

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

Rapport N° 16-02

RAPPORT TRIMESTRIEL  
OCTOBRE-NOVEMBRE-DECEMBRE 2015



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    <b>RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE .....</b></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    <b>RADIOACTIVITE NATURELLE.....</b></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 2015 .....	12
2.2.2   NOVEMBRE 2015 .....	13
2.2.3   DECEMBRE 2015 .....	14
2.2.4   COMMENTAIRES .....	15
<b>BALISE AQUATIQUE .....</b>	<b>16</b>
<b>1    <b>PRESENTATION.....</b></b>	<b>16</b>
<b>1.1   POURQUOI ANALYSER L'EAU ?.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2   PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3   CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4   INFLUENCE DES CONDITIONS CLIMATIQUES .....</b>	<b>17</b>
<b>2    <b>CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU.....</b></b>	<b>18</b>
<b>2.1   GRAPHES.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2   COMMENTAIRES .....</b>	<b>21</b>
<b>3    <b>CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA .....</b></b>	<b>21</b>
<b>ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE ATMOSPHERIQUE .....</b>	<b>22</b>
<b>ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE AQUATIQUE .....</b>	<b>23</b>
<b>LABORATOIRE CRIIRAD.....</b>	<b>25</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

- Le technicien du laboratoire CRIIRAD est intervenu le **19 novembre** pour rencontrer les techniciens du Service Environnement-Hygiène-Santé chargés des prélèvements aux balises dans le cadre de la formation continue. Cet échange a été très fructueux pour les 2 parties et sera reconduit dans les années à venir.

- Les services techniques sont intervenus à la demande du laboratoire de la CRIIRAD le **6 novembre** 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 sur place par le technicien chargé de l'intervention : l'anomalie était liée à un dysfonctionnement électronique ponctuel de la balise.

**Le taux de fonctionnement de la balise a été de 100%<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 bimestriel

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 0,007 mBq/m<sup>3</sup> pour chacune des 3 analyses).

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

L'analyse a été effectuée sur les gaz piégés entre le 26/11/2015 et le 02/12/2015. Sur la période considérée, l'activité volumique moyenne en iode 131 est inférieure à la limite de détection (0,131 mBq/m<sup>3</sup>).

---

<sup>1</sup> A l'exception des prélèvements hebdomadaires pour lesquels les pompes de la balise sont arrêtées pendant 5 à 15 minutes, pour lesquels la balise est arrêtée ainsi que de 2 coupures d'alimentation électrique, chacune d'une durée inférieure à 3 heures, survenues les 11/10 et 03/11.

**SYNTHESE - EAU****1) TECHNIQUE**

- Le technicien du laboratoire de la CRIIRAD s'est rendu à la balise le **19 novembre** pour vérifier le fonctionnement de la balise. Les tests effectués lors de cette intervention (vérifications du fonctionnement de la pompe de prélèvement d'eau du Rhône, de l'électronique de la balise et du préleveur automatique en cas d'alarme, déclenchement manuel du système de nettoyage de la cuve de comptage) attestent du bon fonctionnement des différents composants de la balise.

**Le taux de fonctionnement de la balise au cours du trimestre a été de 100 %<sup>2</sup>.**

**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 premier seuil d'alerte (10 Bq/l) a été dépassé à 2 reprises. L'activité volumique maximale, mesurée le 15 octobre, a été de 11,3 Bq/l.

**Voie iode 131**

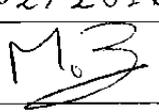
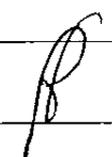
La limite de détection (1 Bq/l) a été dépassée à plusieurs reprises au cours du trimestre. Le premier seuil d'alerte (3,5 Bq/l) a été dépassé le 15 octobre. L'activité volumique maximale mesurée a été de 3,8 Bq/l.

**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 PAR SPECTROMETRIE GAMMA****Analyse en laboratoire d'un échantillon d'eau du Rhône**

L'analyse trimestrielle a été effectuée sur un échantillon prélevé le 2 décembre.

Aucun radionucléide émetteur gamma n'a été détecté.

	<b>EMETTEUR</b>	<b>APPROBATION</b>
<b>Nom - Fonction</b>	J. MOTTE - Responsable Service balises	J. SIREN - Responsable Service radon
<b>Date</b>	04/02/2016	04/02/2016
<b>Signature</b>		

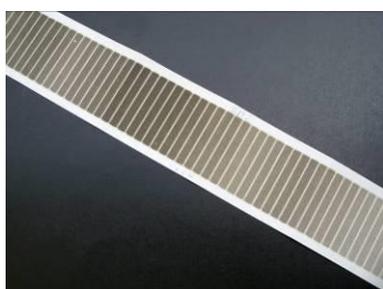
<sup>2</sup> A l'exception d'une coupure de l'alimentation électrique de la balise le 13/12, d'une durée inférieure à 3 heures.

## BALISE ATMOSPHERIQUE

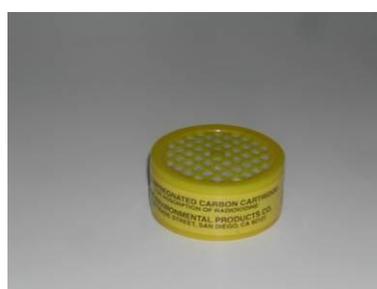
### 1 RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE

#### 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>3</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>3</sup> Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par l'Autorité de Sécurité 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.

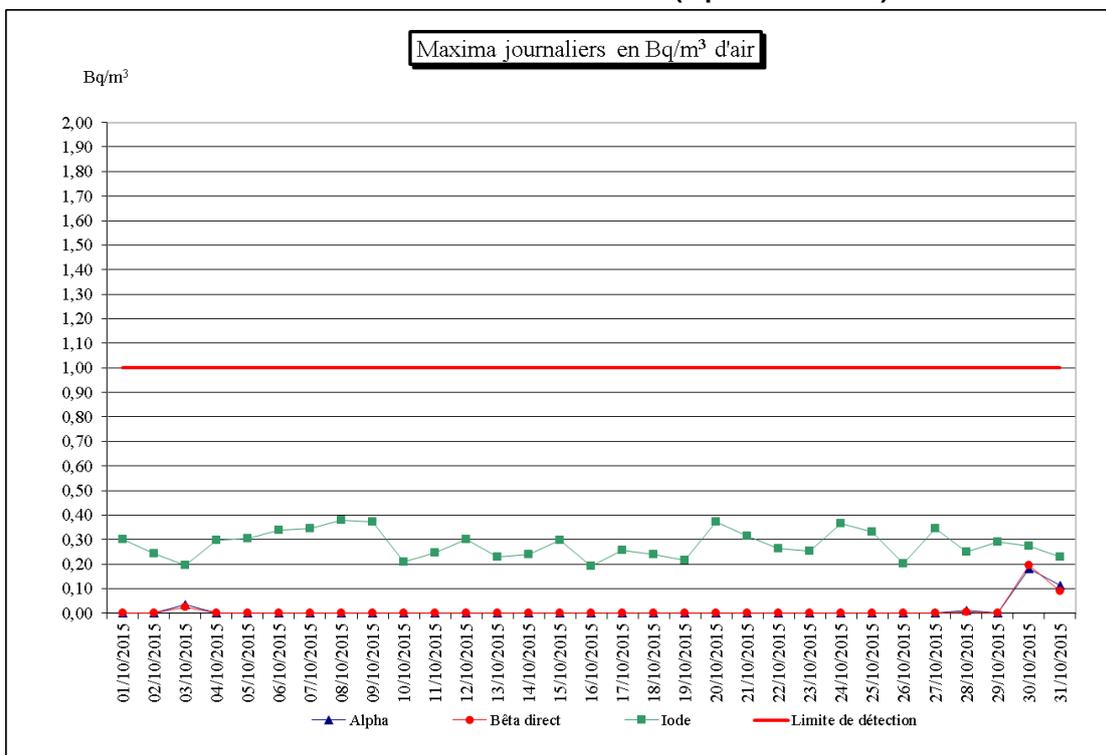
**La limite de détection des mesures en direct de l'activité d'iode 131 est de 1 Bq/m<sup>3</sup>.**

**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).

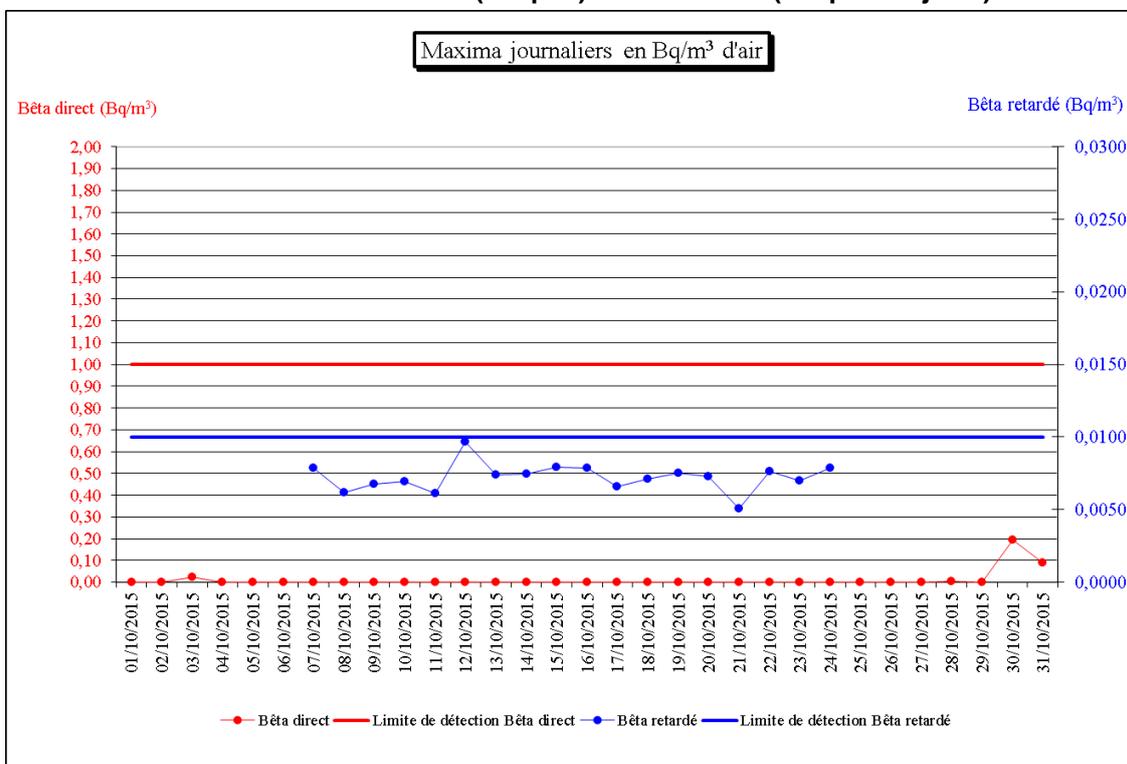
## 1.2 Résultats des contrôles automatiques en continu

### 1.2.1 Graphes

Octobre 2015 - Mesures directes (alpha-bêta-iode)

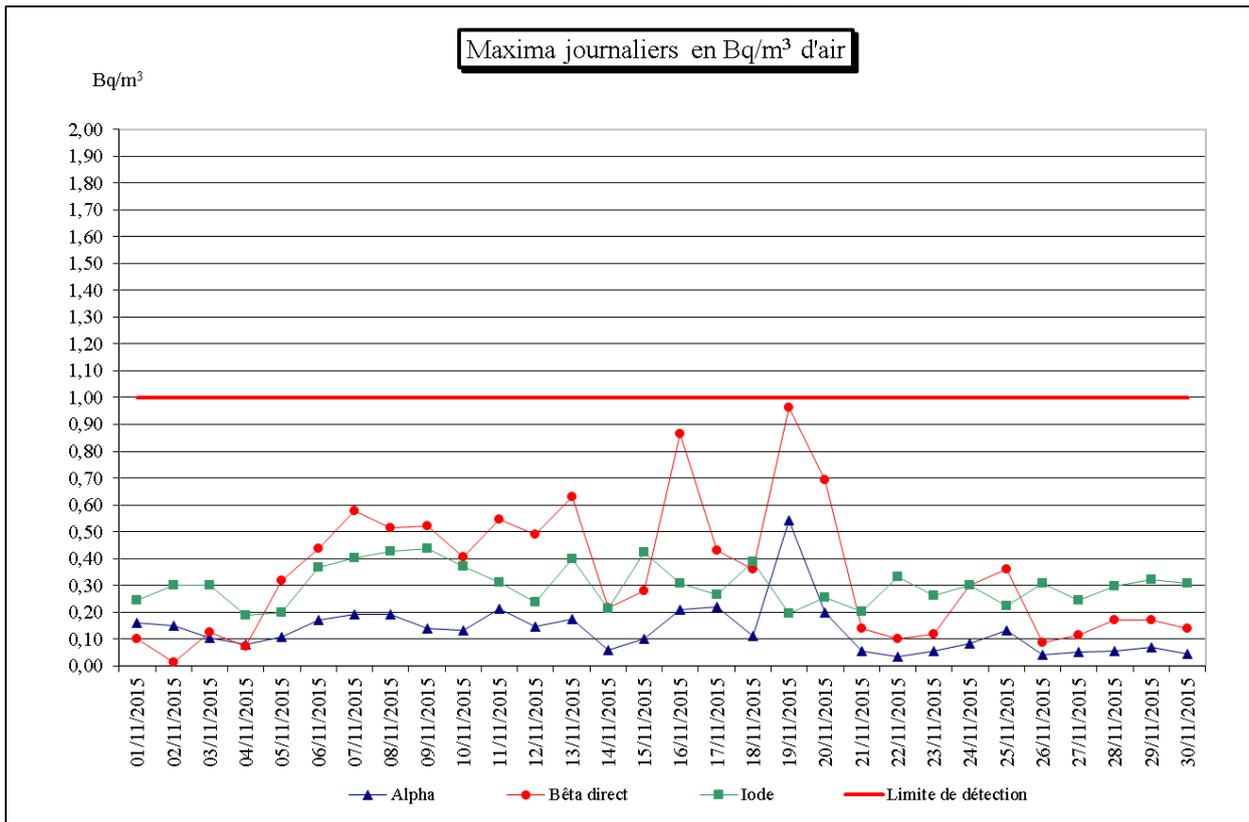


Octobre 2015 - Bêta direct (temps t) - bêta retardé (temps t + 5j 10h)<sup>4</sup>

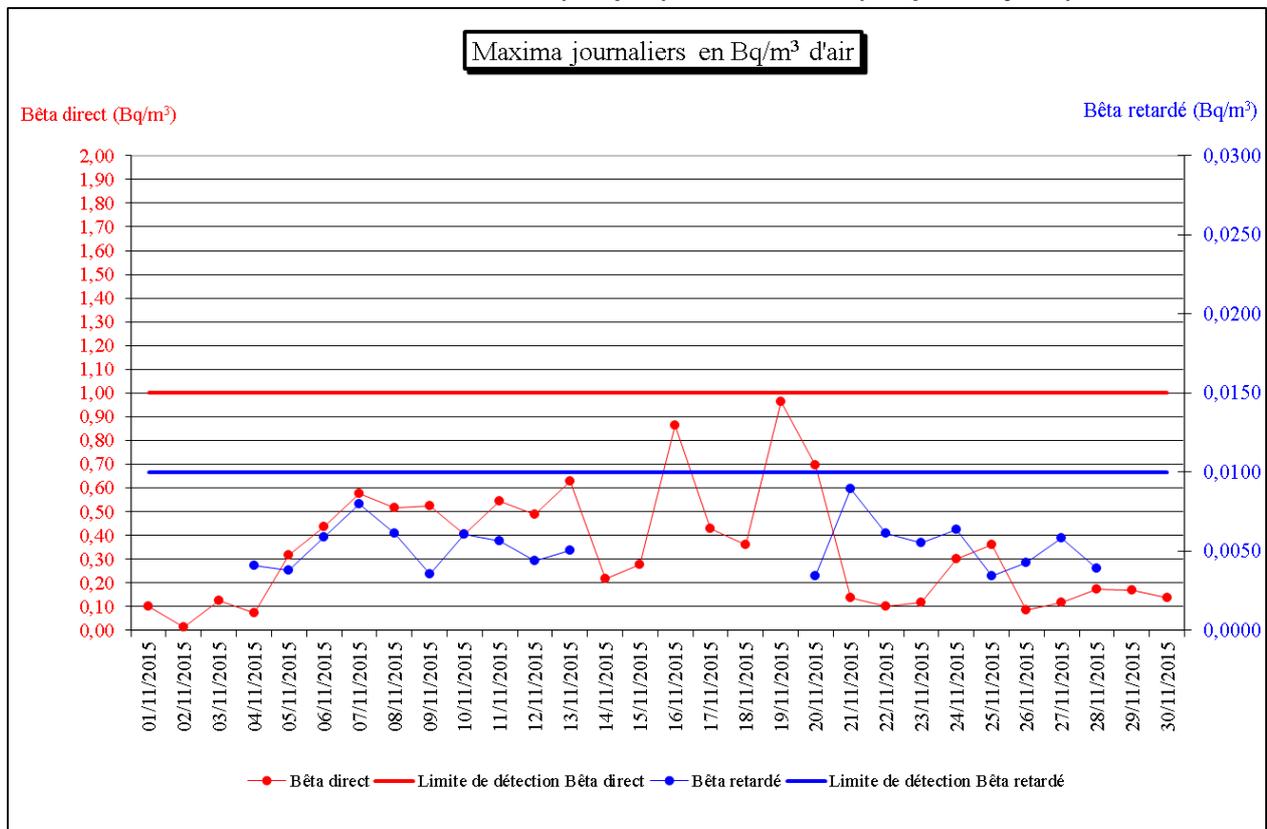


<sup>4</sup> Les mesures « bêta retardé » ne sont pas effectuées pendant les 5j 10h suivant un prélèvement de filtre. Dans le graphe ci-dessus, les résultats « bêta retardé » réalisés à « t + 5j10h » sont représentés à « t » afin d'être comparés aux résultats « bêta direct » correspondants.

Novembre 2015 - Mesures directes (alpha-bêta-iode)

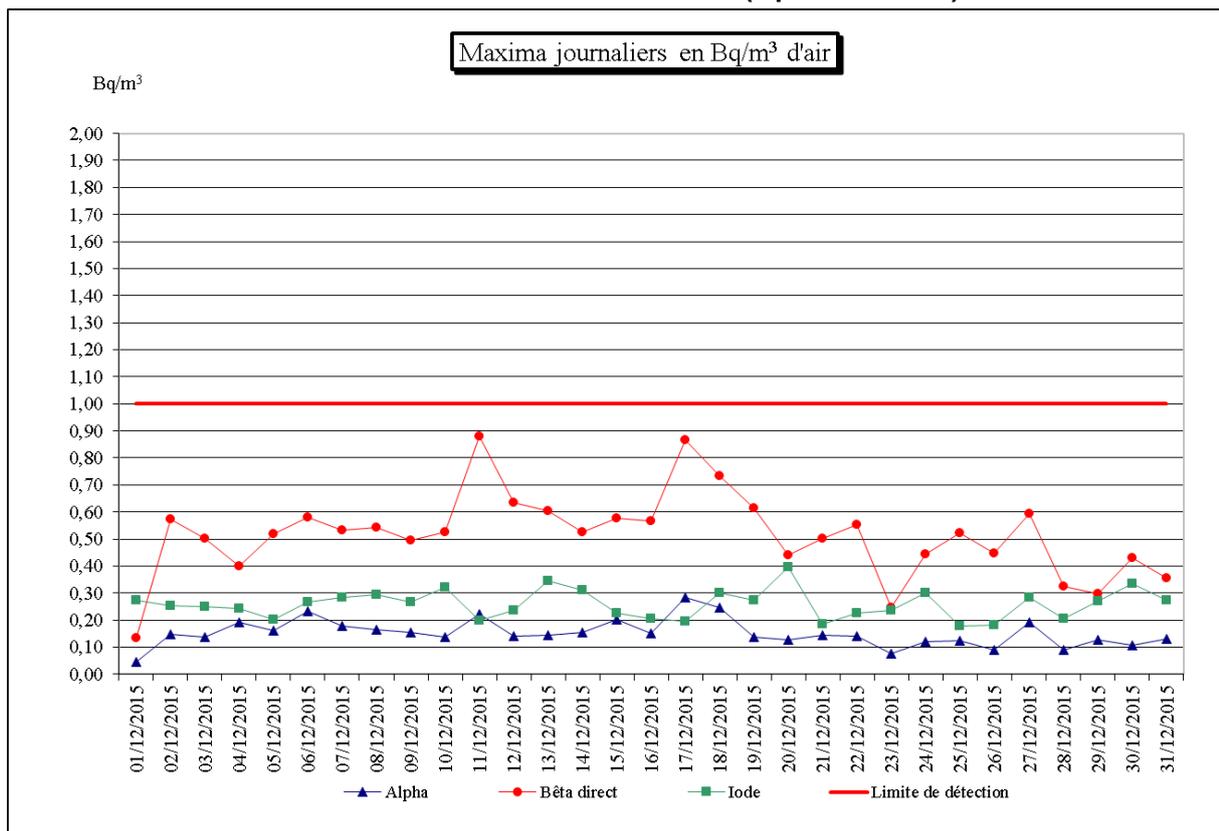


Novembre 2015 - Bêta direct (temps t) - bêta retardé (temps t + 5j 10h)<sup>5</sup>

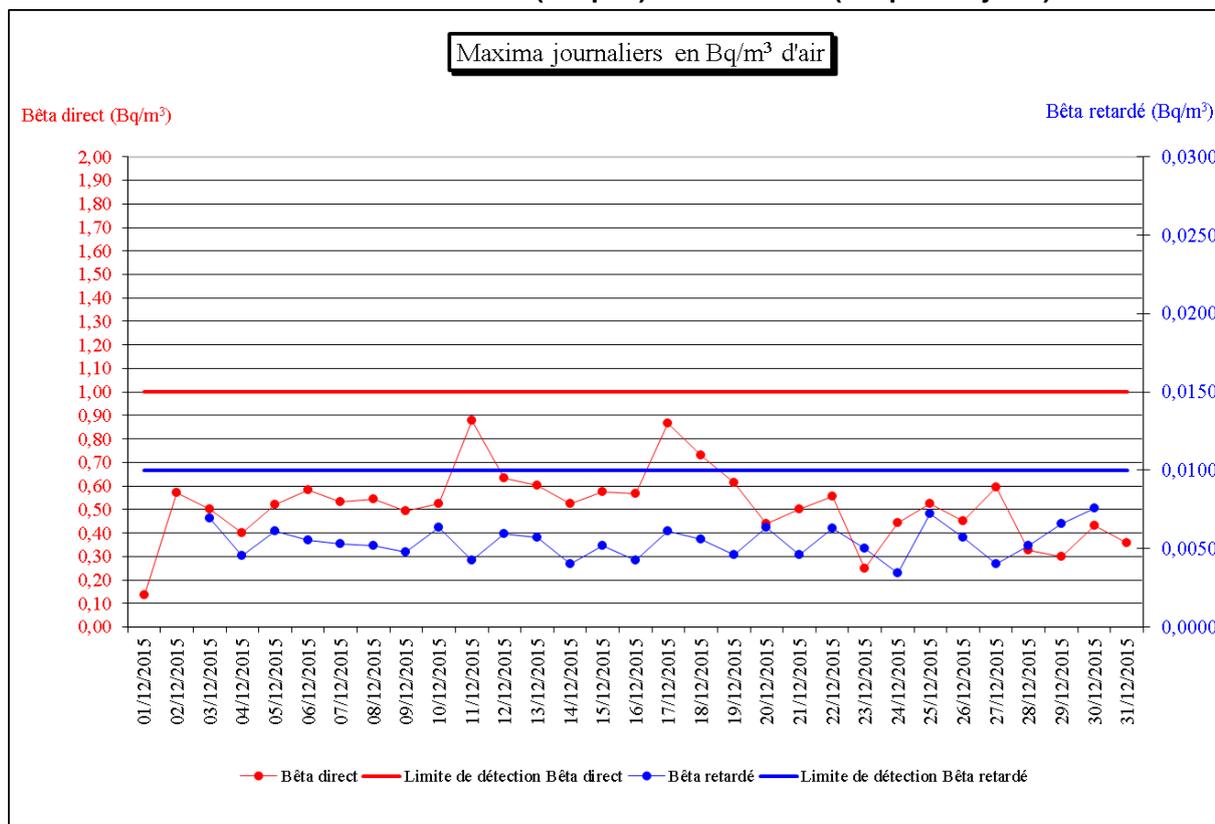


<sup>5</sup> Les mesures « bêta retardé » ne sont pas effectuées pendant les 5j 10h suivant un prélèvement de filtre. Dans le graphe ci-dessus, les résultats « bêta retardé » réalisés à « t + 5j10h » sont représentés à « t » afin d'être comparés aux résultats « bêta direct » correspondants.

Décembre 2015 - Mesures directes (alpha-bêta-iode)



Décembre 2015 - Bêta direct (temps t) - bêta retardé (temps t + 5j 10h)<sup>6</sup>



<sup>6</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 6 octobre, entre le 25 octobre (remplacement du filtre le 30 octobre) et le 3 novembre, entre le 29 novembre et le 2 décembre et entre le 31 décembre et le 5 janvier du fait du prélèvement de filtre respectivement le 6 octobre, le 3 novembre, le 2 décembre et le 5 janvier pour analyse (cf. note 4 page 7).

Pendant la période de mesure, toutes les valeurs sont restées inférieures à la limite de détection (0,01 Bq/m<sup>3</sup>).

## 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>7</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 du	au	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> )
Filtre aérosols	06/10/15 12:25	03/11/15 13:28	03/11/15	28 597	04/11/15	< 0,007	< 0,006	< 0,022	2,3 ± 0,4
	03/11/15 13:37	02/12/15 12:29	02/12/15	28 662	03/12/15	< 0,007	< 0,006	< 0,023	2,2 ± 0,3
	02/12/15 12:27	05/01/16 13:21	05/01/16	28 718	07/01/16	< 0,004	< 0,003	< 0,018	3,2 ± 0,4
Cartouche de charbon actif	26/11/15 10:20	02/12/15 12:27	02/12/15	28 664	04/12/15	-	-	< 0,131	-

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>7</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.

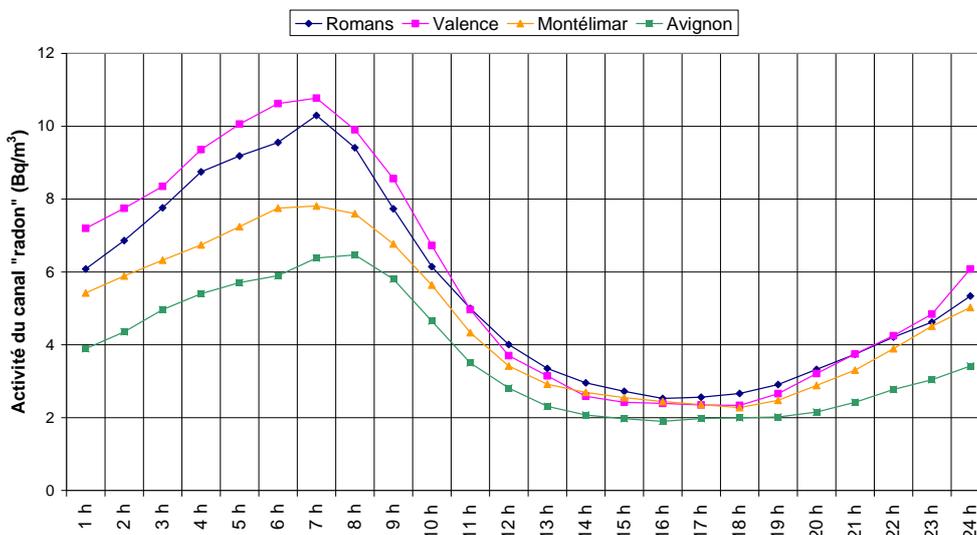
Présent en concentration élevée dans les sols, le radon se dilue rapidement dans l'air extérieur où les activités volumiques varient généralement **de quelques becquerels à quelques dizaines de becquerels par mètre cube d'air**, pour un climat tempéré continental. Des niveaux nettement plus élevés peuvent 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, ...).

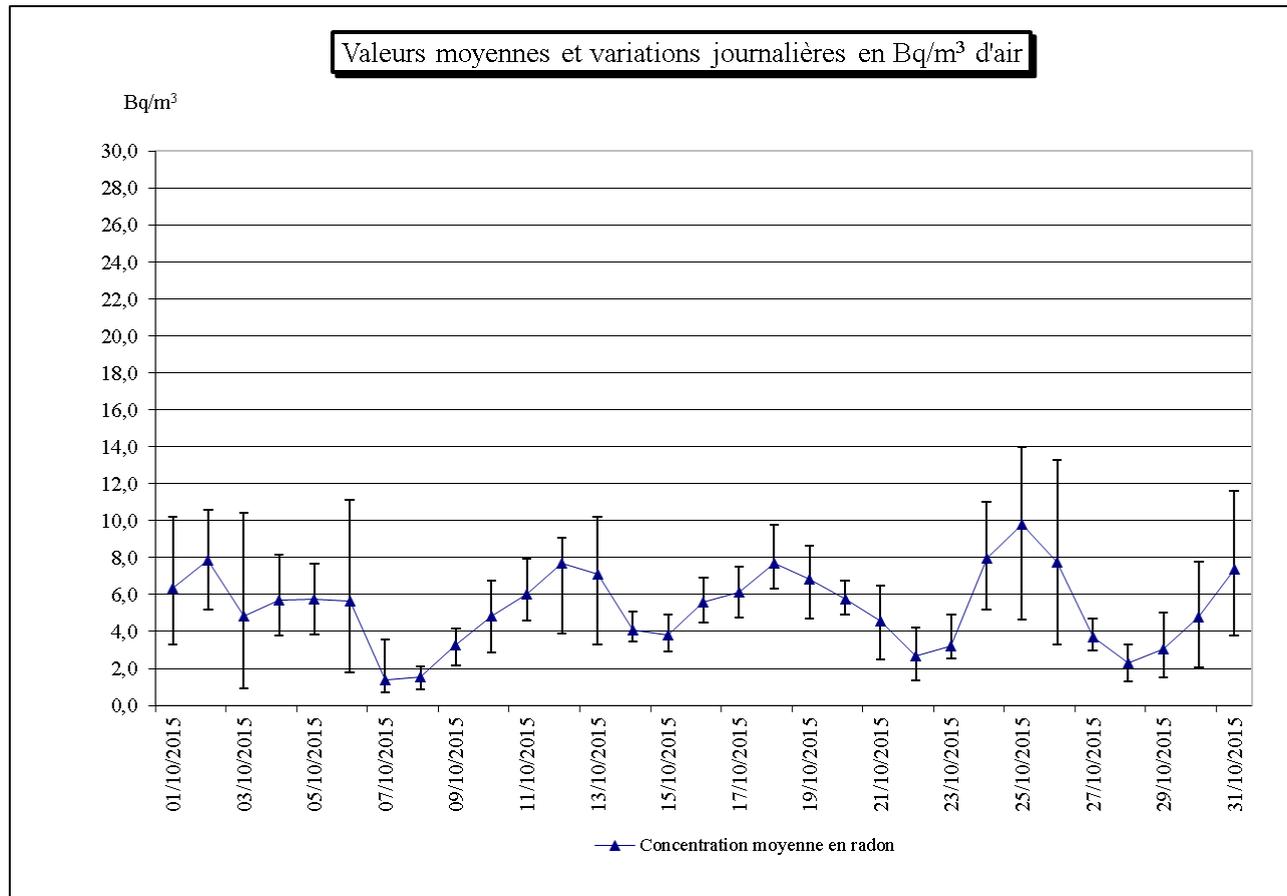
*A l'échelle d'une journée, on constate typiquement une augmentation des concentrations au cours de la nuit, des niveaux maximums en début de matinée (7h TU), puis une diminution, pour atteindre des valeurs minimales en fin d'après-midi (vers 15-17h TU). Voir ci-dessous l'évolution des concentrations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

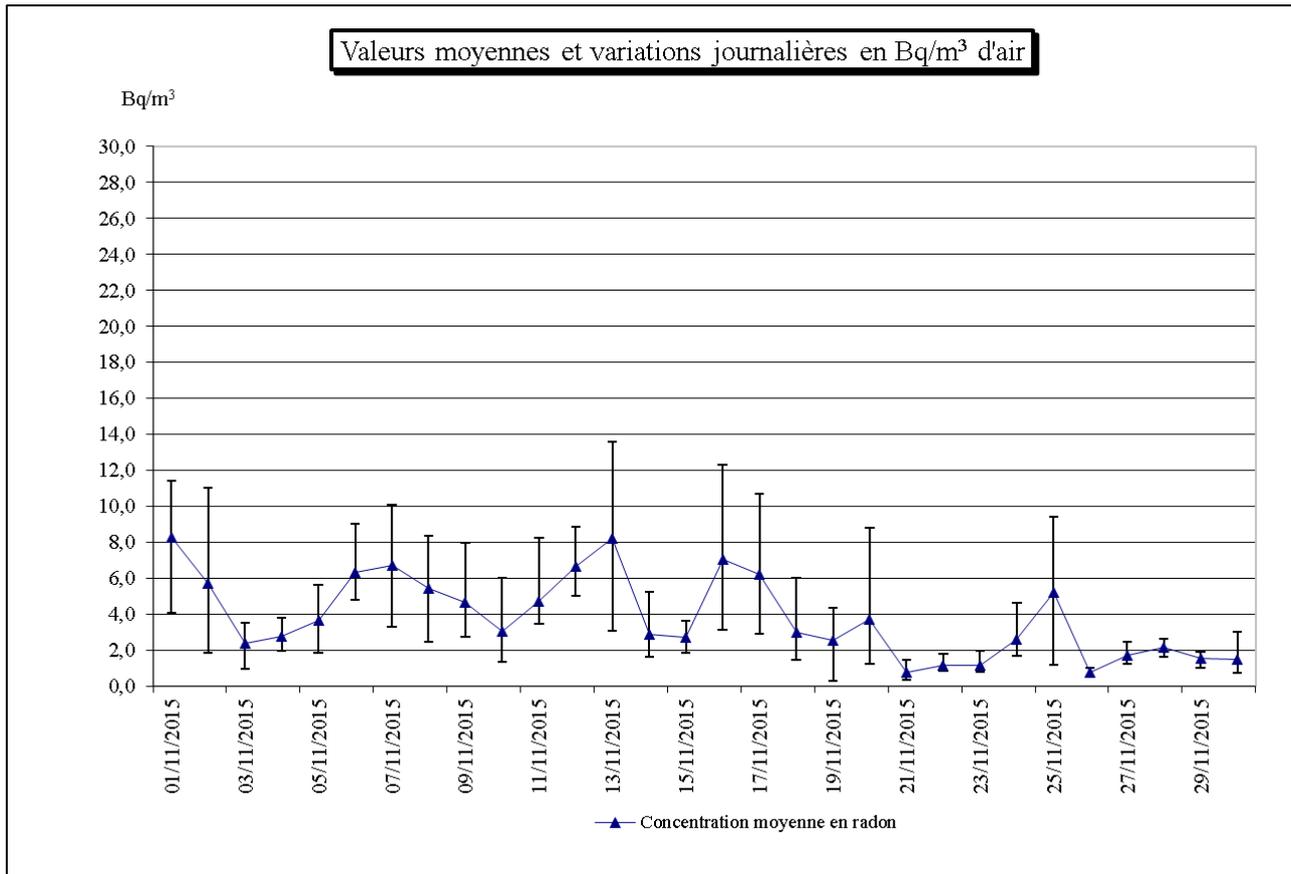
### 2.2.1 Octobre 2015<sup>8</sup>



Valeur horaire maximum relevée le 25/10/2015 à 04h00	14 Bq/m3
Valeur horaire minimum relevée le 07/10/2015 à 17h00	0,7 Bq/m3
Ecart le plus important le 26/10/2015	Ecart de 10 Bq/m3
Ecart le plus faible le 08/10/2015	Ecart de 1,3 Bq/m3
<b>Moyenne mensuelle</b>	<b>5,3 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.

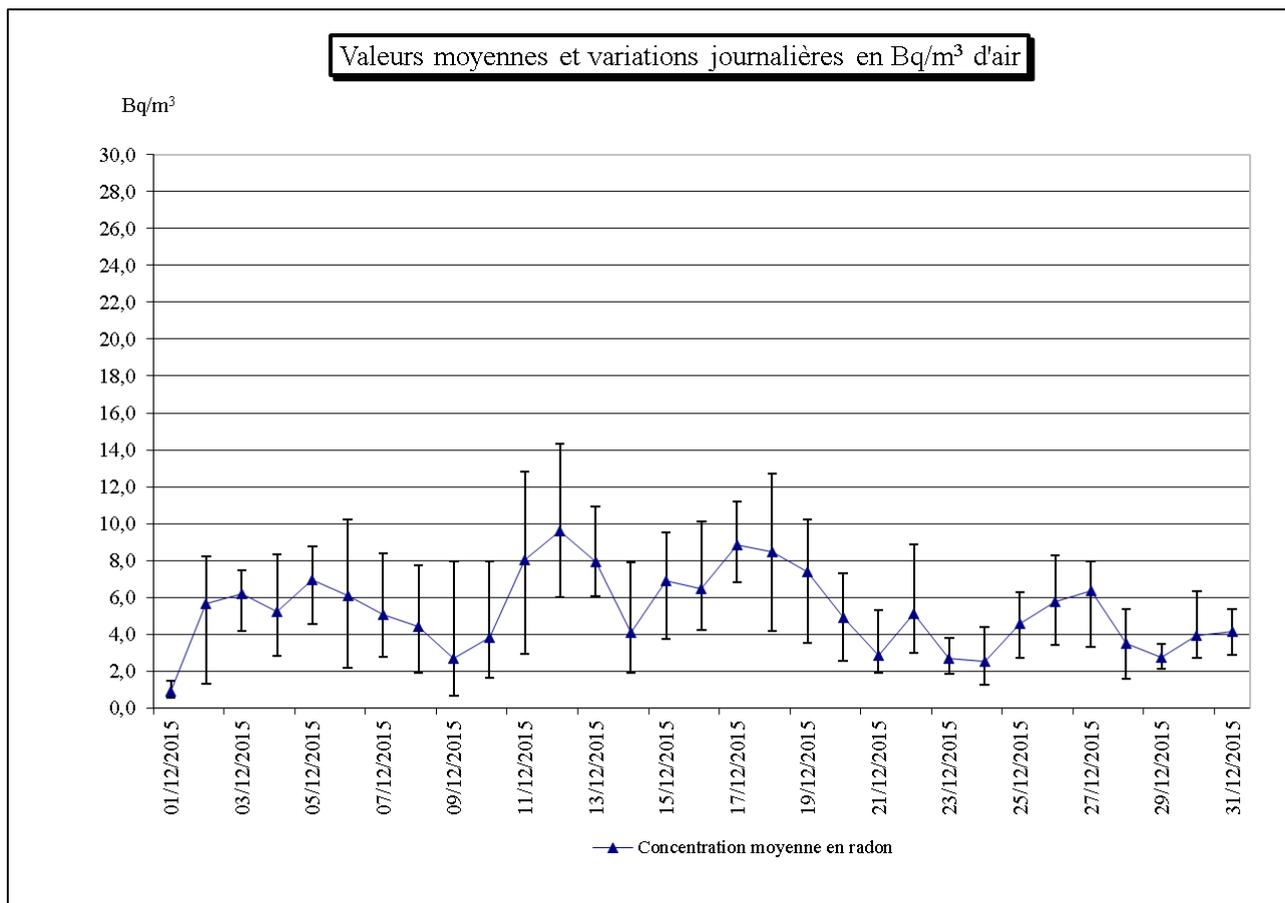
2.2.2 Novembre 2015<sup>9</sup>



Valeur horaire maximum relevée le 13/11/2015 à 10h00	13,6 Bq/m3
Valeur horaire minimum relevée le 19/11/2015 à 11h00	0,3 Bq/m3
Ecart le plus important le 13/11/2015	Ecart de 10,5 Bq/m3
Ecart le plus faible le 26/11/2015	Ecart de 0,5 Bq/m3
<b>Moyenne mensuelle</b>	<b>3,8 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.

2.2.3 Décembre 2015<sup>10</sup>



Valeur horaire maximum relevée le 12/12/2015 à 07h00	14,3 Bq/m3
Valeur horaire minimum relevée le 01/12/2015 à 15h00	0,5 Bq/m3
Ecart le plus important le 11/12/2015	Ecart de 9,9 Bq/m3
Ecart le plus faible le 01/12/2015	Ecart de 0,9 Bq/m3
<b>Moyenne mensuelle</b>	<b>5,3 Bq/m3</b>

<sup>10</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 2013 pour la balise atmosphérique d'Avignon.

<b>AVIGNON</b>	<b>Minima</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Maxima</b>
janv-13	0,5	3,6	11,6
févr-13	0,3	3,4	13,2
mars-13	0,3	3,2	12,7
avr-13	0,3	2,9	11,0
mai-13	0,3	1,6	6,8
juin-13	0,4	1,8	7,7
juil-13	0,5	2,9	10,4
août-13	0,7	3,4	14,3
sept-13	0,5	3,0	11,4
oct-13	0,6	3,4	10,4
nov-13	0,6	3,4	12,3
déc-13	0,7	7,3	22,1
<b>2013</b>	<b>0,3</b>	<b>3,3</b>	<b>22,1</b>

**Activités volumiques du canal « radon » mesurées en 2013 (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

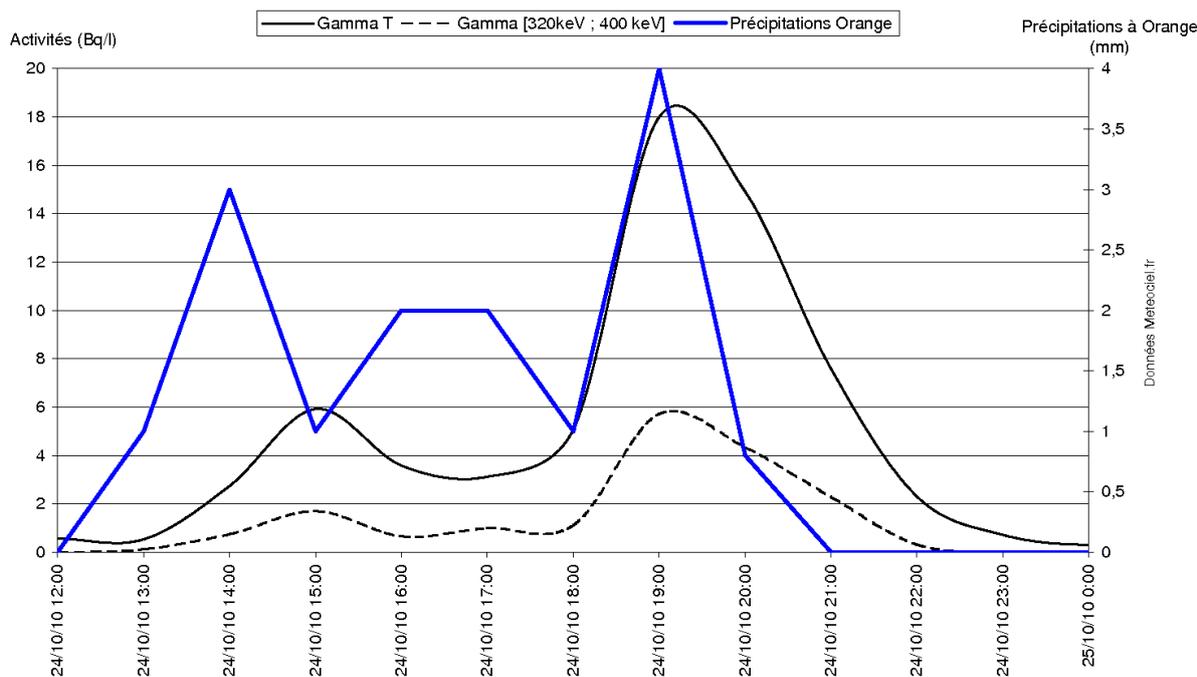
sans délai en cas de détection de contamination par la balise, grâce au service d'astreinte permanent du service hygiène santé de la mairie d'Avignon et du laboratoire CRIIRAD.

## 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>11</sup>.

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

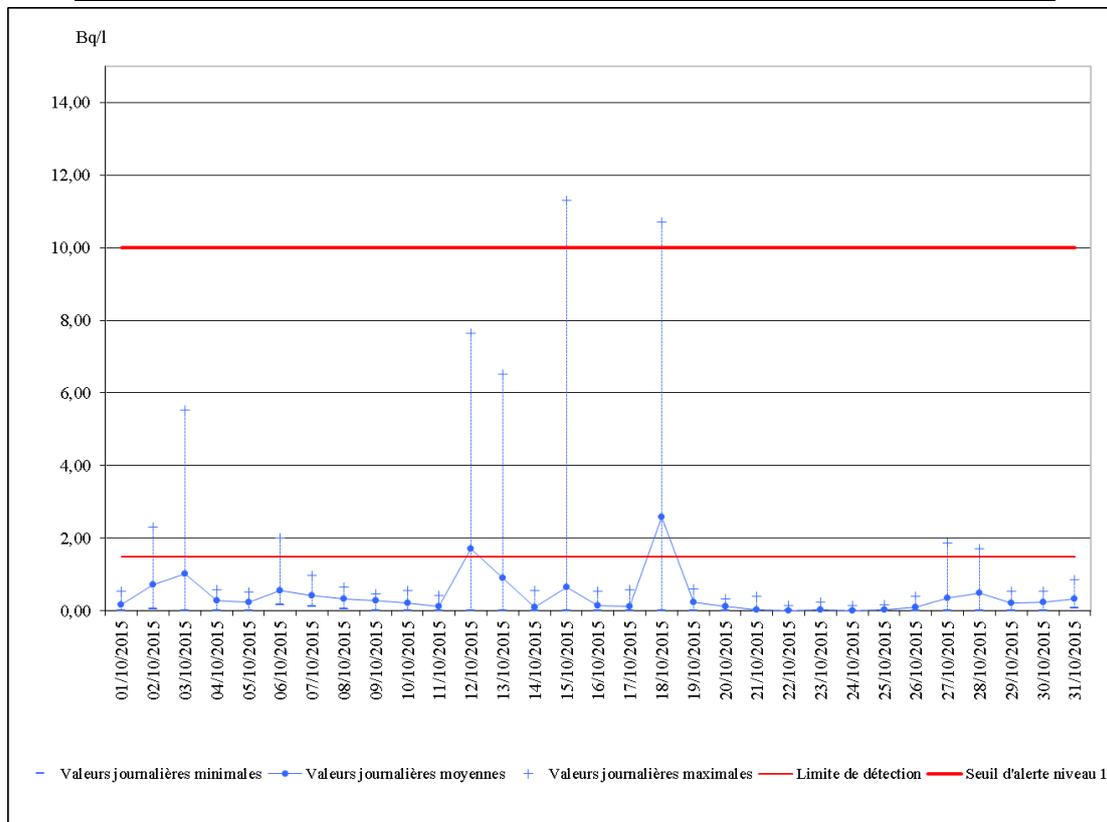


<sup>11</sup> L'expérience montre que lors d'un épisode orageux (dépassement ponctuel), le ratio gamma total / gamma [320 keV ; 400 keV] est compris entre 3 et 4,5. Lors d'un épisode de type crue (dépassement progressif), le ratio gamma total / gamma [320 keV ; 400 keV] est compris entre 4,5 et 6,3.

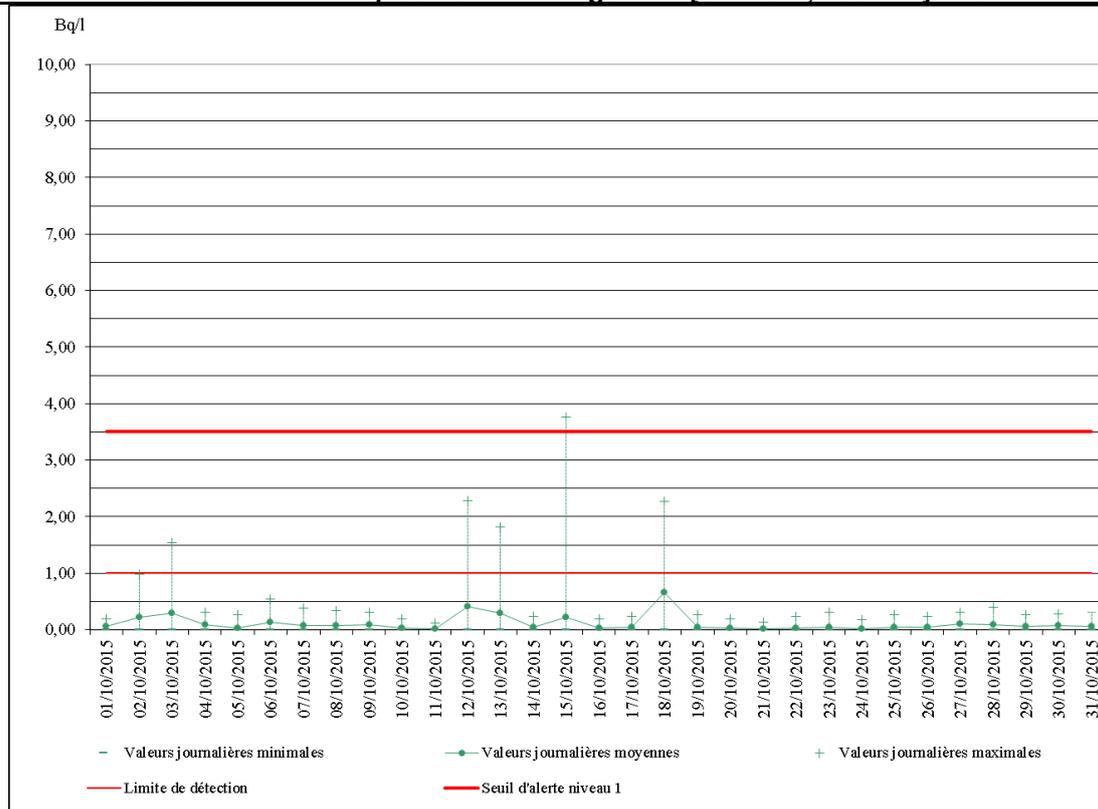
## 2 CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

### 2.1 Graphes

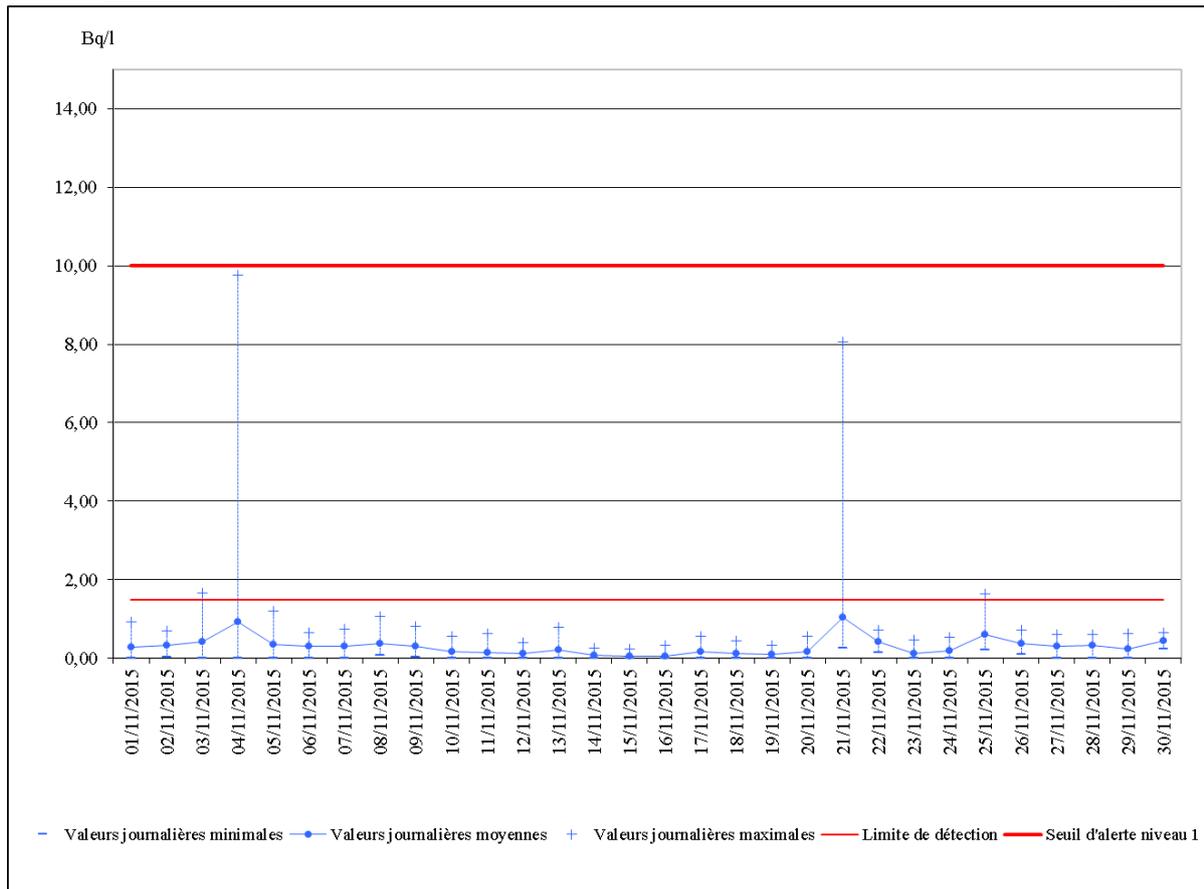
Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » - Octobre 2015



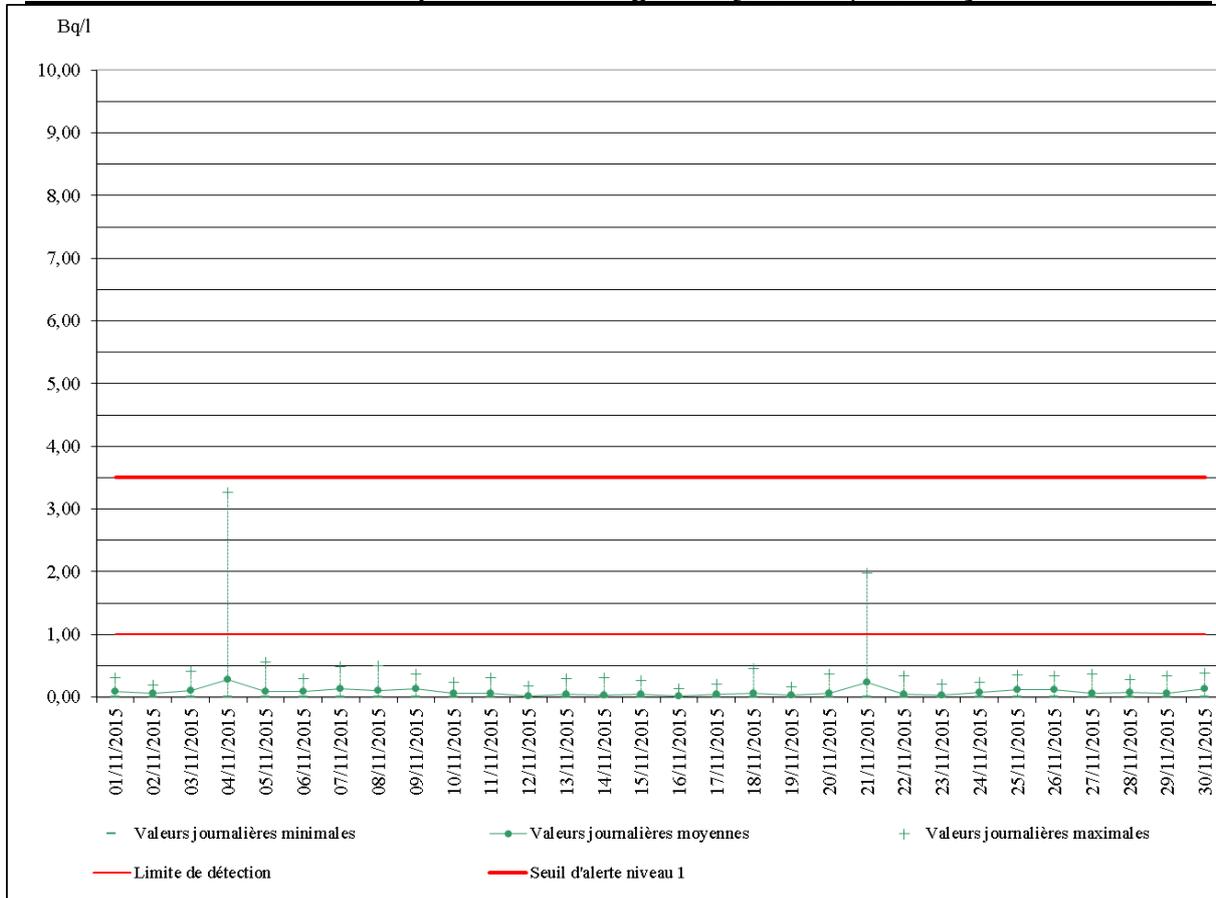
Evolution des activités volumiques de la voie « gamma [320 keV ; 400 keV] » - Octobre 2015



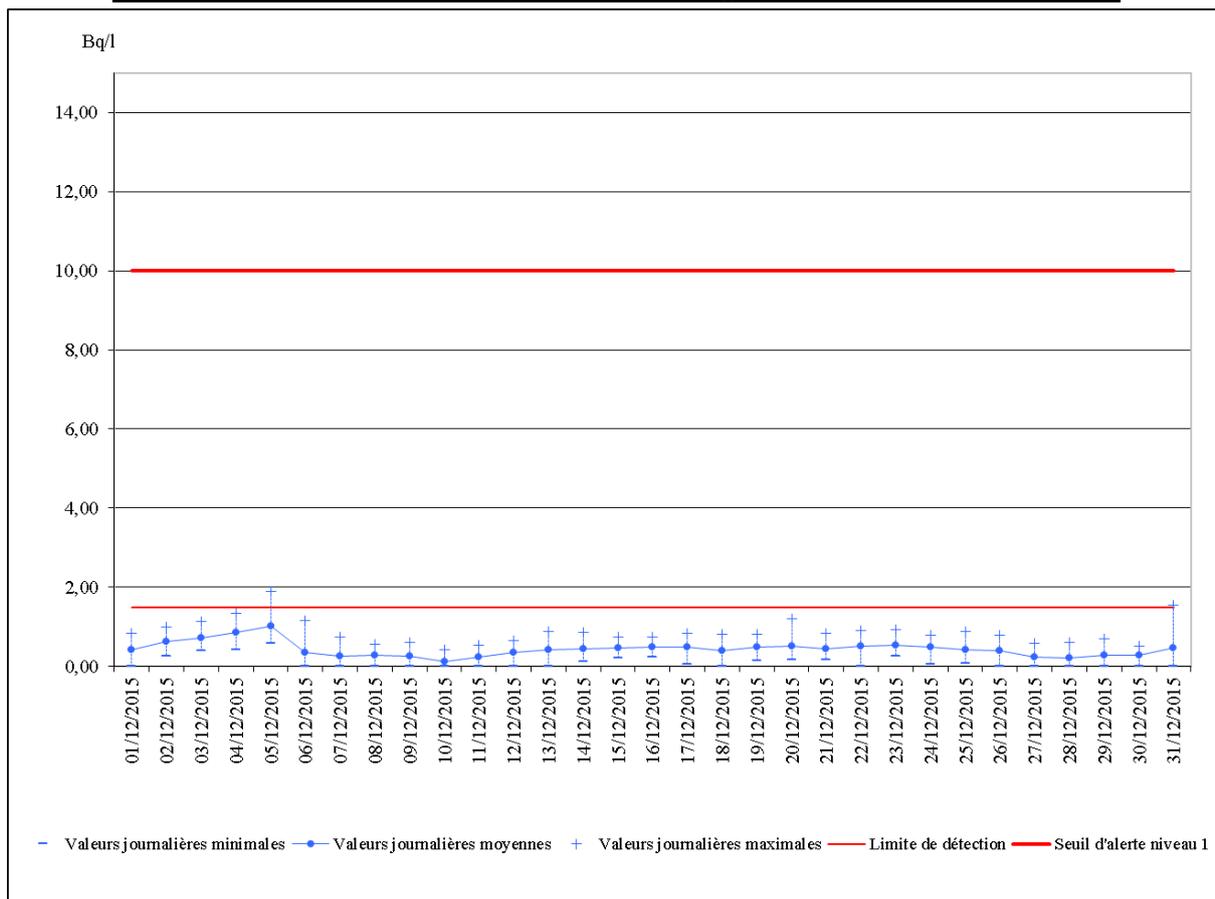
**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » - Novembre 2015**



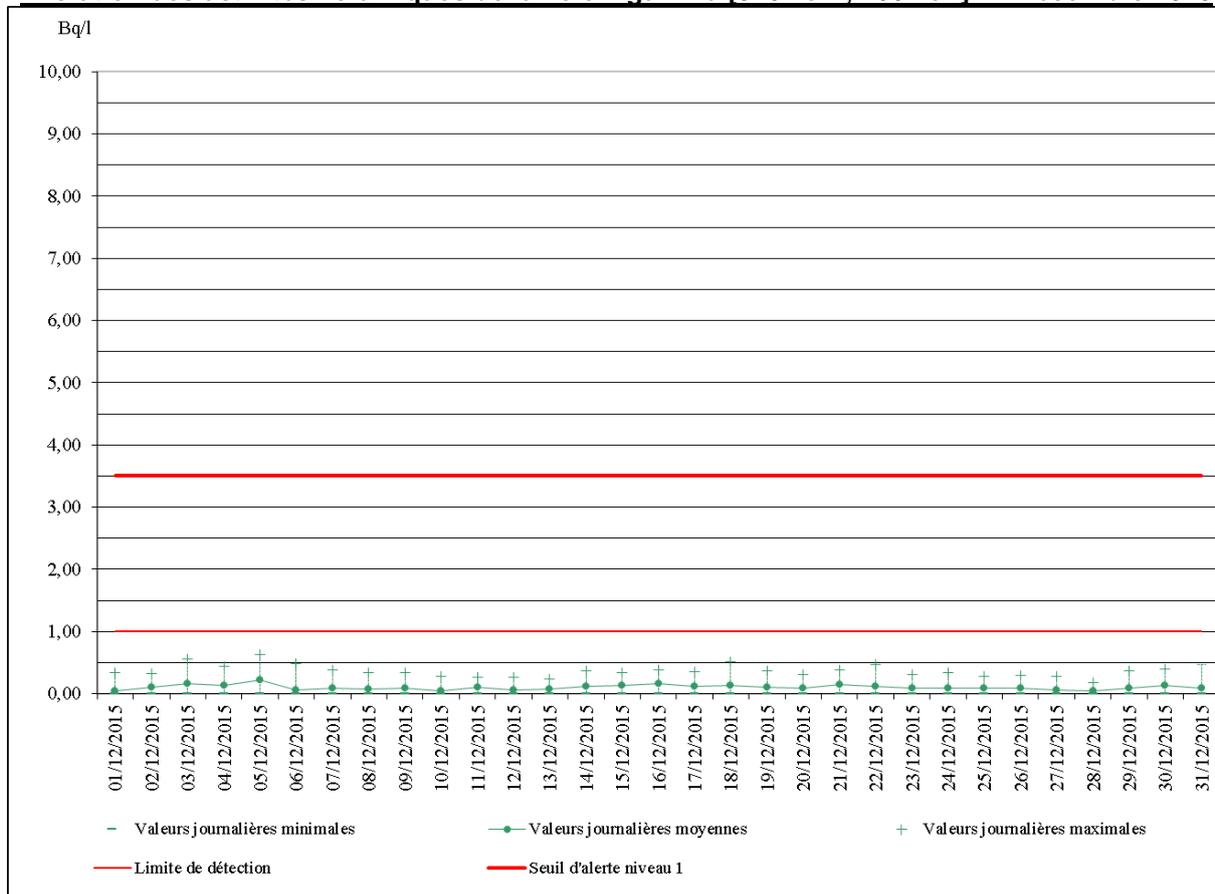
**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma [320 keV ; 400 keV] » - Novembre 2015**



**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » - Décembre 2015**



**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma [320 keV ; 400 keV] » - Décembre 2015**



## 2.2 Commentaires

### Voie gamma total

Des dépassements ponctuels de la limite de détection (1,5 Bq/l) ont été observés les 2, 3, 6, 12, 13, 15, 18, 27 et 28 octobre, les 3, 4, 21 et 25 novembre ainsi que les 4 et 31 décembre. Le premier seuil d'alerte (10 Bq/l) a été dépassé à 2 reprises, les 15 et 18 octobre ; l'activité maximale a été mesurée le 15 octobre : 11,3 Bq/l.

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

Des dépassements ponctuels de la limite de détection (1 Bq/l) se sont produits les 3, 12, 13, 15 et 18 octobre ainsi que les 4 et 21 novembre. Le premier seuil d'alerte (3,5 Bq/l) a été dépassé à une reprise, le 15 octobre, avec une valeur correspondante de 3,8 Bq/l.

Les dépassements observés au cours du trimestre sur les deux voies de mesure sont liés aux conditions climatiques, dans le cadre d'épisodes pluvio-orageux.

Les dépassements de seuil d'alerte sur les 2 voies de mesures le 15 octobre ainsi que sur la voie gamma total seule le 18 octobre ont provoqué un déclenchement de l'alarme d'astreinte. Les techniciens ont pu vérifier à distance que ces dépassements étaient bien d'origine naturelle (suite à de fortes pluies orageuses). Par exemple, au cours de l'épisode de dépassements du 15 octobre, le ratio des activités volumiques Gamma Total/lode a été de l'ordre de 3, dans la fourchette des valeurs de 3 à 4,5 caractéristique d'épisodes orageux (cf. note 11 page 17).

## 3 CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA

L'analyse d'un prélèvement d'eau du Rhône dans le cadre du suivi courant a porté sur un échantillon prélevé le 2 décembre 2015 par les services techniques de la Ville d'Avignon. Les résultats sont présentés ci-dessous.

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	02/12/15 12:00	11/12/15	28 682	< 0,11	< 0,06	< 3,4

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.

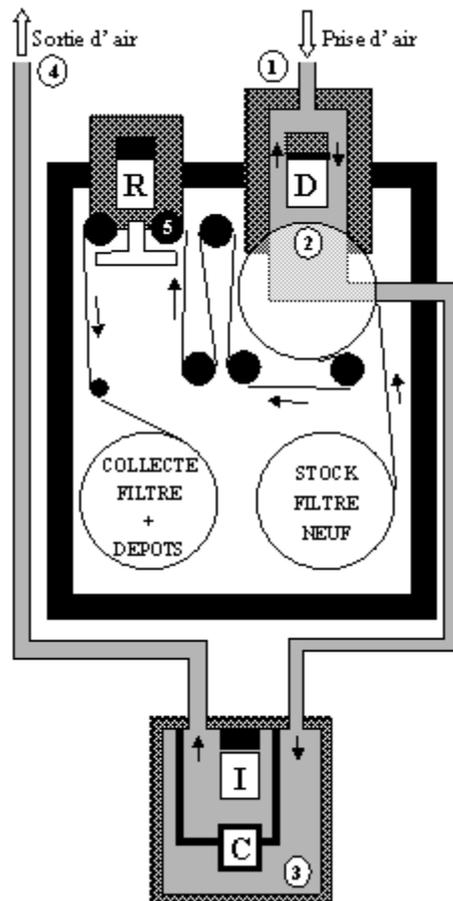
### Radioactivité artificielle

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.

## ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE ATMOSPHERIQUE

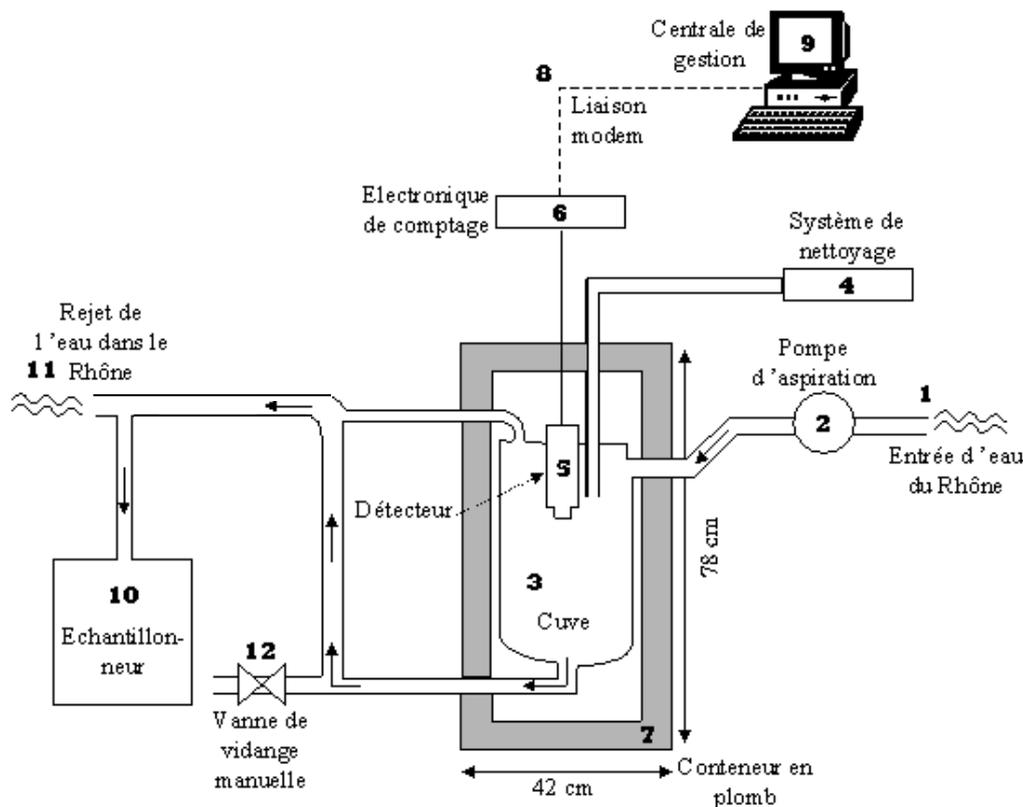


1. L'air extérieur est aspiré par une pompe à un débit nominal de 25 m<sup>3</sup>/heure.
2. Il passe à travers un filtre déroulant qui retient les particules en suspension dans l'air. Un double détecteur à scintillation (plastique et sulfure de zinc), disposé en regard du filtre (D), mesure en continu 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 (Tl). 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

Jérémy MOTTE



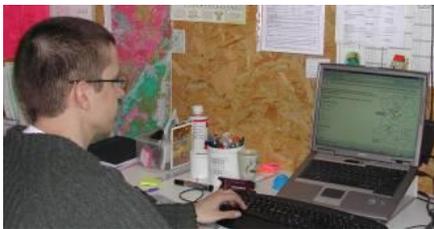
### RESPONSABLE INTERVENTIONS

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, Jérémy MOTTE, Corinne CASTANIER et Roland DESBORDES (respectivement responsable recherche et président de la CRIIRAD)