

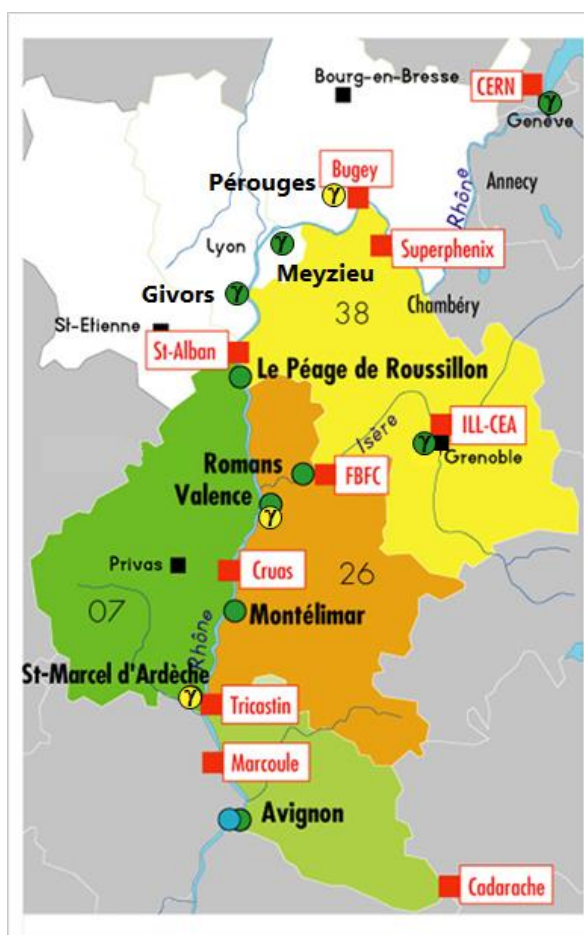
SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE ATMOSPHERIQUE ET AQUATIQUE

RESEAU DE BALISES CRIIRAD

Rapport N° 24-22

RAPPORT TRIMESTRIEL

AVRIL-MAI-JUIN 2024



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



Communes du réseau Montilien

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 - Deuxième trimestre 2024	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	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 du prélèvement trimestriel de l'eau du Rhône.....	14
EN SAVOIR PLUS sur les balises	15
FOCUS : COMMENT VONT EVOLUER LES NIVEAUX DE CONTAMINATION ?	16
LABORATOIRE CRIIRAD	23

	EMETTEUR	APPROBATION
Nom - Fonction	J. Motte (responsable du service balises)	J. Syren (responsable du service radon)
Date	31/07/2024	31/07/2024
Signature		




SYNTHESE – FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE BALISES CRIIRAD








I/ Synthèse des résultats / Taux de fonctionnement par système de détection - Deuxième trimestre 2024

Aucune anomalie radiologique n'a été mise en évidence au cours du deuxième trimestre 2024.




BALISE DETECTION	Pérourges	Péage-de-Roussillon	Romans-sur-Isère	Valence	Montélimar
Alpha/Bêta (Air)		 100%	 100%	 99%	 100%
Iode (Air)			 100%	 99%	 100%
Gamma (Air)	 100%			 99%	

Légende

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

BALISE DETECTION	Genève	Grenoble	Meyzieu	Givors	Avignon Air	Avignon Eau
Alpha/Bêta (Air)					 100%	
Iode (Air)					 100%	
Spectrométrie Gamma (Air)	 100%	 98%	 99,6%	 100%		
Gamma (Eau)						 0%

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 :
 - Valence : 7 arrêts (les 7, 11 et 24 avril, le 2 mai ainsi que les 5, 12 et 24 juin) ;
 - Grenoble : 4 arrêts (le 4 avril, les 27, 28 et 31 mai) ;
 - Genève : 2 arrêts (le 15 avril et le 2 juin) ;
 - Romans : 1 arrêt (le 9 avril).

Aucun de ces arrêts, d'une durée inférieure à 3 heures, n'a nécessité de déplacement d'un technicien sur site.

- **Absences de communication entre les balises et la centrale de gestion**

- Valence : le 13 mai (communication rétablie par le technicien CRIIRAD le jour même) ;
- Montélimar : le 15 mai (communication rétablie par le technicien CRIIRAD le 16 mai lors d'une intervention spécifique) ;
- Péage de Roussillon : le 25 juin (communication rétablie par le technicien CRIIRAD le 26 juin lors d'une intervention spécifique) ;
- Genève : le 10 juin (communication rétablie par réinitialisation de la sonde par un technicien du Service Energie de la Ville de Genève, intervenu à la demande de la CRIIRAD).

- **Balise de Valence - Dysfonctionnement de l'électronique** : survenu à la balise le **31 mai**, il s'est caractérisé par une absence de communication entre la balise et la centrale de gestion située dans les locaux de la CRIIRAD. Lors de l'intervention sur site, le technicien a constaté que l'électronique dysfonctionnait, l'écran affichant des données erronées. La réinitialisation de l'électronique puis le renvoi de tous les paramètres dans la balise a permis de résoudre le dysfonctionnement. Cependant, aucune donnée n'a été mesurée le 31 mai entre 0h et 6h TU.

- **Balise aquatique d'Avignon** : suite à la détection d'une fuite de lubrifiant au niveau de la pompe de prélèvement d'eau du Rhône, la balise avait été arrêtée (voir bulletin trimestriel précédent). En accord avec la Ville d'Avignon, propriétaire du matériel, le laboratoire de la CRIIRAD est intervenu sur site le 31 mai pour démonter la pompe et l'amener en réparation chez un prestataire. Du fait de l'arrêt de la balise, aucune donnée n'a été mesurée au cours du trimestre.

- **Sondes de spectrométrie gamma** : suite à un changement d'opérateur téléphonique, une intervention du laboratoire de la CRIIRAD a été nécessaire pour remplacer les cartes SIM des modems pour la transmission des données, au niveau des sondes de Givors le 10 avril, de Grenoble le 11 avril et de Meyzieu le 5 juin. A noter que les données n'ont pas pu être récupérées pour la sonde de Grenoble entre le 9 avril 13h TU et le 11 avril 5h TU et pour la sonde de Meyzieu entre le 3 juin 18h30 TU et le 4 juin 2h 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 arrêtée¹ 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 nécessaire². 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 :

¹ 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.

² Les filtres seront analysés systématiquement en cas d'alarme sur les mesures directes.

- le **10 juin** pour mettre en place un nouveau rouleau de filtre aérosols et démarrer le système de climatisation du local pour la saison estivale ;
- le **26 juin** pour réinitialiser l'électronique de communication suite à un épisode orageux (voir ci-dessus).

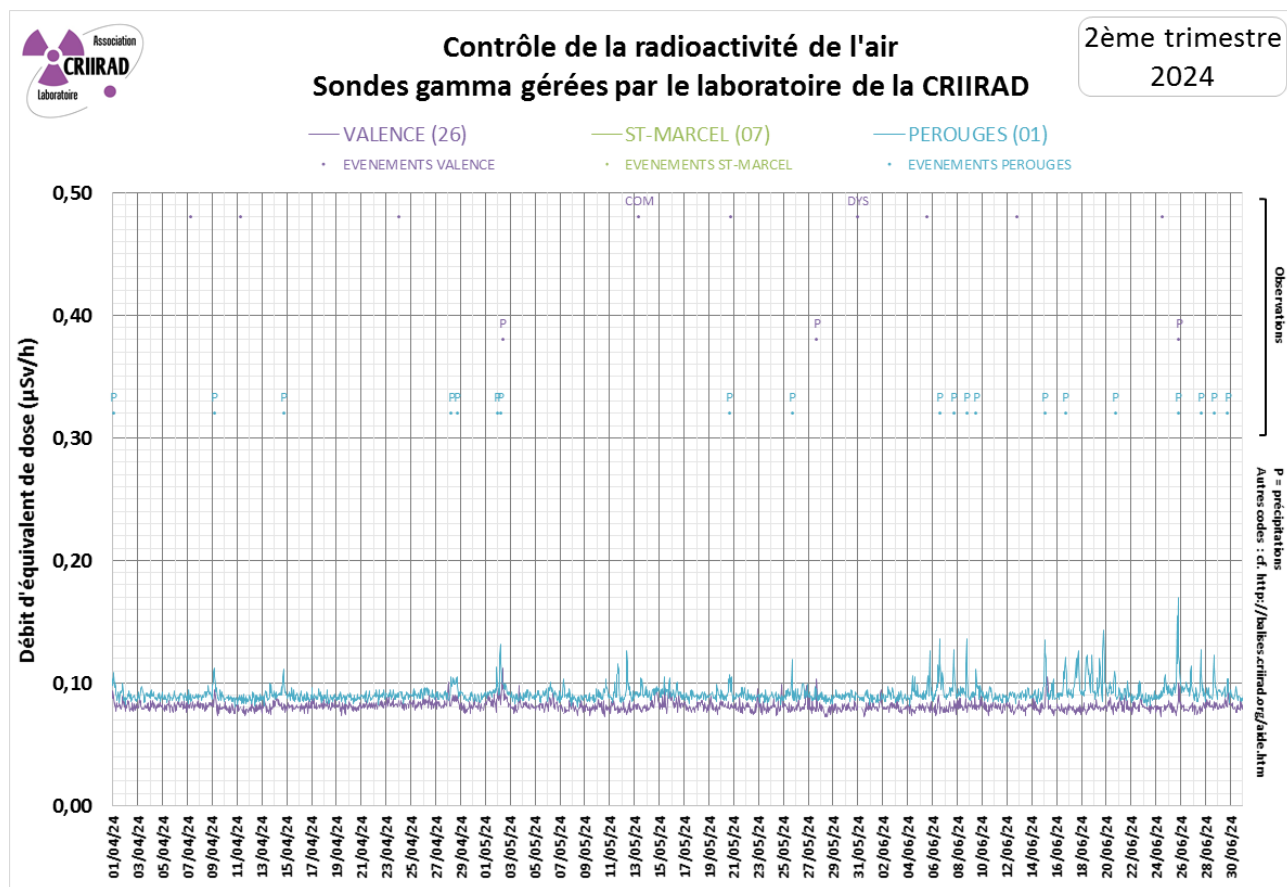
- **Fonctionnement de la balise de Saint-Marcel d'Ardèche** : suite au désengagement du Département de l'Ardèche en 2018, la CRIIRAD a adapté la surveillance de la balise sur le modèle de la balise du Péage-de-Roussillon présenté dans le paragraphe précédent. Fin 2022, la communauté de communes DRAGA Du Rhône à l'Ardèche, qui participait également au financement du fonctionnement, a décidé de se désengager du partenariat qu'elle avait mis en place avec la CRIIRAD depuis 2013. Ceci a conduit la CRIIRAD à alléger davantage le dispositif de surveillance à partir de 2023. Après avoir arrêté en 2019 l'unité de détection de l'iode radioactif sous forme gazeuse, le laboratoire de la CRIIRAD a mis à l'arrêt le 2 janvier 2023 l'unité de détection de la radioactivité dans les aérosols, ne laissant fonctionner que la sonde de mesure en continu du niveau du rayonnement gamma ambiant³. Suite à un épisode orageux en début d'été 2023, l'alimentation de l'électronique de la balise (en particulier de la sonde) est hors service. Compte tenu du coût de la pièce à remplacer et du financement du dispositif sur les seuls fonds propres de la CRIIRAD, la sonde est actuellement à l'arrêt, dans l'attente de la mise en place d'un financement pérenne pour son fonctionnement.

³ L'arrêt de cette surveillance permet des économies substantielles car il n'est plus nécessaire d'intervenir à la balise pour le remplacement de la cartouche à charbon actif et du filtre aérosols. Une intervention annuelle (hors dysfonctionnement ponctuel) est a priori suffisante pour vérifier le bon fonctionnement de la sonde gamma avec le technicien prestataire. La fonction d'alerte reste activée en cas d'augmentation du taux de radiation gamma ambiant par rapport au fonctionnement antérieur.

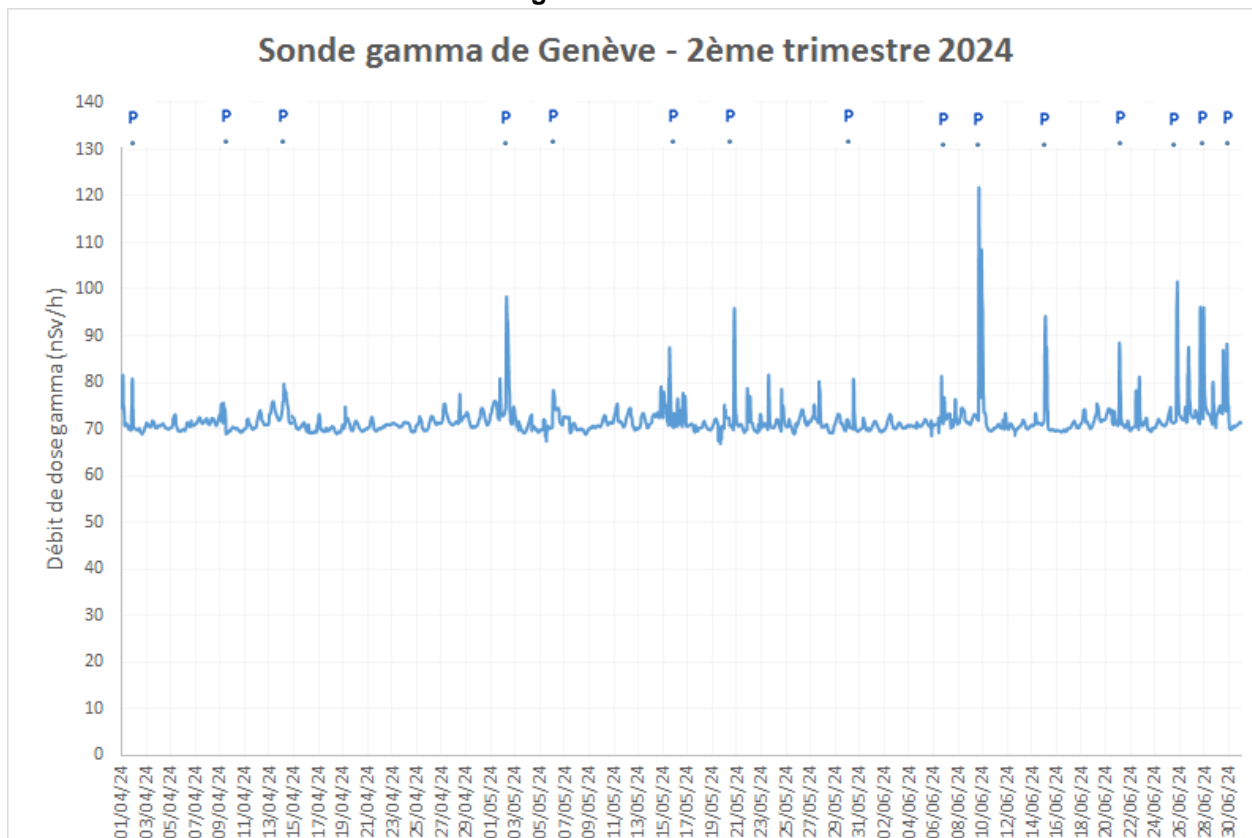
RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

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

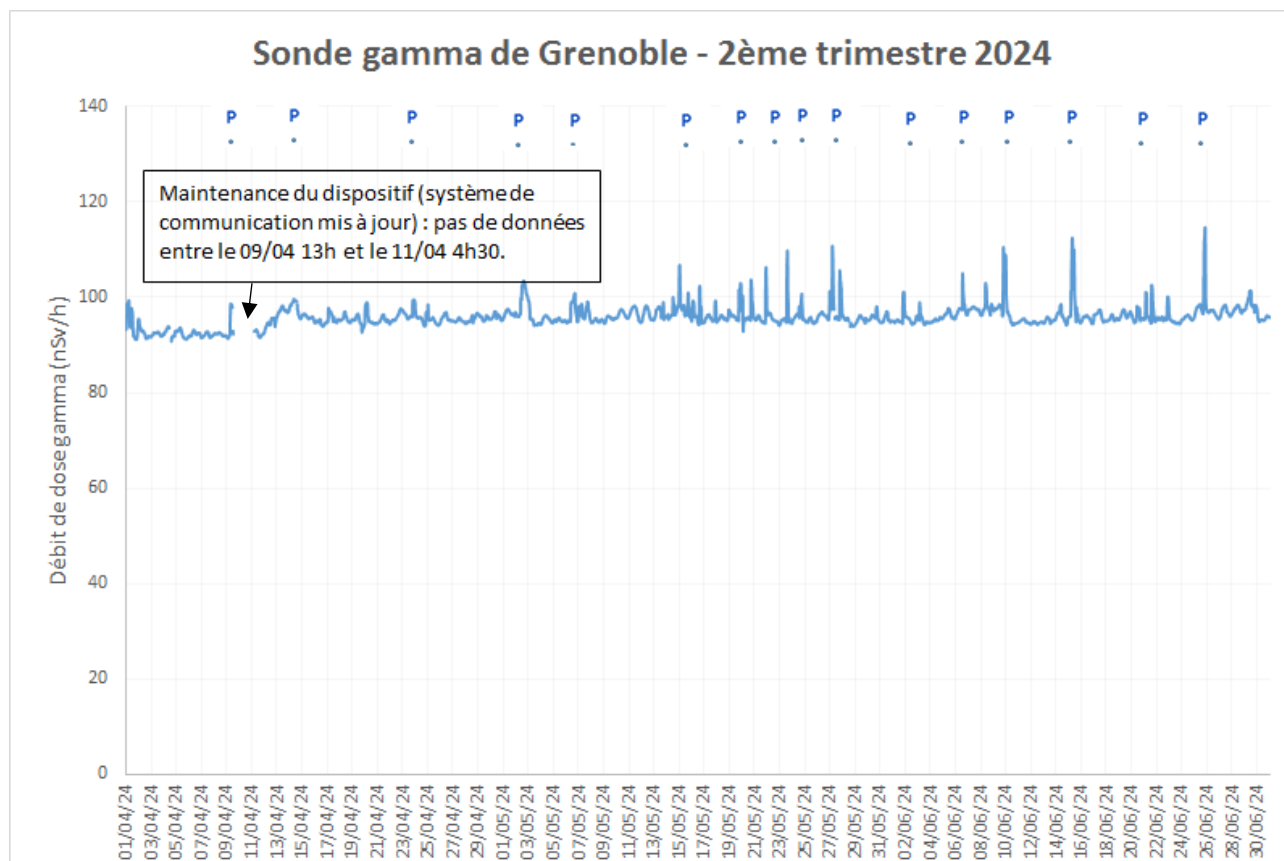
I/ Surveillance en continu du débit de dose gamma ambiant



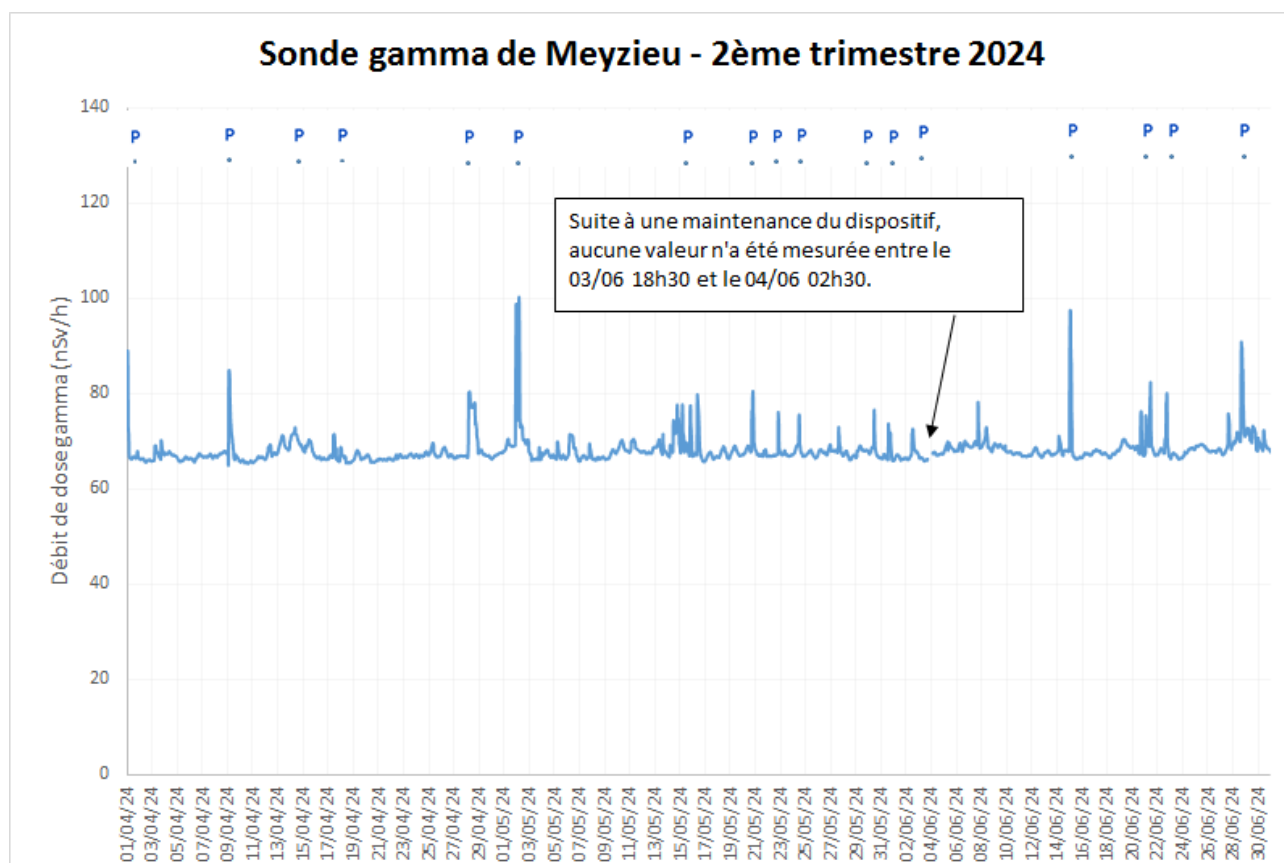
Débit de dose gamma ambiant à Genève



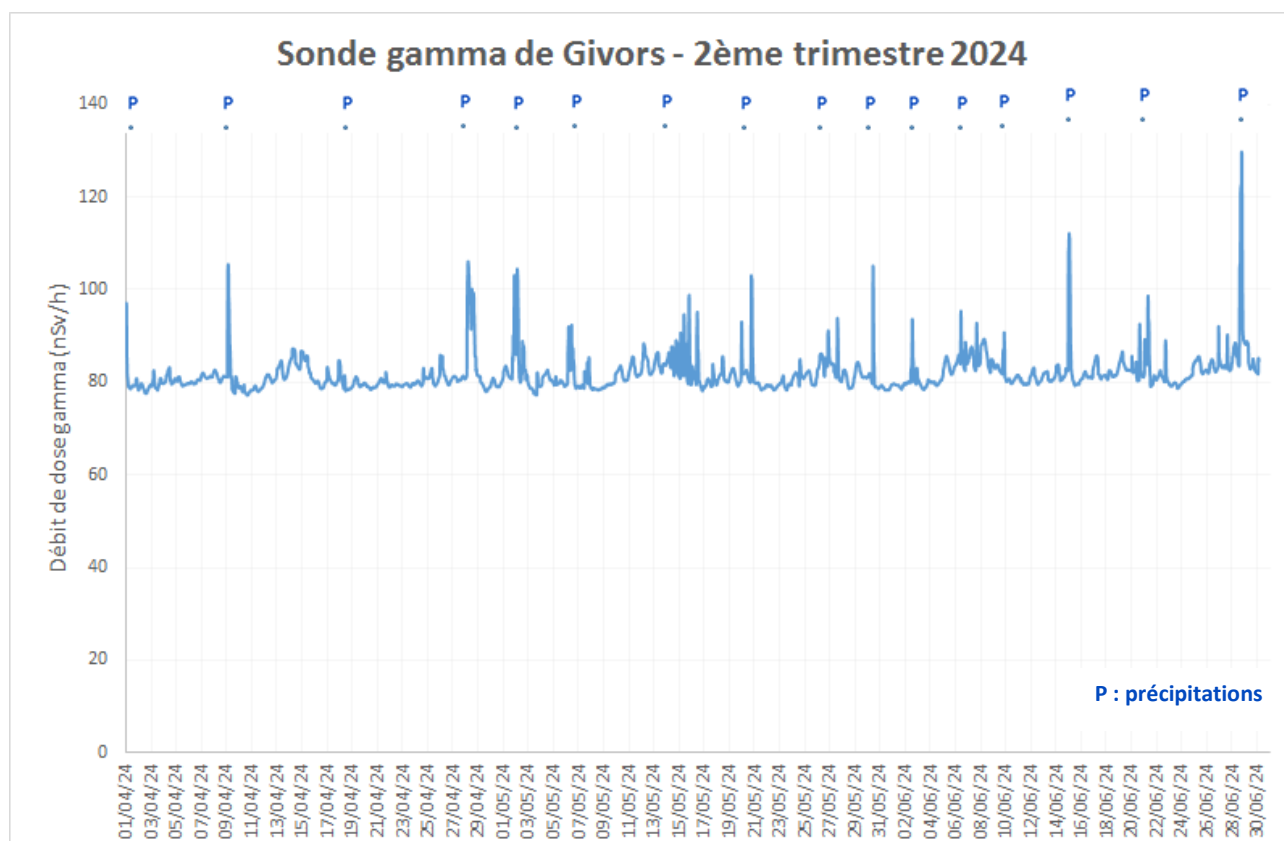
Débit de dose gamma ambient à Grenoble



Débit de dose gamma ambient à Meyzieu



Débit de dose gamma ambient à Givors



Commentaires

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 **0,07 à 0,10 $\mu\text{Sv/h}$** (ou de **70 à 100 nSv/h**).

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

- les 9 et 28 avril ;
- le 2 mai (notamment 0,112 $\mu\text{Sv/h}$ à Valence et 0,100 $\mu\text{Sv/h}$ ou 100 nSv/h à Meyzieu) ;
- les 21 et 23 mai ;
- les 8 et 9 juin (notamment 0,122 $\mu\text{Sv/h}$ ou 122 nSv/h à Genève) ;
- les 15 et 25 juin (notamment 0,170 $\mu\text{Sv/h}$ à Pérouges et 0,115 $\mu\text{Sv/h}$ ou 115 nSv/h à Grenoble) ;
- le 28 juin (notamment 0,130 $\mu\text{Sv/h}$ ou 130 nSv/h à Givors).

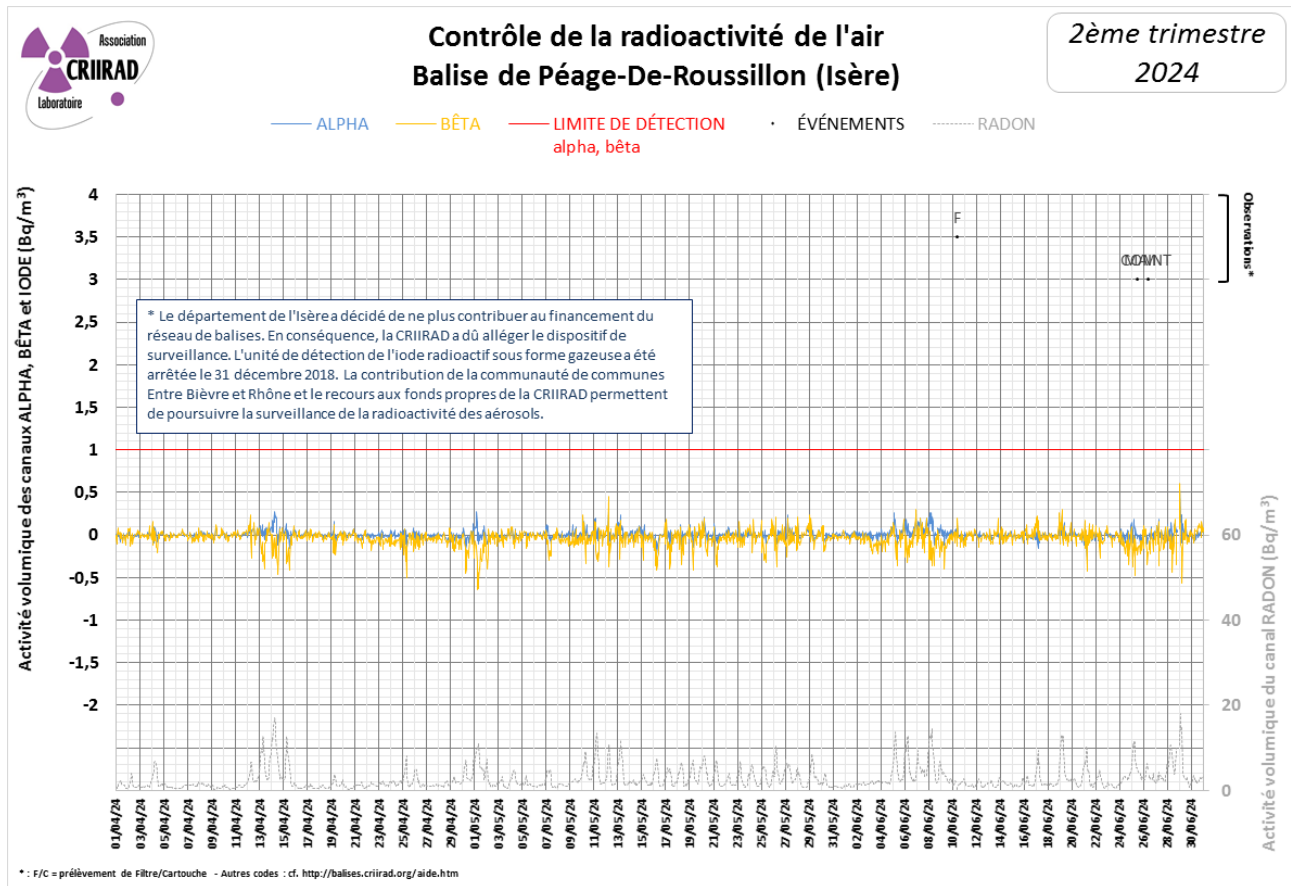
Lors de ces épisodes, les descendants radioactifs émetteurs gamma⁴ du radon 222 naturellement présents dans l'air sont lessivés et rabattus au sol, ce qui entraîne une augmentation de courte durée du débit de dose.

A noter qu'aucune donnée n'a été mesurée à Givors et Meyzieu respectivement entre le 9 avril 13h TU et le 11 avril 5h TU et entre le 3 juin 18h30 TU et le 4 juin 2h TU, en raison d'une maintenance sur les 2 dispositifs (voir page 4).

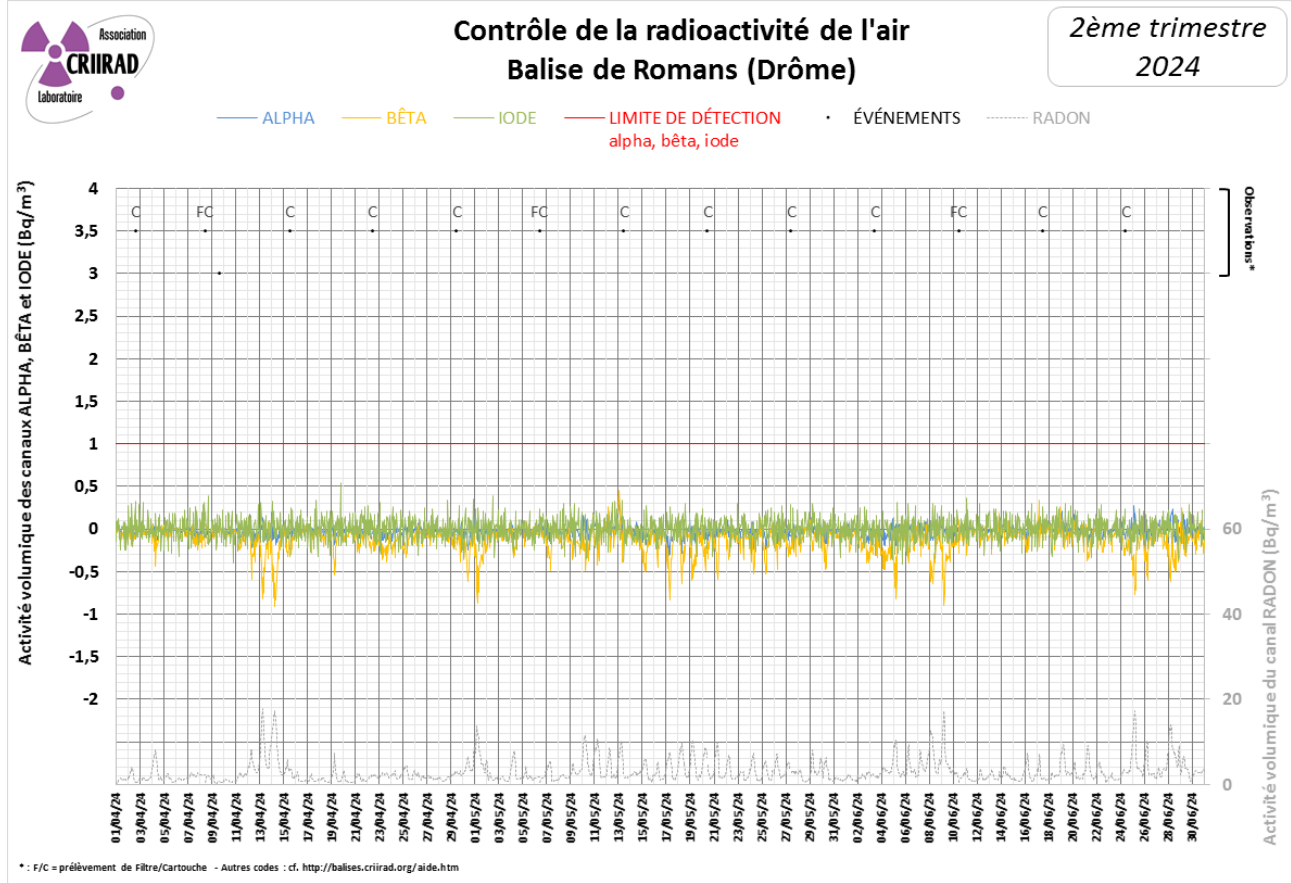
⁴ Plomb 214 et Bismuth 214 de périodes physiques égales respectivement à 27 minutes et à 20 minutes.

II/ Surveillance en continu de la radioactivité atmosphérique

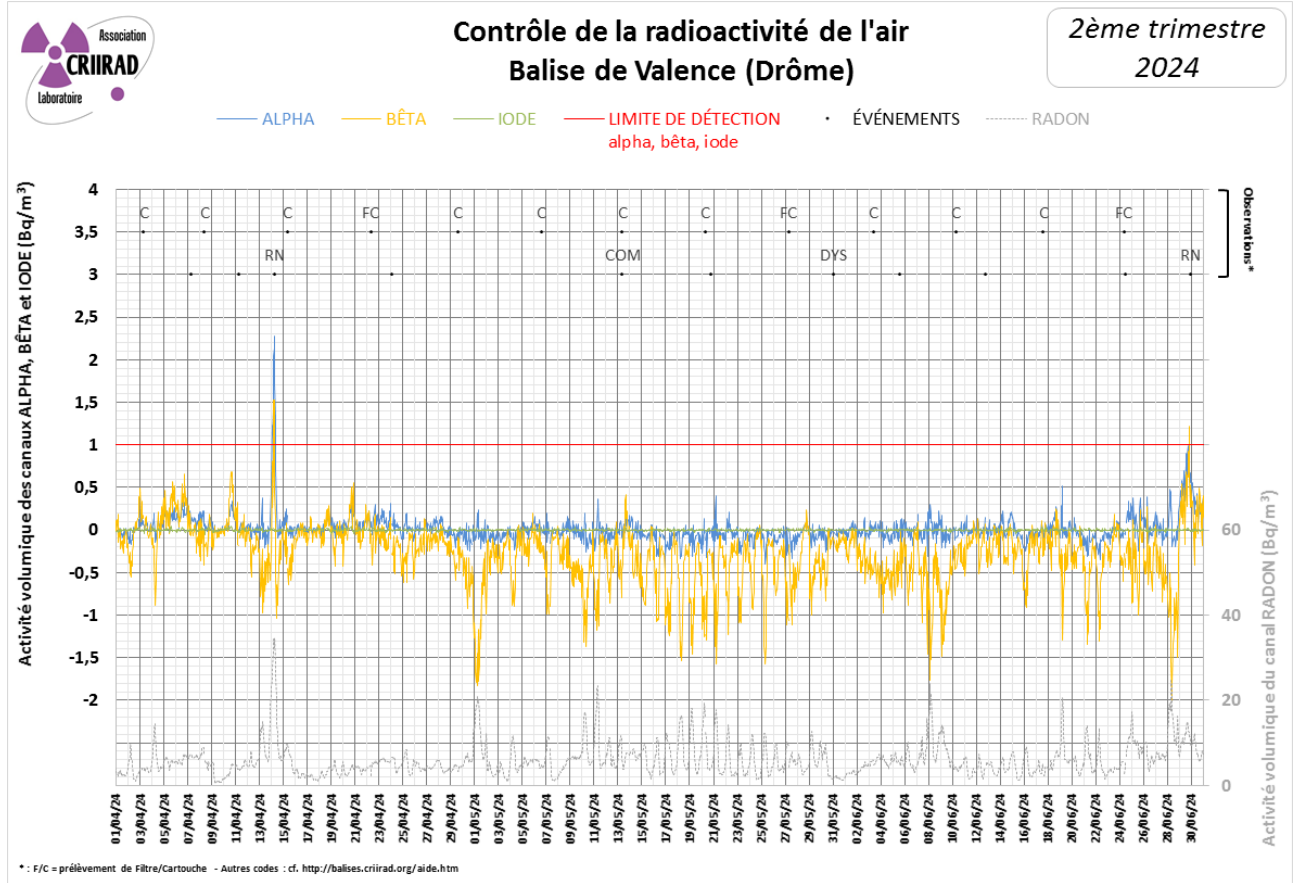
A/ Balise de Péage de Roussillon



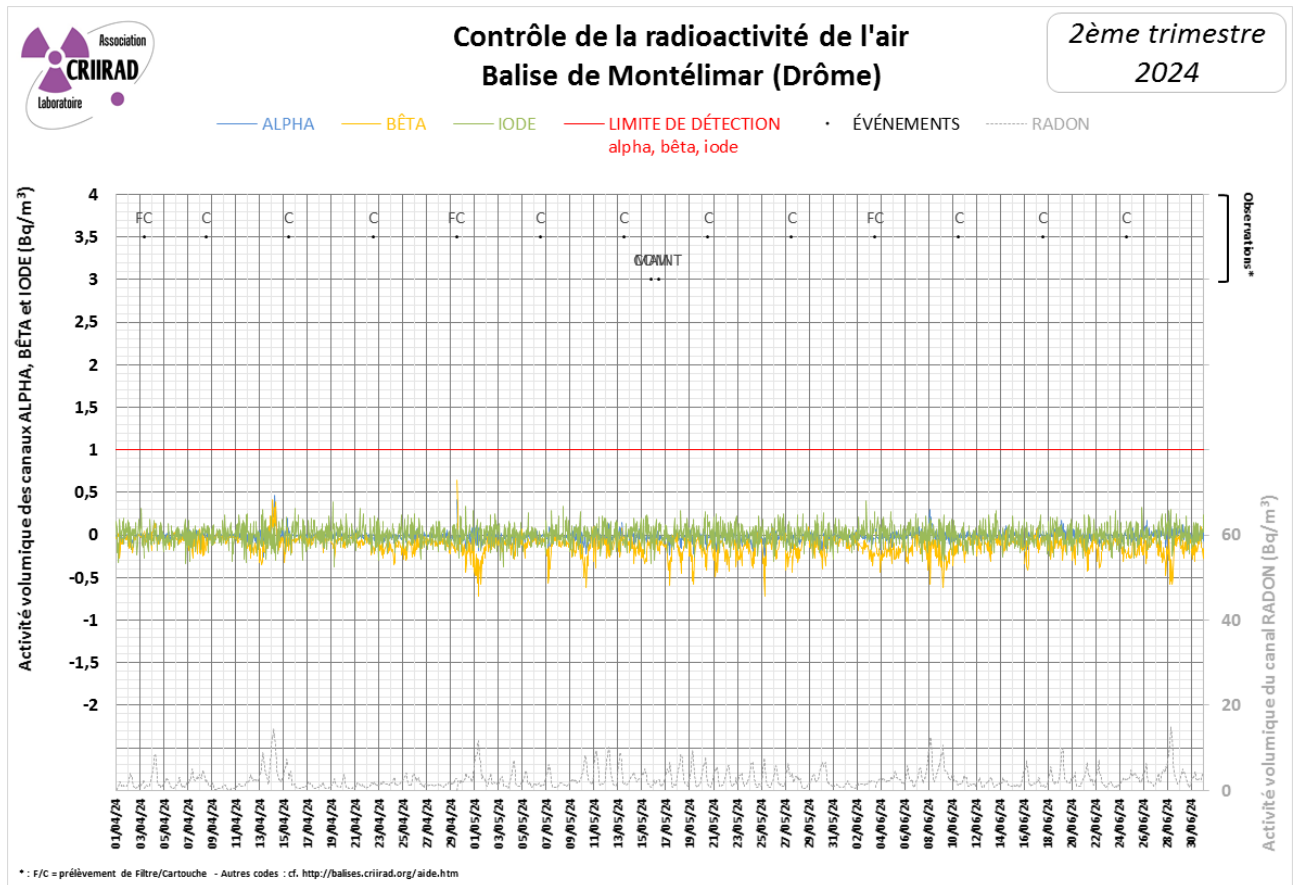
B/ Balise de Romans-sur-Isère

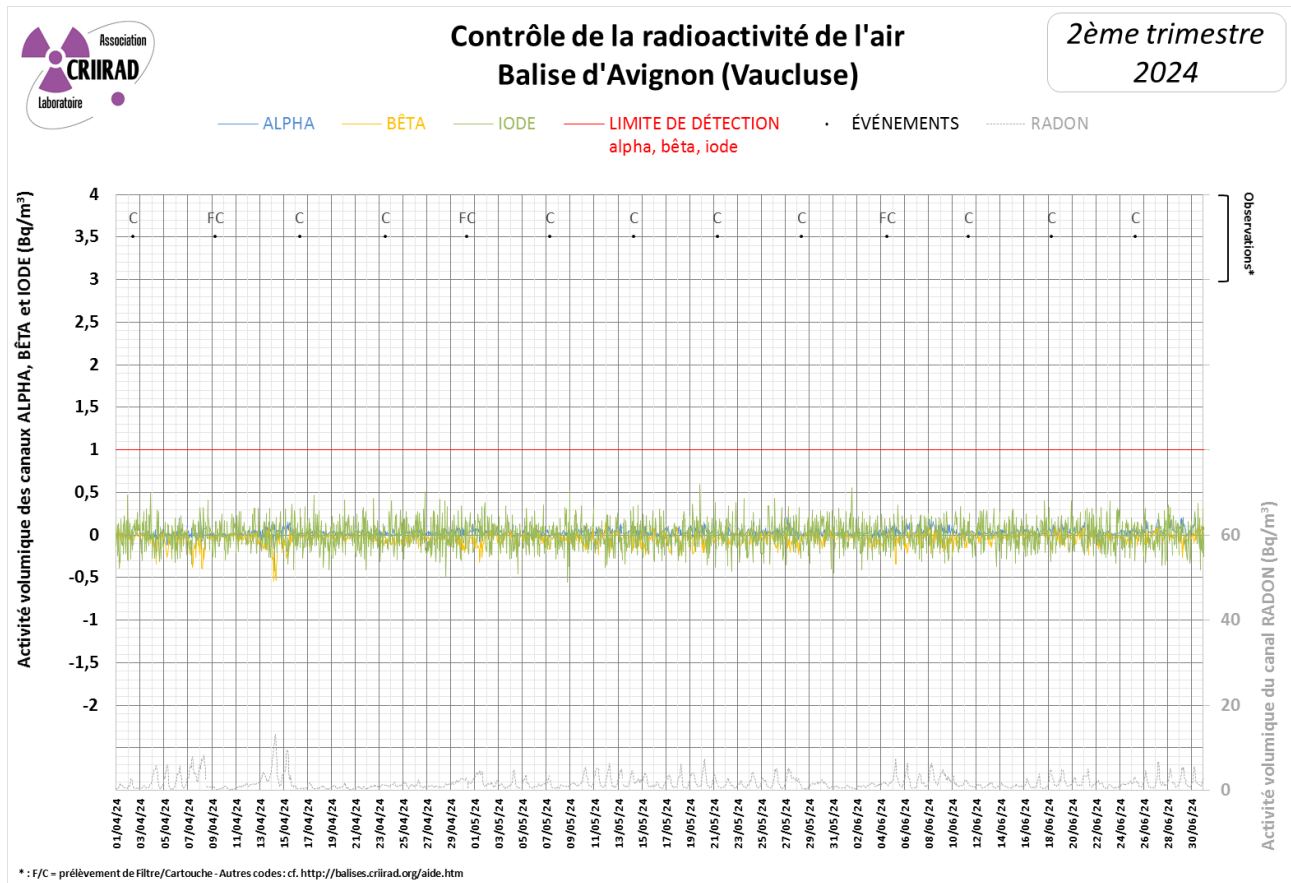


C/ Balise de Valence



D/ Balise de Montélimar





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 deux reprises (voir graphiques en page 10) au cours du trimestre sur les voies alpha et/ou bêta direct de la balise atmosphérique de **Valence** (le 14 avril et le 29 juin). 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, une activité volumique maximale en radon de 34 Bq/m^3 a été mesurée le 14 avril à la balise de Valence).

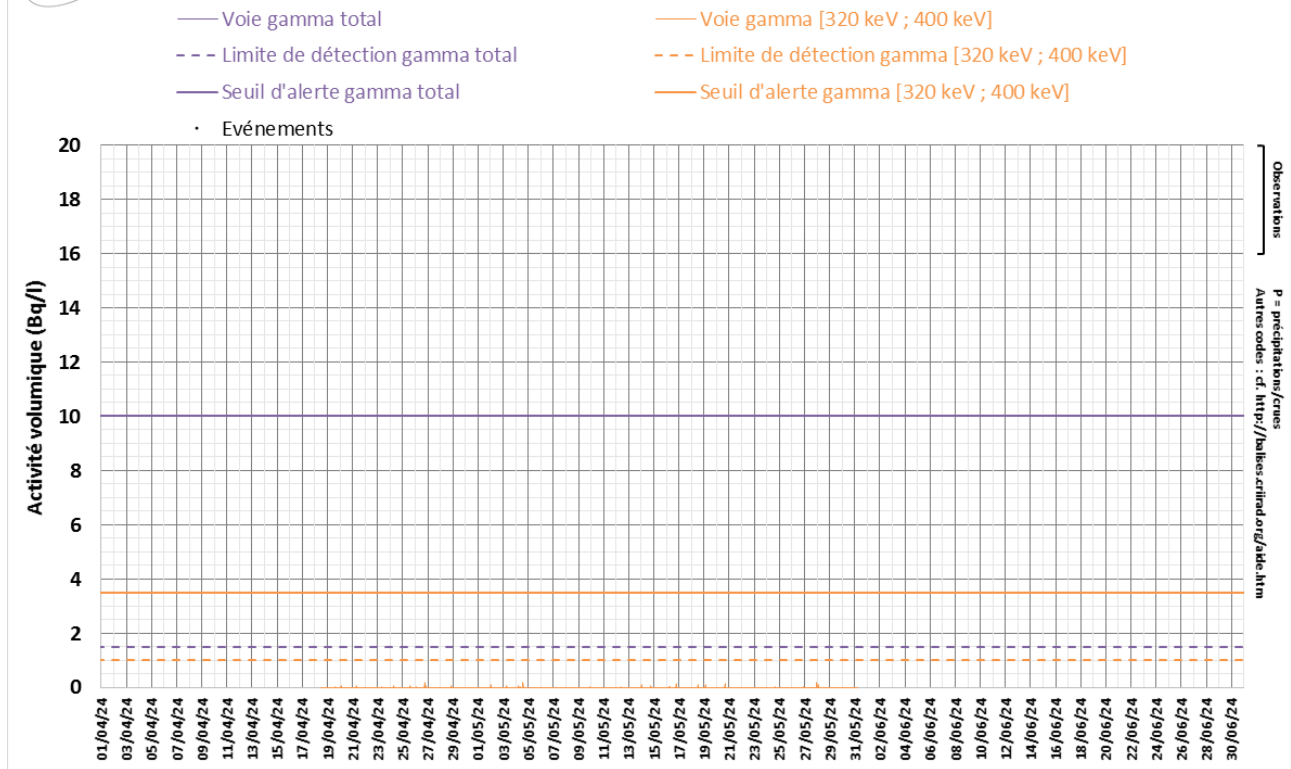
⁵ Il faut savoir que les voies alpha, bêta direct et radon sont mesurées par un seul détecteur. Un paramétrage fin permet de discriminer les impulsions mesurées par ce détecteur et de les imputer aux différentes voies : alpha artificiel, bêta artificiel direct, radon (naturel). Ce paramétrage est réglé 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.

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



Contrôle de la radioactivité de l'eau du Rhône Balise d'Avignon (Vaucluse)

2ème trimestre
2024



Commentaires

Aucune valeur n'a été mesurée pendant le trimestre (balise arrêtée, voir détails en page 4).

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	11/03/24 11:33	08/04/24 10:16	08/04/2024	08/04/24	< 11,0	< 14,0	< LD
	Romans	08/04/24 10:24	06/05/24 10:09	06/05/2024	06/05/24	< 9,0	< 16,0	< LD
	Romans	06/05/24 10:19	10/06/24 10:35	10/06/2024	10/06/24	< 14,0	< 13,0	< LD
	Valence	25/03/24 09:51	22/04/24 07:09	22/04/2024	22/04/24	< 9,0	< 12,0	< LD
	Valence	22/04/24 07:15	27/05/24 07:06	27/05/2024	27/05/24	< 9,0	< 14,0	< LD
	Valence	27/05/24 07:10	24/06/24 08:31	24/06/2024	25/06/24	< 12,0	< 19,0	< LD
	Montélimar	04/03/24 13:19	03/04/24 08:20	03/04/2024	03/04/24	< 9,0	< 14,0	< LD
	Montélimar	03/04/24 08:26	29/04/24 12:08	29/04/2024	30/04/24	< 6,0	< 8,0	< LD
	Montélimar	29/04/24 12:16	03/06/24 12:07	03/06/2024	03/06/24	< 8,0	< 10,0	< LD
	Avignon	05/03/24 09:14	09/04/24 08:07	09/04/2024	10/04/24	< 8,0	< 12,0	< LD
	Avignon	09/04/24 08:15	30/04/24 08:32	30/04/2024	02/05/24	< 11,0	< 15,0	< LD
Avignon	30/04/24 08:43	04/06/24 12:32	04/06/2024	05/06/24	< 5,0	< 7,0	< 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	02/04/24 14:56	08/04/24 10:16	08/04/2024	09/04/24	< 80	< LD
	Romans	29/04/24 10:27	06/05/24 10:09	06/05/2024	07/05/24	< 120	< LD
	Romans	03/06/24 10:24	10/06/24 10:35	10/06/2024	11/06/24	< 130	< LD
	Valence	15/04/24 08:23	22/04/24 07:09	22/04/2024	22/04/24	< 110	< LD
	Valence	20/05/24 07:38	27/05/24 07:06	27/05/2024	27/05/24	< 110	< LD
	Valence	17/06/24 14:45	24/06/24 08:31	24/06/2024	26/06/24	< 130	< LD
	Montélimar	26/03/24 10:28	03/04/24 08:20	03/04/2024	04/04/24	< 100	< LD
	Montélimar	22/04/24 12:14	29/04/24 12:08	29/04/2024	30/04/24	< 120	< LD
	Montélimar	27/05/24 12:10	03/06/24 12:07	03/06/2024	04/06/24	< 110	< LD
	Avignon	28/05/24 09:00	04/06/24 12:32	04/06/2024	07/06/24	< 140	< 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 04/06/2024.

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)
2è trimestre	04/06/24 12:00	07/06/24	32 585	< 0,11	< 0,09	< 4,9

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 et de celle du potassium 40, radionucléide d'origine naturelle, 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	
2è trimestre	04/06/2024 12:00	28/06/2024	02/07/2024	< 1,9

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 :

L'activité en tritium dans l'échantillon est restée inférieure à la limite de détection (<1,9 Bq/l).

Il s'agit seulement de la sixième analyse trimestrielle depuis 2015 (soit 6 prélèvements sur 38) pour laquelle le tritium n'est pas détecté.

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 : COMMENT VONT EVOLUER LES NIVEAUX DE CONTAMINATION ?

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

La compréhension des mécanismes d'évolution de la contamination des sols est précieuse pour anticiper les risques auxquels vont être confrontées les populations.

Il est en effet important de connaître les phénomènes qui conduisent à une redistribution de la contamination afin de comprendre quelles configurations de terrain vont être soumises à des accumulations et ainsi éviter ces zones pour se prémunir d'une surexposition.

De plus, en situation accidentelle, les mesures de la radioactivité des terrains sont souvent réalisées tardivement lorsque les risques pour les opérateurs sont plus réduits. Il faut donc tenir compte des phénomènes de redistribution de la contamination pour reconstituer correctement les dépôts initiaux. La compréhension de ces phénomènes peut ainsi permettre de déceler d'éventuelles erreurs, voire des manipulations dans les communications : l'analyse de la radioactivité d'un sol issu d'une zone de déperdition donnera des résultats plus faibles et conduira à une minoration des dépôts, alors que celle d'un sol issu d'une zone d'accumulation conduira à une surestimation des dépôts.

*Lors d'un accident nucléaire, une fois les radionucléides déposés à la surface des sols, plusieurs phénomènes vont conduire à une évolution des niveaux de contamination. Dans les quelques jours et semaines qui suivent les dépôts, la **décroissance radioactive** des radionucléides est le facteur prédominant dans l'évolution globale des niveaux de contamination. Mais le sol n'étant pas une boîte étanche de laquelle aucun radionucléide ne s'échapperait, l'évolution de la contamination est également impactée par des **phénomènes physico-chimiques** complexes qui vont redistribuer spatialement la contamination, créant ainsi des **zones de déperdition** et des **zones d'accumulation**.*

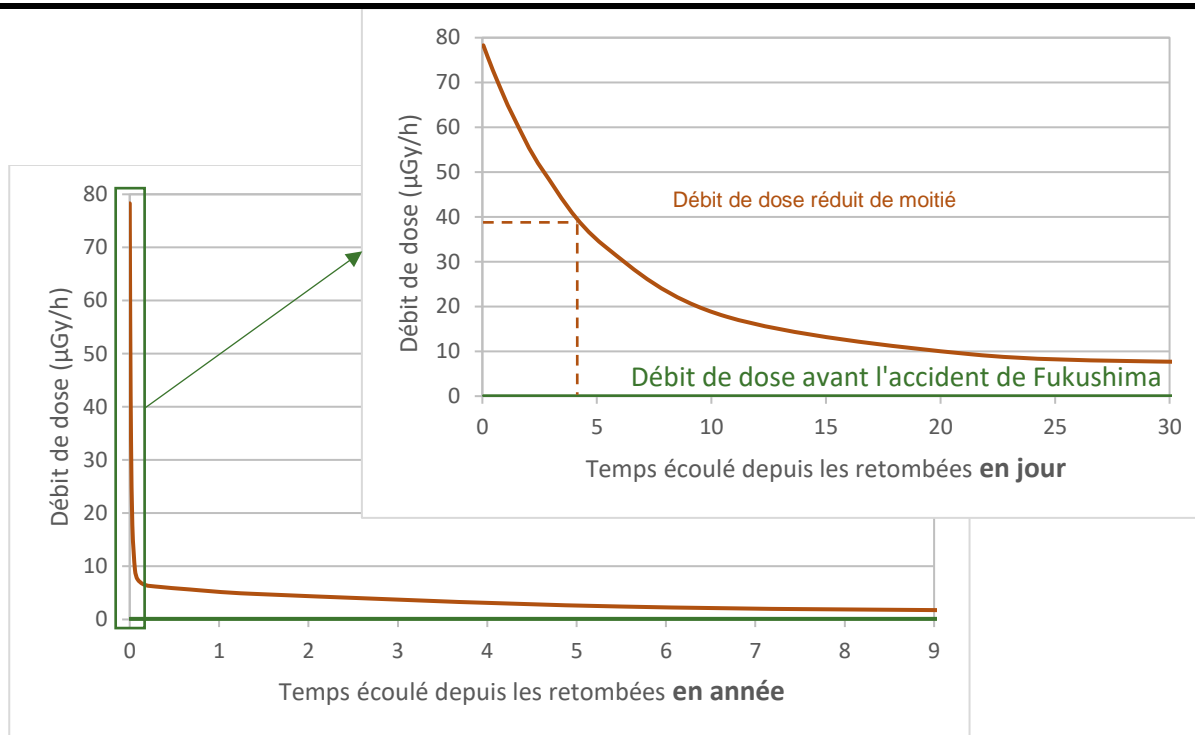
La décroissance radioactive des radionucléides

Comme cela a été évoqué dans les fiches G1 et A1, tout radionucléide se caractérise par sa période radioactive, c'est-à-dire le temps au bout duquel son activité est divisée par 2. Lors d'un accident nucléaire conduisant à des rejets dans l'environnement, le débit de dose gamma mesuré résulte de la contribution de tous les radionucléides émetteurs gamma présents. Or, une partie de ces radionucléides possède des périodes radioactives courtes, de l'ordre de quelques heures ou jours.

A l'issue, entre 25 et 45 km au nord-ouest de la centrale de Fukushima Daiichi, des universitaires japonais ont reconstitué l'évolution des débits de dose au cours du temps, à l'issue des retombées radioactives. Ils se sont appuyés pour cela sur des mesures de sol et des calculs basés sur les périodes radioactives des radionucléides détectés (T. IMANAKA, et al., 2011⁶).

L'évolution du débit de dose au cours du temps est représentée sur les graphiques suivants. Si l'on considère les 30 premiers jours, on observe une décroissance très rapide du débit de dose qui est réduit de moitié dans les 4 jours qui suivent les retombées du fait de la décroissance rapide des radionucléides à période courtes. C'est le cas par exemple du tellure 132 de 78 heures de période ou de l'iode 131 dont la période est de 8 jours.

⁶ <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No110/litate-interim-report110404.pdf>



Le débit de dose décroît ensuite très lentement, du fait de la présence persistante de radionucléides à période plus longue : le césium 134 avec une période de 2 ans et le césium 137 dont la période est de 30 ans. Dans cet exemple, l'exposition est particulièrement élevée durant les premiers jours après les retombées, mais elle reste préoccupante, même après plusieurs années.

L'action de l'eau, de la végétation, du vent et de l'Homme va cependant complexifier l'évolution de la contamination.

Les phénomènes physico-chimiques

L'action de l'eau

L'eau est un vecteur très important. Par ruissellement sur les surfaces, elle conduit à des transferts horizontaux de la contamination et par infiltration dans les sols, à un transfert vertical.

Les transferts horizontaux :

La pluie en ruisselant entraîne les particules radioactives déposées sur les surfaces (végétation, bâtiments, sol, etc.) et les concentre dans les points bas tels que les cuvettes, les fossés, etc. La fiche S3 présente ces points d'accumulation.

Les dépôts neigeux contaminés agissent de la même façon en relarguant les radionucléides progressivement et de manière différée lors de la fonte des neiges.

Les transferts verticaux :

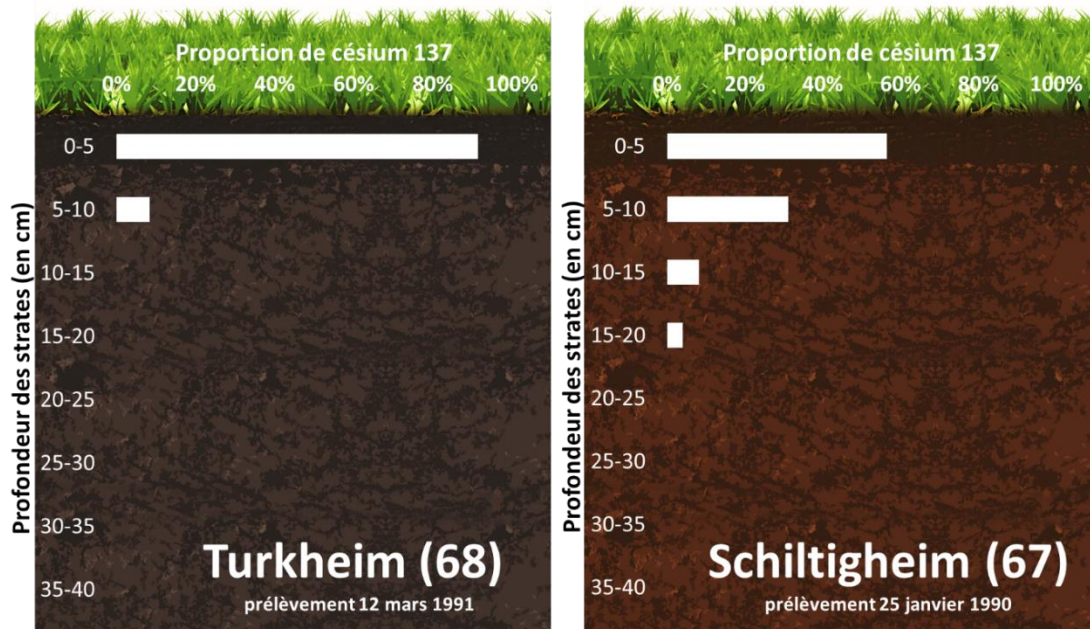
En général, une pluie intense aura pour effet d'entraîner les radionucléides plus en profondeur dans le sol. Mais de nombreux paramètres influencent le transfert vertical : la forme physico-chimique des radionucléides déposés, la composition minéralogique du sol, son humidité, le pH, le taux de matière organique, la teneur et le type d'argile constituant le sol, la capacité d'échange cationique, etc. En général, plus l'eau du sol est acide (pH faible) et la teneur en argile faible, plus la mobilité des radionucléides est grande et leur migration vers les strates inférieures importante. La matière organique présente dans le sol affecte également la mobilité des radionucléides en fonction de leur capacité à former ou non des complexes organiques.

La composition physico-chimique du sol a donc une grande influence sur le transfert vertical.

Dans le cadre d'études sur l'évaluation des retombées de Tchernobyl en France, la CRIIRAD a réalisé un grand nombre de carottages de sol sur tout le territoire. La technique du carottage consiste à prélever à l'aide d'un tube métallique des échantillons de sol par strate de même épaisseur. Le tube fait en quelque sorte office d'emporte pièce. Il est tout d'abord enfoncé sur 5 centimètres puis retiré. L'échantillon extrait correspond ainsi à la strate de 0 à 5 cm. L'opération se poursuit de la même manière en enfonçant le tube métallique par pas de 5 ou 10 cm jusqu'à atteindre une profondeur de 40 ou 50 cm. Cela permet d'avoir une représentation de la distribution verticale de la radioactivité.

Les profils de contamination des sols par le césium 137 ainsi obtenus sont très variables. Les graphiques ci-dessous concernent deux sols alsaciens prélevés quelques années après les retombées de Tchernobyl.

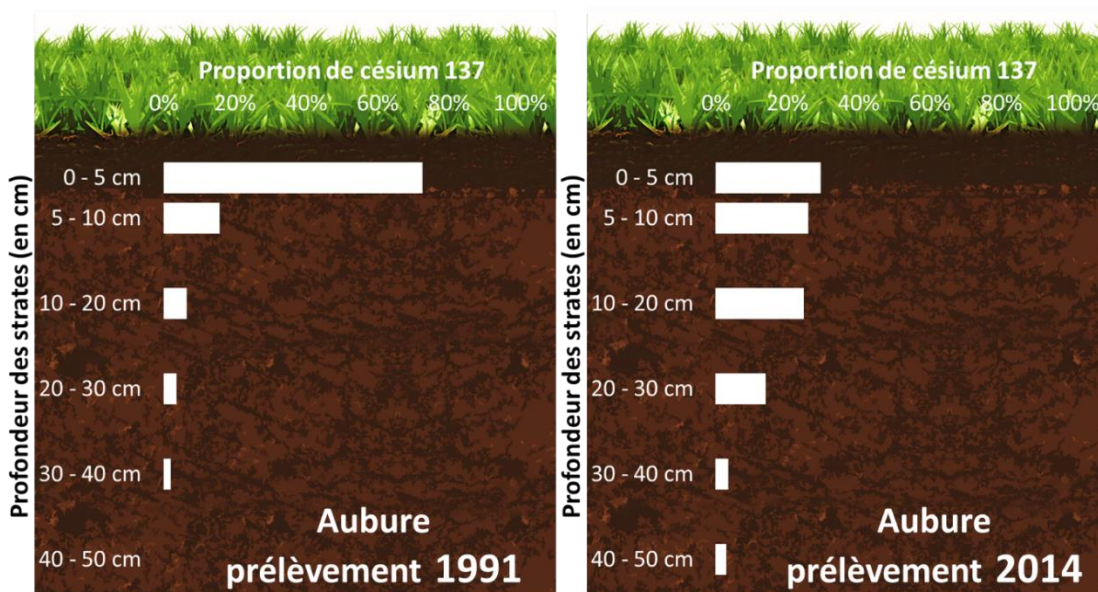
Pour le sol de Turkheim, même 5 ans après les retombées, la totalité du césium 137 de Tchernobyl se retrouve dans les 10 premiers centimètres de sol (92% sont contenus dans les 5 premiers centimètres, 8% de 5 à 10 cm). Dans le sol de Schiltigheim, pourtant prélevé un an auparavant, on retrouve du césium 137 de Tchernobyl jusqu'à 20 cm de profondeur (57 % seulement sont contenus dans les 5 premiers centimètres et 31% de 5 à 10 cm). La majorité du césium (environ 90%) est cependant toujours contenue dans les 10 premiers centimètres de sol.



Ce phénomène de migration verticale revêt une grande importance lorsque l'on cherche à reconstituer les dépôts initiaux à partir de prélèvements de sol. En effet, prélever uniquement les 5 premiers centimètres conduirait à une sous-estimation de la quantité totale déposée.

Afin de connaître l'évolution à plus long terme de la contamination des sols en césium 137, la CRIIRAD a complété ses premières études par de nouveaux carottages en 2014 et 2015. Par exemple, pour le site d'Aubure en Alsace on remarque que, dans les premières années suivant les retombées, plus de 90% de la contamination en césium 137 total (retombées de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques) était contenue dans les 10 premiers centimètres de sol. 25 ans après, les 10 premiers centimètres n'en contiennent plus que 60 %.

En comparant l'activité mesurée en 2014 à celle mesurée en 1991, on observe une déperdition notable de césium 137 qui ne s'explique pas par sa seule décroissance radioactive. Le transfert à la végétation, surtout si celle-ci est retirée lors de récolte, tonte ou fauchage, la migration horizontale due à l'action de l'eau, l'érosion et la migration verticale au-delà de 50 cm sont les principaux processus responsables de cette déperdition.



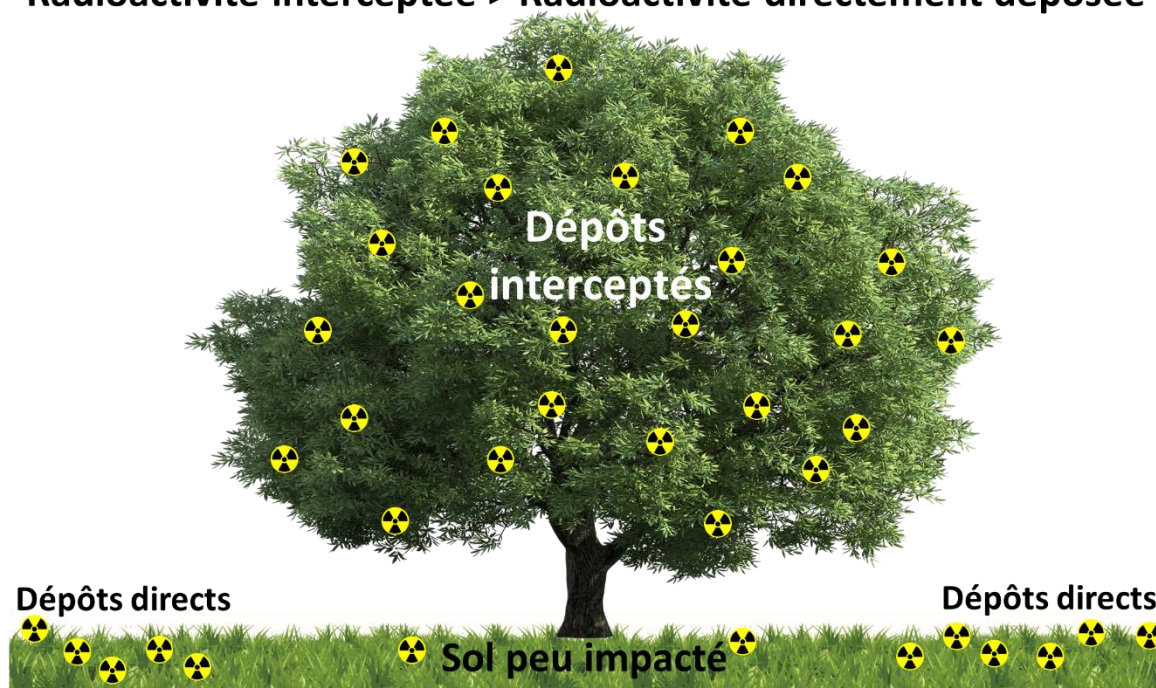
L'action de la végétation

Interception de la contamination

En fonction de la nature du couvert végétal (prairie, forêt), de la présence ou non du feuillage au moment des retombées, de la forme des branches ou des feuilles, la végétation intercepte plus ou moins la contamination. Du fait d'une plus grande surface foliaire, un arbre couvert de feuilles intercepte ou adsorbe plus de radionucléides qu'un parterre enherbé.

Ainsi, dans le cas d'un rejet accidentel se produisant au printemps alors que le feuillage des arbres est déjà développé, les sols situés sous le feuillage d'un arbre ou sous couvert forestier sont, dans un premier temps, protégés des retombées alors qu'un sol nu sera directement impacté.

Radioactivité interceptée > Radioactivité directement déposée



Lors d'épisodes pluvieux, les gouttes de pluie vont ruisseler à la surface des feuilles et se charger en radionucléides qui n'ont pas été métabolisés. Au moment de la chute des feuilles, toute la contamination qu'elles ont incorporée se retrouve déposée au sol. Les retombées au sol peuvent alors être bien plus importantes que si le sol avait été nu.

Prélèvements de la contamination par la végétation

Une partie de la contamination du sol est transférée à la végétation via le système racinaire. Les propriétés physico-chimiques des sols et des radionucléides ainsi que le type de végétation sont autant de paramètres qui vont influencer ces transferts. La fiche AL1 détaille les mécanismes en jeu et présente des exemples de facteur de transfert de la contamination des sols aux plantes.

Lorsque la contamination, qu'elle ait lieu par dépôt direct ou par transfert racinaire, touche des végétaux cultivés pour l'alimentation ou pâturés par du bétail, l'ensemble de la chaîne alimentaire est impacté.

Sur les parcelles cultivées on assiste à un retrait d'une partie de la contamination lors des récoltes. La part de contamination retirée dépend des végétaux cultivés et de la partie récoltée. Il peut en effet s'agir de la plante entière dans le cas de légumes feuilles (salades, épinards, blettes par exemple) ou de certaines parties seulement (fruits, graines, racines).

Dans le cas de parcelles pâturées, la végétation est ingérée par le bétail : une partie de la contamination est alors métabolisée par l'animal, mais une autre part est rejetée par ses déjections.

Lorsque les terrains ne sont pas exploités, la matière végétale contaminée se dégrade sur place et les radionucléides sont alors transférés au sol.

L'action du vent

Le vent va avoir pour effet de remettre en suspension les particules radioactives déposés sur les différentes surfaces (végétation, bâti, sol, etc.) et redistribuer ainsi la contamination. Selon sa puissance et la taille des particules radioactives, ces dernières peuvent être déplacées sur de très grandes distances : plus le diamètre des particules est

faible, plus elles sont susceptibles d'être mises en suspension dans l'air et plus longtemps elles y resteront. Ces phénomènes de dispersion de particules liés à l'érosion éolienne peuvent se poursuivre dans le temps et concerner les particules de sol contaminé.

Le vent contribue également à amplifier la dispersion des particules radioactives lors de travaux, labours, moissons ou chantiers où des particules contaminées sont remises en suspension par le passage des engins. Sur des terrains où les dépôts sont élevés et surtout là où des radionucléides très radiotoxiques ont été déposés (comme le plutonium par exemple), ces phénomènes peuvent poser des problèmes sanitaires car les particules remises en suspension peuvent être inhalées par les conducteurs d'engins et les riverains.

Les incendies de végétation contaminée comme cela a été le cas au printemps 2020 dans la zone d'exclusion de Tchernobyl remettent également en suspension des particules contaminées. En effet le bois, le couvert végétal, et la litière en forêt, sont des réservoirs de contamination. La combustion de ces matériaux contaminés propulse alors dans l'atmosphère une partie des substances radioactives accumulées. Les personnes soumises à ces fumées sont exposées immédiatement à une irradiation externe par le panache et à une exposition interne par inhalation d'air contaminé. Elles sont ensuite soumises à une exposition différée, à l'issue des retombées (par exemple contamination par ingestion de denrées contaminées par les nouveaux dépôts au sol). Le niveau de risque dépend évidemment des niveaux de contamination.

L'action de l'homme

Le labour

Les sols soumis au labour présentent des profils de contamination complètement remaniés : en surface le profil présente peu de contamination puisque les strates plus profondes non impactées par les dépôts ont été ramenées en surface. Les strates de surfaces plus contaminées se retrouvent quant à elles à la profondeur atteinte par le labour. Cette intervention a pour effet de limiter l'exposition externe puisque les radionucléides se retrouvent sous environ 20 cm de terre. Par ailleurs, les radionucléides enfouis seront moins disponibles pour le transfert racinaire. Au fil du temps et de la succession des labours, la contamination va progressivement s'homogénéiser sur toute la profondeur du labour.

Le fauchage et la tonte

Le fauchage ou la tonte de la végétation contaminée et son retrait vont permettre d'ôter une partie de la contamination qui a été déposée et incorporée par les plantes. Les apports de contaminant au sol vont ainsi être réduits. Cependant la gestion de la végétation retirée pose une véritable question. Suite à l'accident de Fukushima au Japon, l'Etat japonais a dû créer plus de 1 000 sites de stockage temporaires de déchets (sols, végétaux). Fin mars 2019, les déchets de certains sites ont été évacués soit vers des centres de traitements, soit vers le site d'entreposage intermédiaire créé par le gouvernement japonais autour de la centrale de Fukushima Daiichi, sur les communes de Futaba et Okuma. Ce site de 16 km² prévoit d'accueillir pour une durée de 30 ans (de 2015 à 2045), 30 millions de tonnes de déchets les plus contaminés. La solution n'est donc que temporaire et la situation de la plupart des entreposages reste très précaire.

Afin de réaliser une évaluation des retombées la plus juste possible, les phénomènes précédemment cités qui concourent à la modification de la distribution des radionucléides doivent impérativement être pris en compte. Un prélèvement réalisé sur les 5 premiers centimètres de sol alors qu'une partie des radionucléides a déjà commencé à migrer en profondeur aura pour effet de minorer la contamination. A l'inverse, se baser sur les résultats d'une zone d'accumulation pour estimer le dépôt moyen d'un secteur conduirait à surestimer la contamination.

Dans le cadre de ces études¹ sur les retombées de Tchernobyl en France, le protocole de carottage de sol établi par la CRIIRAD a été pensé dans ce sens. Des critères très stricts pour le choix des sites étudiés ont été appliqués. Les sites devaient être des terrains :

- nus et dégagés, ce qui permettait de s'affranchir des phénomènes d'interception par la végétation,
- plats, afin de limiter la migration horizontale,
- non cultivés, pour s'affranchir du retrait de la végétation contaminée,
- non remaniés.

La profondeur sondée s'étendait de 0 à 40 cm par tronçons de 5 cm d'épaisseur ce qui devait permettre sauf exception d'intégrer l'ensemble des dépôts de Tchernobyl.

¹ Ces études étaient destinées à évaluer a posteriori les retombées de Tchernobyl sur les surfaces cultivées et donc le risque sanitaire. De 1987 à 1992, 169 sites ont fait l'objet d'un carottage.

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

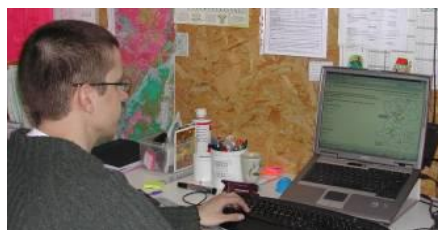
Le laboratoire de la CRIIRAD est un laboratoire d'analyse spécialisé dans les mesures de radioactivité et agréé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) pour les mesures de radioactivité de l'environnement et les contrôles radon (voir portée de l'agrément sur le site <http://www.criirad.org/laboratoire/agrements.html>). Le laboratoire comprend notamment un service dédié à la gestion des réseaux de balises de contrôle en continu de la radioactivité dans l'environnement. Sept scientifiques et techniciens assurent le fonctionnement de ce service.



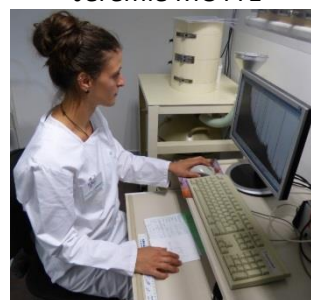
CONSEILLER SCIENTIFIQUE
Bruno CHAREYRON



**RESPONSABLE DU SERVICE DE GESTION
DES BALISES**
Jérémy MOTTE



CO-DIRECTEUR
Julien SYREN



CO-DIRECTRICE
Marion JEAMBRUN



**INTERVENTIONS HEBDOMADAIRES,
PREPARATION ECHANTILLONS, ANALYSES**
Stéphane PATRIGEON



SCRUTATION DES DONNEES
Stéphane MONCHÂTRE



RESPONSABLE QUALITE
Manon CAVALIER

EQUIPE D'ASTREINTE

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