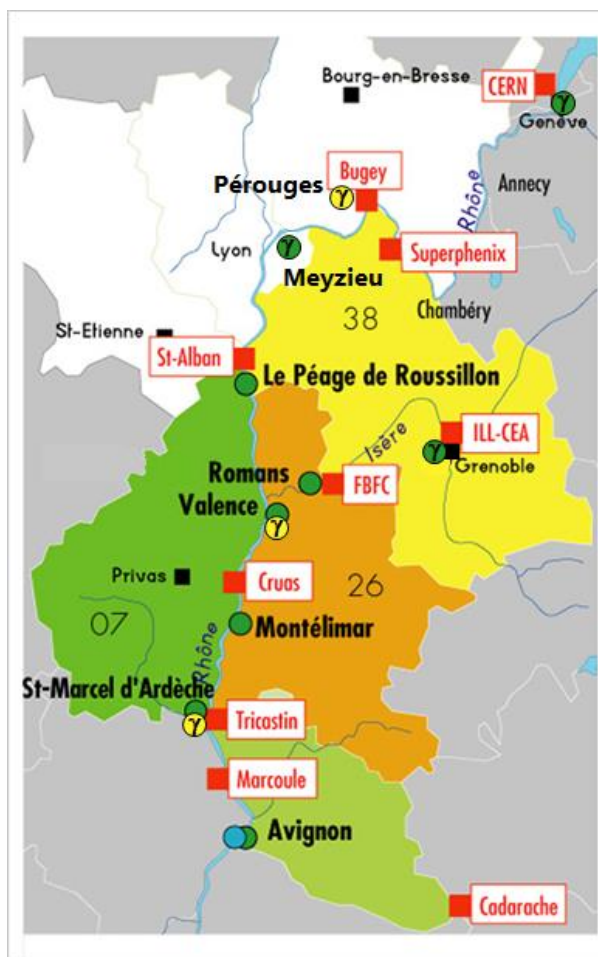


SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE ATMOSPHERIQUE ET AQUATIQUE

RESEAU DE BALISES CRIIRAD

Rapport N° 23-01

RAPPORT TRIMESTRIEL JUILLET-AOUT-SEPTEMBRE 2022



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

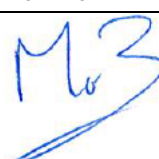


**MÉTROPOLE
GRAND LYON**
Communes du réseau Montilien

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 - Troisième trimestre 2022	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 ambiant	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.....	13
III/ Résultats des analyses du prélèvement trimestriel de l'eau du Rhône.....	14
EN SAVOIR PLUS sur les balises	15
FOCUS : PROPHYLAXIE PAR L'IODE IODES RADIOACTIFS, THYROÏDE ET CANCER	16
LABORATOIRE CRIIRAD	22

	EMETTEUR	APPROBATION
Nom - Fonction	J. Motte (responsable du service balises)	J. Syren (responsable du service radon)
Date	06/02/2023	06/02/2023
Signature		

SYNTHESE – FONCTIONNEMENT DU RESEAU DE BALISES CRIIRAD

I/ Synthèse des résultats / Taux de fonctionnement par système de détection - Troisième trimestre 2022

Aucune anomalie radiologique n'a été mise en évidence au cours du troisième trimestre 2022.

BALISE DETECTION	Pérourges	Péage-de-Roussillon	Romans-sur-Isère	Valence	Montélimar
Alpha/Bêta (Air)		 99,8%	 99,8%	 99%	 94%
Iode (Air)		 0%	 99,8%	 99%	 94%
Gamma (Air)	 99,8%			 99%	

Légende



Aucune contamination détectée / Taux de fonctionnement*



Contamination détectée / Taux de fonctionnement*



Problème technique ponctuel ou maintenance

BALISE DETECTION	Genève	Grenoble	Meyzieu**	Saint-Marcel d'Ardèche	Avignon Air	Avignon Eau
Alpha/Bêta (Air)				 99,1%	 99,8%	
Iode (Air)				 0%	 99,8%	
Gamma (Air)				 99,1%		
Spectrométrie Gamma (Air)	 100%	 100%	 100%			
Gamma (Eau)						 0%

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%).

** Le taux de fonctionnement de la sonde de Meyzieu est calculé depuis sa mise en service, le 12 juillet.

II/ A signaler au cours du trimestre

- **Sonde de spectrométrie gamma de Meyzieu** : cette nouvelle station de mesure, est venue compléter le réseau de surveillance de la radioactivité de l'air géré par la CRIIRAD le 12 juillet 2022. Ce dispositif, qui mesure le débit de dose gamma ambiant de l'air, est équipé d'un spectromètre embarqué permettant l'acquisition de spectres gamma pour chaque mesure (même technologie que les stations de Genève et

Grenoble). En cas d'augmentation du niveau de radiation dépassant d'un facteur 2 le niveau naturel moyen, l'équipe d'astreinte du laboratoire de la CRIIRAD en est informée automatiquement. L'examen à distance des spectres gamma permet alors de déterminer s'il s'agit d'un phénomène naturel ou d'une situation nécessitant le lancement d'une alerte. L'acquisition et l'installation de ce nouveau matériel ont été financées par la Métropole du Grand Lyon. L'exploitation du dispositif est également assurée par la Métropole.

- **Arrêts de l'alimentation électrique aux balises :** au cours du trimestre, des arrêts de l'alimentation électrique se sont produits à neuf reprises à la balise de Valence (les 12, 19, 22 et 29 juillet, les 10 et 19 août ainsi que les 13, 16 et 24 septembre), à six reprises à la balise de Saint-Marcel d'Ardèche (le 4 juillet, les 2, 10 et 13 août ainsi que les 14 et 20 septembre), à deux reprises à la sonde gamma de Pérouges (le 26 juillet et le 4 septembre) ainsi qu'à la balise atmosphérique d'Avignon (les 19 et 25 juillet), à deux reprises à la balise de Romans (le 28 juillet et le 13 août), à une reprise à la balise de Montélimar (le 27 juillet). Des arrêts très ponctuels de l'alimentation électrique (n'ayant pas entraîné de perte de mesure) sont survenus aux sondes de spectrométrie gamma de Genève (le 17 septembre), Grenoble (le 16 septembre) et Meyzieu (le 17 août). Aucun de ces arrêts, d'une durée inférieure à 3 heures, n'a nécessité de déplacement d'un technicien sur site.

- **Absences de communication aux balises :** des arrêts de communication avec la centrale de gestion sont survenus à 2 reprises à la balise de Péage-de-Roussillon, les 26 et 31 août et à une reprise à la balise de Montélimar (le 8 septembre) ainsi qu'à la sonde gamma de Genève (le 2 juillet). 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 un technicien du laboratoire CRIIRAD sur les balises de Péage-de-Roussillon et Montélimar, et un technicien du Service Energie de la Ville de Genève sur la sonde gamma. A noter que la réinitialisation de l'électronique entraîne par la suite une absence de données pendant une période inférieure à 2 heures.

- **Dysfonctionnements ponctuels de l'électronique (balises de Montélimar et Saint-Marcel d'Ardèche) :** Suite à des interruptions ponctuelles de l'alimentation électrique, des dysfonctionnements électroniques ont concerné les balises de Montélimar le 27 juillet et de Saint-Marcel d'Ardèche le 14 septembre :

- A la balise de Montélimar, le dysfonctionnement, constaté lors de l'intervention hebdomadaire du 1^{er} août, a concerné le système d'avancement du filtre aérosols. Le filtre, censé avancer à une vitesse de 1 centimètre par heure, est resté bloqué sur la même position depuis l'interruption électrique, en raison d'un dysfonctionnement de la carte de commande électronique de l'avancement. Cette carte a été réinitialisée et est depuis opérationnelle. A signaler qu'il a été nécessaire d'intervenir de nouveau le 2 août à la balise de Montélimar pour remplacer le tuyau de refoulement de l'air à l'extérieur et un tuyau de passage d'air à l'arrière de la balise défectueux.

- Concernant la balise de Saint-Marcel d'Ardèche, l'opérateur en charge de vérifier les données a constaté le 15 septembre 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 directement le dysfonctionnement.

- **Fuite de lubrifiant sur la pompe de la balise aquatique d'Avignon :** cette fuite a été constatée le 30 juin par un technicien de la société CNR, propriétaire du local dans lequel se trouve la balise. A la demande du

laboratoire de la CRIIRAD, les services techniques de la Ville d'Avignon sont intervenus sur site le même jour afin d'arrêter la pompe et éviter tout dommage supplémentaire. Après des échanges avec la société prestataire chargée de la maintenance du matériel et la Ville d'Avignon, la pompe a été démontée et livrée le 11 août par le laboratoire de la CRIIRAD dans les ateliers de la société prestataire pour expertise. Cette dernière a mis en évidence une usure anormale de certaines pièces remplacées lors de la récente maintenance (janvier 2022). Si le remplacement de certaines pièces est rentré dans le cadre de la garantie, la Ville d'Avignon, propriétaire de la balise, a dû prendre en charge le solde des réparations. Le technicien du laboratoire de la CRIIRAD est intervenu le 10 octobre pour remettre en service la pompe mais a constaté que le tuyau de prélèvement d'eau du Rhône était défectueux. Après commande d'un nouveau tuyau, une nouvelle intervention le 21 octobre a permis de remettre en service la balise. Aucune valeur n'a donc été mesurée par la balise au cours du trimestre.

• **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 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. Les contributions des communautés de communes DRAGA et Entre Bièvre et 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 signaler que le laboratoire de la CRIIRAD est intervenu :

- à la balise de Péage-de-Roussillon **les 26 et 31 août** pour réinitialiser l'électronique de communication ;
- à la balise de Saint-Marcel d'Ardèche **le 4 juillet** pour mettre en place un nouveau rouleau de filtre aérosols.

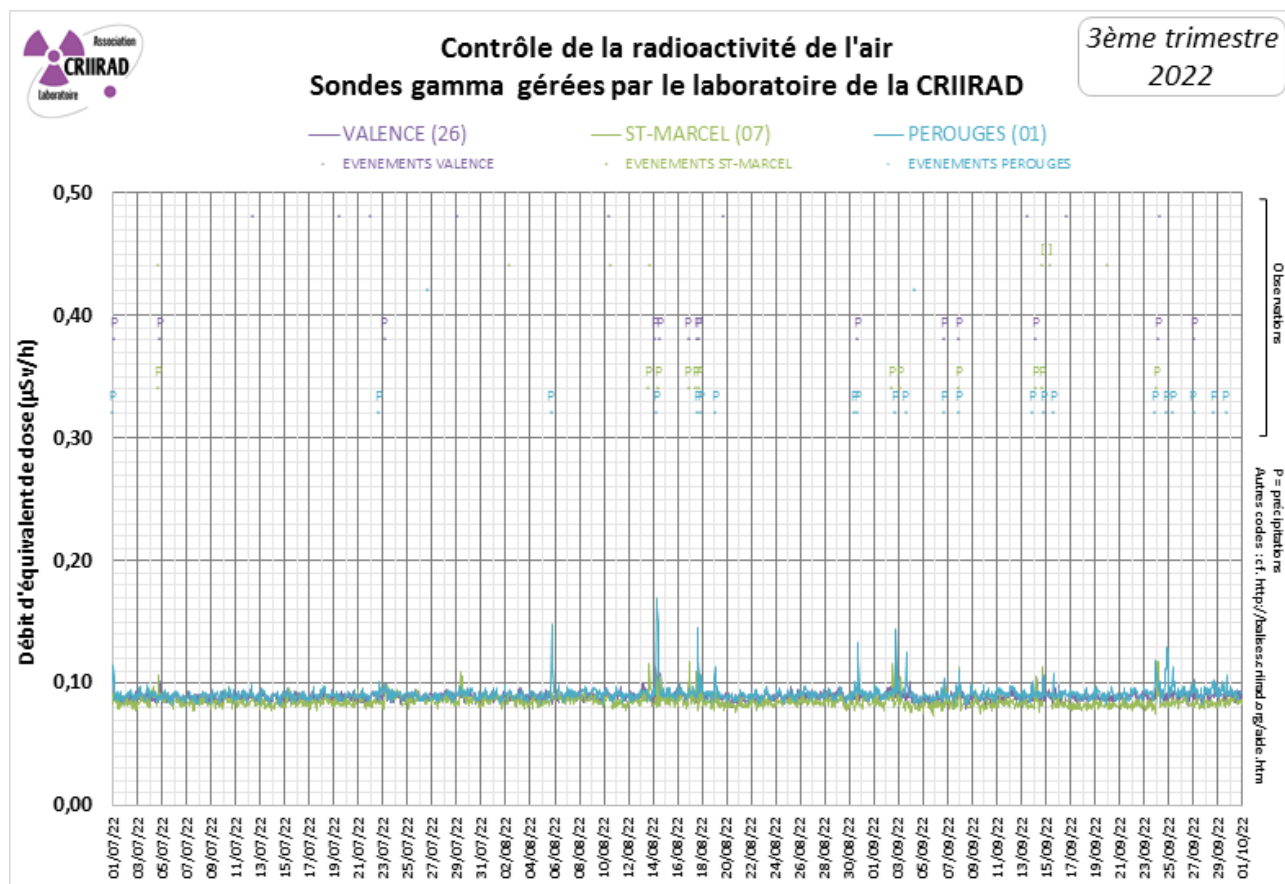
¹ L'arrêt de cette surveillance permet des économies importantes car il n'est plus nécessaire d'intervenir chaque semaine pour remplacer la cartouche à charbon actif. Mais en conséquence, la CRIIRAD ne sera plus en capacité de déterminer l'activité volumique de l'iode 131 gazeux. La fonction d'alerte reste activée en cas d'augmentation 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.

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

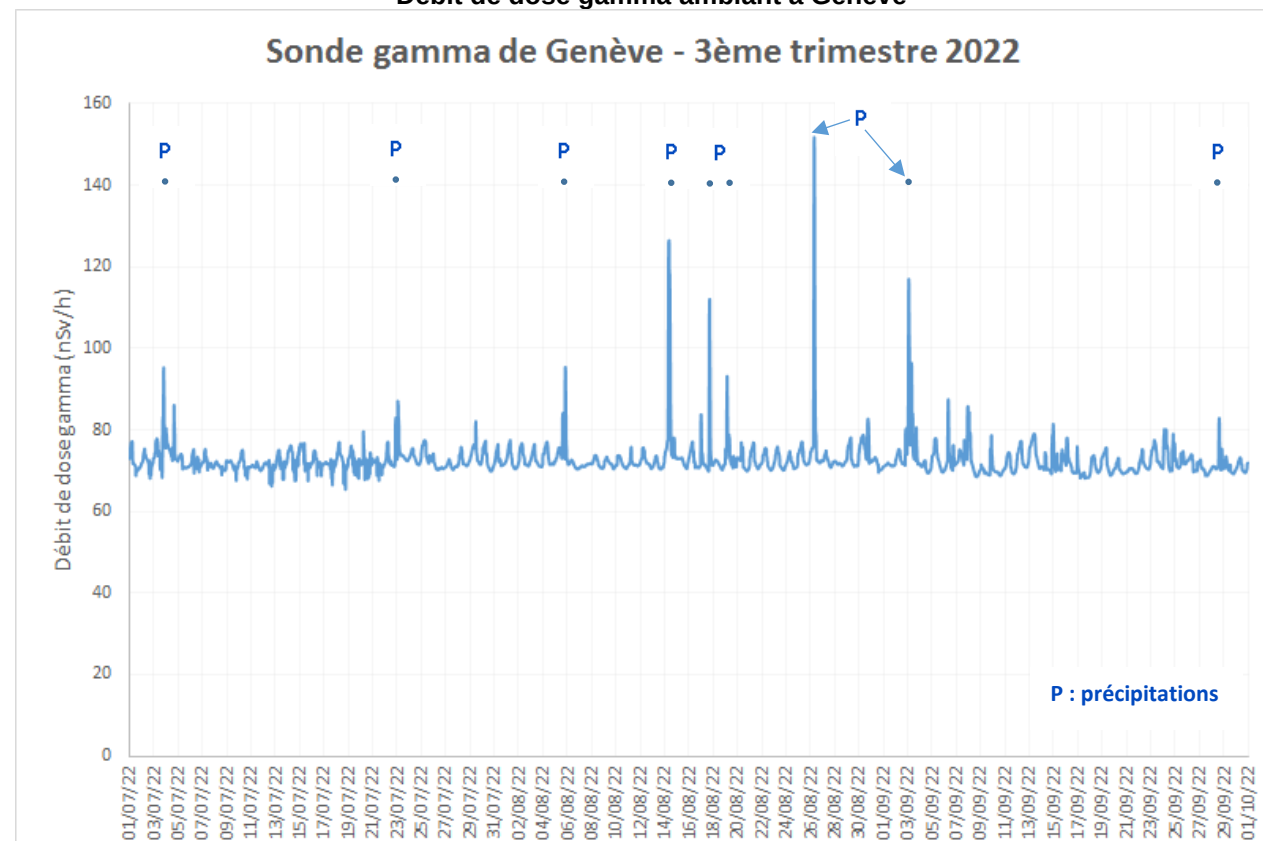
RESULTATS DES CONTROLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

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

I/ Surveillance en continu du débit de dose gamma ambiant

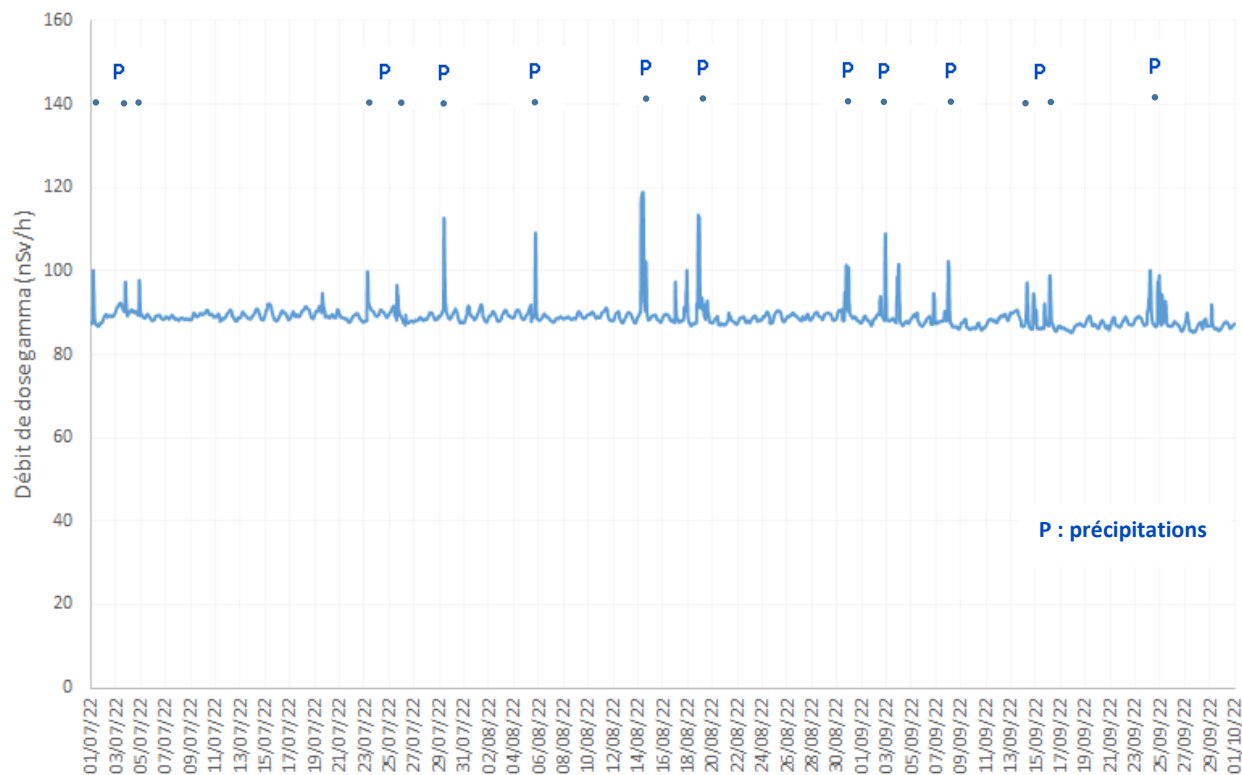


Débit de dose gamma ambiant à Genève



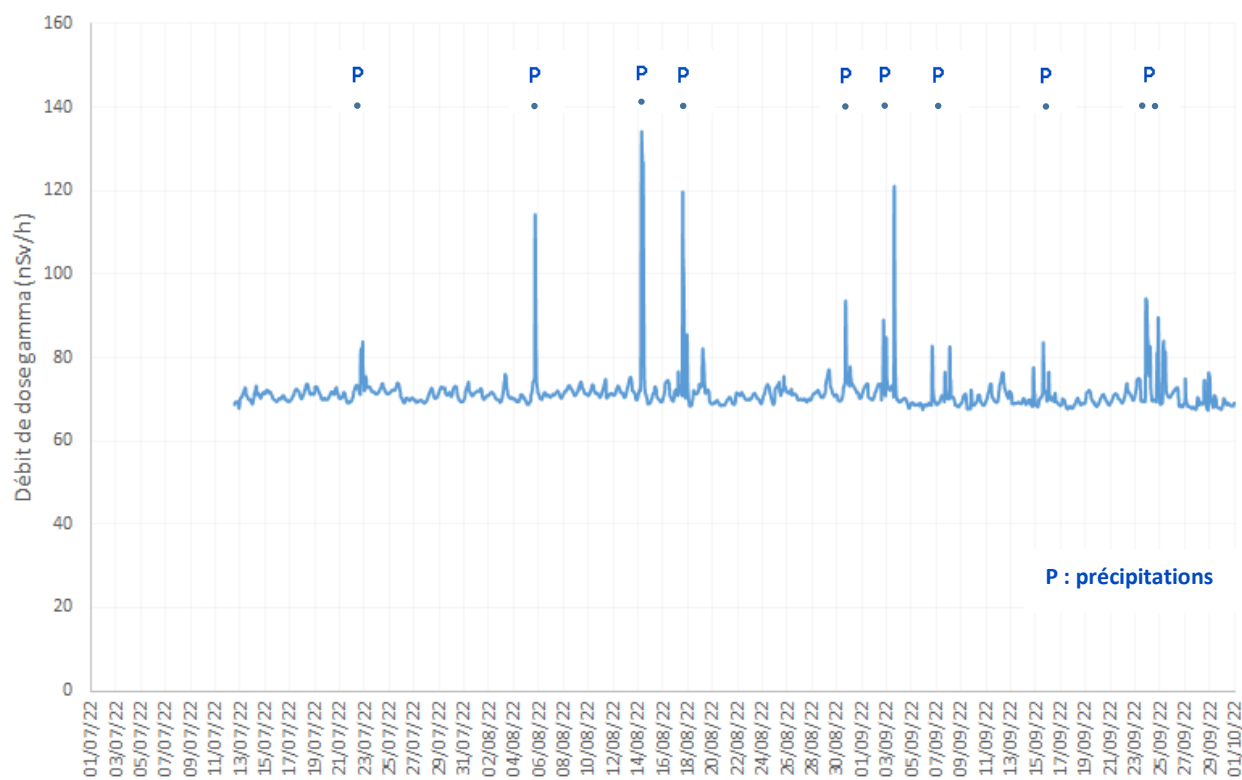
Débit de dose gamma ambient à Grenoble

Sonde gamma de Grenoble - 3ème trimestre 2022



Débit de dose gamma ambient à Meyzieu

Sonde gamma de Meyzieu - 3ème trimestre 2022



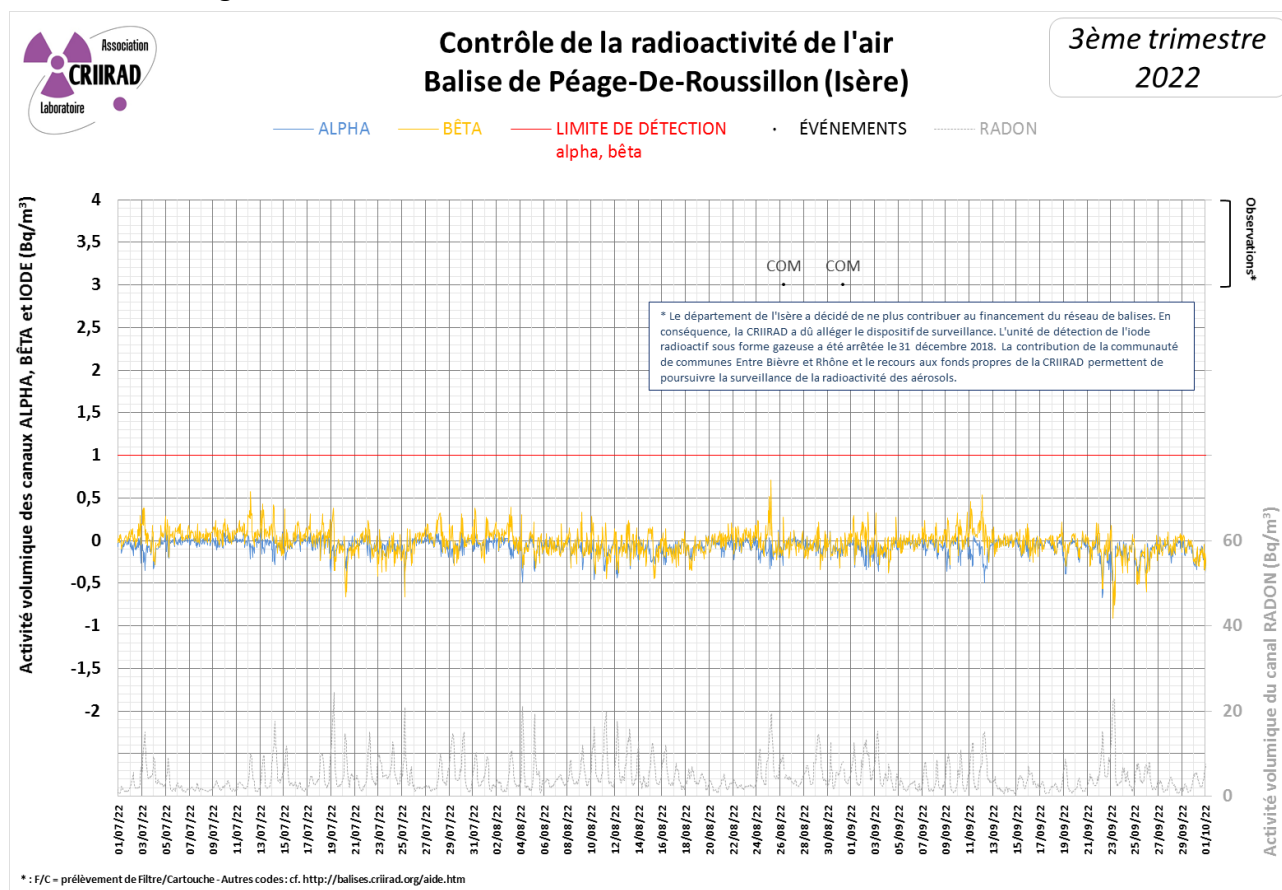
Commentaires

Les débits de dose instantanés sont restés dans une gamme de variation normale pour les 6 sondes de mesure. Sur les secteurs de **Valence, Saint-Marcel d'Ardèche, 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 3 et 23 juillet, les 5 et 14 août (notamment 0,118 $\mu\text{Sv/h}$ ou 118 nSv/h à Grenoble, 0,17 $\mu\text{Sv/h}$ à Pérouges, 0,12 $\mu\text{Sv/h}$ à Valence et 0,134 $\mu\text{Sv/h}$ ou 134 nSv/h à Meyzieu), les 17 et 26 août (notamment 0,152 $\mu\text{Sv/h}$ ou 152 nSv/h à Genève) ainsi que les 23 et 24 septembre (notamment 0,12 $\mu\text{Sv/h}$ à Saint-Marcel-d'Ardèche). Lors de ces épisodes, les descendants radioactifs émetteurs gamma³ 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.

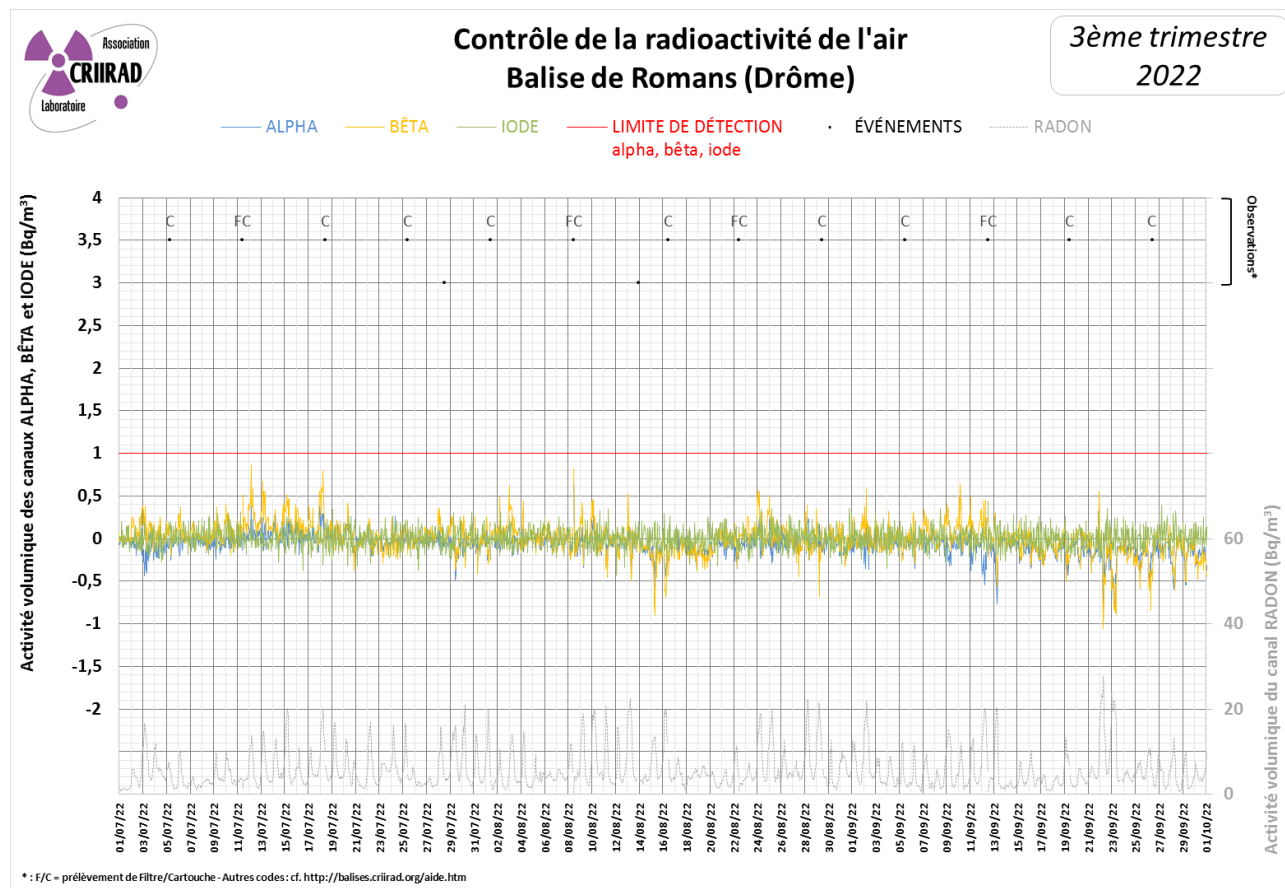
II/ Surveillance en continu de la radioactivité atmosphérique

A/ Balise de Péage de Roussillon

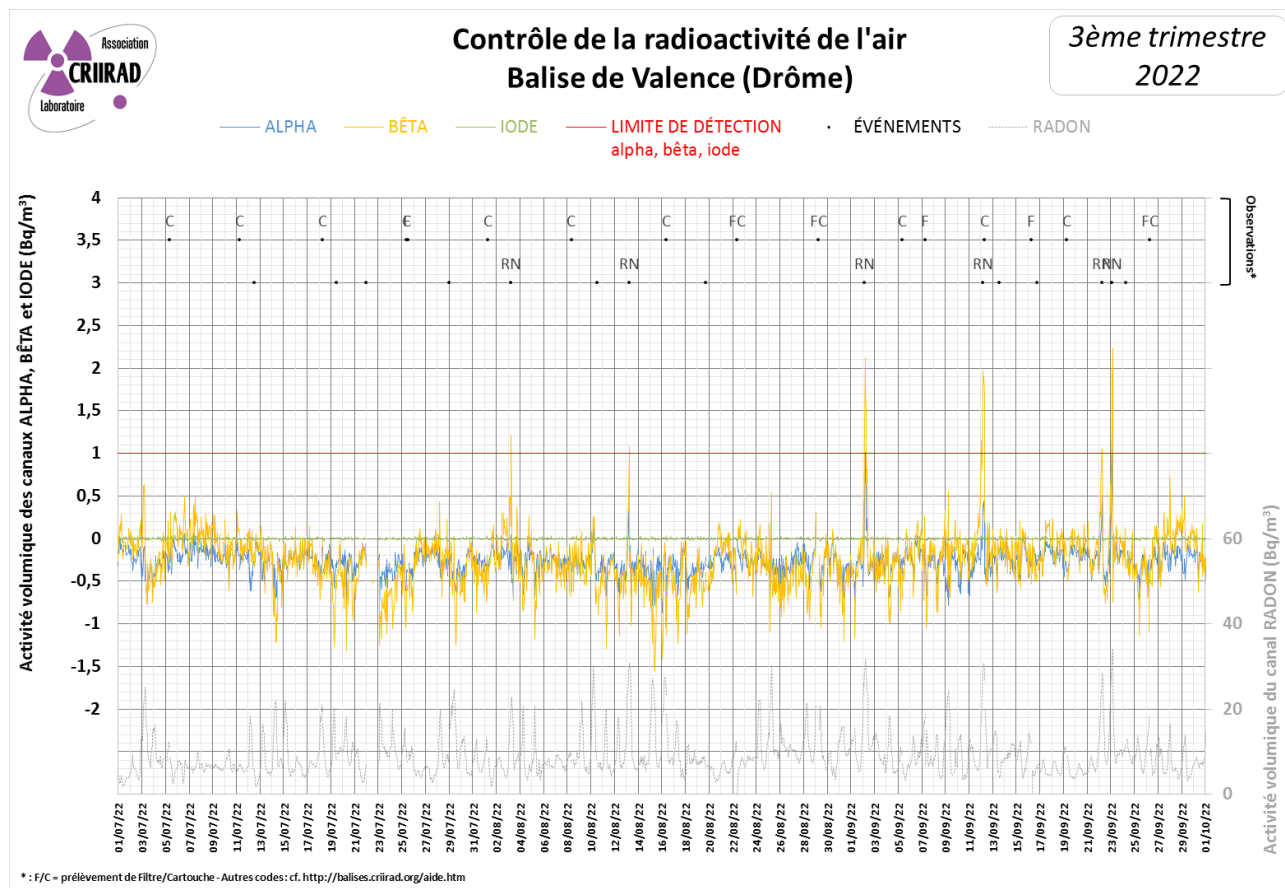


³ Plomb 214 et Bismuth 214 de périodes physiques égales respectivement à 27 minutes et à 20 minutes.

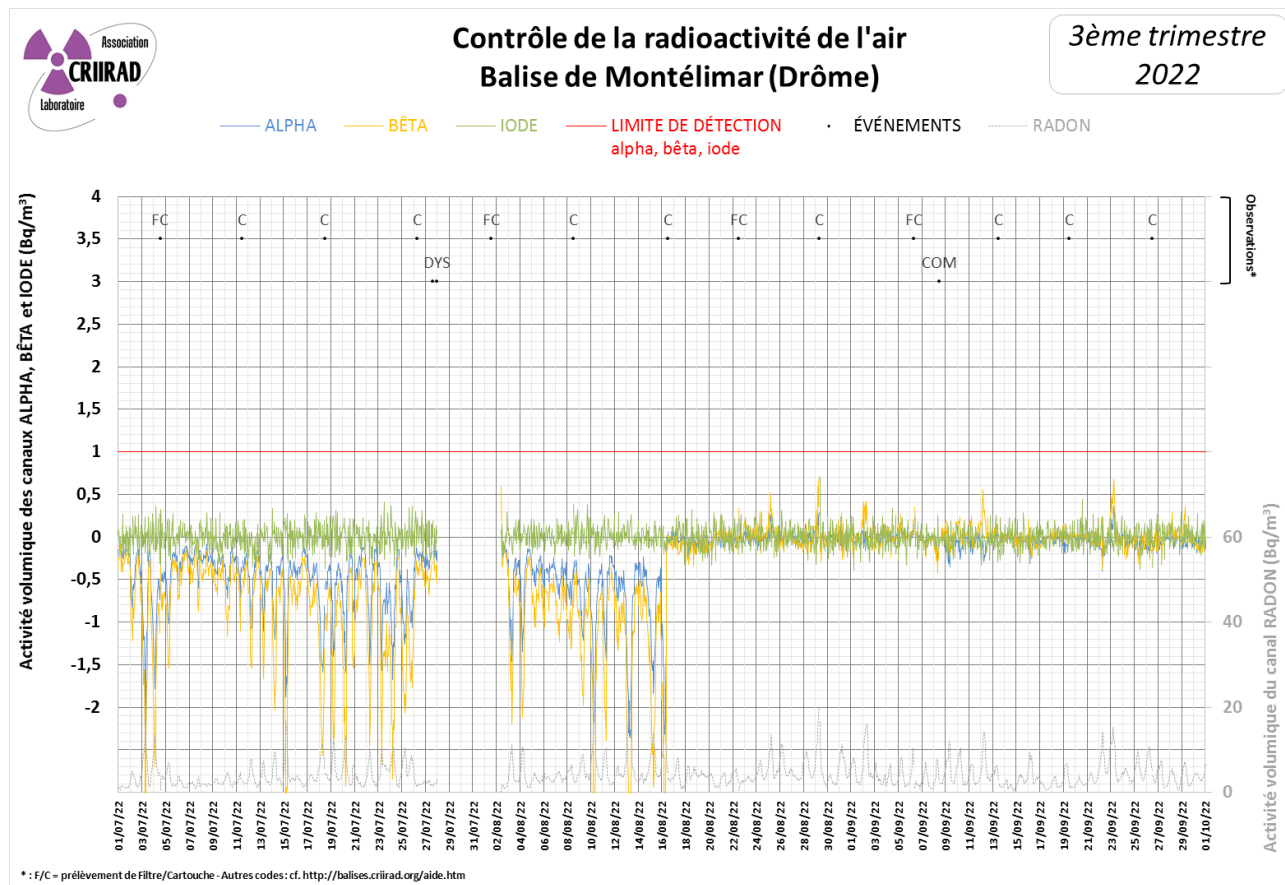
B/ Balise de Romans-sur-Isère



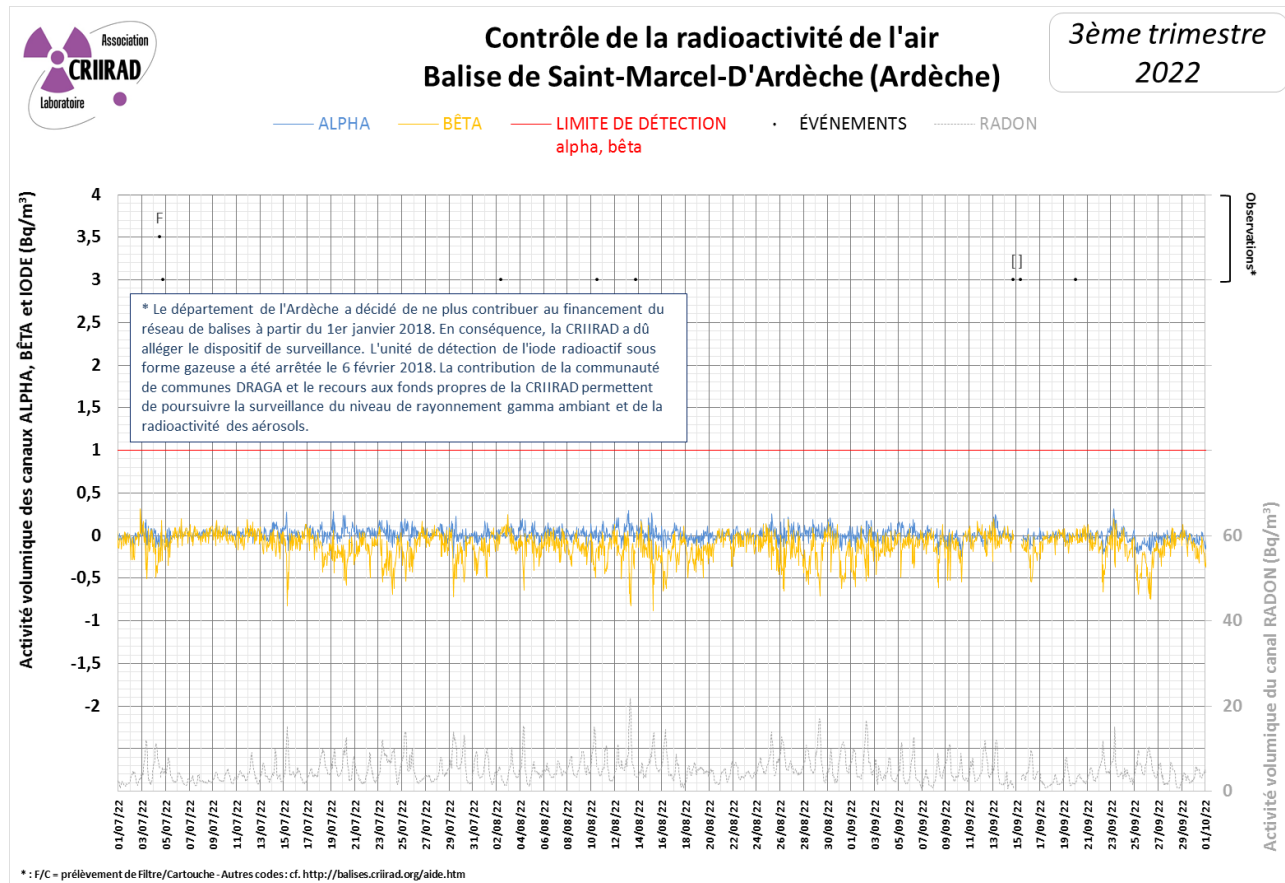
C/ Balise de Valence

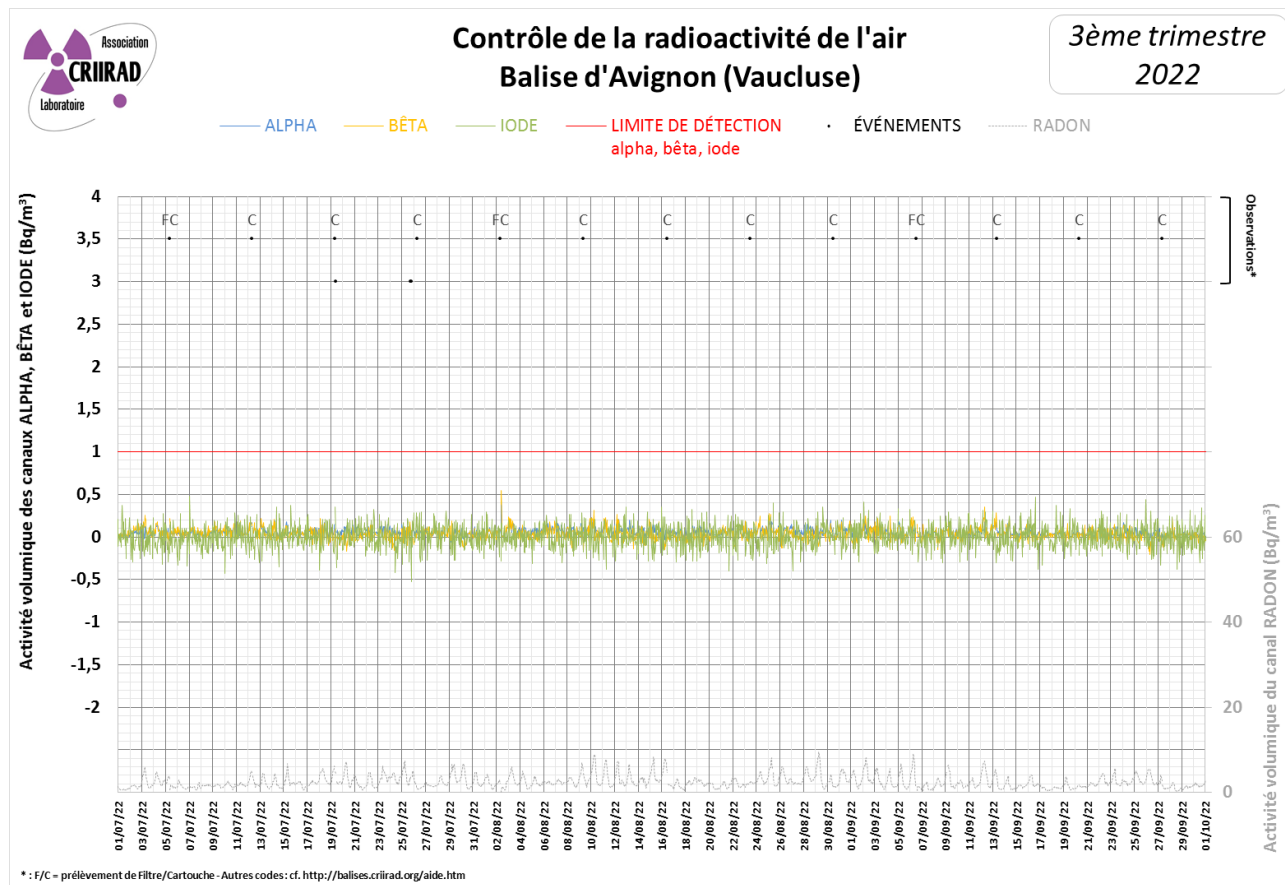


D/ Balise de Montélimar



E/ Balise de Saint-Marcel d'Ardèche





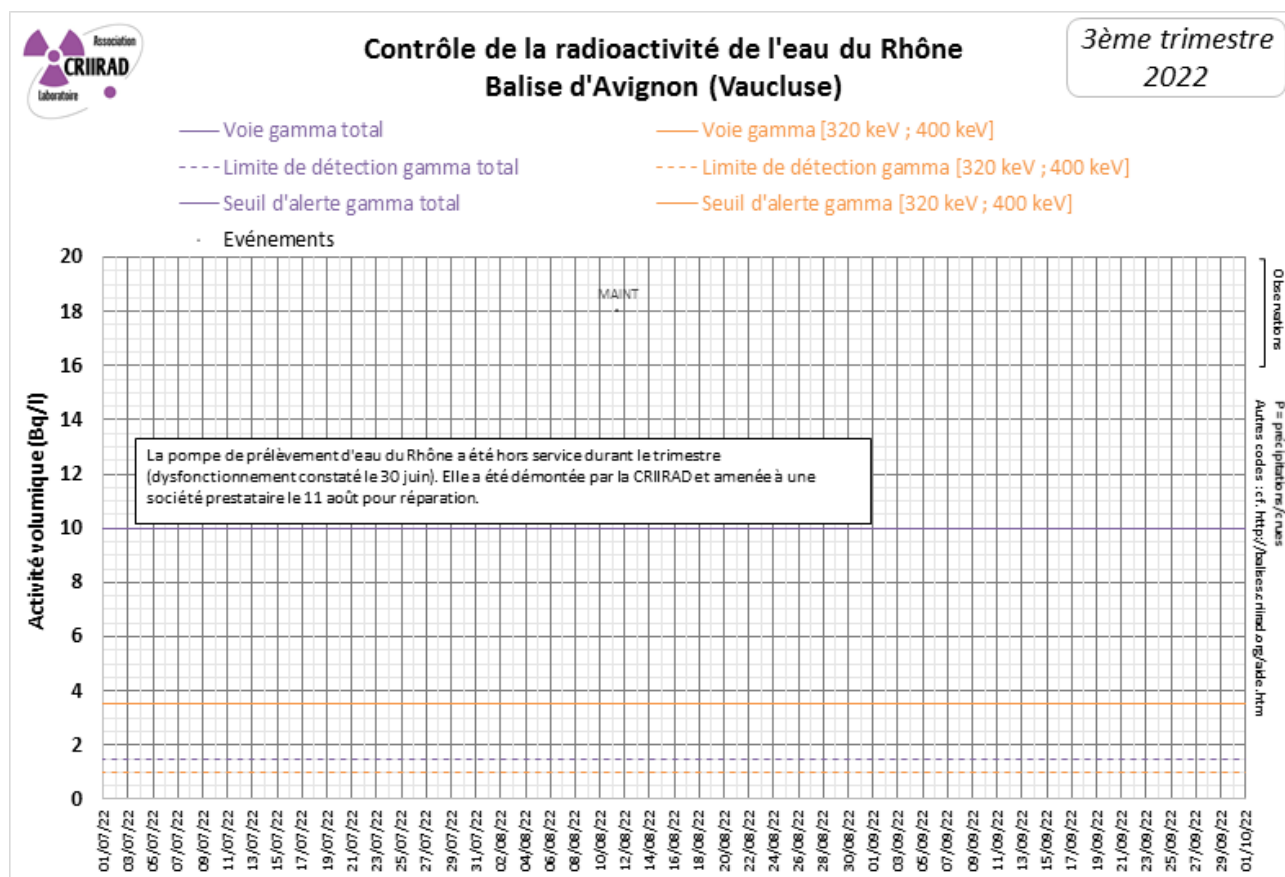
Commentaires

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/m³) a été dépassée à six reprises (voir graphique en page 9) au cours du trimestre sur les voies alpha et/ou bêta direct de la balise atmosphérique de **Valence** (les 3 et 13 août, les 2, 12, 22 et 23 septembre). 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 radon⁴ (une activité volumique maximale en radon de 34 Bq/m³ a été mesurée à Valence le 23 septembre).

⁴ 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/m³). 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



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	13/06/22 10:06	11/07/22 10:08	11/07/2022	12/07/22	< 10,0	< 13,0	< LD
	Romans	11/07/22 10:13	08/08/22 10:26	08/08/2022	08/08/22	< 18,0	< 15,0	< LD
	Romans	08/08/22 10:32	12/09/22 12:35	12/09/2022	12/09/22	< 8,0	< 11,0	< LD
	Valence	27/06/22 07:20	25/07/22 12:17	25/07/2022	26/07/22	< 9,0	< 13,0	< LD
	Valence	25/07/22 12:33	29/08/22 06:56	29/08/2022	29/08/22	< 9,0	< 14,0	< LD
	Valence	29/08/22 07:07	26/09/22 06:56	26/09/2022	04/10/22	< 5,0	< 8,0	< LD
	Montélimar	30/05/22 13:42	04/07/22 13:33	04/07/2022	05/07/22	< 7,0	< 7,0	< LD
	Montélimar	04/07/22 13:39	01/08/22 13:27	01/08/2022	02/08/22	< 9,0	< 11,0	< LD
	Montélimar	02/08/22 09:16	06/09/22 08:55	06/09/2022	07/09/22	< 7,0	< 11,0	< LD
	Avignon	07/06/22 08:32	05/07/22 08:04	05/07/2022	11/07/22	< 15,0	< 17,0	< LD
	Avignon	05/07/22 08:17	02/08/22 08:05	02/08/2022	04/08/22	< 9,0	< 12,0	< LD
	Avignon	02/08/22 08:19	06/09/22 12:57	06/09/2022	08/09/22	< 8,0	< 11,0	< 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	05/07/22 07:56	11/07/22 10:08	11/07/2022	12/07/22	< 120	< LD
	Romans	01/08/22 10:30	08/08/22 10:26	08/08/2022	09/08/22	< 110	< LD
	Romans	05/09/22 12:49	12/09/22 12:35	12/09/2022	13/09/22	< 150	< LD
	Valence	18/07/22 07:59	25/07/22 10:19	25/07/2022	26/07/22	< 130	< LD
	Valence	22/08/22 08:56	29/08/22 06:56	29/08/2022	29/08/22	< 130	< LD
	Valence	19/09/22 07:16	26/09/22 06:56	26/09/2022	27/09/22	< 130	< LD
	Montélimar	27/06/22 13:15	04/07/22 13:33	04/07/2022	05/07/22	< 100	< LD
	Montélimar	26/07/22 07:17	01/08/22 13:27	01/08/2022	03/08/22	< 120	< LD
	Montélimar	29/08/22 08:56	06/09/22 08:55	06/09/2022	07/09/22	< 100	< LD
	Avignon	30/08/22 12:44	06/09/22 12:57	06/09/2022	08/09/22	< 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 07/09/2022.

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	07/09/22 12:00	14/09/22	31 923	< 0,18	< 0,11	< 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	07/09/2022 12:00	21/09/2022	26/09/2022	6,4 ± 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 **6,4 Bq/l**.

L'activité mesurée est inférieure à la valeur paramétrique de 100 Bq/l fixée par le code de la santé publique comme référence de qualité pour les eaux potables mais elle est nettement supérieure au bruit de fond naturel.

Ce résultat indique un impact anthropique très probablement lié aux rejets des installations nucléaires situées le long de la Vallée du Rhône en amont d'Avignon.

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 : PROPHYLAXIE PAR L'IODE

IODES RADIOACTIFS, THYROÏDE ET CANCER

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

Plusieurs facteurs se conjuguent pour rendre la prise d'iode stable indispensable :

- **les rejets d'iode radioactif sont abondants et facilement transférés aux êtres humains,**
- **la thyroïde ne sait pas le différencier cet iode radioactif de l'iode stable dont elle a besoin,**
- **la thyroïde est un organe très radiosensible, en particulier chez les enfants.**

1/ Des rejets d'iode très abondants

Parce qu'ils sont produits en abondance dans le cœur des réacteurs nucléaires et parce qu'ils sont particulièrement volatils, et donc mobiles, les isotopes radioactifs de l'iode se retrouvent en concentrations élevées dans les rejets radioactifs consécutifs à un accident nucléaire majeur. À Tchernobyl, comme à Fukushima Daiichi, les rejets d'iode étaient les plus élevés après les rejets de gaz rares (sachant que ces gaz inertes posent beaucoup moins de problèmes sanitaires).

Libéré dans l'atmosphère sous forme gazeuse, particulaire, voire organique, l'iode peut être emporté sur des milliers et dizaines de milliers de km (l'iode gazeux est particulièrement mobile). Il est progressivement transféré au sol et aux parties aériennes des plantes : aussi bien lors des dépôts secs (car il se fixe aisément sur les surfaces) que des dépôts humides (car il se dissout sans difficulté dans l'eau).

Un mécanisme de translocation transfère rapidement les atomes radioactifs des surfaces foliaires à l'intérieur des cellules des végétaux, ce qui explique l'efficacité limitée du lavage. L'iode passe également très vite de l'herbe contaminée au lait des animaux qui la broutent (le délai est de quelques heures). Si la phase des retombées est courte, un pic de contamination survient en quelques jours ; si les rejets se prolongent dans le temps, le pic se transforme en plateau, avec des concentrations élevées qui peuvent se maintenir pendant plusieurs jours, semaines ou mois.

Les habitants des zones affectées vont d'abord inhaler l'iode radioactif présent dans l'air au niveau du sol, puis ingérer des aliments contaminés directement ou indirectement par les dépôts. La vulnérabilité des ressources en eau dépend de leur origine mais le risque est majeur en cas de récupération de l'eau de pluie contaminée. S'ajoutent également les incorporations involontaires, le plus souvent liées au contact des doigts avec les surfaces contaminées.

Quelques rappels sur l'iode et ses isotopes

Le noyau d'un atome est composé de 2 types de nucléons : les protons et les neutrons. Chaque élément est caractérisé par le nombre de ses protons : 1 pour l'hydrogène ; **53 pour l'iode** dont le symbole est « I ». On appelle isotopes d'un élément, les atomes qui ont le même nombre de protons mais dont le nombre de neutrons diffère. La somme des protons et des neutrons donne le nombre de masse qui sert souvent à désigner l'isotope (ou le nucléide) : 127, par exemple, pour la seule forme stable de l'iode, celle que l'on trouve naturellement dans les aliments.

L'iode 127 (noté ^{127}I) a ainsi un noyau composé de 127 nucléons : 53 protons et 74 neutrons. Tous les autres isotopes sont instables, c'est-à-dire radioactifs (d'où leur nom de radio-isotopes ou de radionucléides). Parmi les 19 radio-isotopes de l'iode issus de la fission, les plus importants sont :

Radioisotopes (I)		Période radioactive
Iode 129	^{129}I	15,7 millions d'années
Iode 131	^{131}I	8,04 jours
Iode 132	^{132}I	2,3 heures (^{132}Te : 3,2 j.)
Iode 133	^{133}I	20,8 heures
Iode 134	^{134}I	52,5 minutes
Iode 135	^{135}I	6,6 heures

Tous les isotopes, stables ou radioactifs, d'un même élément ont les mêmes propriétés chimiques : l'iode est ainsi un halogène, très volatil, et tous ses isotopes sont captés de la même façon par la thyroïde.

Chaque radio-isotope a des propriétés nucléaires différentes : il est caractérisé par sa période radioactive (temps nécessaire pour que l'activité soit divisée par 2) : 8 jours pour l'iode 131, près de 16 millions d'années pour l'iode 129 ; lors de sa désintégration, il émet des radiations dont l'énergie et l'intensité est également caractéristique.

NB : l'iode 132 a une période de 2,28 h mais il est produit par la désintégration du tellure 132. Son activité évoluera donc en fonction de la période de son générateur qui est de 3,2 jours.

2/ De l'iode radioactif qui se concentre dans la thyroïde

Le corps est incapable de distinguer l'iode radioactif, qui est capable de tuer les cellules qu'il irradie ou d'y générer des processus cancérigènes, de l'iode stable qui est essentiel à son bon fonctionnement.

L'iode stable est un oligo-élément indispensable à l'élaboration des hormones thyroïdiennes iodées qui régulent le métabolisme de base de l'organisme : la tri-iodothyronine et la thyroxine. Ces hormones sont aussi dénommées T3 et T4 d'après le nombre d'atomes d'iode qu'elles contiennent. Les besoins journaliers sont d'environ 150 µg pour un adulte. Ils sont accrus pendant la grossesse et l'allaitement (≈ 200 µg/j). Une carence prolongée peut être à l'origine d'un goitre, la thyroïde augmentant de volume pour tenter de compenser le déficit d'iode. Chez le fœtus ou le nourrisson, les hormones jouent un rôle essentiel dans la maturation du système nerveux, l'ossification et la croissance des os longs. Une hypothyroïdie non traitée pourra être lourde de conséquences.

Les hormones T3 et T4 sont synthétisées et stockées dans la thyroïde ce qui explique que l'iode incorporé se concentre dans cette petite glande : elle contient 90% de tout l'iode présent dans l'organisme. Si l'iode est radioactif, le mécanisme est le même, entraînant une irradiation intense de cet organe.

NB : le mécanisme de transport actif qui équipe les cellules thyroïdiennes et leur permet de concentrer l'iode présent dans le sang se retrouve aussi dans les glandes salivaires, les glandes mammaires et le placenta (d'où le transfert de l'iode radioactif dans la salive, le lait maternel et vers le fœtus avec les risques associés).

Désintégrations, rayonnements et lésions à l'intérieur des cellules

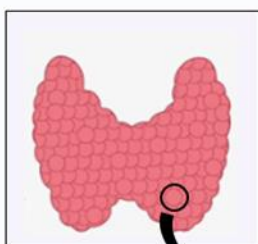
Lorsqu'elles proviennent de la **fission**, les formes radioactives de l'iode sont instables du fait d'un **excès de neutrons**. Le noyau des atomes va donc se désintégrer par transformation d'un neutron en proton (désintégration en mode bêta). Elle s'accompagne de l'éjection d'un électron (dite particule **bêta**), généralement suivie de l'émission d'un rayonnement électromagnétique de désexcitation (dit **gamma**).

À l'intérieur de la thyroïde, les isotopes radioactifs de l'iode se désintègrent donc en émettant des **radiations β et γ**. Les rayonnements bêta libèrent pratiquement toute leur énergie à l'intérieur des follicules thyroïdiens ; les rayonnements gamma, plus pénétrants, peuvent aussi affecter d'autres organes ou se dissiper à l'extérieur de l'organisme. À noter que d'autres radionucléides émetteurs de radiations γ (césium 134 et 137 par exemple), situés dans d'autres organes, pourront également contribuer, mais à des niveaux très inférieurs, à l'irradiation de la glande thyroïde.

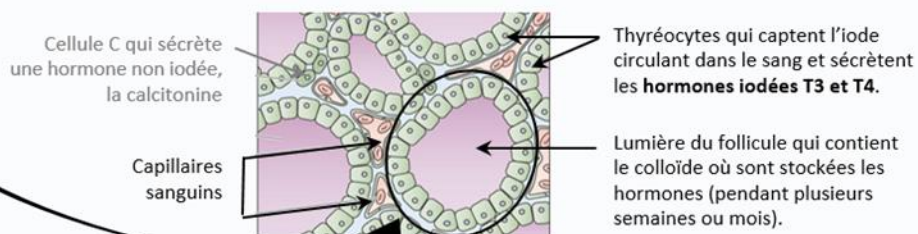
✚ **En médecine**, la nocivité des radiations β de l'iode 131 est recherchée dans le traitement des patients opérés d'un cancer de la thyroïde : ce radionucléide est administré à forte dose pour détruire les cellules thyroïdiennes et cancéreuses qui peuvent subsister après l'ablation de la glande et prévenir ainsi la récurrence. Les radiations endommagent les cellules qui meurent au bout de quelques semaines ou de quelques mois.

✚ **En cas d'accident**, une contamination à forte dose détruira un très grand nombre de cellules et pourra altérer le fonctionnement même de la thyroïde ; à faible ou très faible dose, le risque provient surtout des cellules lésées qui survivent à l'irradiation et peuvent initier ou promouvoir un cancer.

La thyroïde est une petite glande, composée de 2 lobes réunis par un isthme, qui se situe à la base du cou. Chez le nouveau-né, elle ne pèse que 1,3 g, environ 8 g chez un enfant de 10 ans et autour de 20 g chez l'adulte.



Elle est formée de petites unités sphériques, les **follicules thyroïdiens**, constitués chacun d'une couche de cellules épithéliales, les **thyrocytes**, qui enveloppe une cavité centrale remplie d'une substance visqueuse : le colloïde.



Un mécanisme de transport actif permet aux thyrocytes de capter et concentrer l'iode qui circule dans le sang. Une fois oxydé, il est intégré à une grosse molécule (la thyroglobuline) pour former les hormones T3 et T4. Cette phase d'organification se déroule dans le colloïde où les hormones sont stockées en attendant d'être sécrétées dans le sang en fonction des besoins de l'organisme.

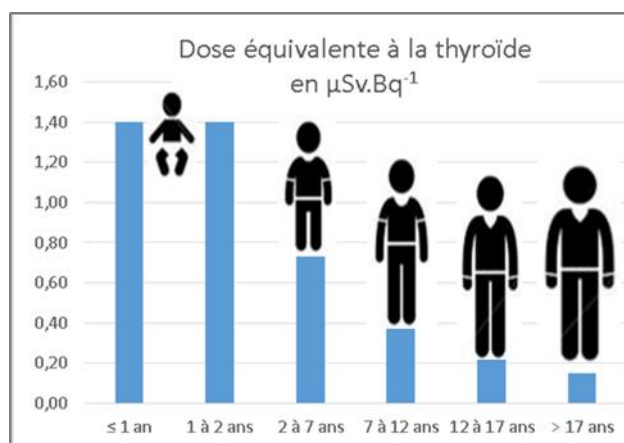
3/ Une irradiation qui provoque des cancers, en particulier chez les enfants

Dix jours durant, les quantités de radioactivité libérées par la centrale nucléaire de Tchernobyl ont été colossales. Les rejets d'iodes radioactifs ont été particulièrement abondants⁵, provoquant une véritable épidémie de cancer. Elle a fortement touché les sujets exposés pendant l'enfance et in utero.

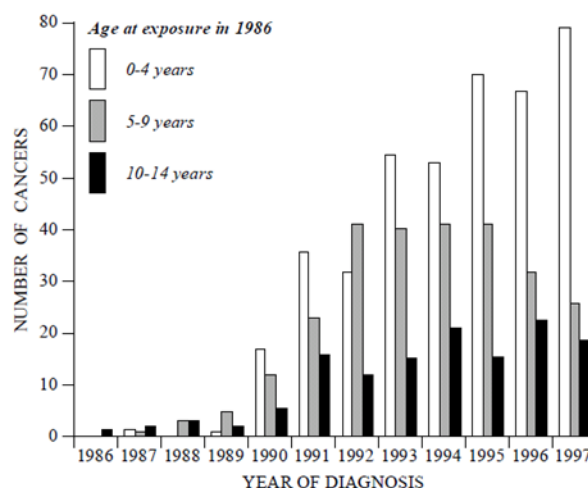
Avant la catastrophe, le cancer de la thyroïde était très rare chez les enfants : moins de 1 cas sur 1 million. Dans les régions les plus contaminées, l'incidence a été multipliée par plus de 100. Le graphique ci-contre est extrait d'un rapport de l'UNSCEAR⁶. Il présente le nombre de cancers de la thyroïde diagnostiqués en Biélorussie parmi les enfants qui avaient moins de 15 ans au moment de l'accident de Tchernobyl. Il rend compte de l'augmentation de l'incidence et met en lumière la vulnérabilité particulière des plus jeunes enfants.

Plusieurs facteurs expliquent l'importance des risques sanitaires auxquels sont exposés les enfants :

1/ pour une même quantité d'iode radioactif incorporé, leur thyroïde reçoit une dose de rayonnement supérieure car sa masse est plus petite : 1,3 g à la naissance contre 20 g à l'âge adulte. Rappelons en effet que la dose correspond à la quantité d'énergie délivrée par unité de masse. Le graphique ci-dessous montre qu'un seul becquerel (Bq) d'iode 131 délivre 0,18 µSv à la thyroïde d'un adulte mais 8 fois plus à celle d'un enfant de moins de 2 ans (les coefficients de dose utilisés sont ceux de la CIPR, repris dans les réglementations européenne et suisse).



⁵ Pour l'iode 131, le chiffre couramment retenu est de 1 760 PBq (rejet de 50 à 60 % de l'inventaire du cœur du réacteur). Certaines sources donnent des estimations plus élevées (jusqu'à 3 200 PBq pour l'iode 131). 1 PBq = 10¹⁵ Bq = 1 million de milliards de Bq.



2/ les enfants consomment généralement des quantités importantes de lait, un aliment qui concentre particulièrement l'iode radioactif (ce radionucléide passe aussi très facilement dans le lait maternel et dans le placenta) ;

3/ pour une même dose reçue, les enfants et les fœtus encouront un risque sanitaire supérieur car leur organisme contient, du fait de sa croissance, un plus grand nombre de cellules en voie de division, c'est-à-dire de cellules très sensibles à l'induction d'un cancer ;

4/ du fait du grand nombre d'années restant à vivre, le cancer a aussi plus de temps pour se manifester. Certains cancers peuvent se déclarer quelques années après l'exposition mais le temps de latence peut en effet se compter en décennies. En 2018, une publication de l'UNSCEAR recensait 19 233 cas de cancer parmi les enfants exposés avant 16 ans pour la période 1991-2015 (pour l'Ukraine, la Biélorussie et l'extrémité ouest de la Russie). Il faudra encore des décennies avant de pouvoir établir un bilan.

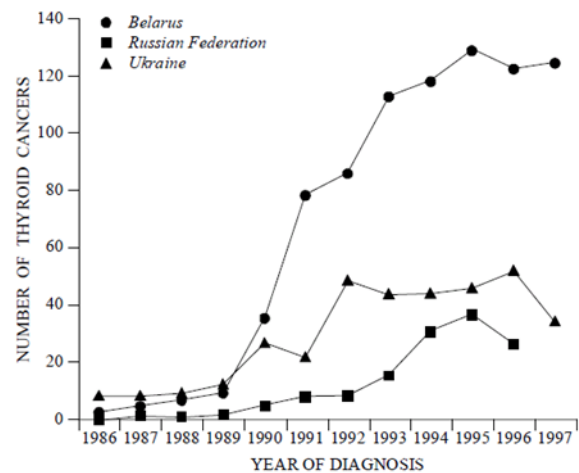
Il faut également souligner que les cancers de la thyroïde qui affectent les enfants sont **très agressifs**, avec des métastases dans les ganglions lymphatiques (55% des cas) et les poumons (11,6%). Ils nécessitent un suivi attentif, voire des opérations répétées, à cause d'un risque de récurrence élevé (1/3 des cas selon certains auteurs).

Des rapports officiels présentent le cancer de la thyroïde comme un cancer bénin, au faible taux de mortalité. Outre le fait que tous les patients n'y survivent pas, c'est oublier que l'ablation de la glande thyroïde oblige à prendre, à vie, un traitement hormonal de substitution (à base de lévothyroxine) avec toutes les difficultés de dosage associées, et parfois d'accès aux médicaments. **La réalité de l'épidémie a longtemps été niée par les organismes de**

⁶ L'UNSCEAR est le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants. Références : "Sources and effects of ionizing radiation". Rapport à l'Assemblée générale de 2000, vol. II, annexe J.

référence, et notamment l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique). Se basant sur les enseignements tirés du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, les experts considéraient que les cancers se déclaraient beaucoup trop tôt. De plus, trop confiants dans des études épidémiologiques qui ne montraient pas d'effets chez les enfants en cas d'exposition interne (mais qui n'avaient pas une puissance statistique suffisante), ils considéraient que l'incorporation d'iode 131 ne pouvait pas avoir un tel impact. Étaient alors mis en avant les effets du dépistage (on cherche plus, donc on trouve plus), des erreurs de diagnostics, et parfois même des doutes sur l'honnêteté des médecins ukrainiens et biélorusses. En dépit de l'engagement de personnalités comme le Pr Baverstock, l'AIEA mettra des années avant de reconnaître un lien de causalité entre l'augmentation de l'incidence des cancers de la thyroïde et l'exposition à l'iode radioactif.

Cette augmentation a été documentée jusqu'à 500 km du lieu de l'accident. Certains travaux suggèrent même un impact à plus de 2 000 km. La carte ci-dessous est extraite d'un rapport de l'UNSCEAR. Elle présente l'estimation des doses équivalentes à la thyroïde reçues, en 1986, par les moins de 18 ans du fait de l'accident de Tchernobyl. Des indications de distances ont été ajoutées par la CRIIRAD pour souligner l'étendue des zones à risque. Si l'on excepte les secteurs de Minsk et de Kaluga, toutes les zones dépassent en effet le seuil d'intervention de 10 mGy retenu par l'Organisation Mondiale de la Santé pour protéger les groupes à risque (enfants, femmes enceintes ou qui allaitent).



Cancers de la thyroïde chez les enfants exposés avant l'âge de 14 ans aux retombées de l'accident de Tchernobyl.

Nombre de cas en fonction de l'année du diagnostic, de 1986 à 1997, en Ukraine, Biélorussie et Fédération de Russie.

Estimation des doses moyennes à la thyroïde pour les enfants et les adolescents vivant au moment de l'accident dans les zones les plus affectées de la Biélorussie, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine.

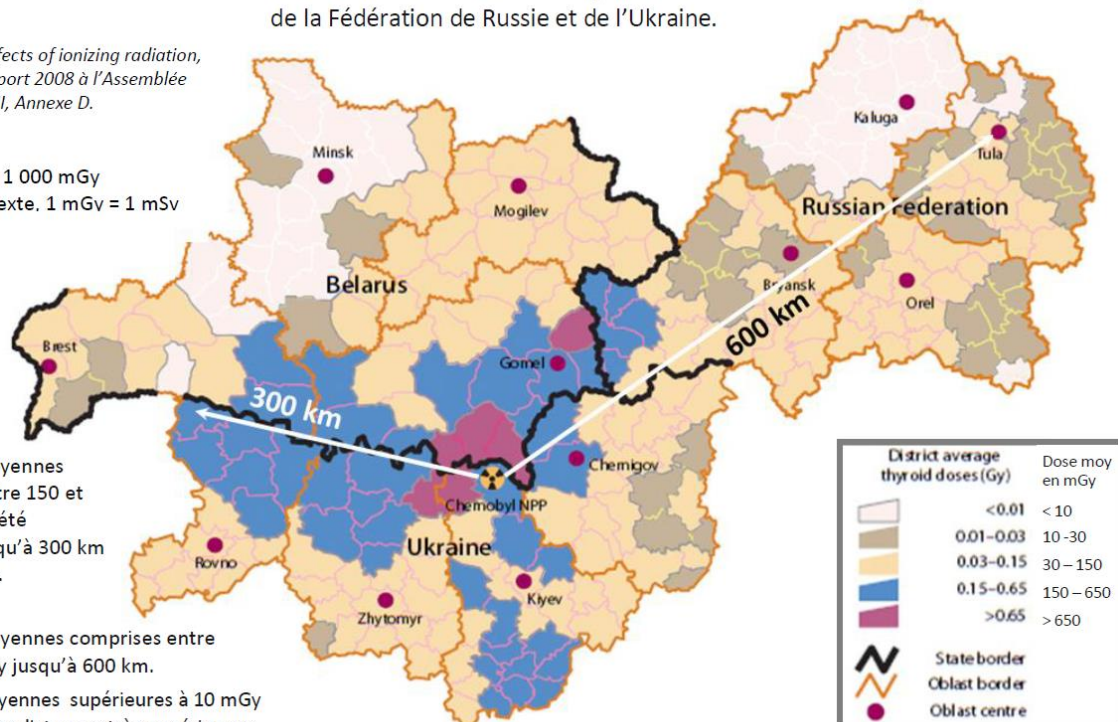
Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR, Rapport 2008 à l'Assemblée générale, Vol. II, Annexe D.

1 Gray (Gy) = 1 000 mGy
Dans ce contexte, 1 mGy = 1 mSv

Des doses moyennes comprises entre 150 et 650 mGy ont été mesurées jusqu'à 300 km de la centrale.

Des doses moyennes comprises entre 30 et 150 mGy jusqu'à 600 km.

Des doses moyennes supérieures à 10 mGy mesurées à des distances très supérieures.



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> . Il est placé sous la responsabilité de M. Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire.



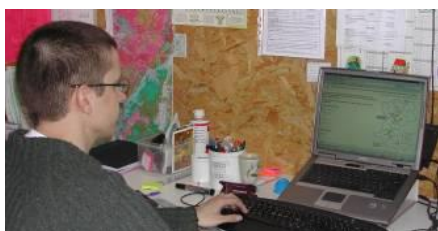
RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Bruno CHAREYRON



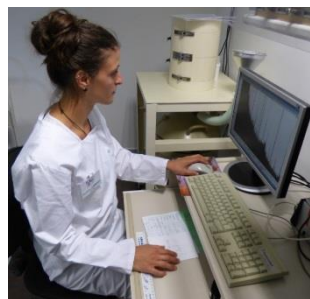
RESPONSABLE DU SERVICE DE GESTION DES BALISES

Jérémie MOTTE



RESPONSABLE SERVICE RADON

Julien SYREN



RESPONSABLE SERVICE PREPARATION ET ANALYSES

Marion JEAMBRUN



INTERVENTIONS HEBDOMADAIRES, ANALYSES

Stéphane PATRIGEON



SCRUTATION DES DONNEES

Stéphane MONCHÂTRE



PREPARATION DES ECHANTILLONS

Sara ORTUNO



RESPONSABLE QUALITE

Manon CAVALIER

EQUIPE D'ASTREINTE

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