

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

Rapport N°11-97

**RAPPORT MENSUEL**  
**SEPTEMBRE 2011**

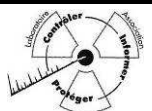


CNPE du Tricastin et tours de refroidissement de l'usine EURODIF – Photo CRIIRAD



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**



LABORATOIRE DE LA CRIIRAD  
471, avenue Victor HUGO – 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 RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE</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 GRAPHERS.....  | 7         |
| 1.2.2 COMMENTAIRES.....  | 8         |
| <b>1.3 RESULTATS DES CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>1.4 SUIVI DU LABORATOIRE CRIIRAD LORS DE L'ACCIDENT DU 12/09/2011 SUR LE SITE DE CENTRACO A MARCOULE (GARD)</b> ..... | <b>8</b>  |
| <b>2 RADIOACTIVITE NATURELLE</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2.1 QU'EST-CE QUE LE RADON ?</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>2.2 RADON : RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU</b> .....   | <b>11</b> |
| 2.2.1 GRAPHE.....  | 11        |
| 2.2.2 TABLEAU DE SYNTHESE.....   | 11        |
| 2.2.3 COMMENTAIRES.....  | 12        |
| <b>BALISE AQUATIQUE</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1 PRESENTATION</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1.1 POURQUOI ANALYSER L'EAU ?</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>1.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>1.3 CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1.4 INFLUENCE DES CONDITIONS CLIMATIQUES</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2 CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>2.1 GRAPHERS</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>2.2 COMMENTAIRES</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>3 CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE ATMOSPHERIQUE</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>ANNEXE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA BALISE AQUATIQUE</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>LABORATOIRE CRIIRAD</b> .....   | <b>20</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

La pompe 5 m<sup>3</sup>/h, nécessaire au bon fonctionnement de l'unité de mesure des iodes radioactifs, a été arrêtée entre le 27 août et le 6 septembre suite à un dysfonctionnement constaté par les services techniques de la ville (voir bulletin mensuel du mois d'août). La remise en service a été effectuée le 6 septembre par le technicien CRIIRAD, intervenu spécifiquement pour diagnostiquer la panne de la pompe, après réinitialisation de la balise et divers tests de fonctionnement. L'unité de détection de la radioactivité dans les aérosols est restée pleinement opérationnelle entre le 1<sup>er</sup> et le 6 septembre, son fonctionnement ne dépendant pas de celui de la pompe 5 m<sup>3</sup>/h.

Le taux de fonctionnement en septembre a été de

- 78 % pour le système de détection des iodes radioactifs<sup>1</sup> ;
- 100 % pour l'unité de détection de la radioactivité dans les aérosols<sup>1</sup>.

### 2) RESULTATS DES CONTRÔLES

Aucune contamination n'a été détectée par les mesures directes ou par les analyses différées effectuées au cours du mois, notamment le 12 septembre et les jours suivant l'accident survenu sur l'installation CENTRACO du site nucléaire de Marcoule (Gard).

#### 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

**Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté dans les échantillons analysés en laboratoire au cours du mois.**

- Dans l'analyse du filtre correspondant au dépôt des aérosols au cours des mois de juillet et août, les activités volumiques moyennes en césium 137 et en iode 131 particulaire sont restées inférieures à la limite de détection (<0,002 mBq/m<sup>3</sup> pour le césium 137 et <0,06 mBq/m<sup>3</sup> pour l'iode 131 particulaire).

- Dans le cadre du suivi de l'accident sur le site de Centraco (12 septembre 2011), le filtre (correspondant au dépôt des aérosols entre le 6 et le 13 septembre) et la cartouche à charbon actif (absorption des gaz entre le 6 et le 13 septembre) ont été prélevés et analysés en laboratoire : aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté. Les limites de détection de ces analyses sont inférieures à 0,1 mBq/m<sup>3</sup>. A titre d'exemple, l'activité en césium 137 du filtre papier est inférieure à 0,008 mBq/m<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> A l'exception des prélèvements hebdomadaires et de l'intervention CRIIRAD du 06/09 pour lesquels les pompes de la balise ont été arrêtées pendant 5 à 15 minutes.

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

Pendant le mois :

- aucun problème technique n'a été rencontré,
- le taux de fonctionnement a été de 100%.

**2) RESULTATS DES CONTRÔLES**

Aucune contamination n'a été détectée pendant le mois.

**CONTRÔLES AUTOMATIQUES EN CONTINU****Voie gamma total**

La limite de détection (1,5 Bq/l) a été dépassée à plusieurs reprises au cours du mois. Le premier seuil d'alerte (10 Bq/l) a été dépassé à une reprise le 18/09. L'activité volumique maximale, mesurée le 18/09, a été de 10,5 Bq/l.

**Voie iode 131**

La limite de détection (1 Bq/l) a été dépassée à plusieurs reprises au cours du mois. Le premier seuil d'alerte (3,5 Bq/l) n'a jamais été dépassé. L'activité volumique maximale, mesurée le 04/09, a été de 2 Bq/l.

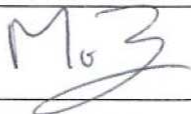

**Les dépassements mesurés lors des contrôles en continu sont principalement liés aux variations de la charge et du débit du Rhône (lors de fortes précipitations).**

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

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

Aucun radionucléide émetteur gamma n'a été détecté.

L'activité volumique du radon 222 est inférieure à la limite de détection.

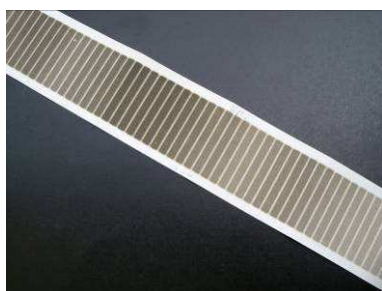
|                  | <b>EMETTEUR</b>   | <b>APPROBATION</b>  |
|------------------|---|---|
| <b>Nom</b>       | J. MOTTE  | J. SYREN  |
| <b>Date</b>      | 09/12/2011  | 09/12/11  |
| <b>Signature</b> |  |  |

## 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.

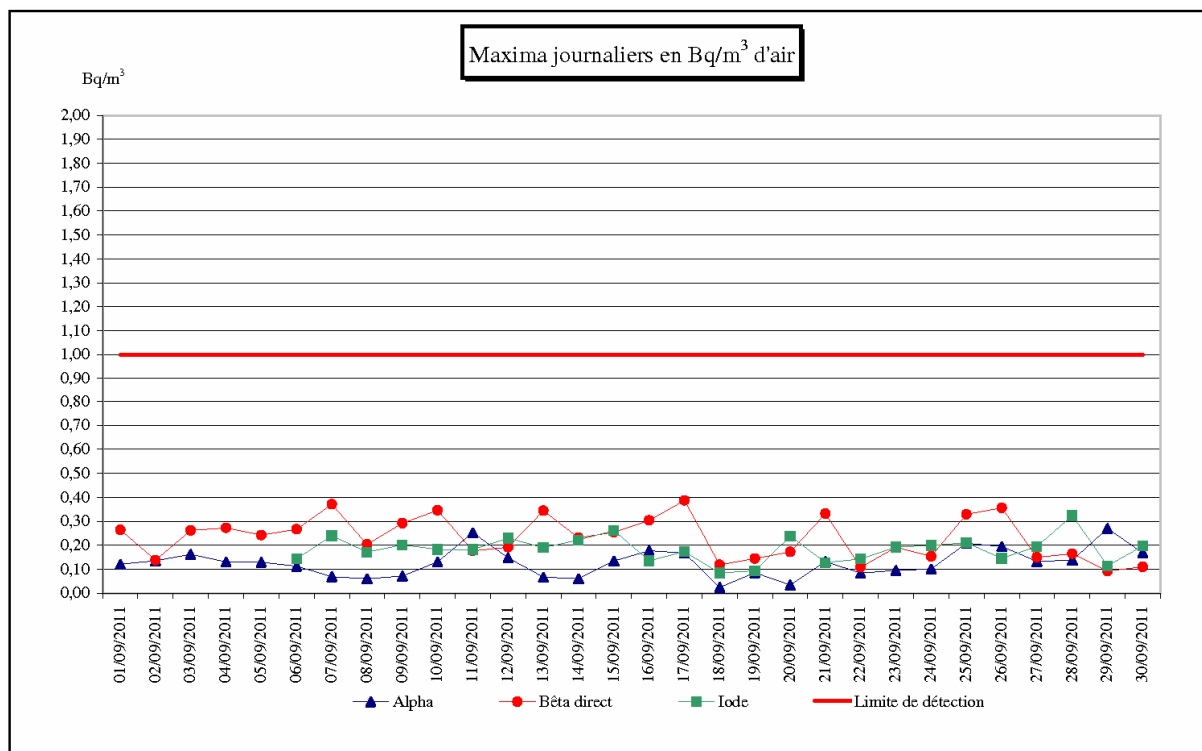
La **limite de détection des mesures en direct de l'activité d'iode 131** est de **1 Bq/m<sup>3</sup>**.

**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).

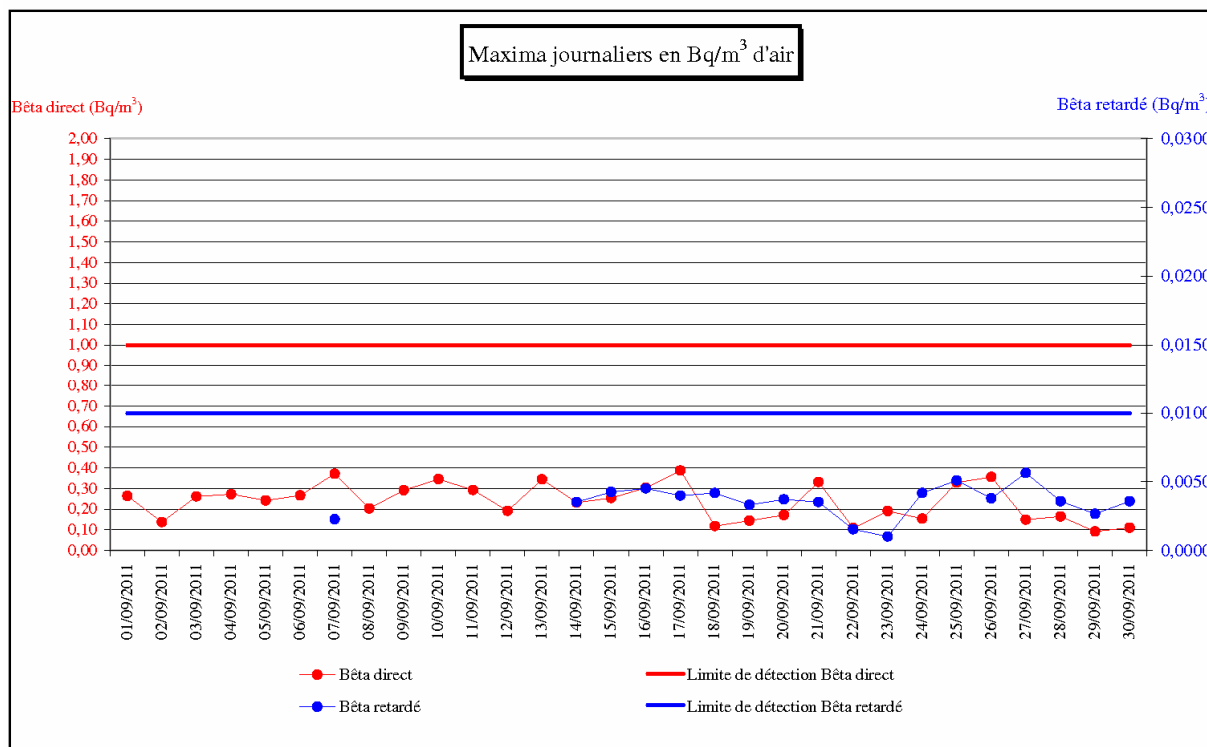
## 1.2 Résultats des contrôles automatiques en continu

### 1.2.1 Graphes

#### Mesures directes (alpha-bêta-iode)



#### 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.

## 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 septembre puis entre le 8 et le 13 septembre, compte tenu du prélèvement de filtre les 6 et 13 septembre (cf. note 3 page 5).

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

Le tableau ci-dessous présente les résultats d'analyse du filtre bimestriel des mois de juillet août et en jaune les résultats du suivi spécifique lié à l'accident (explosion d'un four) survenu le 12 septembre sur l'installation CENTRACO à Marcoule dans le Gard. Sont notamment précisés dans ce tableau les activités des césiums 137 et 134, l'iode 131 (radioactivité artificielle) et du béryllium 7<sup>4</sup> (radionucléide naturel).

| Média filtrant | Début du dépôt | Fin du dépôt   | Date de prélèvement | Date d'analyse | N° d'analyse | Cs 137 en mBq/m <sup>3</sup> | Cs 134 en mBq/m <sup>3</sup> | I 131 en mBq/m <sup>3</sup> | Be 7 en mBq/m <sup>3</sup> |
|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|--------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Filtre         | 01/07/11 00:00 | 01/09/11 00:00 | 05/07/11            | 08/09/11       | 26 345       | < 0,002                      | < 0,002                      | < 0,06                      | 3,9 ± 0,5                  |
| Filtre         | 06/09/11 06:54 | 13/09/11 11:51 | 13/09/11            | 14/09/11       | 26 358       | < 0,008                      | < 0,007                      | < 0,01                      | 4,2 ± 0,6                  |
| Filtre         | 12/09/11 10:00 | 12/09/11 16:00 | 13/09/11            | 15/09/11       | 26 363       | < 0,129                      | < 0,102                      | < 0,13                      | 7,8 ± 2,2                  |
| Cartouche      | 06/09/11 06:54 | 13/09/11 11:51 | 13/09/11            | 14/09/11       | 26 359       | -                            | -                            | < 0,05                      | -                          |

Légende

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

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

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté.

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

## 1.4 Suivi du laboratoire CRIIRAD lors de l'accident du 12/09/2011 sur le site de CENTRACO à Marcoule (Gard)

Cet événement a mobilisé de manière importante le laboratoire de la CRIIRAD au cours de la semaine du **12 au 16 septembre 2011**. Il s'agit de l'explosion d'un four sur l'installation CENTRACO (le 12 septembre 2011) qu'exploite la société SOCODEI sur le site nucléaire de Marcoule (Gard). CENTRACO est une installation de traitement de déchets faiblement radioactifs par fusion et incinération.

Selon l'exploitant et les autorités, l'accident n'a pas donné lieu à des rejets radioactifs dans l'environnement. Cependant, les informations transmises ont été trop lacunaires pour le vérifier (n'ont pas été connus notamment le détail des rejets à la cheminée des installations endommagées avant, pendant et après l'accident ainsi que l'activité volumique de l'air à l'intérieur des locaux concernés et à leurs abords immédiats).

<sup>4</sup> Le béryllium 7 est donné à titre indicatif. 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.



Les mesures effectuées en direct par les balises que gère la CRIIRAD tant le jour de l'accident que dans les jours qui ont suivi, n'ont pas révélé de contamination. Un intérêt tout particulier a été porté aux mesures effectuées à la balise d'Avignon, située sous les vents dominants (22 km au sud/sud-est de l'installation CENTRACO, cf. **partie 1.2** de ce rapport).

Les analyses différées du filtre aérosols et de la cartouche de charbon actif de la balise d'Avignon effectuées a posteriori (cf. **partie 1.3** de ce rapport) ont confirmé l'absence de contamination par des radionucléides artificiels émetteurs gamma. Le suivi a été effectué pour les aérosols et les gaz collectés entre le 6 et le 13 septembre. Les activités volumiques moyennes sont systématiquement inférieures aux limites de détection (exemples : l'activité en césium 137 du filtre papier est inférieure à 0,008 mBq/m<sup>3</sup> et celle en iode 131 gazeux de la cartouche à charbon actif est inférieure à 0,05 mBq/m<sup>3</sup>).

Note : la partie du filtre correspondant aux aérosols déposés juste avant et dans les heures suivant l'accident a également été portée à l'analyse. Là encore, aucun radionucléide émetteur gamma n'a été détecté (les limites de détection sont plus élevées que dans l'analyse du filtre correspondant aux dépôts du 6 au 13 septembre, 0,129 mBq/m<sup>3</sup> pour le césium 137 et 0,13 mBq/m<sup>3</sup> pour l'iode 131 particulaire. Cela s'explique par le piégeage d'un volume d'air moins important dans l'échantillon).

En complément à ces mesures :

- un bénévole de la CRIIRAD s'est rendu à proximité du site de Marcoule dans l'après midi du lundi 12 septembre 2011. Les mesures qu'il a effectuées au moyen d'un radiamètre bêta-gamma sous les vents dominants sont comparables aux valeurs habituellement observées.
- Compte tenu des résultats de mesure avec compteur Geiger publiés par le CAN 84 le 13 septembre, la CRIIRAD a contacté le même jour les citoyens des départements du Gard, du Vaucluse, de l'Hérault et des Bouches-du-Rhône dont elle avait les coordonnées et qui disposent d'un radiamètre Radex RD 1503 dont son laboratoire avait vérifié le fonctionnement. Seize (16) personnes ont indiqué avoir effectué des relevés avec un radex le 12 septembre, suite à l'accident de Centraco. Aucune anomalie n'a été signalée, tous les résultats étaient conformes aux niveaux mesurés habituellement dans les différents secteurs contrôlés. La CRIIRAD a produit un texte de synthèse sur ce point.

L'information a été mise à disposition des partenaires des balises par messagerie, notamment ceux de la Ville d'Avignon et en ligne sur le site <http://balisescriirad.free.fr/>, au fur et à mesure des informations obtenues par le laboratoire de la CRIIRAD et des résultats de ses balises.

Le 26 octobre 2011, la CRIIRAD a déposé plainte contre la SOCODEI (exploitant de l'installation CENTRACO), aux griefs suivants :

- forte sous évaluation de l'activité réelle des déchets radioactifs en cours de fusion ;
- défaut de protection contre le risque d'explosion et le risque de dissémination des substances radioactives ;
- retard inacceptable dans la mise en œuvre du confinement ;
- violation des dispositions législatives et réglementaires relatives à l'information du public sur les questions relatives à l'environnement et au fonctionnement des installations nucléaires.

Un dossier est consultable sur le site CRIIRAD :

<http://www.criirad.org/actualites/dossier2011/marcoule/marcoule.html>

## 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.

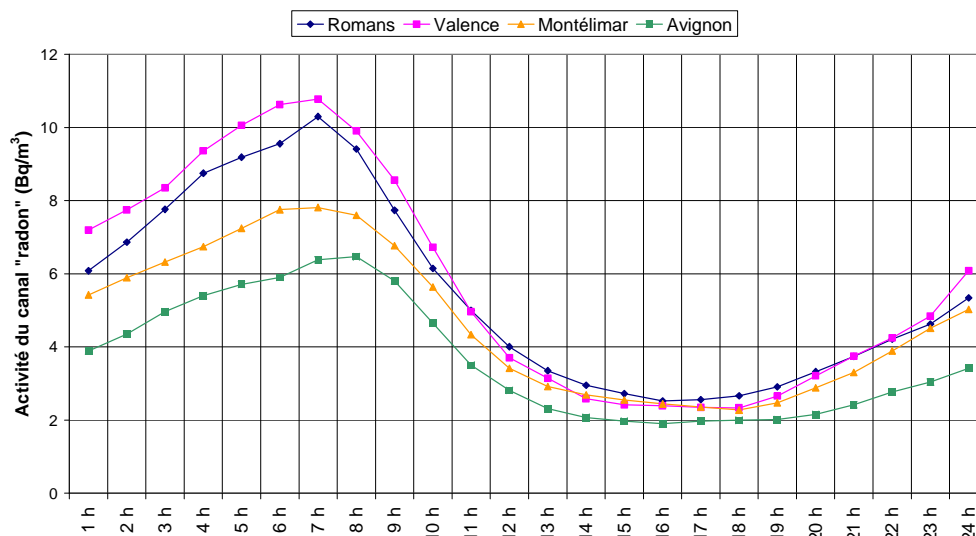
Présent en concentration élevée dans les sols, le radon se dilue rapidement dans l'air extérieur où les activités volumiques varient généralement **de quelques becquerels à quelques dizaines de becquerels par mètre cube d'air**, pour un climat tempéré continental. Des niveaux nettement plus élevés peuvent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

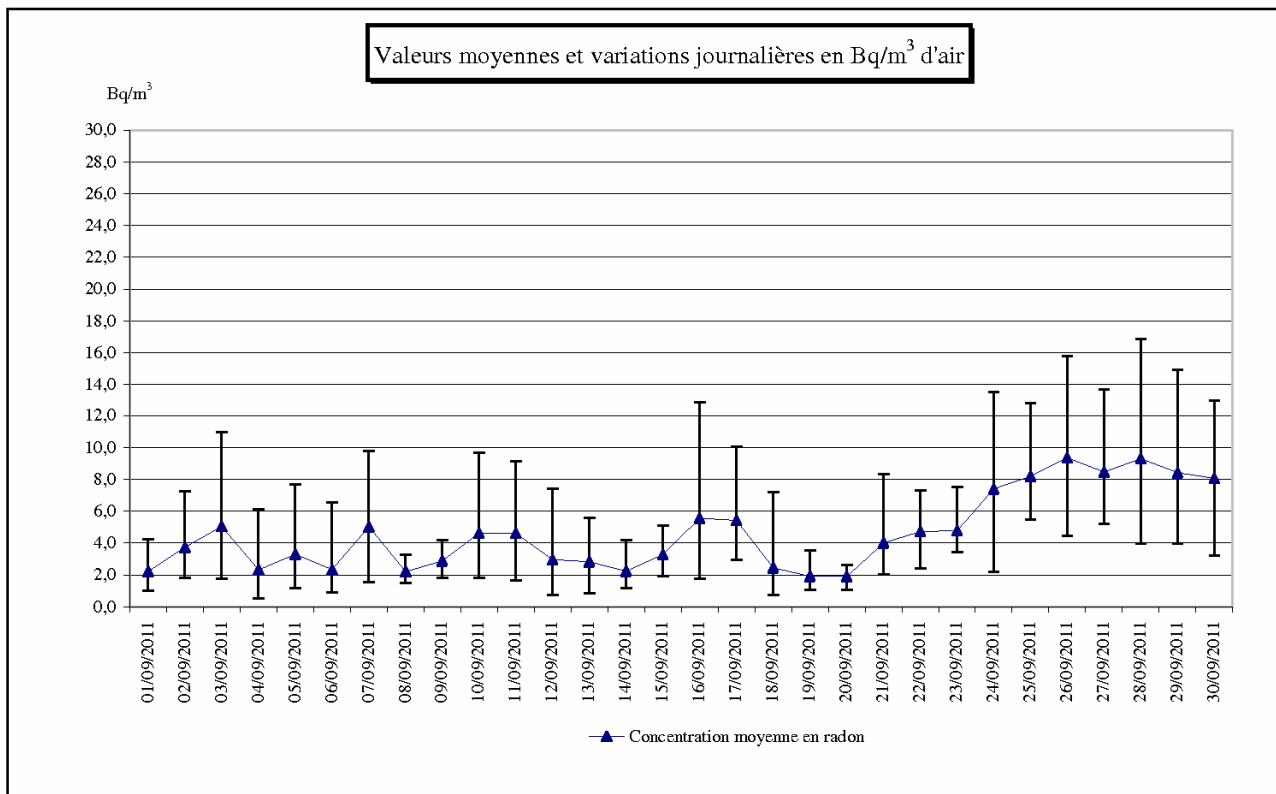
*A l'échelle d'une journée, on constate typiquement une augmentation des concentrations au cours de la nuit, des niveaux maximums en début de matinée (7h TU), puis une diminution, pour atteindre des valeurs minimales en fin d'après-midi (vers 15-17h TU). Voir ci-dessous l'évolution des concentrations 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 Graphe<sup>5</sup>



### 2.2.2 Tableau de synthèse

|  |                     |
|--|---------------------|
| Valeur horaire maximum relevée le 28/09/2011 à 07h00 | 16,9 Bq/m3          |
| Valeur horaire minimum relevée le 04/09/2011 à 10h00 | 0,6 Bq/m3           |
| Ecart le plus important le 28/09/2011                | Ecart de 12,9 Bq/m3 |
| Ecart le plus faible le 20/09/2011                   | Ecart de 1,6 Bq/m3  |
| <b>Moyenne mensuelle</b>                             | <b>4,6 Bq/m3</b>    |

<sup>5</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 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 2010 pour la balise atmosphérique d'Avignon.

| AVIGNON     | Minima     | Moyennes   | Maxima      |
|-------------|------------|------------|-------------|
| janv-10     | 0,4        | 5,6        | 17,5        |
| févr-10     | 0,3        | 3,6        | 12,6        |
| mars-10     | 0,3        | 2,6        | 9,7         |
| avr-10      | 0,4        | 3,3        | 10,2        |
| mai-10      | 0,4        | 2,4        | 9,1         |
| juin-10     | 0,4        | 2,9        | 13,5        |
| juil-10     | 0,3        | 3,3        | 11,3        |
| août-10     | 0,7        | 3,3        | 11,6        |
| sept-10     | 0,5        | 3,6        | 13,8        |
| oct-10      | 0,5        | 4,5        | 14,2        |
| nov-10      | 0,4        | 3,6        | 12,1        |
| déc-10      | 0,6        | 4,0        | 12,9        |
| <b>2010</b> | <b>0,3</b> | <b>3,6</b> | <b>17,5</b> |

**Activités volumiques du canal « radon » mesurées en 2010 (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 et 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 (iode 131) 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.

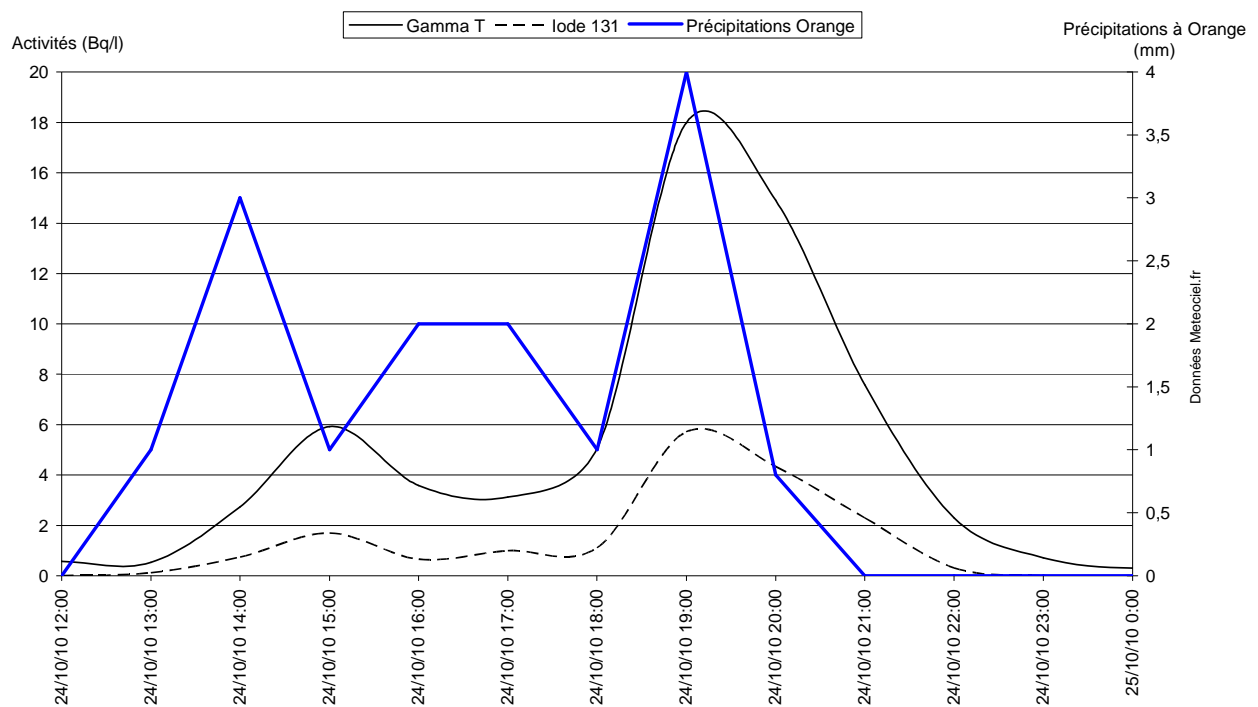
En situation courante, un échantillon d'eau du Rhône est prélevé par le service hygiène santé de la mairie d'Avignon en amont du Pont Saint-Bénézet sur l'ancien site de la capitainerie à Avignon et analysé par le laboratoire CRIIRAD. Ce type de contrôle peut également être réalisé sans délai en cas de 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 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 iode 131), du seuil d'alerte de niveau 1 (10 Bq/l pour la voie gamma total et 3,5 Bq/l pour la voie iode 131) voire, exceptionnellement, du seuil d'alerte de niveau 2 (30 Bq/l pour la voie gamma total et 10 Bq/l pour la voie iode 131).

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>6</sup>.

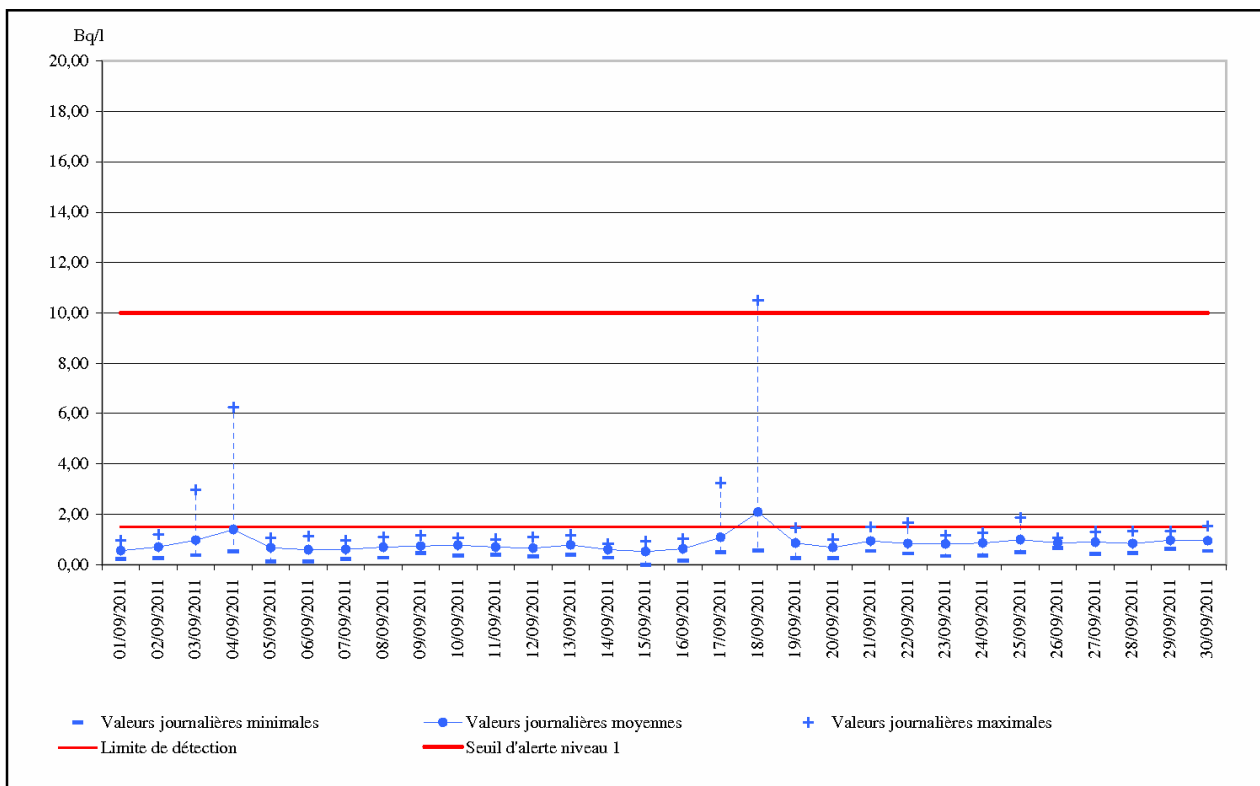
Balise aquatique d'Avignon - Exemple de dépassement dû aux précipitations



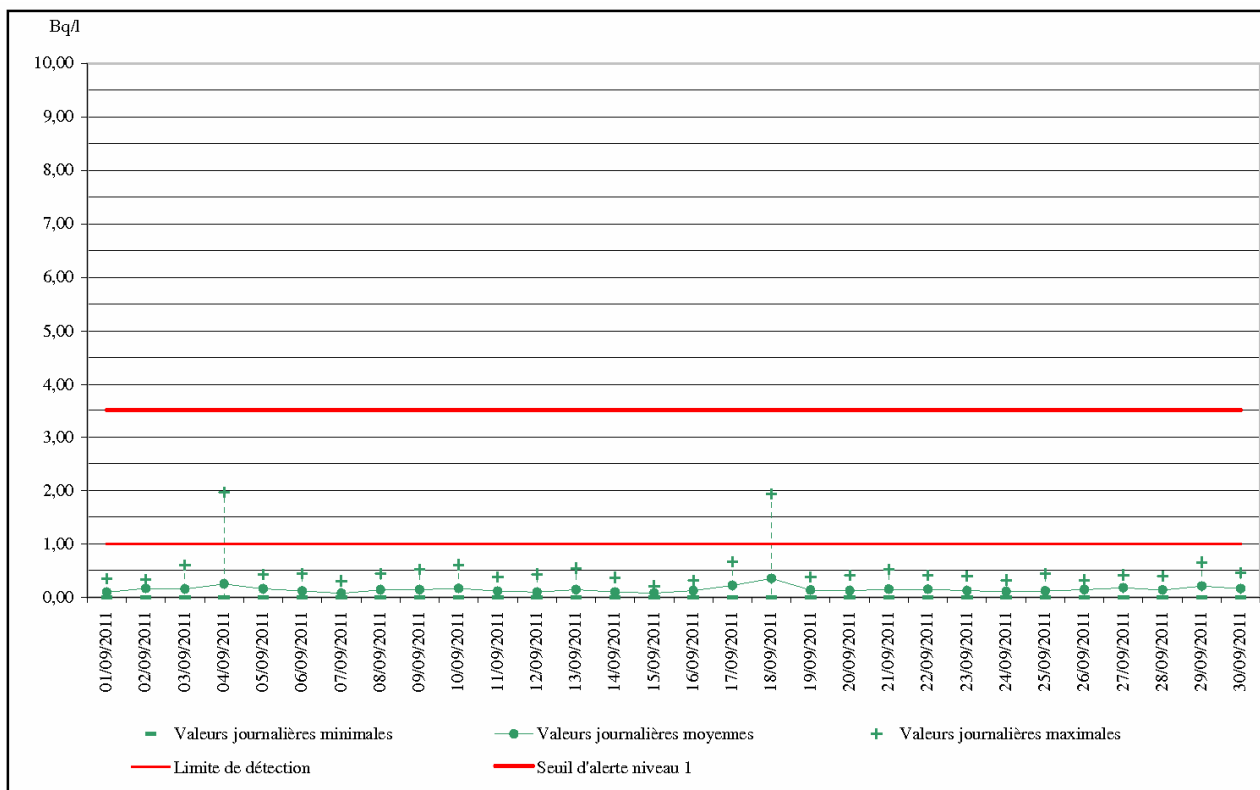
<sup>6</sup> L'expérience montre que lors d'un épisode orageux (dépassement ponctuel), le ratio gamma total / iode 131 est compris entre 3 et 4,5. Lors d'un épisode de type crue (dépassement progressif), le ratio gamma total / iode 131 est compris entre 4,5 et 6,3.

## 2 CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

### 2.1 Graphes



**Evolution des activités volumiques de la voie « gamma total » au cours du mois**



**Evolution des activités volumiques de la voie « iode 131 » au cours du mois**

## 2.2 Commentaires

### Voie gamma total

Des dépassements ponctuels de la limite de détection (1,5 Bq/l) ont été observés les 3,4 septembre, entre le 17 et le 19 septembre, puis les 21,22, 25 et 30 septembre. Le premier seuil d'alerte (10 Bq/l) a été dépassé à une reprise lors du dépassement du 18 septembre. L'activité maximale mesurée lors de cet épisode, a été de 10,5 Bq/l.

### Voie iode 131

Des dépassements ponctuels de la limite de détection (1 Bq/l) ont été observés les 4 et 18 septembre. Le premier seuil d'alerte (3,5 Bq/l) n'a jamais été dépassé ; l'activité maximale, mesurée le 4 septembre, a été de 2 Bq/l.

Les principaux dépassements observés au cours du mois, notamment celui du 17 au 19 septembre (voir ci-dessous), sont liés aux conditions climatiques (épisodes pluvieux ou crues).

Le dépassement du seuil d'alerte sur la voie gamma total le 18 septembre a provoqué un déclenchement de l'alarme d'astreinte. Les techniciens d'astreinte ont pu vérifier que ces dépassements étaient bien d'origine naturelle (suite à de fortes pluies orageuses). Durant cet épisode, le ratio instantané des activités volumiques Gamma total/Iode était en effet de l'ordre de 4, valeur caractéristique d'un épisode orageux (voir la note 5 page 13).

Deux anomalies très ponctuelles sont à signaler sur la voie gamma total les 22 et 30 septembre : elles se caractérisent par un léger dépassement de la limite de détection (1,7 Bq/l le 22 septembre à 14h et 1,5 Bq/l le 30 septembre à 23h) sans que l'on puisse les relier à un phénomène météorologique particulier. Les valeurs mesurées immédiatement avant et après restent inférieures à la limite de détection.

## 3 CONTROLES DIFFERES PAR SPECTROMETRIE GAMMA

L'analyse de l'échantillon prélevé par un technicien du service environnement de la Ville d'Avignon à proximité du pont Saint Bénézet le 06/09 est présentée ci-dessous.

| Eau du Rhône | Type d'analyse | Date de prélèvement | Date d'analyse | N° d'analyse | Rn 222* (Bq/l) | I 131 (Bq/l) | Cs 137 (Bq/l) | K 40 (Bq/l) |
|--------------|----------------|---------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|---------------|-------------|
| sep-oct 11   | Courte         | 06/09/11            | 07/09/11       | 26 337       | < 5,1          | -            | -             | -           |
| sep-oct 11   | Longue         | 06/09/11            | 09/09/11       | 26 352       | -              | < 0,05       | < 0,07        | < 4,1       |

#### Légende

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

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

\* : l'activité du radon 222 est exprimée à la date de prélèvement et déterminée à partir de la valeur moyenne de ses descendants émetteurs gamma, le bismuth 214 et le plomb 214.

### Radioactivité artificielle

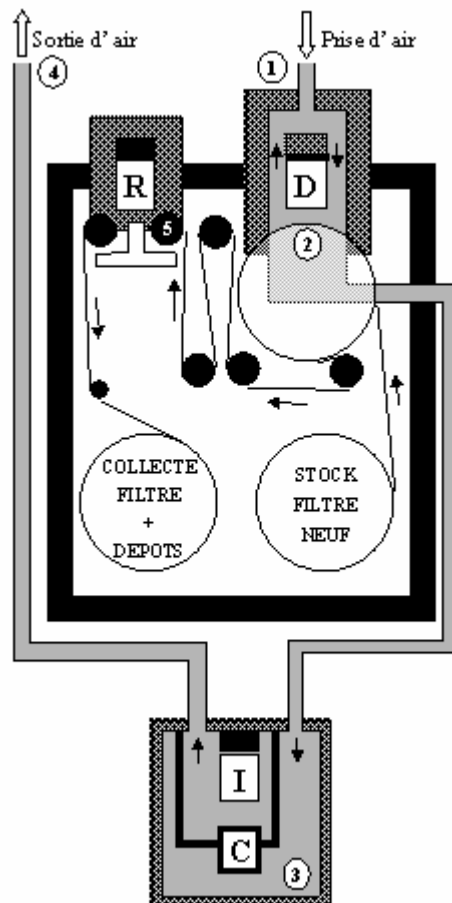
Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté.

### 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

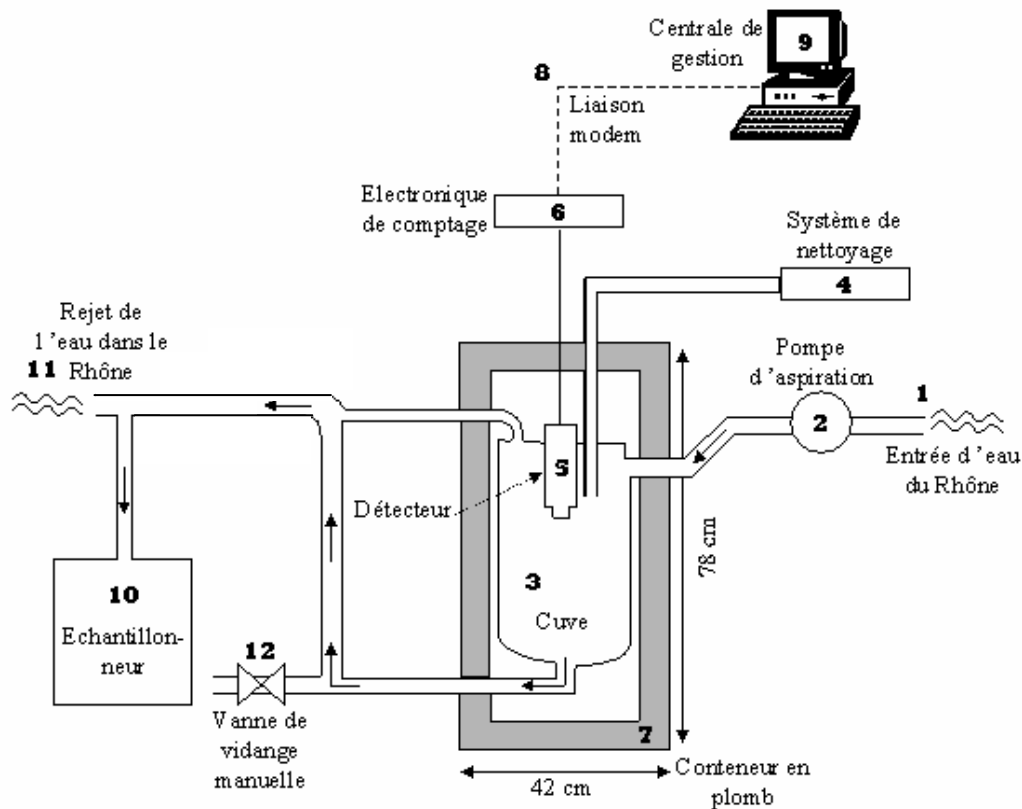


1. L'air extérieur est aspiré par une pompe à un débit nominal de 25 m<sup>3</sup>/heure.
2. Il passe à travers un filtre déroulant qui retient les particules en suspension dans l'air. Un double détecteur à scintillation (plastique et sulfure de zinc), disposé en regard du filtre (D), mesure en continu 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 (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 "iode 131". 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 "iode 131", 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 iode, 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.

Le laboratoire comprend notamment un service dédié à la gestion des réseaux de balises de contrôle en continu de la radioactivité dans l'environnement. Sept scientifiques et techniciens assurent le fonctionnement de ce service.



### RESPONSABLE DU SERVICE DE GESTION DES BALISES

Jérémie MOTTE



### RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Bruno CHAREYRON



### RESPONSABLE TECHNIQUE

Christian COURBON



### RESPONSABLE CONTROLE QUALITE

Julien SYREN



### INTERVENTIONS HEBDOMADAIRES, ANALYSES

Stéphane PATRIGEON



### SCRUTATION DES DONNEES

Stéphane MONCHÂTRE



### PREPARATION DES ECHANTILLONS

Jocelyne RIBOUËT

### EQUIPE D'ASTREINTE

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