électroniques.
- **Embout en polypropylène** : l'ensemble du système de détection est monté dans un cylindre en acier inoxydable à l'exception de la partie sensible, le scintillateur, qui est enveloppé par du polypropylène.

#### **E. Liaison balise d'eau - centrale de gestion (cf. schéma, n°8, 9)**

Les résultats acquis par l'électronique de la balise sont transmis par liaison modem (8) à la centrale de gestion (9) de la CRIIRAD à Valence qui assure le contrôle du fonctionnement de la balise et l'analyse des résultats. En fonctionnement normal, la centrale de gestion interroge la balise deux fois par jour et charge toutes les données en mémoire. En cas de dépassement du seuil d'alarme, la balise alerte immédiatement la centrale de gestion et les techniciens d'astreinte. Les données transférées sont traitées à l'aide d'un logiciel tableur graphique permettant d'élaborer des documents d'analyse et de synthèse.

#### **F. Système d'échantillonnage (cf. schéma, n° 10)**

En cas de dépassement des seuils d'alarme fixés à 10 Bq/l pour la voie gamma total et à 3,5 Bq/l pour la voie gamma [320 keV ; 400 keV], un échantillonnage de l'eau contaminée s'effectue automatiquement (prélèvement d'1 flacon d'1 litre toutes les demi-heures). Celle-ci sera ensuite analysée en spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD pour déterminer et quantifier les radionucléides présents.

NB : l'échantillonneur automatique est actuellement hors service. En cas de nécessité, un prélèvement rapide peut être assuré par le service astreinte de la ville d'Avignon et du laboratoire CRIIRAD.

#### **G. Rejet de l'eau (cf. schéma, n°11, 12)**

L'eau est évacuée dans le Rhône par une sortie (11) située vers le haut de la cuve. Une vanne (12), située vers le bas de la cuve, permet de vidanger manuellement la cuve en cas de besoin, notamment lors des opérations de nettoyage.

## LABORATOIRE CRIIRAD

Le laboratoire de la CRIIRAD est un laboratoire d'analyse spécialisé dans les mesures de radioactivité et agréé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) pour les mesures de radioactivité de l'environnement et les contrôles radon. Il est placé sous la responsabilité de M. Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire.



### RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Bruno CHAREYRON



### RESPONSABLE DU SERVICE DE GESTION DES BALISES

Jérémie MOTTE



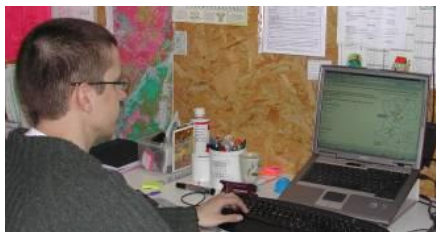
### RESPONSABLE INTERVENTIONS

Christian COURBON



### RESPONSABLE QUALITE

Marion JEAMBRUN



### RESPONSABLE SERVICE RADON

Julien SYREN



### INTERVENTIONS HEBDOMADAIRES, ANALYSES

Stéphane PATRIGEON



### SCRUTATION DES DONNEES

Stéphane MONCHÂTRE



### PREPARATION DES ECHANTILLONS

Jocelyne RIBOUËT

### EQUIPE D'ASTREINTE

Bruno CHAREYRON, Christian COURBON, Marion JEAMBRUN, Stéphane PATRIGEON, Julien SYREN, Jérémie MOTTE, Corinne CASTANIER et Roland DESBORDES (respectivement responsable recherche et président de la CRIIRAD)