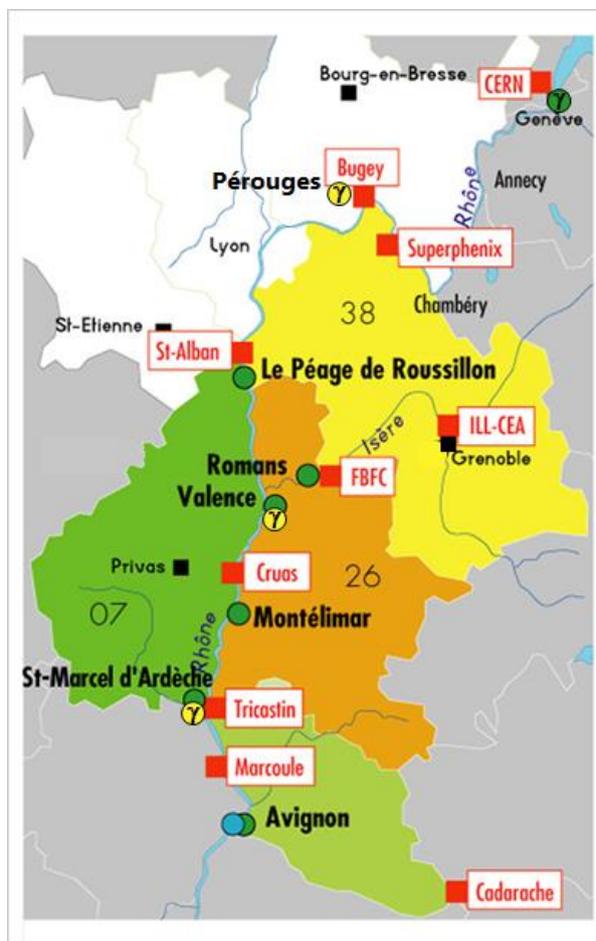


SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE ATMOSPHERIQUE ET AQUATIQUE

RESEAU DE BALISES CRIIRAD

Rapport N° 21-01

RAPPORT TRIMESTRIEL JUILLET-AOUT-SEPTEMBRE 2020



- Balises d'air en fonctionnement
- Sondes Gamma
- Sonde de spectrométrie Gamma
- Balise d'eau d'Avignon
- Installations nucléaires



Communes du réseau Montilien

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

Document réalisé par le **laboratoire de la CRIIRAD**
pour les partenaires du **réseau de balises**

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
SYNTHESE – FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE BALISES CRIIRAD	3
I/ Synthèse des résultats / Taux de fonctionnement par système de détection - Troisième trimestre 2020	3
II/ A signaler au cours du trimestre	3
RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU	6
I/ Surveillance en continu du débit de dose gamma ambient	6
II/ Surveillance en continu de la radioactivité atmosphérique	8
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.....	14
III/ Résultats des analyses du prélèvement trimestriel de l'eau du Rhône.....	14
EN SAVOIR PLUS sur les balises	15
FOCUS : Trois unités pour la radioactivité et ses effets	16
ANNEXE : Interprétation des graphiques présentant les résultats du réseau de balises de la CRIIRAD	20
LABORATOIRE CRIIRAD	22

	EMETTEUR	APPROBATION
Nom - Fonction	J. Motte (responsable du service balises)	J. Syren (responsable du service radon)
Date	10/02/2021	10/02/2021
Signature		

SYNTHESE – FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE BALISES CRIIRAD

I/ Synthèse des résultats / Taux de fonctionnement par système de détection - Troisième trimestre 2020

Aucune anomalie radiologique n'a été mise en évidence au cours du troisième trimestre 2020.

BALISE DETECTION	Pérouges	Péage-de-Roussillon	Romans-sur-Isère	Valence	Montélimar
Alpha/Bêta (Air)		98%	100%	76%	100%
Iode (Air)		0%	100%	76%	100%
Gamma (Air)	100%			76%	

Légende

	90 %	Aucune contamination détectée / Taux de fonctionnement*
	90 %	Contamination détectée / Taux de fonctionnement*
		Problème technique ponctuel ou maintenance

BALISE DETECTION	Genève	Saint-Marcel d'Ardèche	Avignon Air	Avignon Eau
Alpha/Bêta (Air)		99%	100%	
Iode (Air)		0%	100%	
Gamma (Air)		99%		
Spectrométrie Gamma (Air)	100%			
Gamma (Eau)				100%

Légende

	90 %	Aucune contamination détectée / Taux de fonctionnement*
	90 %	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 :** au cours du trimestre, des arrêts de l'alimentation électrique se sont produits à la balise de Péage-de-Roussillon (à une reprise le 23 juillet), à la balise de Saint-Marcel d'Ardèche (à une reprise le 10 juillet), à la balise de Montélimar (à une reprise le 30 juillet), à la balise

aquatique d'Avignon (à une reprise le 9 août) et à la balise de Valence (à 9 reprises¹). Ces arrêts ont été systématiquement inférieurs à 3 heures.

- **Absence de communication aux balises** : des arrêts de communication avec la centrale de gestion sont survenus à 4 reprises à la balise de Péage-de-Roussillon, les 1^{er} et 21 juillet et les 16 et 26 août², à une reprise à la balise de Valence le 5 juillet, à une reprise à la balise atmosphérique d'Avignon le 21 août et à une reprise à la balise de Saint-Marcel d'Ardèche le 3 septembre. Des interventions techniques sur site ont été à chaque fois nécessaires pour rétablir la communication, par réinitialisation du modem et de l'électronique de la balise. Ces opérations ont été effectuées par les services techniques de la Ville d'Avignon pour la balise d'Avignon et par un technicien du laboratoire CRIIRAD pour les autres balises. A noter que l'intervention du laboratoire de la CRIIRAD du 3 septembre à la balise de Saint-Marcel d'Ardèche n'a pas permis de résoudre immédiatement le dysfonctionnement. L'interruption de communication entre cette balise et la centrale de gestion était en effet liée à une défaillance de la ligne téléphonique, qui a été rétablie par l'opérateur le 9 septembre. Les données mesurées entre le 3 septembre 18h TU et le 4 septembre 10h TU ont été toutefois perdues du fait de la saturation de la mémoire tampon (de 5 jours) de la balise.

- **Dysfonctionnements de l'électronique (balises de Saint-Marcel d'Ardèche et de Valence)** : un dysfonctionnement important est survenu sur l'électronique de la balise de Valence à partir du 11 juillet suite à un épisode orageux : il s'est d'abord manifesté par une absence de communication avec la centrale de gestion, puis par une absence de valeurs au niveau du détecteur aérosols et enfin l'arrêt du rack électronique. Le dysfonctionnement était lié à une défaillance de l'alimentation électrique du rack électronique et d'un deuxième composant électronique. Le remplacement de ces 2 composants le 31 juillet a permis de résoudre le dysfonctionnement.

D'autres dysfonctionnements, moins importants, sont survenus aux balises de Saint-Marcel d'Ardèche et de Valence respectivement les 21 août et 24 septembre, et se sont caractérisés par une absence de chargement de nouvelles valeurs à la centrale de gestion située dans les locaux de la CRIIRAD. Cette anomalie était liée à un dysfonctionnement de la carte électronique générale de commande (CPU) de la balise. Une réinitialisation du paramétrage à distance de cette carte a permis de résoudre le dysfonctionnement dans les 2 cas.

- **Fonctionnement des balises de Saint Marcel d'Ardèche et de Péage de Roussillon** : les Départements de l'Ardèche et de l'Isère ont décidé en 2018 de ne plus contribuer au financement du réseau de balises, ce qui a entraîné une diminution des budgets de fonctionnement respectifs de la balise de Saint-Marcel d'Ardèche et de celle du Péage de Roussillon. Ceci a conduit la CRIIRAD à alléger le dispositif de surveillance des 2 balises (dès février 2018 à Saint-Marcel d'Ardèche et à partir de début 2019 au Péage-de-Roussillon). L'unité de détection de l'iode radioactif sous forme gazeuse a été arrêtée³ 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 nécessaire⁴. Les contributions des communautés de communes DRAGA et Entre Bièvre et

¹ Ces arrêts se sont produits les 5, 8, 17, 23, 24 et 28 août et les 1^{er}, 12 et 20 septembre.

² A noter que l'épisode orageux du 1^{er} juillet a entraîné, outre l'absence de communication avec la balise, un dysfonctionnement de l'électronique avec une absence de données entre le 1^{er} juillet 15h TU et le 3 juillet 11h TU.

³ 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 du taux de radiation gamma ambiant (pour la balise de Saint Marcel d'Ardèche) ou de l'activité des aérosols émetteurs bêta et alpha, mais elle est dégradée par rapport au fonctionnement antérieur.

⁴ Les filtres seront analysés systématiquement en cas d'alarme sur les mesures directes.

Rhône ainsi que le recours aux fonds propres de la CRIIRAD permettent de poursuivre la surveillance en continu du niveau du rayonnement gamma ambiant (balise de Saint Marcel d'Ardèche) et de la radioactivité des aérosols (unité de détection Alpha/bêta (air)) pour les 2 balises. A noter que le laboratoire de la CRIIRAD est intervenu au cours du trimestre à 1 reprise à la balise du Péage de Roussillon, le 22 juillet pour mettre en fonctionnement la climatisation dans le local pour la période estivale.

- **Balise d'Avignon eau** : le technicien du laboratoire de la CRIIRAD est intervenu sur site le 20 août afin de nettoyer la cuve de comptage des sédiments véhiculés du Rhône qui s'y sont accumulés progressivement (malgré le fonctionnement du système de nettoyage automatique) et procéder aux divers tests de bon fonctionnement des composants de la balise.

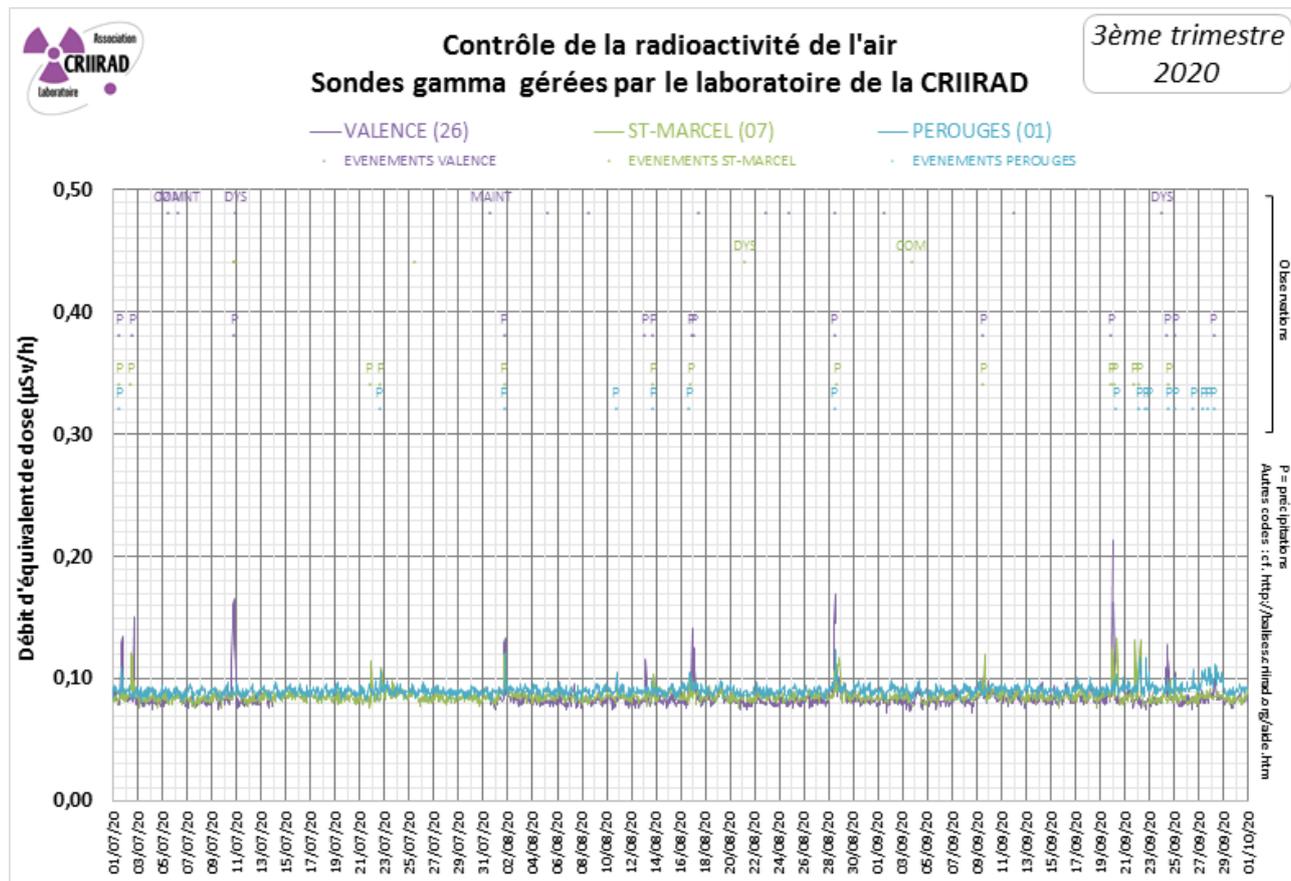
- **Dépassements de la limite de détection des voies alpha, bêta direct (balise atmosphérique de Valence)** : la limite de détection (1 Bq/m^3) a été dépassée à plusieurs reprises (voir graphiques en pages 8 et 9) au cours du trimestre sur les voies alpha et/ou bêta direct des balises atmosphériques de **Valence** (les 1^{er}, 7 et 28 août, les 4, 10, 14, 16 et 18 septembre). Le laboratoire de la CRIIRAD a pu vérifier que ces épisodes de dépassements n'étaient pas liés à une contamination, mais à des pics d'activité volumique en radon⁵ (par exemple lors des dépassements alpha et bêta direct du 14 septembre, des activités volumiques maximales en radon de 31 Bq/m^3 ont été mesurées à Valence).

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.

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 ambiant

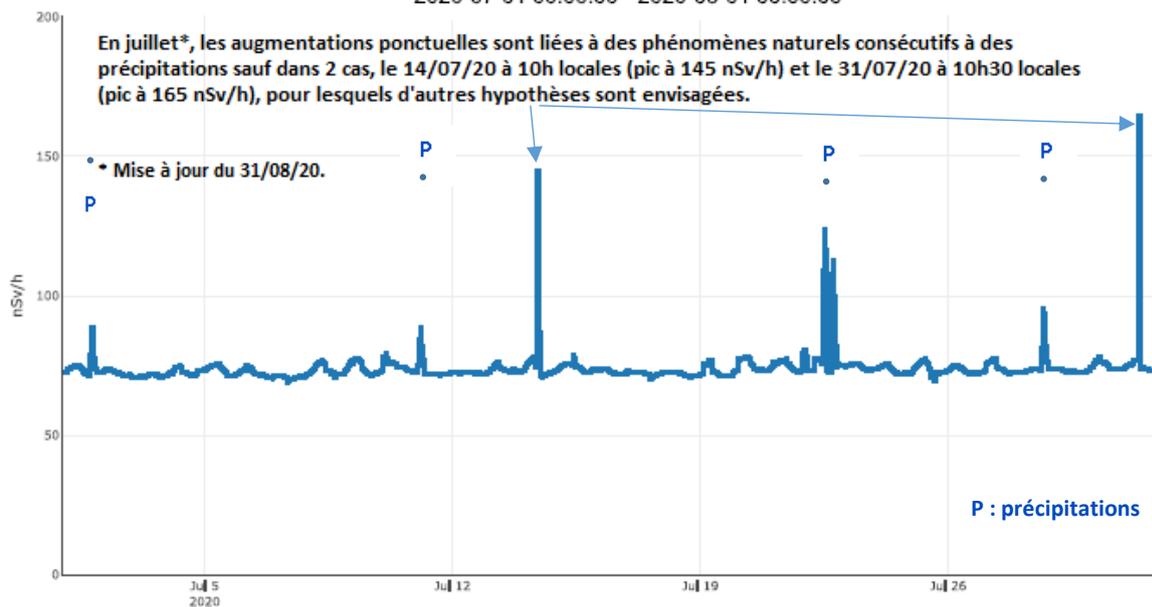


[[Débit de dose Gamma (nSv/h)]]

SONDE GAMMA DE GENEVE

Juillet 2020

2020-07-01 00:00:00 - 2020-08-01 00:00:00

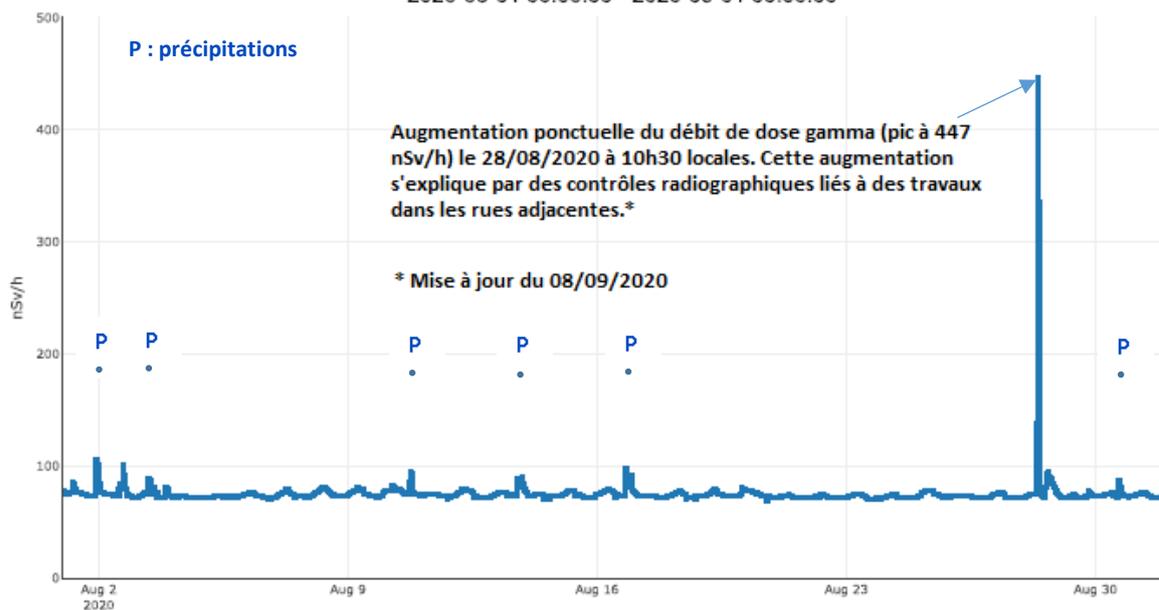


[[Débit de dose Gamma (nSv/h)]]

SONDE GAMMA DE GENEVE

Août 2020

2020-08-01 00:00:00 - 2020-09-01 00:00:00

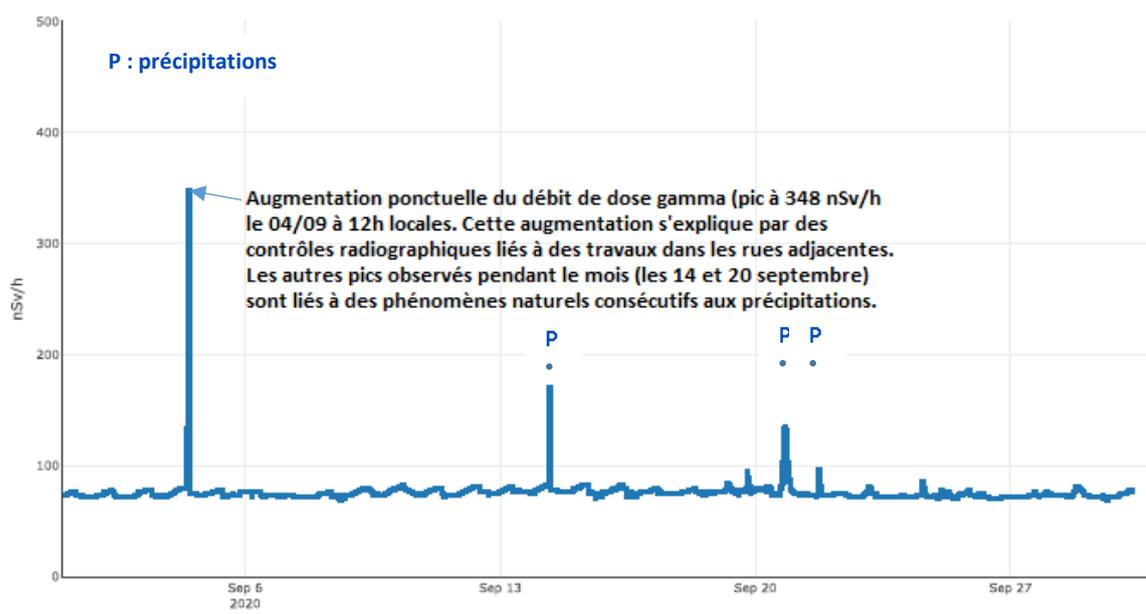


[[Débit de dose Gamma (nSv/h)]]

SONDE GAMMA DE GENEVE

Septembre 2020

2020-09-01 00:00:00 - 2020-10-01 00:00:00



Commentaires

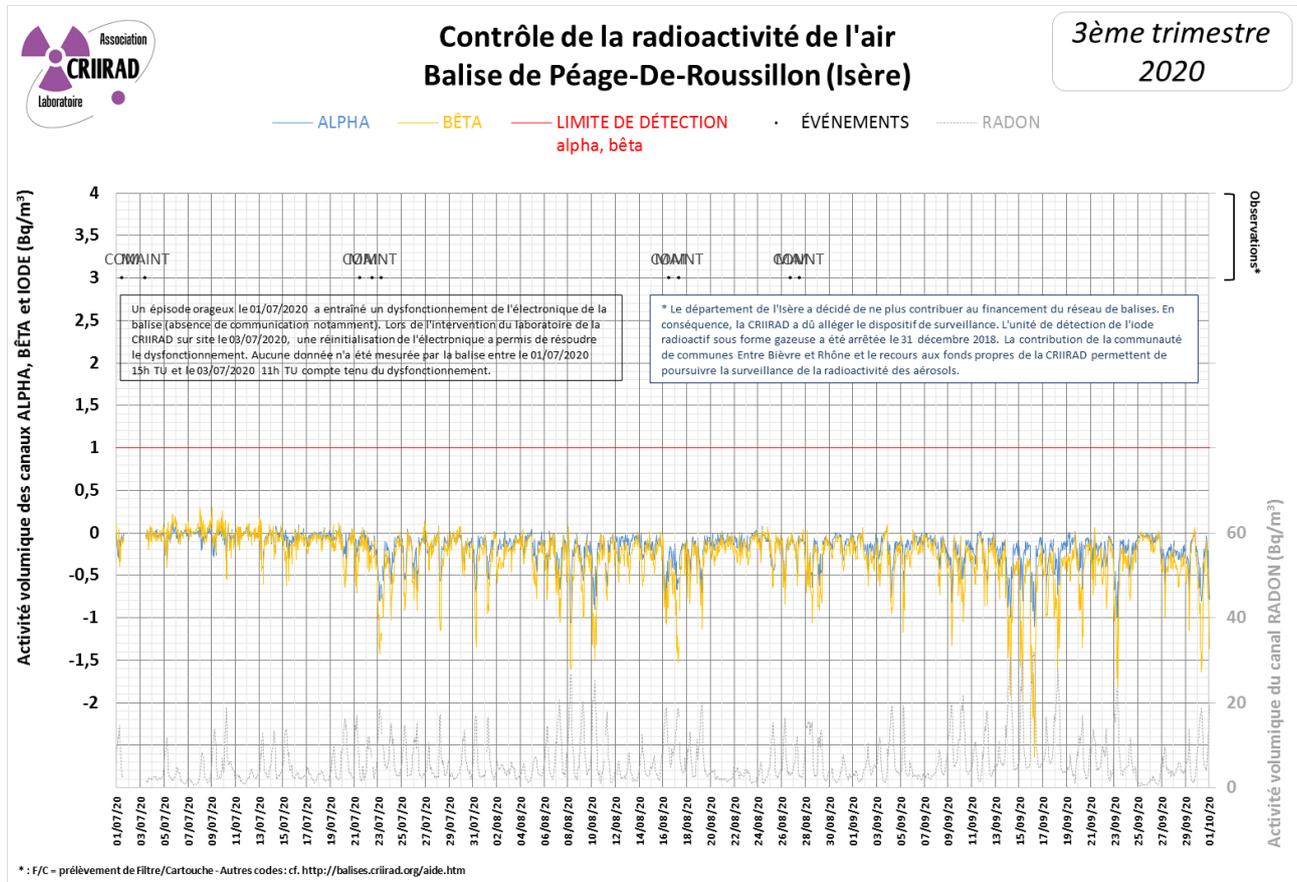
Les augmentations ponctuelles les plus importantes observées à Genève le 14 et le 31 juillet, le 28 août et le 4 septembre s'expliquent par des contrôles radiographiques liés à des travaux dans les rues adjacentes.

A l'exception de ces 4 augmentations survenues à Genève, les fluctuations les plus importantes ont été observées lors d'épisodes de précipitations. Les plus notables sont survenues le 2 et le 10 juillet, le 17 et le 28 août (0,13 μ Sv/h à Péruges), le 20 septembre (0,21 μ Sv/h à Valence et 0,13 μ Sv/h à Saint-Marcel) ainsi que pour la sonde gamma de Genève le 14 septembre (0,17 μ Sv/h ou 170 nSv/h en lecture sur le graphe).

Lors de ces épisodes (fortes pluies, orages,...), les descendants radioactifs émetteurs gamma⁶ 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.

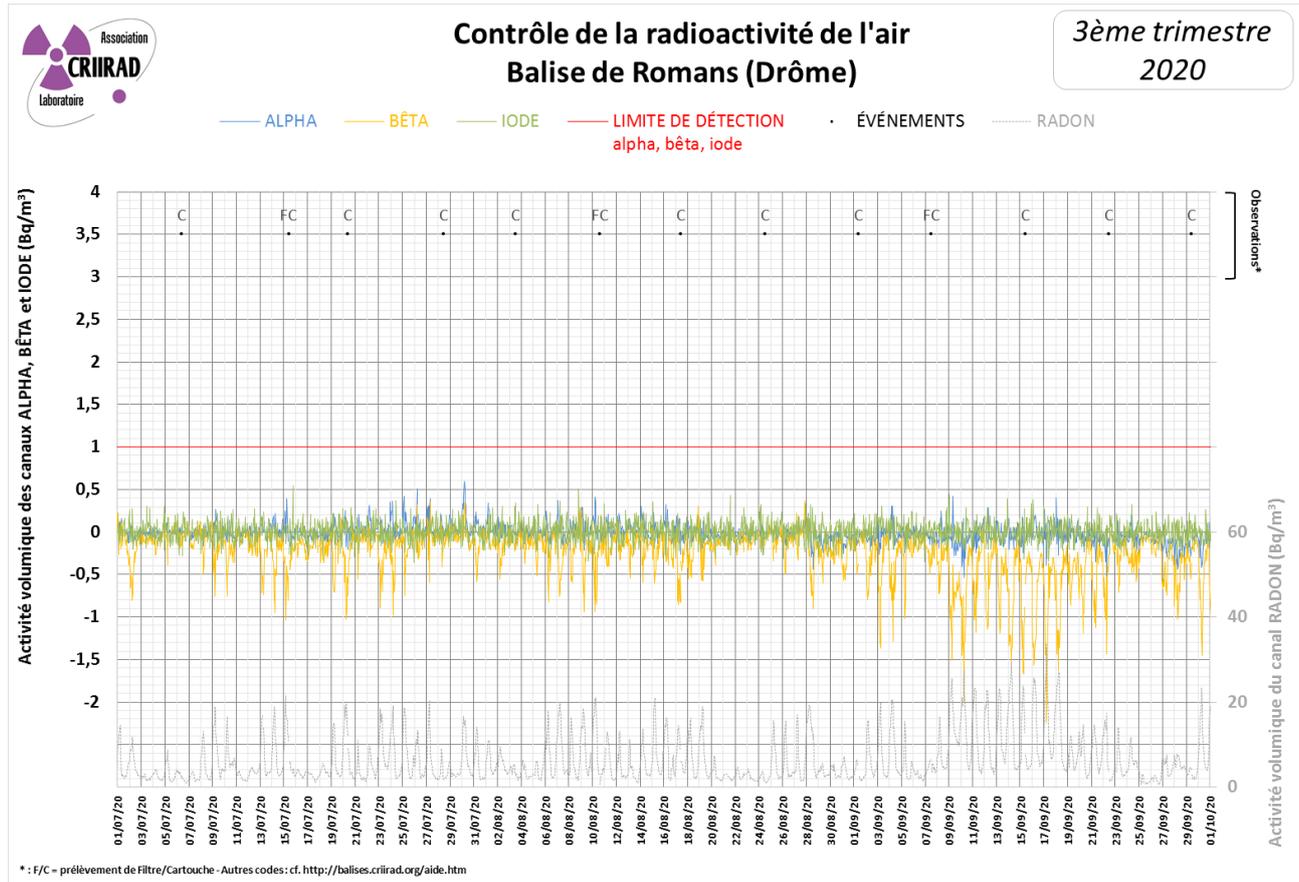
II/ Surveillance en continu de la radioactivité atmosphérique

A/ Balise de Péage de Roussillon

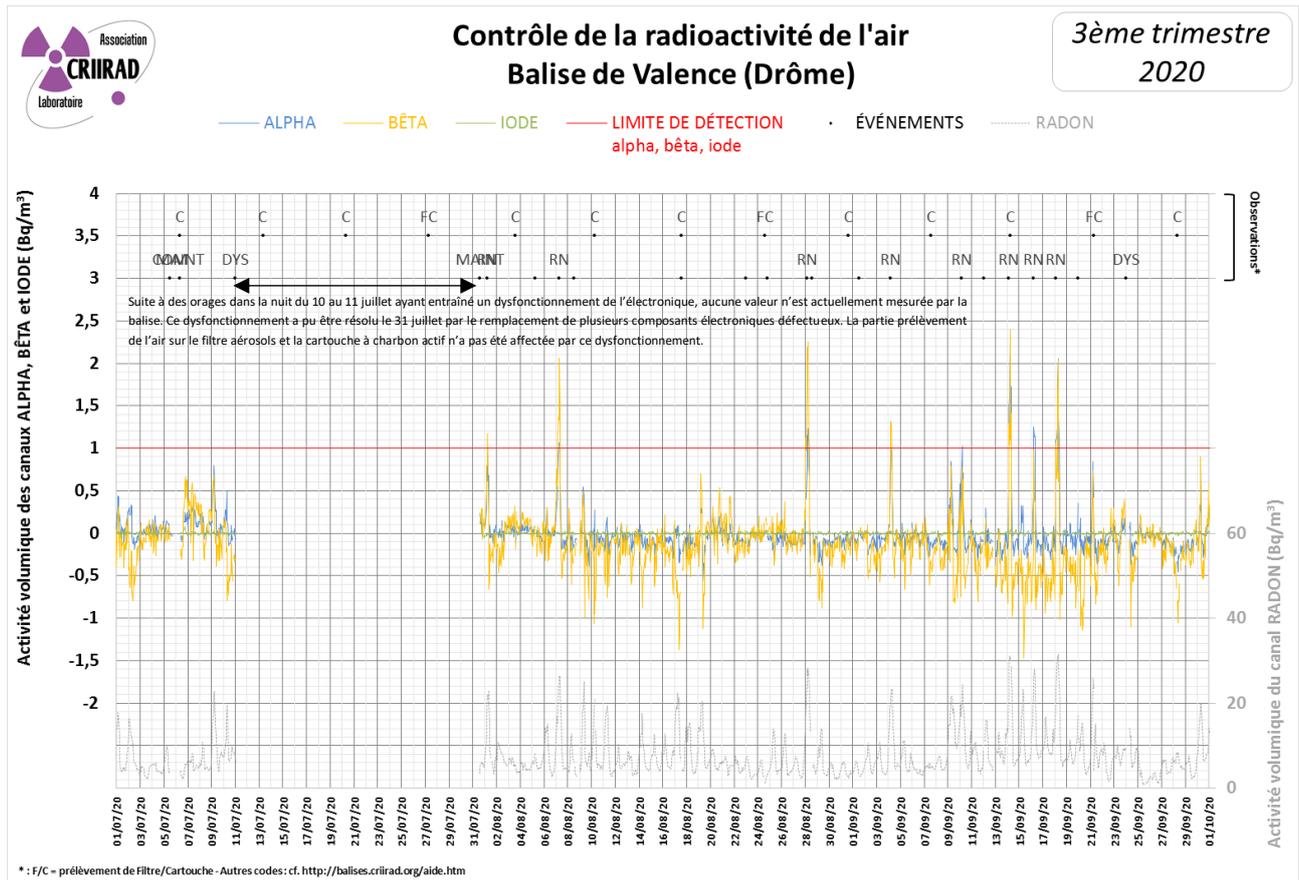


⁶ Plomb 214 et Bismuth 214 de périodes physiques égales respectivement à 27 minutes et à 20 minutes.

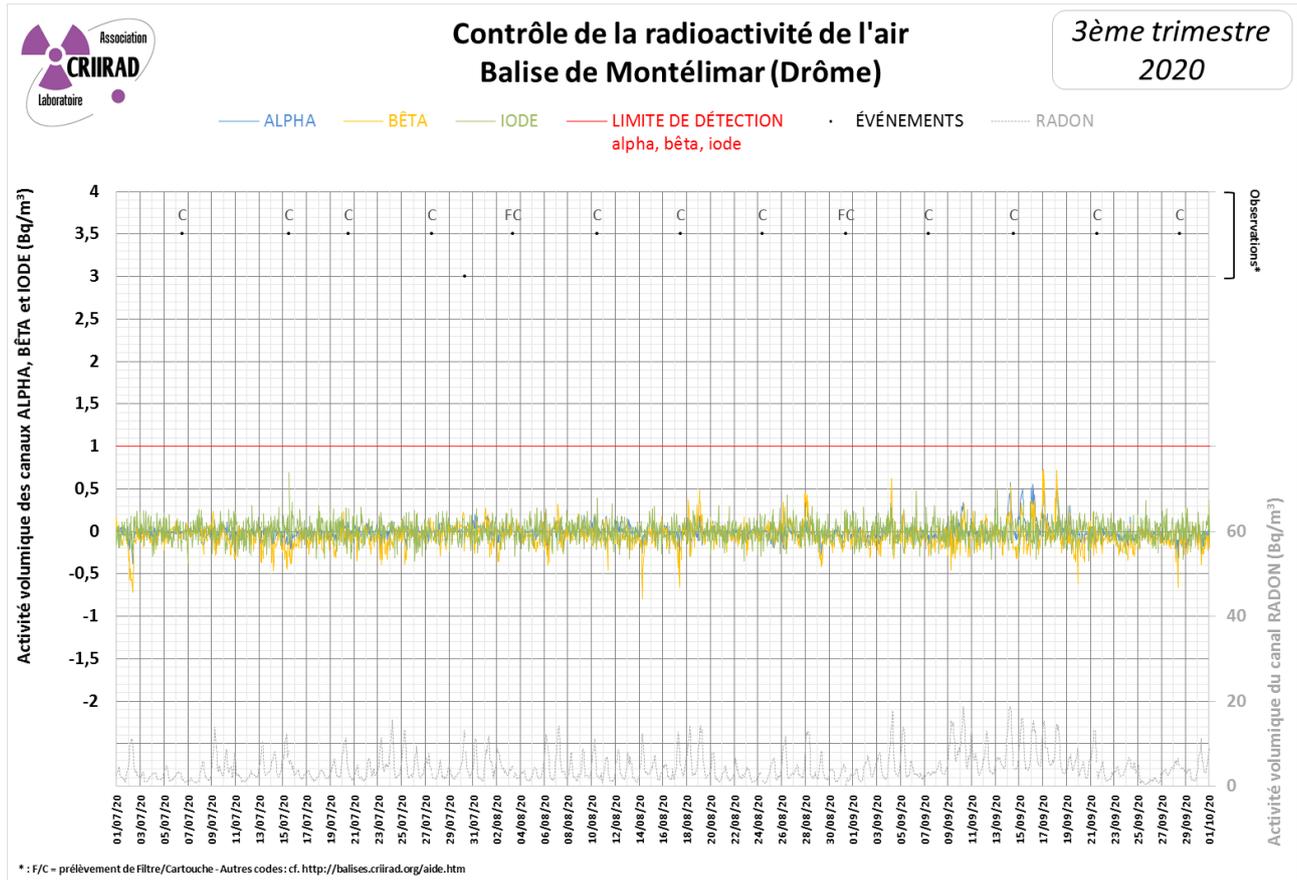
B/ Balise de Romans-sur-Isère



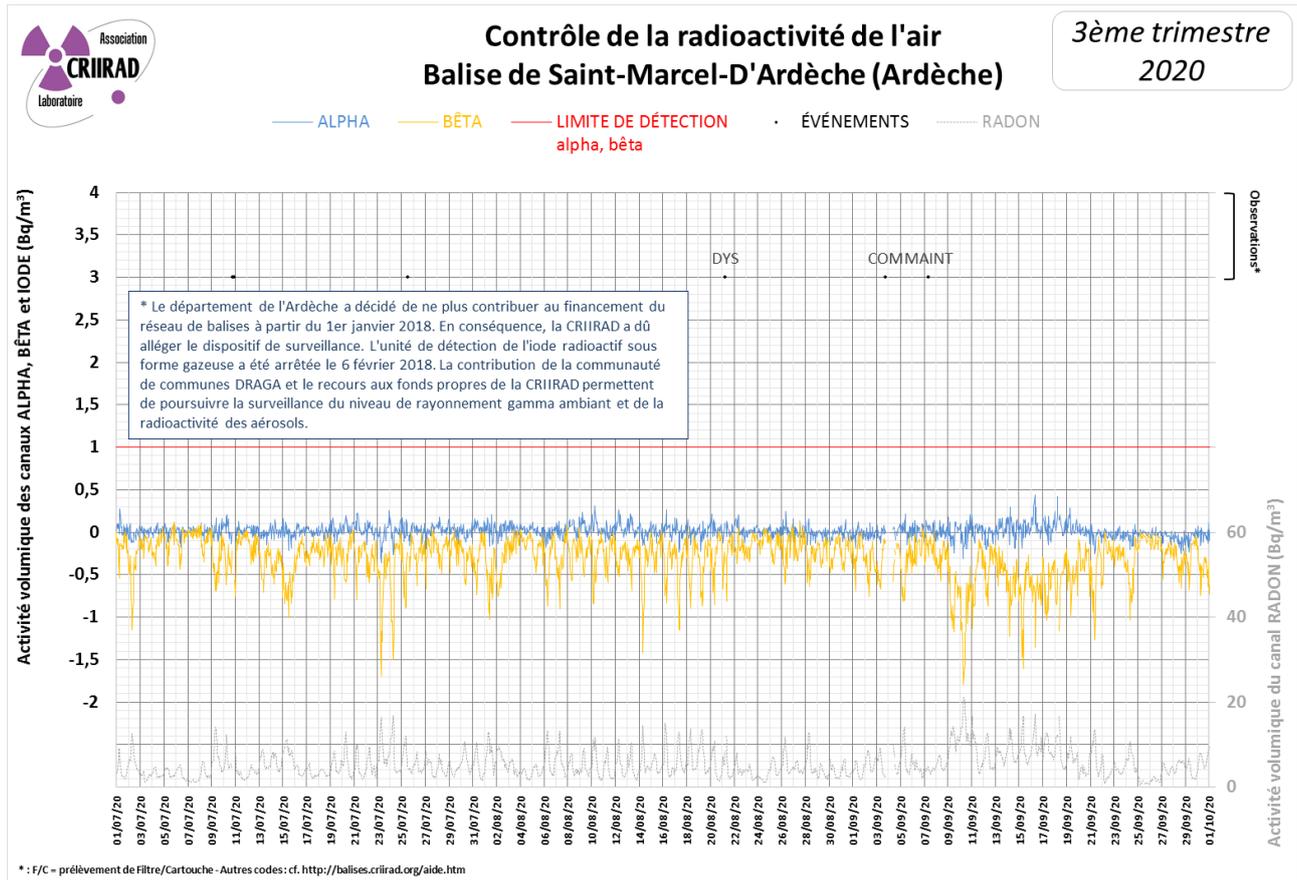
C/ Balise de Valence



D/ Balise de Montélimar



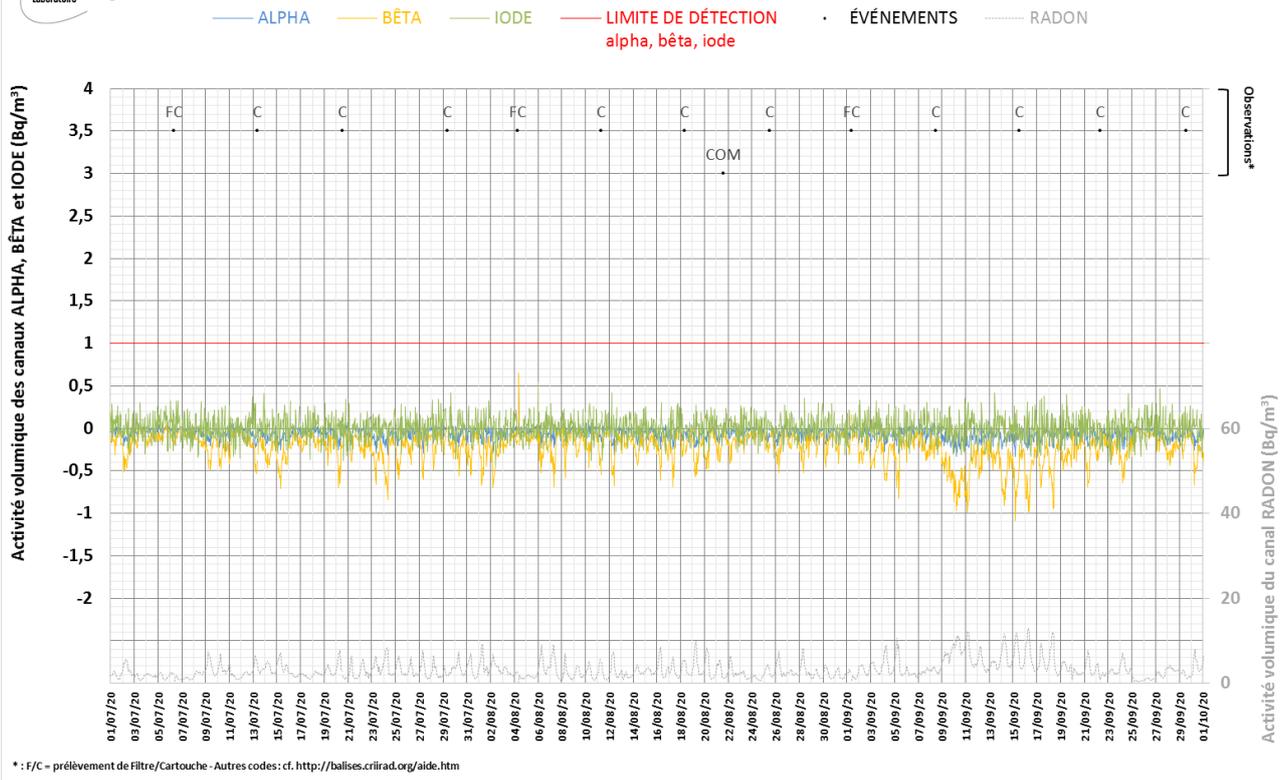
E/ Balise de Saint-Marcel d'Ardèche



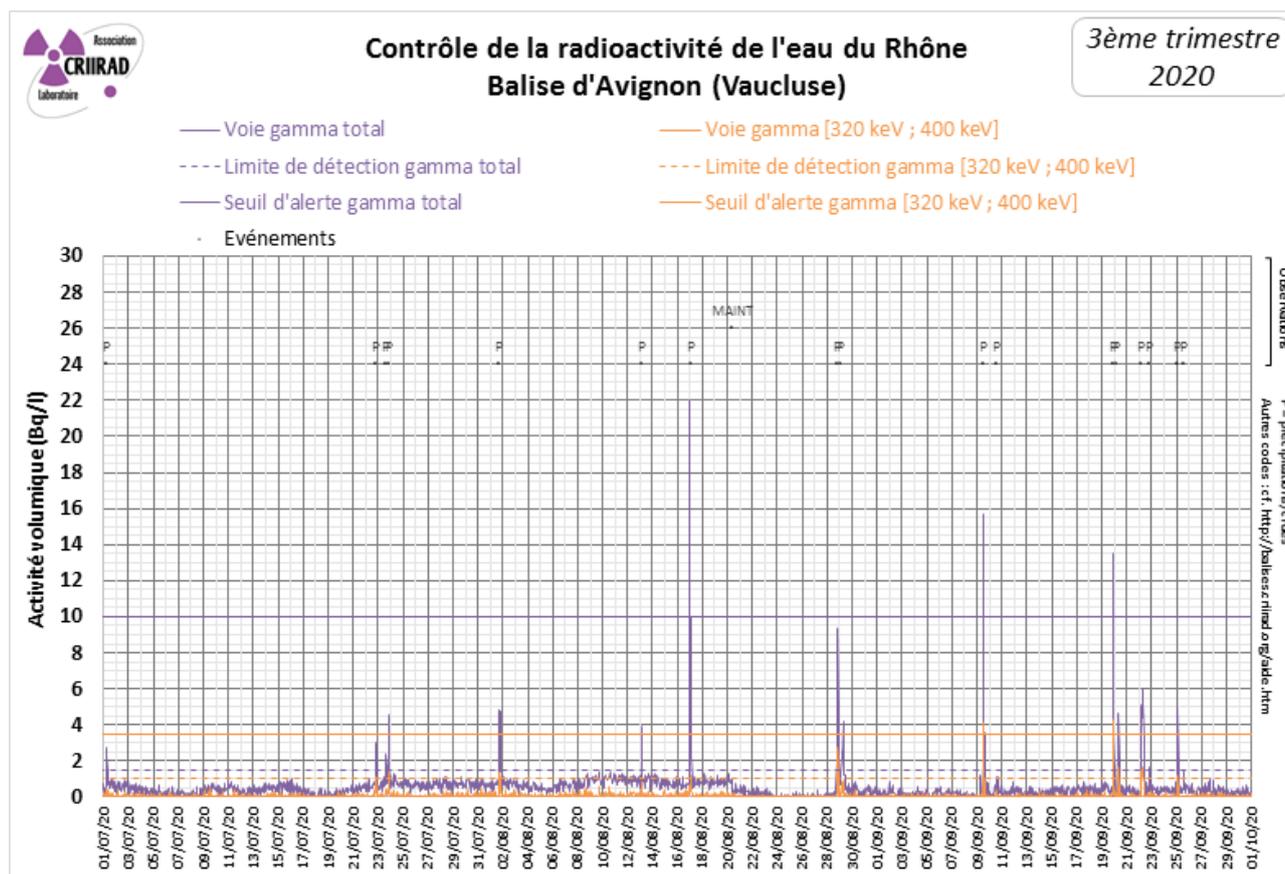


Contrôle de la radioactivité de l'air Balise d'Avignon (Vaucluse)

3^{ème} trimestre
2020



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



Commentaires

Le graphique présente l'activité volumique (Bq/l), de l'eau du Rhône passant dans la cuve de la balise : pour la voie « gamma total » (de 100 à 2 000 keV) et la région « 320-400 keV » centrée autour de l'énergie gamma de l'iode 131 (364,5 keV). Cette région inclut également l'énergie gamma du plomb 214 (352 keV) descendant du radon 222 naturel, d'où les interférences possibles.

Des dépassements de la limite de détection ont été observés de façon ponctuelle sur la voie gamma total (1,5 Bq/l) et sur la voie de mesure gamma centrée sur la fenêtre d'énergie [320keV ; 400keV] (1 Bq/l) à plusieurs reprises⁷ pendant le trimestre. Les activités maximales ont été mesurées le 17 août (22 Bq/l sur la voie gamma total et 6,5 Bq/l sur la voie gamma centrée sur la fenêtre d'énergie [320keV ; 400keV]).

La présence accrue de radionucléides naturels lors des épisodes pluvieux ou crues du Rhône engendre des augmentations de la charge en émetteurs gamma.

Les dépassements de seuil d'alerte observés sur les 2 voies de mesure le 17 août, les 9 et 19 septembre ont déclenché l'alarme d'astreinte. Les techniciens ont pu vérifier l'origine naturelle du phénomène (suite à de fortes pluies) : les ratios des activités volumiques « Gamma Total / Gamma [320keV ; 400keV] » ont été compris entre 3,1 et 3,9 pour ces 3 épisodes, dans la fourchette de 3 à 4,5 caractéristique d'épisodes orageux. L'expérience montre en effet que le ratio « gamma total / gamma [320 keV ; 400 keV] » est compris entre 3 et 4,5 lors d'un épisode orageux (dépassement ponctuel), et entre 4,5 et 6,3 lors d'un épisode de type crue (dépassement progressif). Ceci est lié à la désintégration des descendants émetteurs gamma du radon.

⁷ Les 22 et 23 juillet, les 1^{er}, 13, 17 et 29 août, les 9, 19, 20, 22 et 29 septembre pour les 2 voies de mesure et le 1^{er} juillet et le 28 août pour la voie gamma total.

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	08/06/20 12:32	15/07/20 10:04	15/07/2020	16/07/20	< 6,0	< 4,9	< LD
	Romans	15/07/20 10:26	10/08/20 14:22	10/08/2020	11/08/20	< 10,0	< 16,0	< LD
	Romans	10/08/20 14:28	07/09/20 12:51	07/09/2020	14/09/20	< 8,0	< 14,0	< LD
	Valence	22/06/20 08:05	27/07/20 07:12	27/07/2020	27/07/20	< 7,1	< 6,5	< LD
	Valence	27/07/20 07:26	24/08/20 13:57	24/08/2020	31/08/20	< 6,0	< 9,0	< LD
	Valence	24/08/20 14:10	21/09/20 07:24	21/09/2020	21/09/20	< 8,0	< 13,0	< LD
	Montélimar	28/05/20 12:46	29/06/20 12:38	29/06/2020	30/06/20	< 5,5	< 4,5	< LD
	Montélimar	29/06/20 12:47	03/08/20 09:09	03/08/2020	04/08/20	< 6,0	< 9,0	< LD
	Montélimar	03/08/20 09:21	31/08/20 09:39	31/08/2020	03/09/20	< 7,0	< 10,0	< LD
	Avignon	03/06/20 07:09	06/07/20 08:33	06/07/2020	08/07/20	< 6,4	< 5,0	< LD
Avignon	06/07/20 08:44	04/08/20 07:35	04/08/2020	06/08/20	< 8,0	< 14,0	< LD	
Avignon	04/08/20 07:47	01/09/20 08:52	01/09/2020	08/09/20	< 8,0	< 12,0	< 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 7 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	06/07/20 10:23	15/07/20 10:04	15/07/2020	15/07/20	< 58	< LD
	Romans	03/08/20 12:35	10/08/20 14:22	10/08/2020	11/08/20	< 80	< LD
	Romans	01/09/20 10:02	07/09/20 12:51	07/09/2020	09/09/20	< 110	< LD
	Valence	20/07/20 08:17	27/07/20 07:12	27/07/2020	27/07/20	< 158	< LD
	Valence	17/08/20 14:10	24/08/20 13:57	24/08/2020	27/08/20	< 150	< LD
	Valence	14/09/20 07:15	21/09/20 07:24	21/09/2020	21/09/20	< 130	< LD
	Montélimar	29/06/20 12:47	06/07/20 13:12	06/07/2020	06/07/20	< 79	< LD
	Montélimar	27/07/20 12:50	03/08/20 09:09	03/08/2020	04/08/20	< 110	< LD
	Montélimar	24/08/20 09:00	31/08/20 09:39	31/08/2020	01/09/20	< 90	< LD
Avignon	25/08/20 12:52	01/09/20 08:52	01/09/2020	04/09/20	< 110	< 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 du prélèvement trimestriel de l'eau du Rhône

Les contrôles effectués en continu par la balise ont pour objet de lancer une alerte en cas de forte élévation de la radioactivité des eaux du Rhône pouvant résulter d'un accident grave. Mais ils ne permettent pas de déceler la présence de radionucléides imputables aux rejets autorisés des installations nucléaires en fonctionnement normal. Il faut pour cela procéder à des analyses beaucoup plus fines en laboratoire. Le budget disponible permet de réaliser deux contrôles ponctuels par trimestre : recherche des radionucléides émetteurs gamma et du tritium.

En situation courante, un échantillon d'eau du Rhône est prélevé une fois par trimestre 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. Un échantillon d'eau du Rhône a été prélevé à proximité du Pont Saint-Bénézet par un technicien de la Ville le 01/09/2020.

A/ Résultat de l'analyse par spectrométrie gamma

Eau du Rhône	Date de prélèvement	Date d'analyse	N° d'analyse	I 131 (Bq/l)	Cs 137 (Bq/l)	K 40 (Bq/l)
3è trimestre	01/09/20 12:00	07/09/20	30 955	< 0,19	< 0,14	< 6,0

Légende ± : indique la marge d'incertitude associée à la mesure.
< : signifie que le radionucléide n'a pas été détecté. Cela ne signifie pas qu'il est absent, mais la méthode de mesure permet de garantir à une forte probabilité que s'il était présent son activité ne dépasserait pas la limite de détection.
Les résultats sont exprimés en becquerels par litre à la date de mesure.

Commentaires :

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

B/ Recherche du tritium

Trimestre	Date de prélèvement	Période de comptage		Activité en tritium Bq/l
		Début	Fin	
3è trimestre	01/09/2020 12:00	14/09/2020	17/09/2020	5,8 ± 1,3

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

Commentaires :

Du tritium est détecté avec une activité de **5,8 Bq/l**.

Cette valeur est compatible avec le bruit de fond. Des valeurs plus importantes peuvent être mises en évidence en fonction des rejets des installations nucléaires situées en amont.

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 : TROIS UNITES POUR LA RADIOACTIVITE ET SES EFFETS*

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

Le becquerel (Bq), le gray (Gy) et le sievert (Sv) sont les principales unités employées pour mesurer la radioactivité et pour estimer ses effets biologiques.

Mesurer l'activité : le becquerel (Bq)

L'**activité** d'une certaine quantité de matière radioactive est définie par le nombre de désintégrations qui se produisent en son sein par unité de temps.

Dans le système international d'unités (SI), l'unité de l'activité est le **becquerel (Bq)**, un becquerel correspondant à **une désintégration d'atome radioactif par seconde**.

Activité massique, volumique, surfacique

L'**activité massique** est l'activité d'une substance radioactive par unité de masse. Dans le SI, elle s'exprime en principe en becquerels par kilogramme (**Bq/kg**).

Attention : les activités massiques sont parfois exprimées en Bq/g, ce qui peut donner l'impression d'une activité moindre, mais il faut garder à l'esprit le fait qu' $1 \text{ Bq/g} = 1\,000 \text{ Bq/kg}$ (à chaque seconde 1 000 atomes se désintègrent dans 1 kilogramme de matière).

L'activité massique d'un échantillon décroît dans le temps en fonction de la période physique des radionucléides : au bout de 30 ans elle sera divisée par 2 dans le cas du césium 137 (période : 30 ans) alors qu'elle ne variera quasiment pas s'agissant du plutonium 239 (période : 24 000 ans)⁸.

L'**activité volumique** caractérise l'activité par unité de volume gazeux (**Bq/m³**) ou liquide (**Bq/l**).

L'**activité surfacique** permet de quantifier les dépôts radioactifs sur une surface donnée. Elle s'exprime en principe en **Bq/m²**, mais d'autres multiples peuvent être rencontrés, notamment le Bq/cm² employé pour les limites de contamination sur les colis de substances radioactives ($1 \text{ Bq/cm}^2 = 10\,000 \text{ Bq/m}^2$).

L'activité, exprimée en becquerels, est utilisée pour quantifier la radioactivité, mais elle ne suffit pas à déterminer le risque associé.

En effet, dans le cas d'une exposition externe (lorsque la source de rayonnement se situe à l'extérieur du corps), l'exposition dépend du type de rayonnements émis, de leur quantité ainsi que de leur énergie. Tous ces paramètres varient d'un radionucléide à l'autre.

De plus, dans le cas d'une contamination interne, d'autres facteurs interviennent. Les impacts peuvent fortement différer selon le mode de contamination

(inhalation, ingestion), les caractéristiques physico-chimiques du radionucléide, les organes touchés, la durée de séjour du radionucléide dans le corps, etc...

Le risque radiologique n'est pas mesuré mais seulement estimé

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) a établi une méthode de détermination du risque radiologique, consistant à :

a/ **mesurer la quantité d'énergie** déposée en moyenne dans les organes et tissus (**dose absorbée**),

b/ **évaluer les effets biologiques** de l'énergie déposée, en tenant compte :

- de la nature du rayonnement (alpha, bêta, gamma, neutron, ...) pour estimer la « **dose équivalente** »,
- de la sensibilité aux rayonnements, qui diffère selon les organes et les tissus pour estimer la « **dose efficace** ».

La **dose efficace** est ensuite utilisée pour définir des limites à ne pas dépasser pour différentes catégories d'individus et différentes situations.



Mesurer la dose absorbée : le gray (Gy)

La **dose absorbée** est définie comme la **quantité d'énergie moyenne communiquée à la matière par unité de masse**.

L'unité de la dose absorbée est le **gray (Gy)**, un gray correspondant à 1 joule par kilogramme (J/kg).

Cette unité, qui est à la base du système de radioprotection, a été choisie pour évaluer les effets des rayonnements ionisants.

Or considérer une énergie moyenne délivrée de manière homogène au niveau d'un organe ou d'un tissu ne permet pas de rendre compte de l'hétérogénéité des dépôts d'énergie liés aux rayonnements ionisants. Ce problème est limité pour l'exposition externe, mais il joue un rôle important en cas de contamination interne par des émetteurs alpha ou bêta, car lors de leur désintégration, les radionucléides délivrent de l'énergie de manière très localisée (au niveau cellulaire et moléculaire), à partir de l'endroit où ils se sont fixés.

⁸ Pour plus de renseignements sur cette notion cf. rapport BT2.

Estimer les effets biologiques : le sievert (Sv)

Dose équivalente

Selon le type de rayonnement émis, l'énergie n'est pas communiquée à la matière de la même façon. La densité d'ionisation des tissus est en effet très différente selon que l'énergie provient d'un rayonnement électromagnétique (gamma, X), d'une particule chargée (alpha, bêta) ou d'une particule non chargée (neutron).

Pour traiter ce problème la CIPR a élaboré des **facteurs de pondération pour les rayonnements** notés w_R .

Type de rayonnement	Facteur de pondération pour les rayonnements w_R
Photons (γ , X)	1
Électrons (β)	1
Particules α	20
Protons	2
Neutrons	2,5 à 20 (en fonction de l'énergie)

Source : CIPR 103 (2007)

Le coefficient le plus élevé (20) est attribué aux particules α .

La CIPR a fait le choix d'attribuer le même coefficient de 1 aux photons (rayonnements γ et X) et aux électrons (β) alors que l'effet de ces derniers sur la matière est différent : le trajet des particules β étant plus court que celui des photons, leur effet dépend plus fortement de leur localisation cellulaire et moléculaire.

Par ailleurs, pour un type de rayonnement donné, des études montrent que des rayonnements n'émettant pas la même énergie n'ont pas le même effet sur les cellules impactées. Ceci n'a été pris en compte par la CIPR que pour les neutrons. Pour les rayonnements α , β , γ , X, le facteur de pondération est le même quelle que soit l'énergie⁹.

De façon générale, l'établissement de ces coefficients est basé sur des études expérimentales dont les résultats varient en fonction de nombreux paramètres et ne couvrant pas toutes les situations.

Ainsi, les valeurs des w_R correspondent à la simplification extrême d'une réalité mal connue, résultant d'arbitrages en partie subjectifs, pour des besoins de radioprotection pratique¹⁰.

La **dose équivalente** dans un organe ou un tissu, notée H_T , est définie comme la somme des doses absorbées dues aux différents rayonnements,

⁹ La CIPR reconnaît pourtant que « davantage de données sont désormais disponibles à partir de recherches sur des cellules, qui montrent des différences significatives dans la qualité des rayonnements des photons d'énergies différentes ».

pondérées par les facteurs w_R . Son unité est le **sievert (Sv)**.

Dose efficace

Notre corps est constitué d'organes et de tissus qui présentent des sensibilités variables aux radiations, notamment en fonction de la présence et de l'importance des cellules souches radiosensibles. La même dose équivalente va donc provoquer des dégâts différents suivant la zone exposée.

Afin de tenir compte des **différences de radiosensibilité**, la CIPR a introduit un **facteur de pondération pour les tissus**, noté w_T .

Le plus élevé (0,12) est attribué au poumon, à l'estomac, au côlon, à la moelle osseuse et au sein. Le plus faible (0,01) est attribué à la surface de l'os, à la peau, au cerveau et aux glandes salivaires.

Organe/tissu	Facteur de pondération pour les tissus w_T
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Côlon	0,12
Moelle osseuse	0,12
Sein	0,12
Gonades	0,08
Thyroïde	0,04
Œsophage	0,04
Vessie	0,04
Foie	0,04
Surface de l'os	0,01
Peau	0,01
Cerveau	0,01
Glandes salivaires	0,01
Autres organes	0,12
Total	1

Autres organes : glande surrénale, tissu extrathoracique, vésicule biliaire, cœur, reins, ganglions lymphatiques, muscle, muqueuse buccale, pancréas, intestin grêle, rate, thymus, prostate (H), utérus (F)

Source : CIPR 103 (2007)

La **dose efficace E** est une dose au corps entier.

Elle intègre les contributions des différents organes en sommant leurs doses équivalentes H_T pondérées par les facteurs de pondération pour les tissus w_T . Son unité est également le **sievert (Sv)**, ce qui peut prêter à confusion.

L'évaluation du risque sanitaire associé à la dose efficace est principalement basée sur l'étude des

¹⁰ Comme l'indique la CIPR : « la simplification est importante pour traduire notre manque d'informations précises sur l'homme ».

survivants japonais aux bombardements d'**Hiroshima et Nagasaki** (étude Life Span Study ou LSS).

Outre le fait que les bases de l'étude sont critiquables¹¹, ses résultats correspondent à l'impact d'une exposition externe à débit de dose élevé pendant un laps de temps très court (flash).

Or l'essentiel de la protection du public et des travailleurs concerne des expositions à faible débit de dose sur des temps longs.

Pour tenir compte de cette différence la CIPR a décidé, pour les expositions à faible dose et faible débit de dose, de se baser sur les coefficients de risque déterminés par l'étude des survivants des bombardements mais de les diviser par 2.

Ce choix a été critiqué à l'époque par des scientifiques indépendants.

Il est aujourd'hui remis en cause par plusieurs études épidémiologiques de référence qui portent sur des cohortes exposées à de faibles intensités pendant un temps long et qui concluent à des facteurs de risque comparables (voire supérieurs) aux facteurs de risque de l'étude LSS.

Par ailleurs, **seuls les risques de cancers et les maladies héréditaires sont pris en compte** par la CIPR malgré les nombreuses études qui ont fait état d'autres pathologies.

La CIPR estime que le risque de décès lié à l'exposition aux faibles doses est approximativement de 5% par Sv (ce qui correspond à 50 décès pour 1 million de personnes exposées à une dose efficace de 1 millisievert).

Compte tenu des incertitudes et des simplifications relatives à la détermination des valeurs de dose équivalente et de dose efficace, cet ordre de grandeur doit être pris avec précaution. Il faut souligner que l'évaluation du risque sanitaire associé à une dose efficace donnée s'entend à l'échelle d'une population et non d'un individu.

Ces réserves étant posées, c'est sur la base des concepts de dose équivalente, de dose efficace, et de l'estimation du risque global associé, que reposent les normes de base en matière de radioprotection.

Limites de dose

Les réglementations européenne et suisse, basées sur les préconisations de la CIPR, fixent des limites annuelles qu'un individu quel qu'il soit ne doit pas dépasser.

Les limites de dose s'appliquent au cumul des expositions aux rayonnements ionisants générés par l'ensemble des activités nucléaires¹². C'est à tort que

les exploitants comparent l'impact d'une seule installation à la limite globale. Il convient de tenir compte de toutes les contributions.

Les limites de dose efficace au corps entier sont trop souvent présentées comme des limites en-deçà desquelles l'exposition est sans danger. En réalité, d'un point de vue réglementaire, elles correspondent à un niveau de risque maximum admissible. En-deçà de la limite, le risque perdure et la réglementation oblige à le réduire autant qu'il est raisonnablement possible : c'est le principe d'optimisation (cf. encadré page suivante).

¹¹ Les effets n'ont été pris en compte qu'à partir de 1950 soit 5 ans après les bombardements ; la contamination interne a été négligée ...

¹² Activités humaines qui augmentent l'exposition aux rayonnements ionisants, à l'exclusion des expositions médicales et d'une grande partie des expositions naturelles (rayonnements telluriques, cosmiques au niveau du sol, ...).

Limites d'exposition aux rayonnements ionisants en vigueur en Suisse et en Union Européenne	Public (y compris les travailleurs non classés)	Travailleurs exposés aux rayonnements ionisants	
		Catégorie A	Catégorie B
Limite de dose efficace (au corps entier)	1 mSv / an	20 mSv/an	6 mSv/an
<i>Nombre de cancers mortels radioinduits pour 100 000 personnes recevant la dose limite</i>	<i>5 décès</i>	<i>80 décès</i>	<i>24 décès</i>
Limites de dose équivalente aux extrémités (bras, avant-bras, pieds et chevilles)	-	500 mSv/an	150 mSv/an
Limites de dose équivalente au cristallin (partie de l'œil située derrière la pupille)	15 mSv/an	20 mSv/an	15 mSv/an ⁽¹⁾
Limites de dose équivalente à la peau (dose moyenne sur toute surface de 1 cm ²)	50 mSv/an	500 mSv/an	150 mSv/an

(1) En France : 20 mSv/an

Attention, ces limites sont valables en situation normale.

En situation accidentelle, la CIPR préconise de fixer, pour la dose efficace du public, un niveau de référence dans une fourchette comprise entre 20 et 100 mSv pour la phase d'urgence, et dans une fourchette comprise entre 1 et 20 mSv par an pour la phase post-accidentelle.

La Suisse et la France ont choisi les valeurs hautes de ces fourchettes (100 mSv pour une situation d'urgence et 20 mSv par an pour la phase post-accidentelle).

Il est important de souligner qu'un niveau de référence n'est pas une limite : selon les propres définitions de la CIPR, une limite est une valeur « qui ne doit pas être dépassée », tandis qu'un niveau de référence est un niveau « au-dessus duquel il est jugé inapproprié de permettre la survenue d'expositions [...] ». La CIPR envisage par exemple, en situation post-accidentelle, le dépassement de la référence de dose par un pourcentage notable de la population sur des durées non définies.

Les trois principes de radioprotection

Outre la limitation des doses, la base du système de protection radiologique établi par la CIPR repose sur deux autres principes : la justification et l'optimisation.

Selon le principe de **justification**, une activité nucléaire ne peut être entreprise ou exercée que si « *les avantages [qu'elle] procure sur le plan individuel ou pour la société l'emportent sur le détriment sanitaire qu'elle pourrait causer* »¹³.

D'après le principe d'**optimisation**, « *le niveau de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités, la probabilité de la survenue de cette exposition et le nombre de personnes exposées doivent être maintenus au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des connaissances techniques, des facteurs économiques et sociétaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché* »¹⁴.

Toute la question est de savoir qui apprécie la justification et l'optimisation, et sur quels critères : comment trouver l'équilibre entre les facteurs économiques à prendre en compte et les facteurs sociétaux ?

¹³ Directive Euratom 2013/59.

¹⁴ France, article L1333-2 du Code de la santé publique.

ANNEXE : INTERPRETATION DES GRAPHIQUES PRESENTANT LES RESULTATS DU RESEAU 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 ambient (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> . Il est placé sous la responsabilité de M. Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire.



RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Bruno CHAREYRON



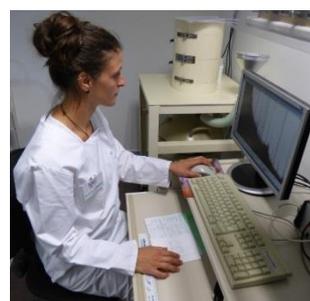
RESPONSABLE DU SERVICE DE GESTION DES BALISES

Jérémy MOTTE



RESPONSABLE SERVICE RADON

Julien SYREN



RESPONSABLE QUALITE

Marion JEAMBRUN



INTERVENTIONS HEBDOMADAIRES, ANALYSES

Stéphane PATRIGEON



SCRUTATION DES DONNEES

Stéphane MONCHÂTRE



PREPARATION DES ECHANTILLONS

Sara ORTUNO

EQUIPE D'ASTREINTE

Bruno CHAREYRON, Marion JEAMBRUN, Jérémy MOTTE, Stéphane PATRIGEON, Julien SYREN.