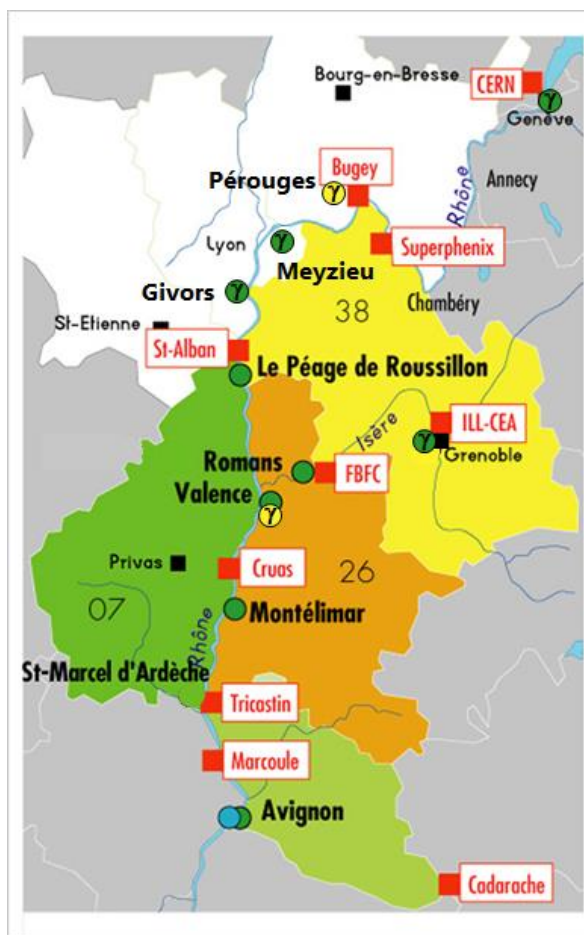




SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE ATMOSPHERIQUE ET AQUATIQUE - CRIIRAD

RAPPORT TRIMESTRIEL AVRIL-MAI-JUIN 2025



- Balises d'air en fonctionnement
- Sondes Gamma
- Sondes de spectrométrie Gamma
- Prélèvements radio-écologiques en milieu aquatique
- Installations nucléaires



Communes du réseau Montilien

Rédacteur(s) : Jérémie MOTTE

Relecteur(s) : Julien SYREN

Date de publication :

Rapport N° 25-21



Table des matières

SYNTHESE – FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE BALISES CRIIRAD	3
I/ Synthèse des résultats / Taux de fonctionnement par système de détection - Deuxième trimestre 2025	3
II/ A signaler au cours du trimestre	3
RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU	6
Les codes employés dans les graphiques ci-après sont explicités en annexe.....	6
I/ Surveillance en continu du débit de dose gamma ambiant	6
II/ Surveillance en continu de la radioactivité atmosphérique.....	9
III/ Surveillance en continu de la radioactivité de l'eau du Rhône	12
RESULTATS DES CONTROLES EN DIFFERE AU LABORATOIRE DE LA CRIIRAD	13
I/ Résultats des analyses de filtres par spectrométrie gamma.....	13
II/ Résultats des analyses de cartouches par spectrométrie gamma	13
III/ Résultats des analyses de prélèvements radio-écologiques dans la matrice aquatique .	14
EN SAVOIR PLUS SUR LES BALISES	16
FOCUS : ÉVALUER LES DOSES LIÉES À LA CONSOMMATION DE DENRÉES CONTAMINÉES	16
ANNEXE : Interprétation des graphiques présentant les résultats du réseau de balises de la CRIIRAD	20
LABORATOIRE CRIIRAD	22



SYNTHESE – FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE BALISES CRIIRAD

I/ Synthèse des résultats / Taux de fonctionnement par système de détection - Deuxième trimestre 2025

BALISE DETECTION	Péruges	Péage-de-Roussillon	Romans-sur-Isère	Valence	Montélimar
Alpha/Bêta (Air)		99,8%	100%	99,6%	100%
Iode (Air)			100%	99,6%	100%
Gamma (Air)	99,4%			99,6%	

Légende



Aucune contamination détectée / Taux de fonctionnement*



Contamination détectée / Taux de fonctionnement*



Problème technique ponctuel ou maintenance

BALISE DETECTION	Genève	Grenoble	Meyzieu	Givors	Avignon Air
Alpha/Bêta (Air)					100%
Iode (Air)					100%
Spectrométrie Gamma (Air)	99,8%	99,4%	99,6%	99,8%	

Légende



Aucune contamination détectée / Taux de fonctionnement*



Contamination détectée / Taux de fonctionnement*



Problème technique ponctuel ou maintenance

* Le taux de fonctionnement trimestriel calculé pour chaque dispositif de mesure correspond au rapport du nombre d'heures de fonctionnement de ce dispositif par le nombre total d'heures écoulées durant le trimestre (si le nombre d'heures de dysfonctionnement ou d'arrêt est inférieur à 2 heures pour la totalité du trimestre, le taux de fonctionnement est pris égal à 100%).

II/ A signaler au cours du trimestre

- Arrêts de l'alimentation électrique aux balises :

- Valence : 7 arrêts (les 7, 16 et 29 avril, les 7, 18 et 25 mai, le 23 juin).
- Genève : 5 arrêts (les 10 et 23 avril, le 2 mai, les 14 et 22 juin).
- Grenoble : 6 arrêts (les 6, 24 et 25 avril, les 1^{er} et 17 mai, le 27 juin).
- Montélimar : 2 arrêts (les 28 et 30 avril).
- Meyzieu : 7 arrêts (les 3, 12 avril, les 11 et 31 mai, les 8, 14 et 22 juin).
- Givors : 4 arrêts (les 12 et 15 avril, le 21 mai et le 8 juin).



- Pérouges : 1 arrêt (le 15 avril).

Aucun de ces arrêts, d'une durée inférieure à 2 heures, n'a nécessité de déplacement d'un technicien sur site.

- **Sondes de spectrométrie gamma** : le laboratoire de la CRIIRAD intervient chaque année sur les sondes de spectrométrie gamma afin de vérifier leur bon fonctionnement et optimiser leur paramétrage (opération nécessitant un branchement direct au dispositif). Ces interventions, effectuées le 8 avril à Meyzieu, le 15 avril à Grenoble et le 24 avril à Givors n'ont pas entraîné par la suite d'absence de mesures.

- **Dysfonctionnement de la sonde de spectrométrie gamma de Grenoble** : le dispositif de mesure est hors service depuis le 30/06/2025 15h, aucune donnée n'étant mesurée depuis cette date. Après contact pris avec le fournisseur, le technicien CRIIRAD s'est rendu sur site le 08/07/2025 pour déposer la sonde et l'envoyer en usine pour diagnostic et réparation. A la date de rédaction de ce rapport, le diagnostic n'était pas encore établi.

- **Absence de communication entre la balise de Péage et la centrale de gestion** :

Un technicien du laboratoire CRIIRAD est intervenu sur site dès la détection de ce dysfonctionnement le 5 juin pour rétablir la communication. Le technicien a constaté au cours de son intervention que l'onduleur du modem dysfonctionnait : il est de nouveau intervenu le 6 juin pour le remplacer.

Ces différentes opérations de réinitialisation ont été suivies d'une absence de données pendant une période inférieure à 2 heures.

- **Balise de Valence – Dysfonctionnement du système d'avancement du filtre aérosols** : des ruptures du filtre aérosols ont été constatées à la balise de Valence à 2 reprises le 23 avril et le 5 mai. Ces ruptures ont pu être détectées rapidement lors des scrutations journalières, dans les heures qui ont suivi la rupture : la CRIIRAD a constaté une baisse du débit de la pompe à aérosols de la balise de Valence, laissant suggérer un dysfonctionnement. Un technicien du laboratoire CRIIRAD s'est rendu systématiquement sur site pour confirmer la rupture du filtre. Le filtre a été remis en place lors de chacune des interventions techniques puis le bon fonctionnement du système d'avancement du filtre a été testé.

- **Sonde gamma de Pérouges – Dysfonctionnement de l'appareil à plusieurs reprises** : la sonde de mesure a enregistré, à plusieurs reprises¹, des mesures anormales, évoquant un défaut du détecteur. Les techniciens d'astreinte ont pu être contactés lors de ces périodes de dysfonctionnement, la sonde envoyant automatiquement une alarme « défaut détecteur ». En dehors de ces périodes, les mesures de la sonde se situent dans les ordres de grandeur du bruit de fond habituellement observé. A la date de rédaction de ce rapport, le 11 juillet, aucune autre anomalie n'a d'ailleurs été enregistrée par la sonde. L'origine de ce dysfonctionnement n'a pu pour le moment être déterminée.

¹ Périodes de dysfonctionnement de l'appareil : le 6 juin entre 17h et 21h TU, le 7 juin à 11h TU et à 15h TU, entre le 8 juin 2h TU et le 9 juin 1h TU ainsi que le 14 juin à 2h et 3h TU



- **Fonctionnement de la balise de Péage-de-Roussillon** : le Département de l'Isère a décidé en 2018 de ne plus contribuer au financement du réseau de balises, ce qui a entraîné une diminution du budget de fonctionnement de la balise de Péage de Roussillon. Ceci a conduit la CRIIRAD à alléger le dispositif de surveillance de la balise à partir de début 2019. L'unité de détection de l'iode radioactif sous forme gazeuse a été arrêtée² pour les 2 balises et les analyses mensuelles en différé du filtre à aérosols au laboratoire de la CRIIRAD l'ont été également au cours du premier trimestre. Les filtres sont tout de même conservés au laboratoire de la CRIIRAD et pourraient être analysés ultérieurement si nécessaire³. La contribution de la communauté de communes Entre Bièvre et Rhône ainsi que le recours aux fonds propres de la CRIIRAD permettent de poursuivre la surveillance en continu de la radioactivité des aérosols (unité de détection alpha/bêta (air)) pour la balise. Le laboratoire de la CRIIRAD est intervenu :

- **le 21 mai**, pour remplacer le filtre aérosols de la balise,
- **les 5 et 6 juin**, respectivement pour rétablir la communication interrompue et mettre en service un nouvel onduleur pour le modem,
- **le 18 juin**, pour installer la climatisation dans le local pour la saison estivale.

² L'arrêt de cette surveillance permet des économies importantes car il n'est plus nécessaire d'intervenir chaque semaine pour remplacer la cartouche à charbon actif. Mais en conséquence, la CRIIRAD ne sera plus en capacité de déterminer l'activité volumique de l'iode 131 gazeux. La fonction d'alerte reste activée en cas d'augmentation de l'activité des aérosols émetteurs bêta et alpha, mais elle est dégradée par rapport au fonctionnement antérieur.

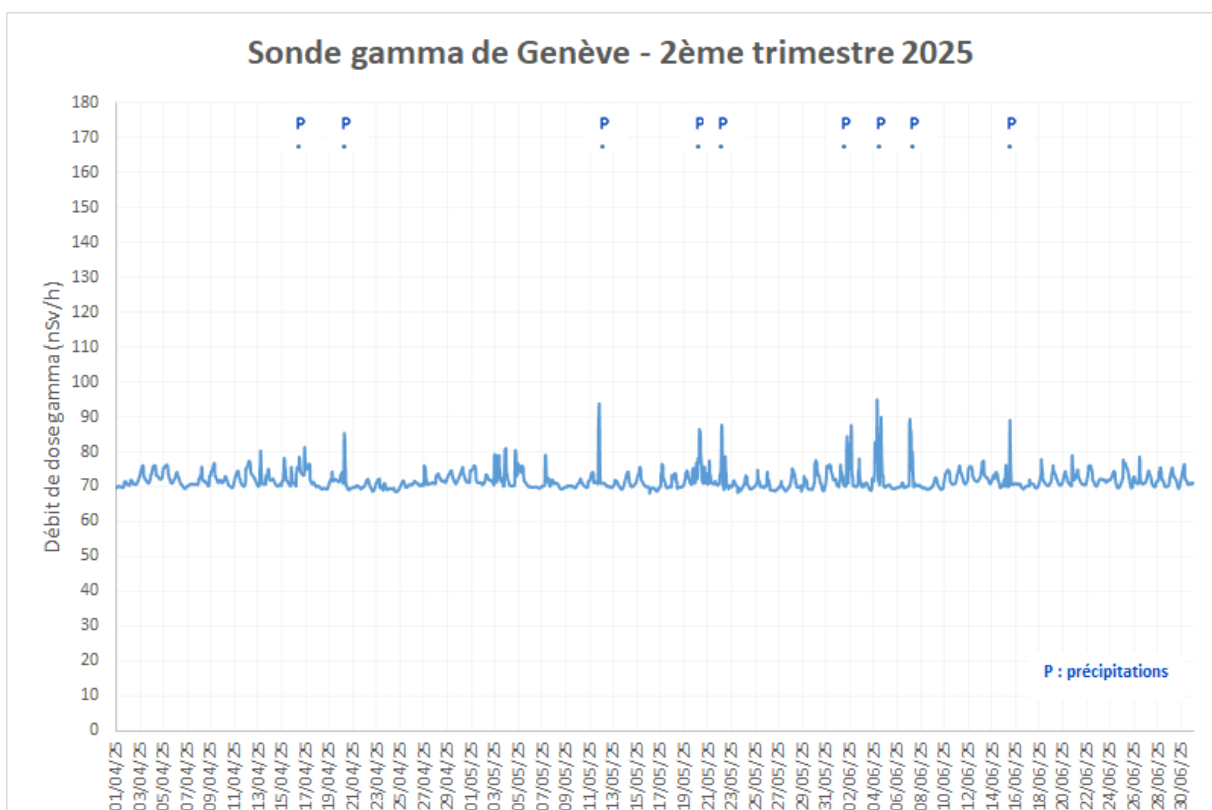
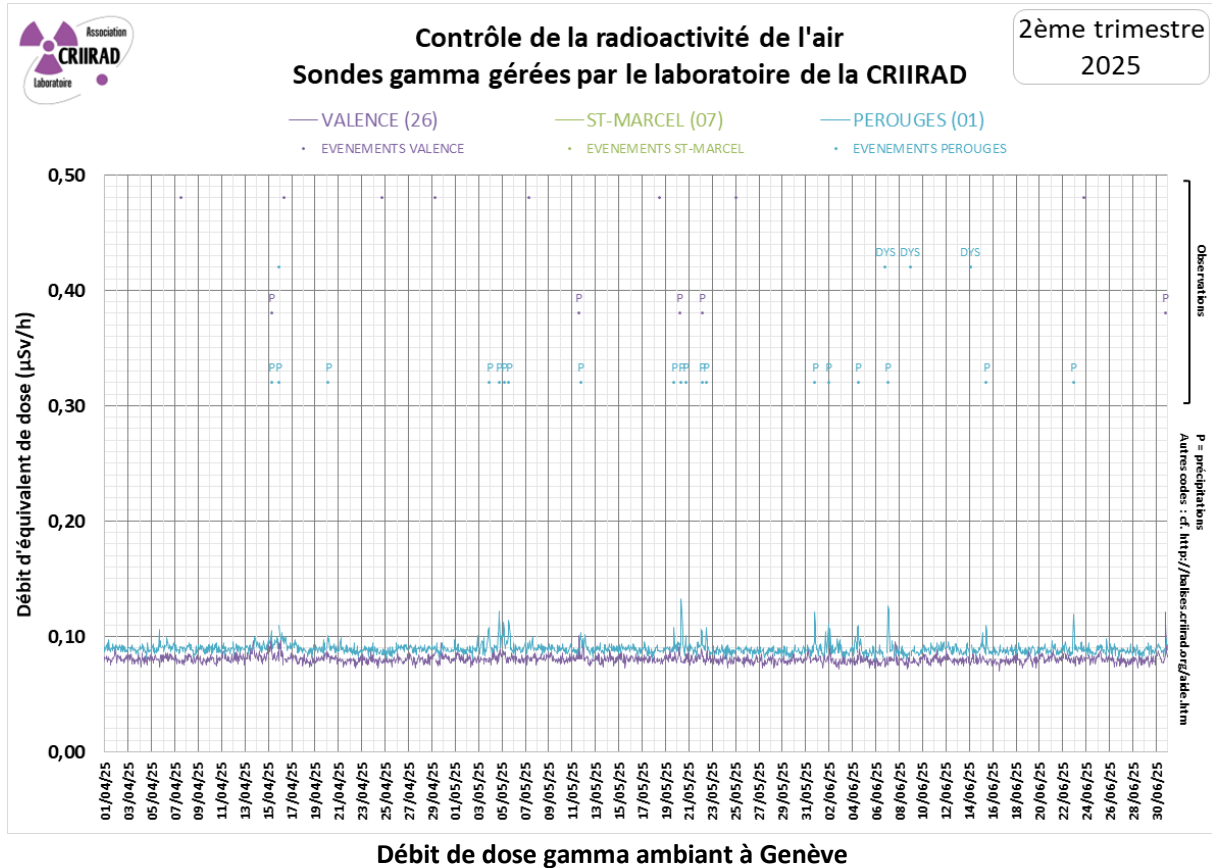
³ Les filtres seront analysés systématiquement en cas d'alarme sur les mesures directes.



RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

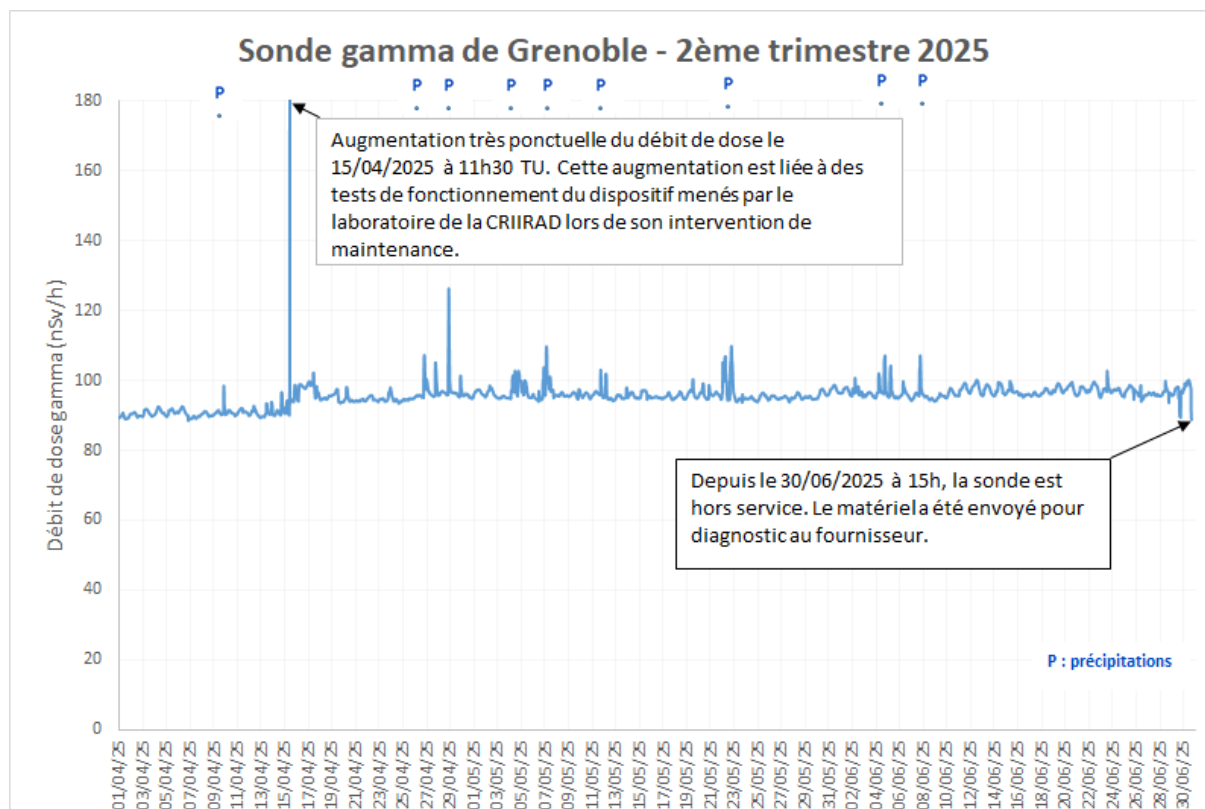
Les codes employés dans les graphiques ci-après sont explicités en annexe.

I/ Surveillance en continu du débit de dose gamma ambient

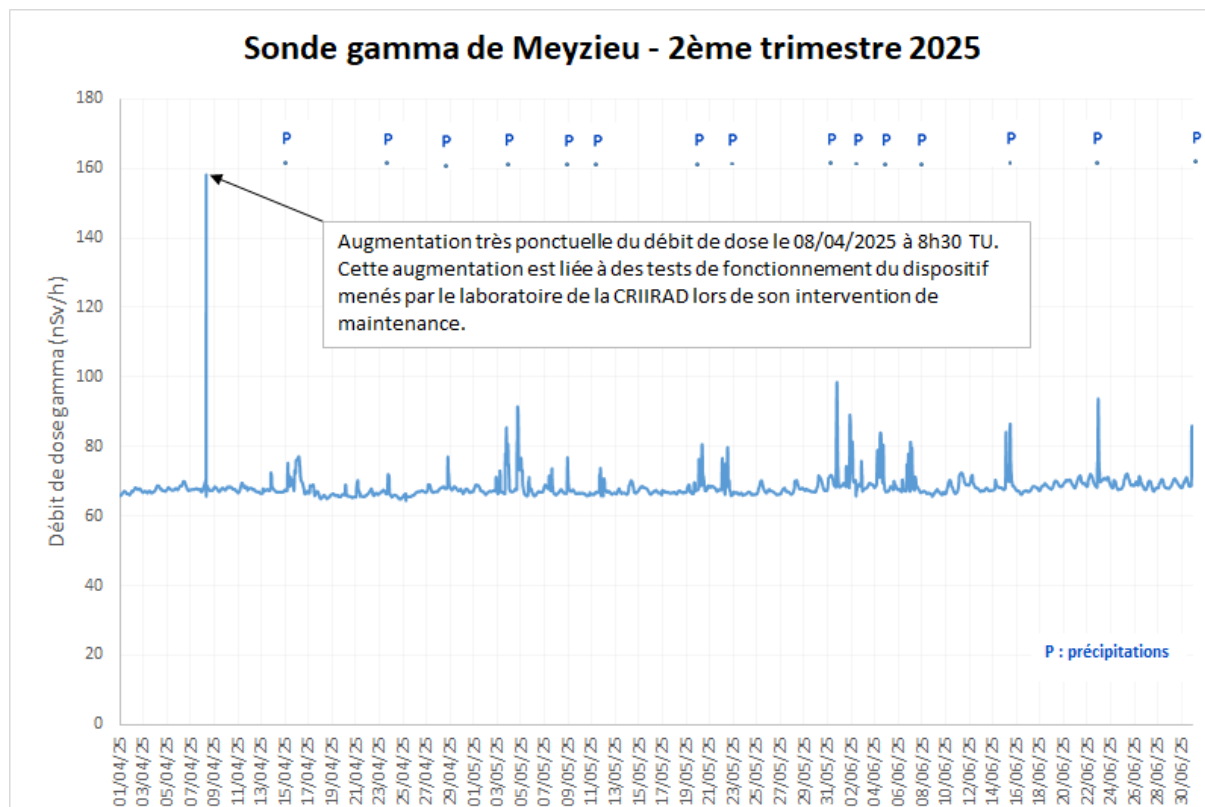




Débit de dose gamma ambiant à Grenoble

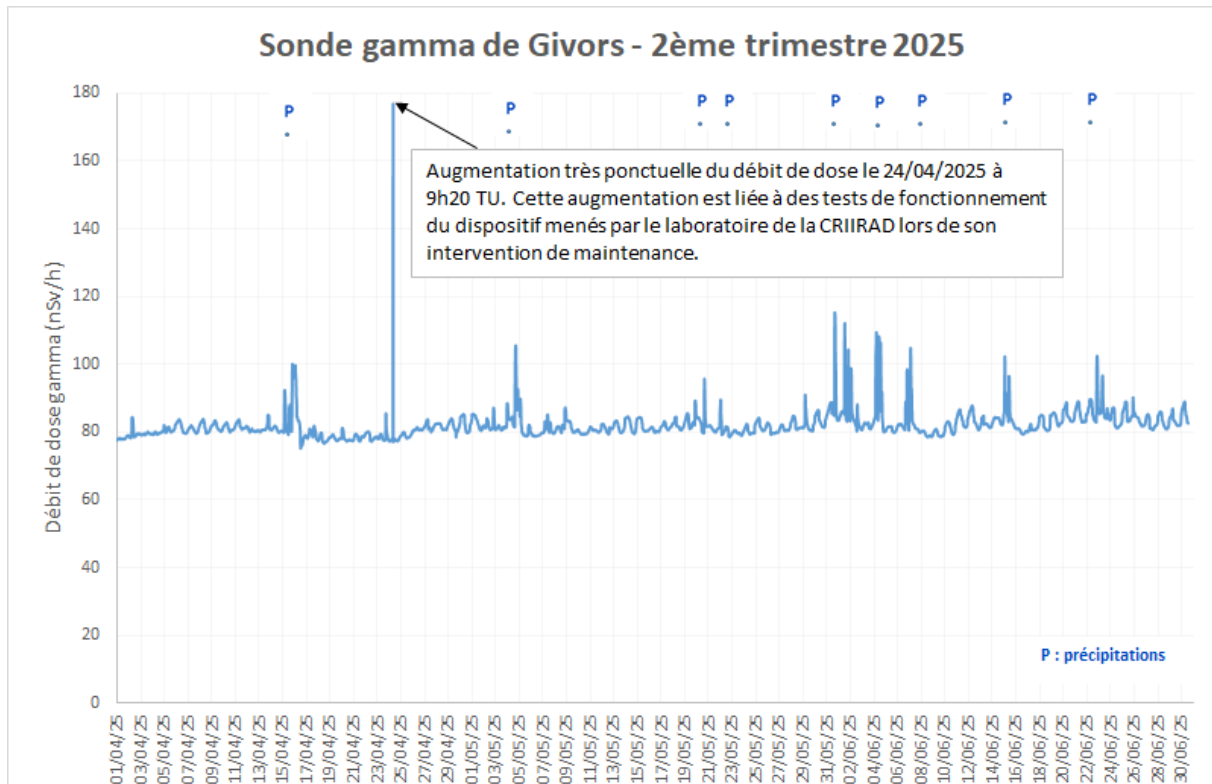


Débit de dose gamma ambiant à Meyzieu





Débit de dose gamma ambiant à Givors



Commentaires

A l'exception des pics pour les sondes de Grenoble, Meyzieu et Givors enregistrés respectivement les 15 avril, 8 avril et 24 avril lors d'interventions de maintenance par le laboratoire CRIIRAD, les débits de dose instantanés sont restés dans une gamme de variation normale pour les 5 sondes de mesure. Sur les secteurs de **Valence, Pérouges, Genève, Grenoble et Meyzieu**, le bruit de fond naturel moyen est classiquement de **0,065 à 0,100 $\mu\text{Sv/h}$** (ou de **65 à 100 nSv/h**).

Les fluctuations les plus importantes ont été observées lors d'épisodes de précipitations. Les plus notables sont survenues :

- le 28 avril (notamment 0,125 $\mu\text{Sv/h}$ ou 125 nSv/h à Grenoble) ;
- le 4 mai (notamment 0,091 $\mu\text{Sv/h}$ ou 91 nSv/h à Meyzieu, 0,115 $\mu\text{Sv/h}$ à Pérouges et 0,106 $\mu\text{Sv/h}$ ou 106 nSv/h à Givors) ;
- le 20 mai (notamment 0,133 $\mu\text{Sv/h}$ à Pérouges) ;
- le 31 mai (notamment 0,115 $\mu\text{Sv/h}$ ou 115 nSv/h à Givors et 0,097 $\mu\text{Sv/h}$ ou 97 nSv/h à Meyzieu) ;
- le 4 juin (notamment 0,095 $\mu\text{Sv/h}$ ou 95 nSv/h à Genève) ;
- le 30 juin (notamment 0,121 $\mu\text{Sv/h}$ à Valence).

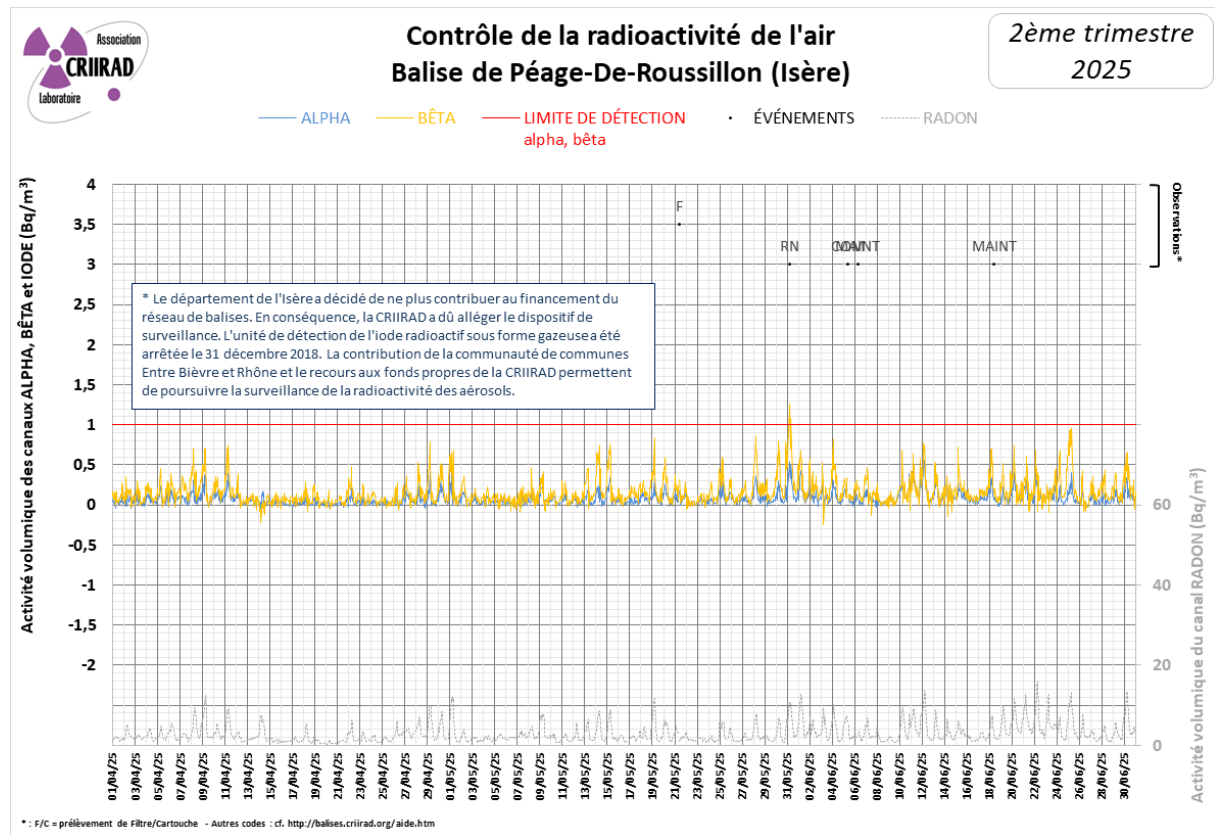
Lors de ces épisodes, les descendants radioactifs émetteurs gamma⁴ du radon 222 naturellement présents dans l'air sont lessivés et rabattus au sol, ce qui entraîne une augmentation de courte durée du débit de dose.

⁴ Plomb 214 et Bismuth 214 de périodes physiques égales respectivement à 27 minutes et à 20 minutes.

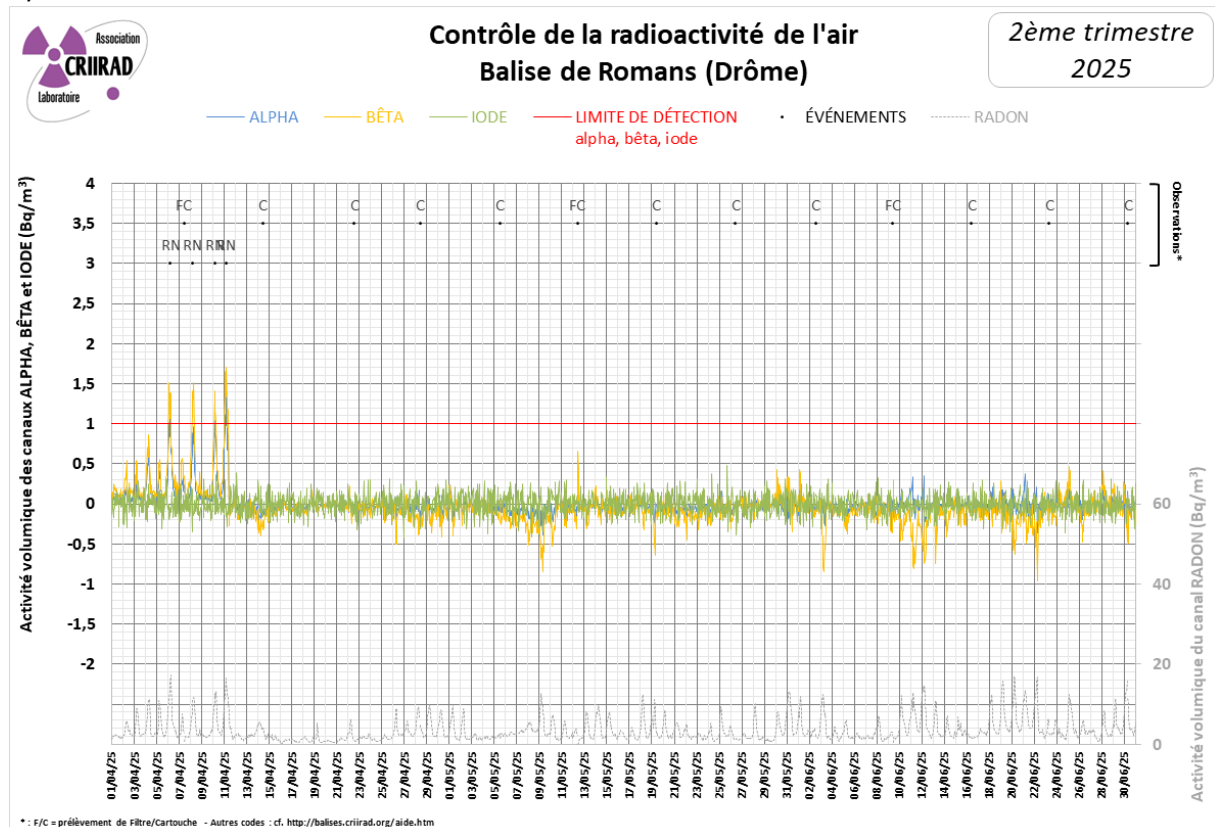


II/ Surveillance en continu de la radioactivité atmosphérique

A/ Balise de Péage de Roussillon

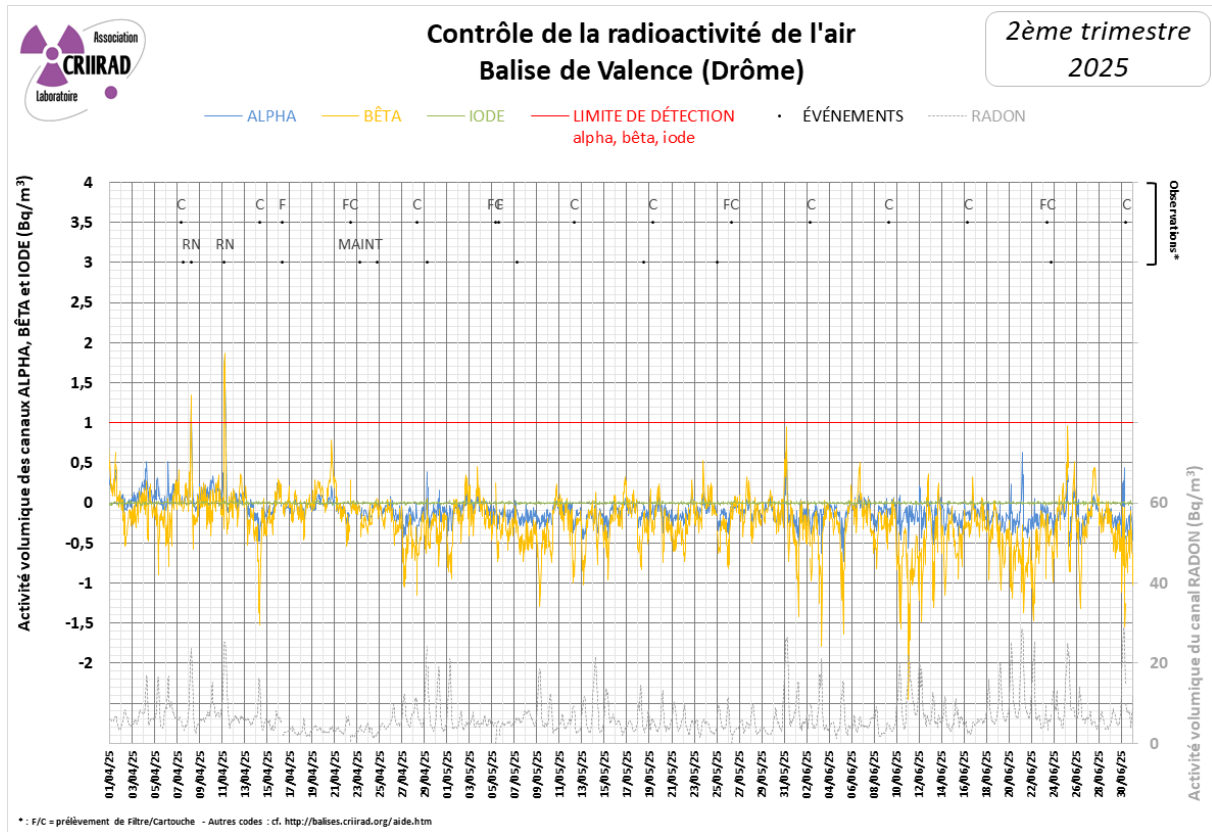


B/ Balise de Romans-sur-Isère

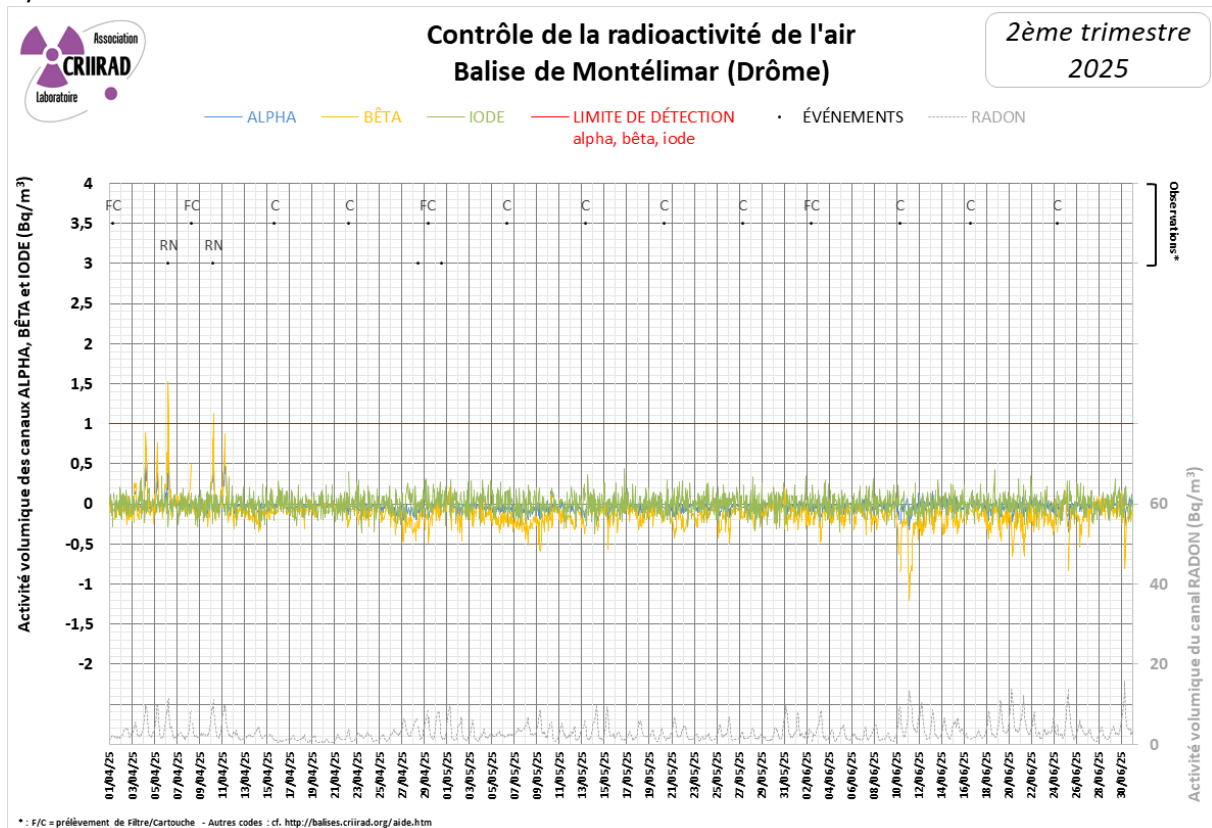




C/ Balise de Valence

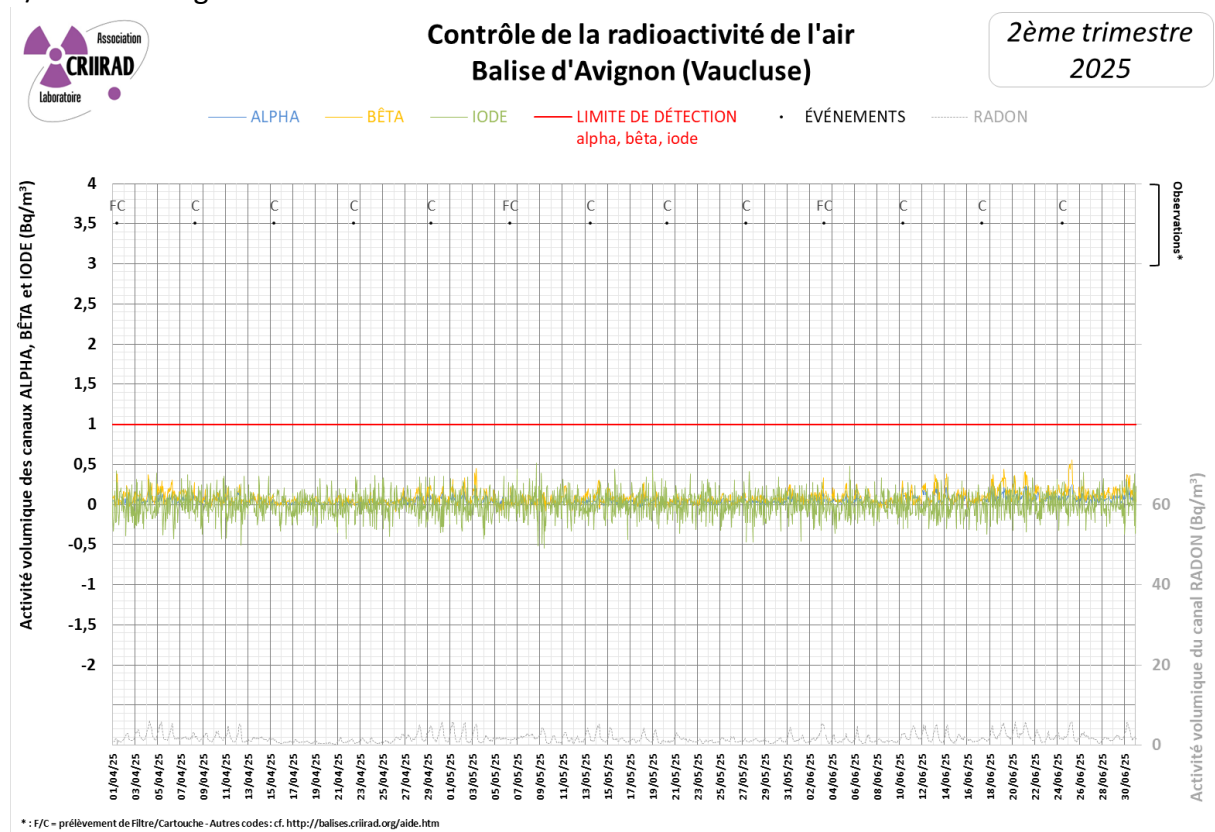


D/ Balise de Montélimar





E/ Balise d'Avignon



Commentaires

Aucune anomalie radiologique n'a été enregistrée par les balises de surveillance de la radioactivité atmosphérique.

A noter que la limite de détection (1 Bq/m^3) a été dépassée à plusieurs reprises (voir graphique en page 10) au cours du trimestre sur les voies alpha et/ou bêta direct des balises atmosphériques du **Péage-de-Roussillon** (le 31 mai), de **Romans-sur-Isère** (période du 6 au 11 avril), de **Valence** (les 8 et 11 avril) et de **Montélimar** (les 6 et 10 avril). Le laboratoire de la CRIIRAD a pu vérifier que ces dépassements n'étaient pas liés à une contamination, mais à des pics d'activité volumique en radon⁵ (par exemple, des activités volumiques maximales en radon de 13 Bq/m^3 le 31 mai à la balise du Péage-de-Roussillon, de 18 Bq/m^3 le 6 avril à la balise de Romans-sur-Isère, de 26 Bq/m^3 le 11 avril à la balise de Valence et de 12 Bq/m^3 le 6 avril à la balise de Montélimar ont été mesurées).

⁵ Il faut savoir que les voies alpha, bêta direct et radon sont mesurées par un seul détecteur. Un paramétrage fin permet de discriminer les impulsions mesurées par ce détecteur et de les imputer aux différentes voies : alpha artificiel, bêta artificiel direct, radon (naturel). Ce paramétrage est réglé de manière optimale pour de faibles concentrations en radon (généralement les concentrations mesurées sont inférieures à 10 Bq/m^3). Mais lors des pics de radon, il peut arriver que la discrimination ne s'effectue plus de manière correcte. La CRIIRAD intervient régulièrement pour optimiser le réglage mais il est difficile d'anticiper les conditions météorologiques à l'origine des fluctuations des concentrations en radon.



III/ Surveillance en continu de la radioactivité de l'eau du Rhône

La CRIIRAD avait mis en place avec le soutien financier de la Ville d'Avignon le système de surveillance de radioactivité de l'eau du Rhône en 1992 au niveau du site de la capitainerie puis transféré en 2009 au niveau du barrage de Sauveterre, géré par la Compagnie Nationale du Rhône. Ce matériel a atteint son seuil d'obsolescence et nécessite des travaux de maintenance, de mise à niveau et de réparation fréquente, ce qui l'immobilise très régulièrement.

La surveillance par la balise, arrêtée début 2025, est remplacée par un programme de prélèvements programmés et réguliers de l'eau du Rhône, ainsi que par des campagnes spécifiques sur la matrice aquatique (sédiments du Rhône, plantes aquatiques,...)

Les résultats de cette « nouvelle surveillance » sont détaillés dans la partie « Résultats des contrôles en différé au laboratoire de la CRIIRAD ».



RESULTATS DES CONTROLES EN DIFFERE AU LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

I/ Résultats des analyses de filtres par spectrométrie gamma

Media filtrant	Station	Air échantillonné		Date de prélèvement	Date d'analyse	Césium 137 (microBq/m ³)	Césium 134 (microBq/m ³)	Autres radionucléides artificiels émetteurs gamma* (microBq/m ³)
		du	au					
Filtre à aérosols (piégeage des poussières atmosphériques)	Romans	10/03/25 10:31	07/04/25 10:06	07/04/2025	07/04/25	< 10,0	< 16,0	< LD
	Romans	07/04/25 10:17	12/05/25 09:34	12/05/2025	12/05/25	< 8,0	< 10,0	< LD
	Romans	12/05/25 09:50	09/06/25 10:15	09/06/2025	09/06/25	< 9,0	< 14,0	< LD
	Valence	24/03/25 08:18	22/04/25 09:15	22/04/2025	22/04/25	< 14,0	< 18,0	< LD
	Valence	22/04/25 09:27	26/05/25 07:34	26/05/2025	26/05/25	< 9,0	< 11,0	< LD
	Valence	26/05/25 07:49	23/06/25 09:37	23/06/2025	23/06/25	< 10,0	< 14,0	< LD
	Montélimar	03/03/25 11:08	01/04/25 07:08	01/04/2025	01/04/25	< 9,0	< 15,0	< LD
	Montélimar	01/04/25 07:16	29/04/25 07:00	29/04/2025	29/04/25	< 10,0	< 13,0	< LD
	Montélimar	29/04/25 07:08	02/06/25 10:04	02/06/2025	03/06/25	< 13,0	< 10,0	< LD
	Avignon	04/03/25 09:11	01/04/25 08:51	01/04/2025	07/04/25	< 14,0	< 17,0	< LD
	Avignon	01/04/25 08:59	06/05/25 08:09	06/05/2025	09/05/25	< 3,0	< 5,0	< LD
	Avignon	06/05/25 08:16	03/06/25 08:01	03/06/2025	06/06/25	< 9,0	< 14,0	< LD

Les résultats sont exprimés en microbecquerels par mètre cube d'air à la date de mesure.

(*) Parmi les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma relevés (liste non exhaustive) figurent notamment le manganèse 54, le cobalt 60, le ruthénium-rhodium 106, l'iode 129, l'iode 131, l'américium 241,... les limites de détection typiques sont de l'ordre de 3 à 65 microbecquerels par mètre cube d'air.

Commentaires :

L'activité des radionucléides artificiels émetteurs gamma recherchés est restée inférieure aux limites de détection dans les analyses de filtres aérosols.

II/ Résultats des analyses de cartouches par spectrométrie gamma

Media filtrant	Station	Air échantillonné		Date de prélèvement	Date d'analyse	Iode 131 (microBq/m ³)	Autres radionucléides artificiels émetteurs gamma* (microBq/m ³)
		du	au				
Cartouche de charbon actif (piégeage spécifique de la forme gazeuse de l'iode 131)	Romans	31/03/25 10:19	07/04/25 10:06	07/04/2025	08/04/25	< 120	< LD
	Romans	05/05/25 12:26	12/05/25 09:34	12/05/2025	13/05/25	< 120	< LD
	Romans	02/06/25 13:07	09/06/25 10:15	09/06/2025	10/06/25	< 130	< LD
	Valence	20/01/25 08:50	27/01/25 08:22	27/01/2025	27/01/25	< 80	< LD
	Valence	17/02/25 08:01	24/02/25 08:14	24/02/2025	24/02/25	< 100	< LD
	Valence	14/04/25 07:46	22/04/25 09:15	22/04/2025	23/04/25	< 110	< LD
	Valence	19/05/25 07:34	26/05/25 07:34	26/05/2025	26/05/25	< 190	< LD
	Valence	16/06/25 07:59	23/06/25 09:37	23/06/2025	24/06/25	< 110	< LD
	Montélimar	25/03/25 07:56	01/04/25 07:08	01/04/2025	02/04/25	< 110	< LD
	Montélimar	22/04/25 06:59	29/04/25 07:00	29/04/2025	30/04/25	< 120	< LD
	Montélimar	27/05/25 06:57	02/06/25 10:04	02/06/2025	03/06/25	< 130	< LD
	Avignon	27/05/25 08:23	03/06/25 08:01	03/06/2025	04/06/25	< 120	< LD

Les résultats sont exprimés en microbecquerels par mètre cube d'air à la date de mesure. Il convient de préciser que ces résultats représentent une activité moyenne calculée en supposant une contamination homogène sur la période d'exposition de la cartouche (généralement 6 ou 7 jours). En cas de contamination ponctuelle au cours de la période, il peut être nécessaire d'appliquer des facteurs correctifs.

(*) Parmi les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma relevés (liste non exhaustive) figurent notamment le manganèse 54, le cobalt 60, le ruthénium 106, l'iode 129, le césium 134, le césium 137, l'américium 241,... les limites de détection typiques sont de l'ordre de 70 à 800 microbecquerels par mètre cube d'air.



Commentaires :

L'activité des radionucléides artificiels émetteurs gamma recherchés est restée inférieure aux limites de détection dans les analyses de cartouches.

III/ Résultats des analyses de prélèvements radio-écologiques dans la matrice aquatique

Comme signalé en page 12, la balise de surveillance de la radioactivité de l'eau du Rhône située à Avignon a été arrêtée début 2025 et a été remplacée par un programme de prélèvements d'échantillons environnementaux dans la matrice aquatique. Ce programme prévoit pour ce trimestre les résultats de suivi du tritium pour des échantillons d'eau prélevés dans le Rhône.

Un échantillon d'eau du Rhône a été prélevé à une fréquence bimensuelle 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 l'intermédiaire du laboratoire de la CRIIRAD. 7 échantillons d'eau ont été prélevés ce trimestre.

Trimestre	Date de prélèvement	Date de comptage	Traitement	Activité en tritium total (Bq/l)
2 ^e trimestre	01/04/2025 10:36	05/05/2025	Filtration	3,2 ± 1,6
2 ^e trimestre	15/04/2025 09:52	23/07/2025	Filtration	6,2 ± 1,8
2 ^e trimestre	29/04/2025 10:30	23/07/2025	Filtration	< 1,4
2 ^e trimestre	13/05/2025 14:49	23/07/2025	Filtration	< 1,4
2 ^e trimestre	27/05/2025 10:00	23/07/2025	Filtration	1,9 ± 1,6
2 ^e trimestre	10/06/2025 09:38	23/07/2025	Filtration	3,5 ± 1,6
2 ^e trimestre	24/06/2025 00:00	23/07/2025	Filtration	4,8 ± 1,7

Le tritium étant un radionucléide émetteur bêta pur, il est recherché au moyen d'un comptage par scintillation liquide sur eau filtrée (sans distillation).

Commentaires :

Le tritium est détecté sur 5 des 7 échantillons trimestriels. Les activités de tritium, lorsqu'il est détecté, sont comprises entre 1,9 et 6,2 Bq/l (maximum mesuré dans l'échantillon prélevé le 15 avril). Ces résultats suggèrent un impact des installations nucléaires situées le long de la Vallée du Rhône, Avignon étant situé en aval de toutes ces installations.

Le tritium (isotope radioactif de l'hydrogène) représente en effet plus de 99,9 % des rejets radioactifs liquides effectués par les centrales électronucléaires. Les rejets annuels de tritium sont de plusieurs dizaines de TBq par centrale (1 TBq = mille milliards de Bq).

L'étude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD en 2007 a montré une contamination chronique des végétaux aquatiques du Rhône par le tritium organiquement lié. Voir <http://www.criirad.org/radioactivite-milieu-aquatique/eaux-de-surface/sommaire.html>.



Le tritium présent dans l'eau est transféré en partie à la faune et à la flore aquatique ainsi qu'au milieu terrestre, à la chaîne alimentaire (irrigation, boisson) et in fine à l'homme. Les rejets des installations nucléaires de la vallée du Rhône induisent ainsi une contamination chronique de l'environnement.

L'évaluation des conséquences biologiques de cette contamination fait l'objet de vives controverses dans la communauté scientifique.



EN SAVOIR PLUS SUR LES BALISES

Fonctionnement d'une balise atmosphérique, Fonctionnement d'une balise aquatique, consulter notre site internet à l'adresse : <http://balises.criirad.org/aide.htm>.

FOCUS : ÉVALUER LES DOSES LIÉES À LA CONSOMMATION DE DENRÉES CONTAMINÉES

***Rédaction : Julien SYREN, CRIIRAD. Le contenu ci-dessous est extrait d'un document réalisé pour la Ville de Genève et destiné à tout public.**

L'évaluation des doses comporte 3 étapes :

- 1/ Déterminer l'activité massique (Bq/kg) des radionucléides contenus dans les aliments
- 2/ Estimer l'activité ingérée (Bq) en fonction de la masse d'aliments consommés
- 3/ Déterminer la dose efficace (Sv) à partir des coefficients de dose

Connaître la radioactivité des aliments

La principale méthode employée pour mesurer l'activité massique des aliments est la spectrométrie gamma. Cette technique permet d'identifier les radionucléides contenus dans l'échantillon à partir de l'énergie des rayonnements gamma qu'ils émettent, et de les quantifier, en Bq/kg pour les solides ou Bq/l pour les liquides.

La spectrométrie gamma ne permet toutefois pas de détecter les radionucléides qui n'émettent pas ou trop peu de rayonnements gamma, par exemple le strontium 90 ou le plutonium 239, radionucléides pouvant être rejetés en cas d'accident nucléaire et qui ne peuvent être mesurés qu'avec des techniques spécifiques.

Remarque : un radiamètre grand public (par exemple un compteur Geiger-Müller) n'est pas adapté pour quantifier les radionucléides contenus dans les aliments.

Les résultats d'une analyse par spectrométrie gamma font généralement l'objet d'un rapport d'essai, sur lequel ils sont exprimés de la manière suivante.

Lorsque le radionucléide est détecté, l'activité massique est assortie d'une incertitude. Par exemple, 100 ± 20 Bq/kg signifie que le résultat est compris entre 80 et 120 Bq/kg, et la valeur la plus probable est 100 Bq/kg⁶ ;

Lorsque le radionucléide n'est pas détecté, le résultat est exprimé par rapport à une limite de détection. Par exemple, < 10 Bq/kg signifie que le résultat réel est compris entre 0 et 10 Bq/kg⁷ mais on ne peut pas garantir que le radionucléide soit absent. Pour estimer les doses liées à une activité inférieure à une limite de détection, l'approche la plus prudente consiste à utiliser une valeur égale à la limite de détection (ici 10 Bq/kg). Prendre la moitié de la limite de détection peut être un bon compromis.

Il peut s'avérer difficile, notamment en situation accidentelle, de disposer rapidement de résultats d'analyse représentatifs des aliments consommés, pour tous les radionucléides.

Evaluer les doses

Afin de **convertir une activité (en Bq) en une dose efficace (en Sv)**, des coefficients de « **dose efficace engagée** » par unité incorporée ont été définis par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)⁸ et repris dans les réglementations de l'Union Européenne⁹ et de la Suisse¹⁰.

⁶ Généralement le résultat est exprimé avec un intervalle de confiance de 95% : il y a 95% de chances que le résultat se situe dans les bornes de l'intervalle de confiance (dans l'exemple pris les bornes sont 80 et 120 Bq/kg).

⁷ Ou plutôt (dans le cas d'un intervalle de confiance de 95%), il y a 95% de

⁸ ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119.

⁹ Directive 96/29.

¹⁰ Ordonnance sur la radioprotection du 26 avril 2017 (814.501).



Qu'est-ce qu'une « dose efficace engagée » ?

Une dose est dite « efficace » lorsqu'elle prend en compte l'impact des rayonnements ionisants sur tous les organes, en fonction de leur radiosensibilité et des types de rayonnement qui les atteignent.

Une dose est dite « engagée » lorsqu'elle prend en compte l'impact des rayonnements ionisants émis par les radionucléides pendant les 50 ans suivant leur absorption pour les adultes et jusqu'à l'âge de 70 ans pour les enfants.

Par exemple, pour un enfant de 5 ans, le coefficient de dose efficace engagée du plutonium 239 (période physique : 24 100 ans) est de 0,33 $\mu\text{Sv/Bq}$. Si l'enfant ingère 1 000 Bq de Pu 239, il sera exposé à 330 μSv . Cette valeur rend compte de la dose de rayonnement qui sera délivrée par ces 1 000 Bq à tous les organes radiosensibles où le plutonium 239, radionucléide de longue période qui reste pratiquement fixé à vie dans l'organisme, se concentre (notamment les surfaces osseuses, le foie, la moelle osseuse, les gonades), et ce jusqu'à 70 ans (soit pendant 65 ans).

Des coefficients variables

Des coefficients ont été établis pour chaque radionucléide. Ils varient selon la voie d'exposition (inhalation, ingestion), la catégorie (public, travailleurs) et, dans le cas du public, la tranche d'âge (moins d'1 an, 1 à 2 ans, 2 à 7 ans, 7 à 12 ans, 12 à 17 ans et plus de 17 ans).

La présente fiche concerne les coefficients de dose « ingestion » pour le public.

Le tableau ci-dessous liste les coefficients de 5 radionucléides parmi les plus préoccupants en cas d'accident nucléaire : strontium 90, iode 131, césium 134, césium 137, plutonium 239. Les autres coefficients sont consultables dans les textes précités.

Coefficients de dose incorporée par ingestion pour les personnes du public ($\mu\text{Sv/Bq}$)							
Radionucléide	Période physique	≤ 1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	> 17 ans
		$\mu\text{Sv/Bq}$	$\mu\text{Sv/Bq}$	$\mu\text{Sv/Bq}$	$\mu\text{Sv/Bq}$	$\mu\text{Sv/Bq}$	$\mu\text{Sv/Bq}$
Strontium 90	29,1 ans	0,230	0,073	0,047	0,060	0,080	0,028
Iode 131	8,04 jours	0,180	0,180	0,100	0,052	0,034	0,022
Césium 134	2,06 ans	0,026	0,016	0,013	0,014	0,019	0,019
Césium 137	30,0 ans	0,021	0,012	0,010	0,010	0,013	0,013
Plutonium 239	24 100 ans	4,200	0,420	0,330	0,270	0,240	0,250

Source : Directive Euratom 96/29

Si vous utilisez les tableaux officiels, vous trouverez les coefficients exprimés en Sv/Bq et écrits en affichage scientifique, par exemple $2,3 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq.

Pour plus de lisibilité, les coefficients peuvent être écrits en millisieverts (mSv) ou microsieverts (μSv) par becquerel, avec :
 $1 \text{ Sv} = 1\,000 \text{ mSv} = 1\,000\,000 \mu\text{Sv}$.

Pour convertir les Sv/Bq en $\mu\text{Sv/Bq}$, il faut multiplier les valeurs par 1 000 000, par exemple : $2,3 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq = 0,00000023 Sv/Bq = 0,23 $\mu\text{Sv/Bq}$ ¹¹.

Exemple de calcul

Prenons le cas d'épinards contenant :

- 700 Bq/kg de strontium 90 (Sr 90),
- 1 500 Bq/kg d'iode 131 (I 131),
- 300 Bq/kg de césium 134 (Cs 134),
- 500 Bq/kg de césium 137 (Cs 137),
- 10 Bq/kg de plutonium 239 (Pu 239).

¹¹ Transformation de l'affichage scientifique en affichage classique : $2,3 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq = $2,3/10^7$ = 2,3/10000000 (1 suivi de 7 zéros) = 0,00000023 Sv/Bq

Conversion : 0,00000023 Sv/Bq x 1000000 = 0,23 $\mu\text{Sv/Bq}$



Un adulte consommant une ration de 300 grammes (0,3 kg) va ingérer les **activités** suivantes :

- $700 \times 0,3 = 210$ Bq de Sr 90,
- $1\,500 \times 0,3 = 450$ Bq d'I 131,
- $300 \times 0,3 = 90$ Bq de Cs 134,
- $500 \times 0,3 = 150$ Bq de Cs 137,
- $10 \times 0,3 = 3$ Bq de Pu 239.

D'après le tableau ci-dessus, les **coefficients de dose** incorporée par ingestion sont, pour un adulte :

- 0,028 μ Sv/Bq pour le Sr 90,
- 0,022 μ Sv/Bq pour l'I 131,
- 0,019 μ Sv/Bq pour le Cs 134,
- 0,013 μ Sv/Bq pour le Cs 137,
- 0,250 μ Sv/Bq pour le Pu 239.

Pour déterminer la **dose efficace** liée à l'ingestion de chacun des radionucléides, il faut multiplier l'activité du radionucléide par le coefficient de dose correspondant, ce qui donne :

- $210 \times 0,028 = 5,88$ μ Sv pour le Sr 90,
- $450 \times 0,022 = 9,90$ μ Sv pour l'I 131,
- $90 \times 0,019 = 1,71$ μ Sv pour le Cs 134,
- $150 \times 0,013 = 1,95$ μ Sv pour le Cs 137,
- $3 \times 0,250 = 0,75$ μ Sv pour le Pu 239.

En faisant la somme des doses délivrées par les 5 radionucléides, on obtient la dose totale liée à l'ingestion des 300 grammes d'épinards, soit **20 μ Sv** (20,19).

Si le consommateur n'est pas un adulte mais un adolescent, la dose efficace est portée à **36 μ Sv** car les coefficients de dose sont plus élevés (en supposant une consommation équivalente à celle d'un adulte).

Pour un enfant de 1 à 2 ans, les coefficients de dose sont encore supérieurs, mais la quantité de nourriture ingérée est généralement moins importante. Pour une portion de 80 grammes au lieu de 300, on obtient une dose efficace de **27 μ Sv**.

Après un accident, pour estimer la dose efficace totale liée à l'ingestion, il faut répéter le processus avec tous les autres aliments à risque du même repas, ainsi que de tous les autres repas pris pendant la durée de contamination.



Les retombées radioactives peuvent contaminer particulièrement les légumes à larges feuilles tels que les épinards

Les limites de cette approche

Les effets biologiques liés à l'incorporation d'un radionucléide diffèrent en fonction de nombreux paramètres : caractéristiques physico-chimiques du radionucléide, rayonnements émis lors de sa désintégration, organes touchés, caractéristiques anatomiques et physiologiques individuelles, ...



Les coefficients de dose proposés par la CIPR correspondent à la simplification d'une situation complexe et comportent d'importantes incertitudes.

Ces coefficients évoluent logiquement en fonction de l'avancée des connaissances. Les coefficients actuels sont parus au cours des années 1990 ; une refonte est en cours, à partir des bases définies dans la publication 103 de la CIPR (2007).

Compte tenu de ces éléments, les coefficients doivent être pris avec précaution. Il faut souligner que l'évaluation des doses efficaces est effectuée par rapport à un individu de référence et ne rend pas compte des particularités individuelles.

En ajoutant la dose liée à l'ingestion aux doses induites par les autres voies d'exposition (inhalation, exposition interne, ...), on obtient la dose efficace globale qui peut être comparée à des limites et valeurs de référence réglementaires qui sont, pour le public :

- 1 mSv par an en situation normale¹²,
- 100 mSv pour une situation d'urgence,
- 20 mSv par an en phase post-accidentelle.

Toutefois, compte tenu des difficultés d'obtention des résultats d'analyse, et de l'insuffisance des garanties apportées par les niveaux maximaux admissibles (NMA) de contamination des aliments mis sur le marché, il est important, en cas d'accident nucléaire, de choisir en priorité des aliments a priori non impactés.

¹² Cette limite s'applique au cumul des expositions aux rayonnements ionisants générés par l'ensemble des activités nucléaires.



ANNEXE : Interprétation des graphiques présentant les résultats du réseau de balises de la CRIIRAD

Une codification a été mise en place sur les graphiques mis en ligne, au niveau de l'encart « Observations », pour renseigner des événements particuliers. Cette codification est explicitée ci-dessous.

A/ Les balises sont des outils de surveillance de la radioactivité fonctionnant 24h/24 toute l'année. Ce fonctionnement en continu est nécessairement rythmé par la survenue d'événements programmés tout au long de l'année (prélèvements hebdomadaires aux balises atmosphériques, interventions de maintenance), voir tableau A.

B/ Il peut se produire également des événements non programmés (dysfonctionnements mécaniques ou électroniques, pannes,...), voir tableau B.

C/ Lorsque des résultats de mesure sont atypiques, ils font l'objet d'une codification explicitée dans le tableau C.

CODIFICATION DES EVENEMENTS SURVENANT AUX BALISES	
<i>Tableau A / Evénements techniques programmés (prélèvement hebdomadaire aux balises atmosphériques, maintenance,...)</i>	
C	Prélèvement de la cartouche à charbon actif (balise atmosphérique) : la fréquence de prélèvement est hebdomadaire. Des prélèvements en urgence sont effectués si nécessaire.
F	Prélèvement du filtre aérosols (balise atmosphérique) : la fréquence de prélèvement est mensuelle, sauf s'il est nécessaire de remplacer le rouleau de filtre ou en cas d'anomalie nécessitant une intervention en urgence.
F/C	Prélèvement simultané du filtre aérosols et de la cartouche à charbon actif (balise atmosphérique)
MAINT	Intervention de maintenance du laboratoire CRIIRAD et/ou d'un prestataire



CODIFICATION DES EVENEMENTS SURVENANT AUX BALISES	
<i>Tableau B / Evénements techniques non programmés (dysfonctionnements techniques, pannes, arrêt balise...)</i>	
COM	Problème de communication pour la transmission des données entre la balise et la centrale de gestion nécessitant ou ayant nécessité une (des) intervention(s) à la balise
DYS	Dysfonctionnement technique (rupture de filtre aérosols, arrêt d'une pompe, panne électronique, panne de compresseur, ...)
.	Arrêt ponctuel de la balise, pour une durée inférieure à 6 heures (typiquement : coupure de l'alimentation électrique ponctuelle)
[	Début de période d'arrêt de la balise (dans le cas d'un arrêt d'une durée supérieure à 6 heures)
]	Fin de période d'arrêt de la balise (dans le cas d'un arrêt d'une durée supérieure à 6 heures)
AUTRE	Evénement ne rentrant pas dans une des catégories précédemment citées

CODIFICATION DES EVENEMENTS SURVENANT AUX BALISES	
<i>Tableau C/ Résultats de mesure sortant de l'ordinaire</i>	
RN	Dépassement(s) alpha et (ou) bêta direct (balises atmosphériques) lié(s) à un pic d'activité volumique en radon
P	Pic d'activité volumique (balise aquatique d'Avignon) ou pic de débit de dose gamma ambiant (sondes gamma) en lien avec des épisodes de précipitations ou des crues (lessivage des descendants émetteurs gamma du radon)
CONT-S	Contamination suspectée, analyses complémentaires en cours
CONT-A	Contamination avérée, voir document spécifique

Auteur : Jérémie Motte, Ingénieur environnement, Responsable du service balises au laboratoire de la CRIIRAD

Approbation : Bruno Chareyron, Ingénieur en physique nucléaire, Directeur du laboratoire CRIIRAD.



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 (voir portée de l'agrément sur le site <http://www.criirad.org/laboratoire/agrements.html>). Le laboratoire comprend notamment un service dédié à la gestion des réseaux de balises de contrôle en continu de la radioactivité dans l'environnement. Six scientifiques et techniciens assurent le fonctionnement de ce service.



CONSEILLER SCIENTIFIQUE

Bruno CHAREYRON



RESPONSABLE DU SERVICE DE GESTION

DES BALISES

Jérémie MOTTE



CO-DIRECTEUR

Julien SYREN



CO-DIRECTRICE

Marion JEAMBRUN



TECHNICIENNE ENVIRONNEMENT

Colette BEY



SCRUTATION DES DONNEES

Stéphane MONCHÂTRE

EQUIPE D'ASTREINTE

Colette BEY, Bruno CHAREYRON, Marion JEAMBRUN, Jérémie MOTTE, Julien SYREN.