

NOTE D'INFORMATION

Élévation modérée de la radioactivité dans l'air, imputable aux radionucléides émetteurs bêta, en France fin septembre 2011

Dans le cadre de la surveillance régulière de la radioactivité de l'environnement de ses sites nucléaires, EDF a observé une élévation modérée mais inhabituelle de la radioactivité dans l'air, imputable aux radionucléides émetteurs bêta sur des prélèvements d'aérosols réalisés à partir du 25 septembre 2011 (activité volumique dépassant 2 mBq/m³). Informé de cette situation le 4 octobre, l'IRSN a recherché, à l'aide de ses propres dispositifs de surveillance, quelle était l'origine de cette élévation d'activité dans l'air, en réalisant des mesures par spectrométrie gamma sur des prélèvements d'aérosols collectés par son réseau de surveillance radiologique OPERA-Air (dont certaines stations sont situées à proximité des centrales nucléaires d'EDF) et en analysant les signaux enregistrés par les sondes de mesure de rayonnement gamma ambiant de son réseau Télecay.

*Les résultats de mesure obtenus par l'IRSN indiquent d'une part que les activités des radionucléides émetteurs gamma artificiels se situaient à des niveaux habituels (la plupart du temps en dessous des limites de détection des appareils de mesures utilisés) et d'autre part que **les activités en plomb 210 (descendant radioactif du radon d'origine naturelle) étaient 5 à 7 fois supérieures aux valeurs habituelles**. L'IRSN a également enregistré à partir de la même date une allure atypique des signaux de certaines sondes du réseau Télecay, caractérisée par des variations faibles (de l'ordre de 10 à 20 nSv/h) quotidiennes entre les valeurs diurnes et nocturnes du débit de dose gamma ambiant. Les augmentations nocturnes observées lors de la dernière semaine de septembre pourraient être attribuées à l'augmentation des activités des descendants du radon émetteurs gamma à vies courtes (plomb 214 et bismuth 214), en raison des conditions météorologiques particulières qui ont prévalu jusqu'au 3 octobre (inversion de température en basse couche en période nocturne).*

Des élévations de l'activité bêta globale dans les aérosols en France avaient déjà été observées par le passé, en particulier début février 2006. Le phénomène avait également été attribué aux mauvaises conditions de dispersion dans les basses couches de l'atmosphère.

1. OBSERVATIONS INITIALES FAITES PAR LES EXPLOITANTS ET L'IRSN

Mardi 4 octobre 2011, EDF a signalé à l'ASN et à l'IRSN le constat, au niveau de plusieurs stations de prélèvement d'aérosols sur filtre installées autour de ses centrales nucléaires, d'un dépassement du seuil de 2 mBq/m³ applicable à l'indice de radioactivité bêta globale, mesuré 6 jours après la fin des prélèvements (délai nécessaire pour faire disparaître les radionucléides à vie courte d'origine

naturelle). Ces dépassements ont été observés en divers points du territoire, parfois sur les 4 stations d'un même site (stations dites AS1, AS2, AS3 et AS4) pour des prélèvements journaliers effectués à partir du 26 septembre. A la date du 4 octobre, seules quelques mesures de filtres du 26, 27 et 28 septembre étaient disponibles (voir tableau 1 ci-dessous).

Tableau 1 - Résultats des mesures de l'indice d'activité bêta global dans les aérosols obtenus par EDF pour des prélèvements effectués fin septembre autour de certaines centrales nucléaires (mesures effectuées 6 jours après la fin des prélèvements - résultats communiqués le 4 octobre)

Site EDF (n° de département)	Date de prélèvement	Station AS1	Station AS2	Station AS3	Station AS4
CRUAS-MEYSSE (07)	27 septembre	2,2 mBq/m ³	2,3 mBq/m ³	2,3 mBq/m ³	2,2 mBq/m ³
	28 septembre	2,2 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³	1,9 mBq/m ³
BLAYAIS (33)	27 septembre	< 2 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³
BELLEVILLE (16)	28 septembre	< 2 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³
CHINON (37)	28 septembre	2,1 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³	< 2 mBq/m ³
TRICASTIN (26)	27 septembre	1,8 mBq/m ³	2,7 mBq/m ³	1,8 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³
FESSENHEIM (68)	26 septembre	1,9 mBq/m ³	1,6 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³	2,0 mBq/m ³
	27 septembre	2,1 mBq/m ³	1,7 mBq/m ³	2,2 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³
CIVAUX (86)	28 septembre	2,0 mBq/m ³	2,3 mBq/m ³	2,2 mBq/m ³	2,2 mBq/m ³
SAINT-ALBAN (38)	27 septembre	2,2 mBq/m ³	2,0 mBq/m ³	2,3 mBq/m ³	2,3 mBq/m ³
	28 septembre	2,3 mBq/m ³	2,4 mBq/m ³	2,2 mBq/m ³	2,1 mBq/m ³

Lorsque qu'il constate que l'indice d'activité bêta globale dans les aérosols dépasse le seuil de 2 mBq/m³, l'exploitant est réglementairement tenu d'adresser à l'ASN une fiche d'événement significatif et d'effectuer en complément des mesures par spectrométrie gamma sur les filtres de prélèvement concernés par ce dépassement, afin d'identifier les radionucléides pouvant en être à l'origine. Les résultats de ces mesures complémentaires n'étaient pas encore disponibles le 4 octobre.

EDF a également contacté l'IRSN ce même jour pour savoir si l'Institut, qui dispose de son propre réseau de surveillance de l'atmosphère OPERA-Air, avait fait des observations similaires au cours de la même période.

Dans le cadre de l'évolution de sa stratégie de surveillance de la radioactivité de l'environnement, l'IRSN effectue en routine des mesures par spectrométrie gamma, soit sur des regroupements de filtres journaliers de plusieurs stations, soit sur des regroupements de filtres ayant été prélevés

plusieurs jours de suite au même endroit. Cette approche permet des détections plus sensibles et des caractérisations plus spécifiques que l'indice d'activité bêta globale. A la date du 4 octobre, les filtres de prélèvements d'aérosols correspondant à la période du 26 au 28 septembre étaient encore en cours d'analyse, avec un nombre de résultats à cette date trop faible pour révéler une situation inhabituelle.

Toutefois, l'examen des résultats de mesure des sondes de nouvelle génération du réseau Téléray de l'IRSN a révélé des fluctuations atypiques du débit de dose depuis le 24 septembre, sur un nombre important de stations réparties sur quasiment l'ensemble du territoire. Le phénomène représentait une élévation relative d'environ 10 à 20 nSv/h entre les valeurs diurnes et nocturnes, trop faible pour dépasser les seuils d'alerte du réseau Téléray.

A titre d'exemple, le graphique de la figure 1 présente l'historique récent des mesures obtenues à Paris par la sonde Téléray de Bercy. On y voit un signal de débit de dose habituel pour la période du 11 au 24 septembre. Ensuite, des fluctuations de périodicité quotidienne sont observées, avec une élévation du débit de dose chaque nuit à partir de 2 heures du matin environ et ce jusqu'à 9 ou 10 heures du matin. Le débit de dose diminue en fin de matinée, lorsque la température de l'air augmente.

A partir du 05 octobre (période entourée en vert), la diminution très significative de l'amplitude thermique quotidienne conduit à la disparition des fluctuations du débit de dose observées les jours précédents.

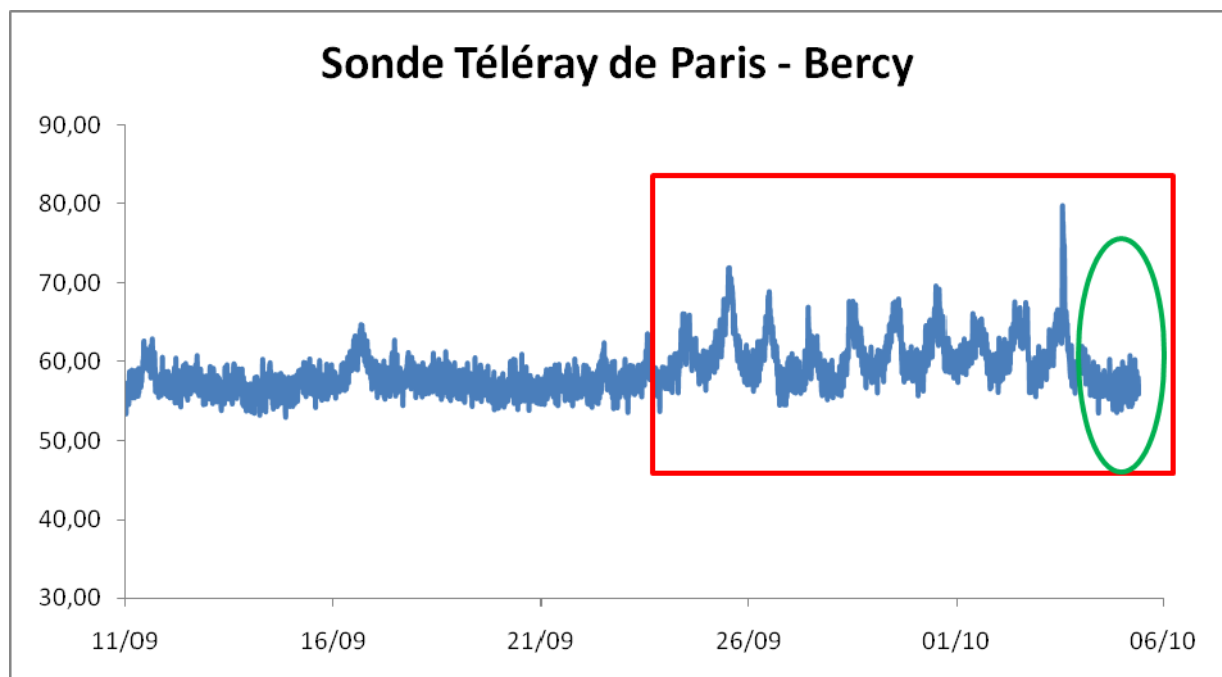


Figure 1 - Débit de dose (en nSv/h) enregistré à Paris par la sonde Téléray de Bercy entre le 11 septembre et le 05 octobre 2011.

Les données de sondes déployées en Alsace sont présentées ci-dessous ; elles montrent le même phénomène. Toutefois, pour des sondes situées à quelques kilomètres à peine les unes des autres, son intensité ainsi que sa durée sont variables.

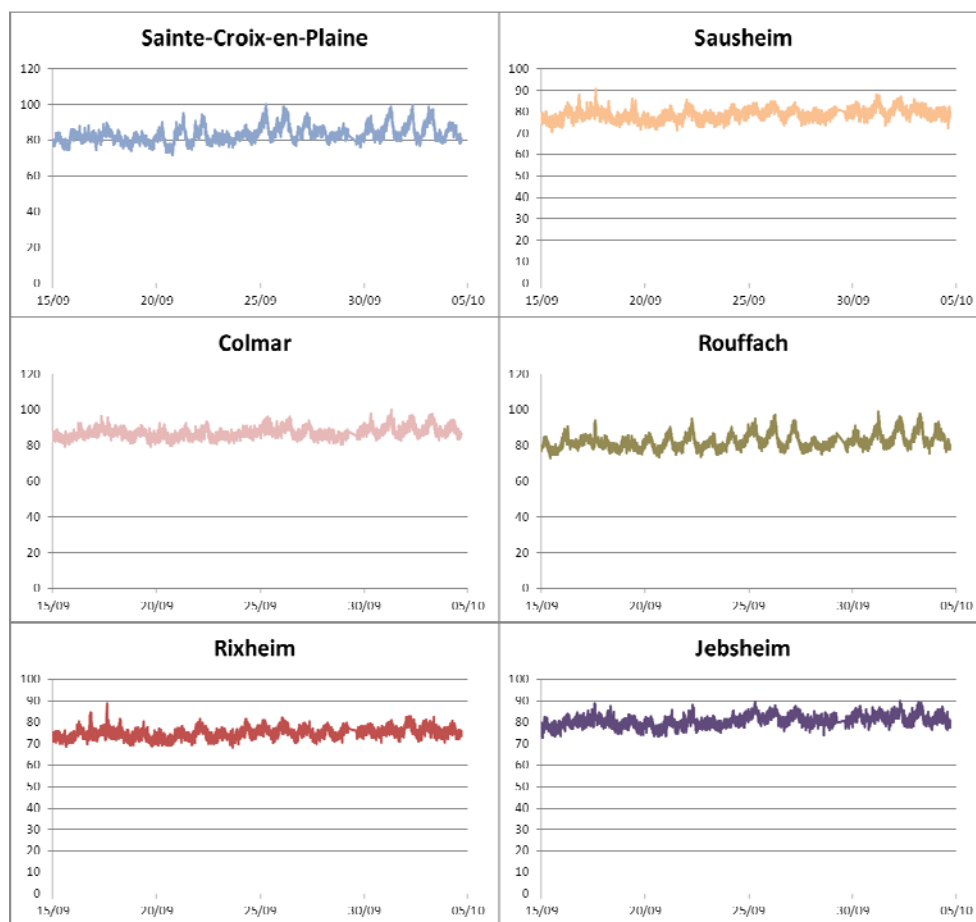


Figure 2 - Mesures du débit de dose gamma ambiant (en nSv/h) réalisées en Alsace autour de la centrale de Fessenheim par les sondes du réseau Téléray entre le 15 septembre et le 05 octobre 2011.

2. INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES MENEES PAR L'IRSN

Les laboratoires de l'IRSN du Vésinet, d'Orsay et de Cherbourg-Octeville ont mesuré en priorité les filtres prélevés sur une dizaine de stations du réseau OPERA-Air de l'IRSN. De plus, deux prélèvements d'aérosols ont été réalisés à l'aide d'un dispositif d'expérimentation qui était utilisé par le laboratoire de Cherbourg-Octeville en septembre et début octobre. Selon les stations (figure 3), le débit de prélèvement varie de 10 à 700 m³/h et la durée de prélèvement va de 1 à 5 jours. Les filtres ont été mesurés par spectrométrie gamma avec un temps de comptage allant de 3 à 48 heures.



Réseau OPERA-Air de l'IRSN : station de collecte d'aérosols à très grand débit (TGD)



Réseau OPERA-Air de l'IRSN : stations de collecte d'aérosols (AS) faible débit pour la surveillance régulière de la radioactivité de l'air



Station de collecte d'aérosols de débit intermédiaire (80 m³/h)



Station de collecte d'aérosols de débit intermédiaire (60 m³/h)

Figure 3 - Différents types de dispositifs de prélèvement d'aérosols utilisés par l'IRSN.

Stations de prélèvement à faible débit (10 m³/h)

Les mesures effectuées sur les filtres des stations IRSN implantées à proximité des centrales nucléaires du Blayais, de Fessenheim et de St-Alban ne révèlent aucune trace de radioactivité d'origine artificielle. En revanche, des activités significatives en plomb 210 et en béryllium 7 sont observées (voir tableau 2). Le plomb 210 est un radionucléide naturel, descendant du radon 222, avec une période radioactive relativement longue (22,3 ans) ; il émet des rayonnements bêta et gamma. Le béryllium 7 est également un radionucléide naturel produit en permanence dans la haute atmosphère par interaction du rayonnement cosmique sur les atomes d'oxygène 16 ; sa période radioactive est de 53,22 jours et ce radionucléide émet uniquement des rayonnements gamma (il ne contribue donc pas à l'activité bêta globale).

Tableau 2 - Résultats des mesures par spectrométrie gamma effectuées par l'IRSN sur les filtres de prélèvement d'aérosols du 25 au 30 septembre venant des stations OPERA-Air à faible débit installées autour des sites nucléaires du Blayais, de Fessenheim et de Saint-Alban.

Activités volumiques (mBq/m ³)		Sites		
Radionucléides	Date de fin de prélèvement	BLAYAIS	FESSENHEIM	SAINT-ALBAN
Béryllium 7	25/09/2011	2,9	4	4,3
	26/09/2011	3,9	5,6	5,8
	27/09/2011		6,2	5,4
	28/09/2011	5,1	5,4	6
	29/09/2011		4,5	7
	30/09/2011		4,1	6,9
Plomb 210	25/09/2011			1,5
	26/09/2011	1,9		1,12
	27/09/2011		1,7	1,5
	28/09/2011		2,9	2,7
	29/09/2011			2,3
	30/09/2011		2,9	2,8

Stations à moyen débit

Des prélèvements d'aérosols sur filtre ont également été réalisés à l'aide d'un échantillonneur HVS (débit de 80 m³/h) installé au Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville du 27 au 30 septembre 2011 (durée de prélèvement : 68 heures) et du 05 au 06 octobre 2011 (durée de prélèvement : 25 heures). De même, une station de collecte d'aérosols à moyen débit (60 m³/h) située au Vésinet réalise des prélèvements d'air en continu. Les filtres, d'un diamètre de 130 mm, permettent de collecter une quantité de matière sensiblement plus importante, offrant de meilleures performances métrologiques par spectrométrie gamma. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Au cours des périodes d'échantillonnage, aucun radionucléide artificiel n'a été détecté (niveaux d'activités inférieurs à la limite de détection).

Tableau 3 - Activités volumiques des aérosols mesurées par l'IRSN sur des filtres de prélèvement venant des stations à moyens débit installées au Vésinet et à Cherbourg-Octeville (ND : non détecté - les gaz grisées indiquent qu'il n'y a pas d'échantillon à la date correspondante).

Activités volumiques (mBq/m ³)		Sites	
Date de fin de prélèvement	Radionucléide	LE VESINET	CHERBOURG-OCTEVILLE
27/09/2011	Be-7	5,90	
	Bi-214	0,02	
	Pb-210	1,03	
	Pb-214	0,02	
30/09/2011	Be-7	6,04	8,20
	Bi-214	0,05	ND
	Pb-210	1,85	2,60
	Pb-212	0,03	ND
	Pb-214	0,05	ND
06/10/2011	Be-7		2,5

Seuls le béryllium 7 et le plomb 210 ont été détectés dans le premier échantillon de Cherbourg-Octeville, à des niveaux d'activités respectifs de $8,2 \pm 0,5$ et $2,6 \pm 0,3$ mBq/m³ (activité moyenne sur la période du 27 au 30 septembre). Dans ce prélèvement, le plomb 210 présentait un niveau d'activité nettement supérieur à la gamme de valeurs habituelles (0,1—1,6 mBq/m³).

Dans le second échantillon de Cherbourg-Octeville, seul le béryllium 7 a présenté des niveaux quantifiables ($2,5 \pm 0,4$ mBq/m³). Le plomb 210 était à un niveau d'activité inférieur à la limite de détection (0,5 mBq/m³).

Les prélèvements effectués au Vésinet présentent également du béryllium 7 et du plomb 210, ainsi que des radionucléides naturels à vie courte descendant du radon 222 (plomb 214 et bismuth 214) et du radon 220 (plomb 212).

Stations à très grand débit

Le réseau OPERA-Air dispose également de stations de prélèvements d'aérosols à très grand débit (compris entre 300 et 700 m³/h). Ces stations permettent de détecter les traces de radionucléides dans l'air, notamment d'origine artificielle. Dans ce but, les filtres de prélèvement sont laissés en attente pendant 5 à 6 jours avant mesure de façon de laisser décroître suffisamment les radionucléides naturels à vie courte qui, sinon, empêcheraient la quantification des radionucléides artificiels présents à l'état de traces. Les résultats sont présentés dans le tableau 4. En dehors du césium 137 détecté ponctuellement à un niveau habituellement observé en France (radionucléide rémanent issu des retombées des tirs d'armes nucléaires en atmosphère et des retombées de l'accident de Tchernobyl), les radionucléides quantifiés dans ces prélèvements sont tous d'origine naturelle.

Tableau 4 - Activités volumiques des aérosols mesurées par l'IRSN sur des filtres de prélèvement venant des stations à très grand débit du réseau OPERA-Air.

Station	Début de prélèvement	Fin de prélèvement	Volume m ³	Be-7 mBq/m ³	Cs-137 mBq/m ³	Pb-210 mBq/m ³	Pb-212 mBq/m ³	Pb-214 mBq/m ³
Bordeaux	25/09/11	30/09/11	42728	7,1	< 0,0014	2,6	0,0054	0,0084
Clermont-Ferrand	21/09/11	28/09/11	44095	7,2	< 0,0016	2,7	< 0,008	0,006
La Seyne-sur-mer	26/09/11	30/09/11	41287	8,4	< 0,0013	3,4	0,027	0,006
Dijon	25/09/11	30/09/11	58084	6,2	< 0,0010	3,2	0,054	0,011
Puy-de-Dôme	21/09/11	28/09/11	45267	7,3	< 0,0006	2,2	< 0,0018	< 0,0021
Bure	26/09/11	30/09/11	30875	7,6	0,0007	3,1	0,008	< 0,008

Les niveaux d'activité en ⁷Be s'inscrivent dans les plages de variation habituellement constatées. Le niveau d'activité en ²¹⁰Pb est par contre entre 5 et 7 fois supérieur au niveau moyen (0,48 mBq/m³) mesuré en France au cours des 30 dernières années.

L'ensemble des résultats obtenus par l'IRSN indique qu'au cours de la dernière semaine de septembre, des concentrations inhabituellement élevées en plomb 210 étaient présentes dans l'air au niveau du sol, sur une bonne partie de la France. Les activités mesurées ont fréquemment dépassé 2 mBq/m³ et expliquent l'essentiel de l'élévation de l'activité bêta globale détectée par EDF depuis le 25 septembre.

3. ORIGINE VRAISEMBLABLE DE L'ELEVATION DE L'ACTIVITE BETA GLOBALE DANS L'AIR OBSERVEE FIN SEPTEMBRE

3.1. Conditions météorologiques et niveaux d'empoussièrement

Au cours de la semaine du 26 septembre au 2 octobre 2001, un puissant anticyclone centré sur la France a provoqué sur la majeure partie de l'Europe une situation de grande stabilité de l'air, sans vent et sans nuage, avec des températures diurnes nettement supérieures aux normales pour un mois de septembre. Cette situation s'est traduite par des amplitudes thermiques journalières importantes, propices à la formation de « couches d'inversion » au voisinage du sol¹. De tels

¹ Normalement, la température de l'air diminue lorsque l'altitude augmente, dans la troposphère. Sous l'effet du rayonnement solaire, un brassage de l'air se crée par le biais de mouvements d'air convectifs ascendants. Lors du refroidissement nocturne et en particulier lors d'une nuit sans nuage, l'air se refroidit progressivement, d'abord au niveau du sol. L'air est alors momentanément plus chaud en altitude qu'au sol. Cette « inversion » de température, par rapport à la situation normale, crée une couche dans laquelle la convection et donc la dispersion des polluants n'est plus possible ou fortement limitée. De la durée de cette situation d'inversion dépend l'augmentation de la concentration en polluants dans les basses couches de l'atmosphère.

phénomènes entraînent une stratification thermique qui limite considérablement la dispersion de polluants atmosphériques émis dans les basses couches. Il en résulte des épisodes de pollution avec des niveaux de concentrations en hausse. La figure 4 montre les relevés de température obtenus par radiosondage sur les sites de Bordeaux et de Nîmes. La présence de fortes inversions de température dans les basses couches a été également attestée par Météo-France sur les sites de Brest (29), Trappes(78) ou Ajaccio (20) ou à partir de relevés de température sur des stations d'altitudes différentes mais peu éloignées comme par exemple dans la région de Dijon (Cf. Figure 5).

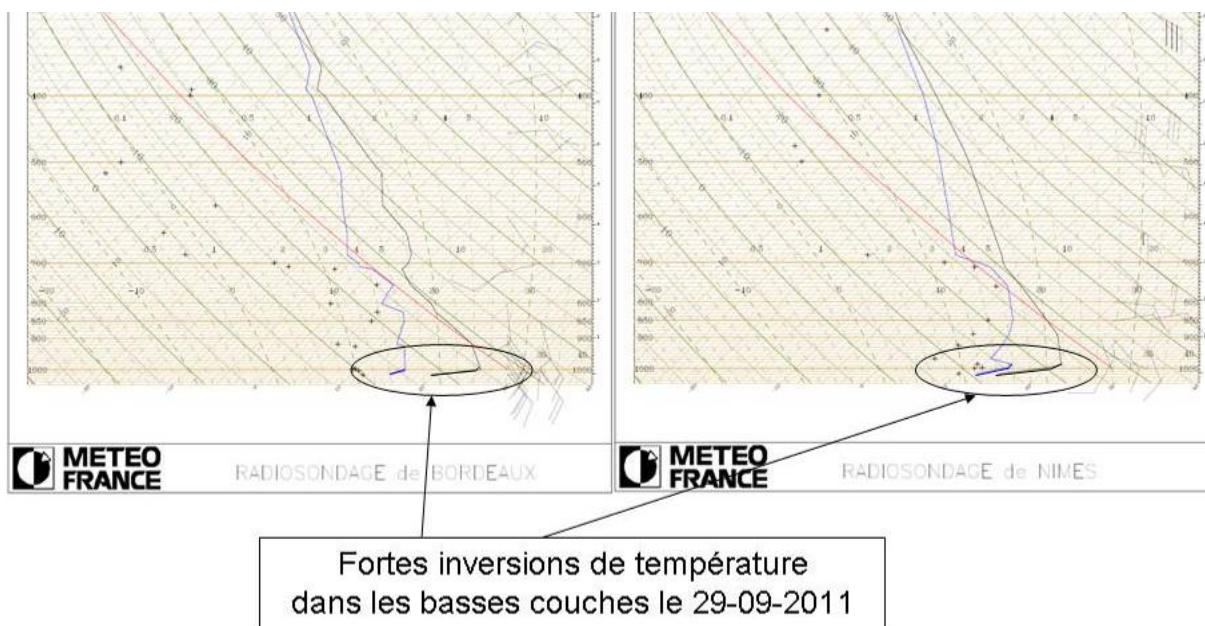


Figure 4 - Profils verticaux de température le 29 septembre (observations de Météo France par radiosondage à Nîmes et Bordeaux).

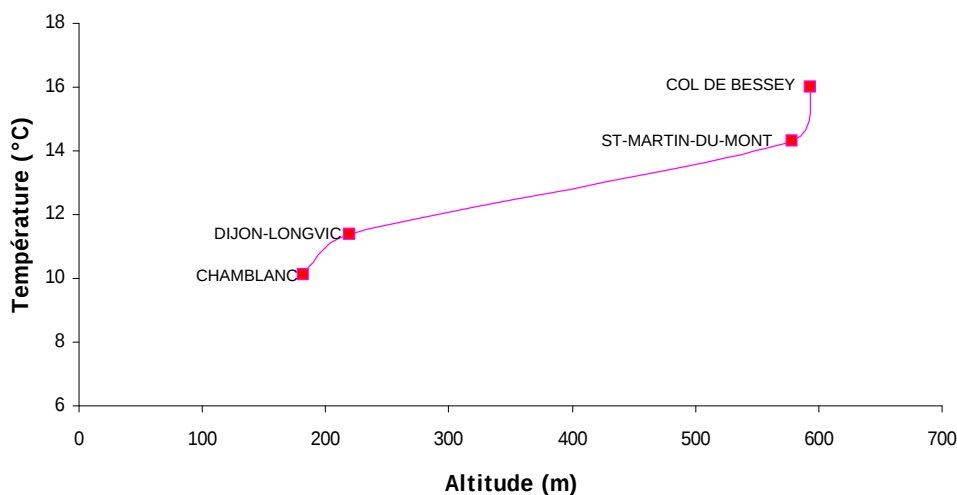


Figure 3 - Variation de température relevée le 1^{er} octobre à 4h TU sur des stations météorologiques de la région dijonnaise situées à des altitudes différentes.

Les mesures d'empoussièrement réalisées entre le 25 et le 30 septembre par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) indiquent des concentrations en particules fines dans

l'air en nette augmentation. Le niveau moyen journalier² a par exemple atteint $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station de Mérignac (33) pour une valeur moyenne annuelle de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une moyenne horaire de $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air a été relevée le 29/09 à 3 heures (TU) du matin (Cf. figure 6a et 6b). Des niveaux similaires en particules fines (PM_{10}) ont également été enregistrés en différents points du territoire, dont ceux situés à proximité des sites nucléaires où ont été observés les dépassements du seuil pour l'indice d'activité bêta globale dans l'air.

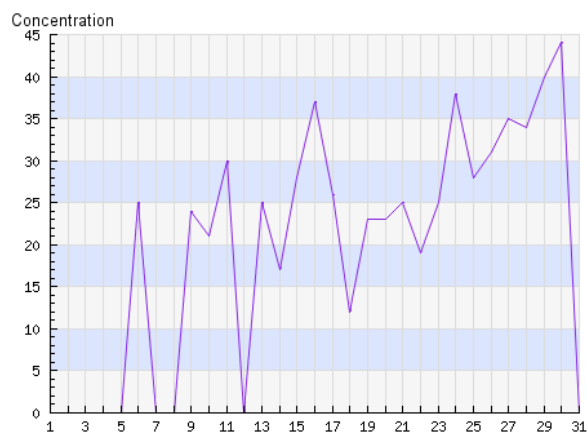


Figure 6a - Moyennes journalières en particules fines dans l'air (PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la station de Mérignac (33) au mois de septembre

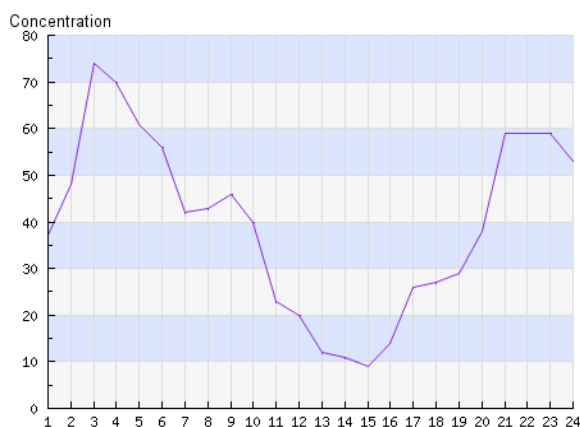


Figure 6b - Moyennes horaires en particules fines dans l'air (PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la station de Mérignac (33), le 29 septembre 2011

La figure 7 présente la prévision des niveaux en particules fines dans l'air (PM_{10}) sur la France le 28 septembre 2011, réalisée par le modèle PREVAIR de l'INERIS. On note des niveaux particulièrement élevés dans le tiers septentrional de la France ainsi que dans les principales vallées où les inversions de température sont traditionnellement les plus marquées et où elles durent le plus longtemps.

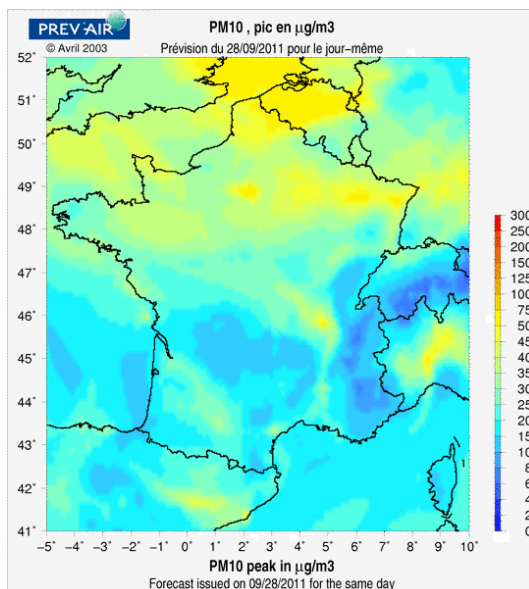


Figure 7 - Prévision du niveau d'empoussièrement en particules fines (PM_{10}) sur la France pour le 28 septembre 2011 (source : PRÉVAIR - INERIS)

² La réglementation européenne fixe à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air la concentration en particules de taille inférieure à $10 \mu\text{m}$ ne devant être dépassée plus de 35 jours par année civile.

3.2. Incidence sur les niveaux d'activité dans l'air

Le radon 222, gaz radioactif naturel émis par les sols, se désintègre en donnant naissance à divers radionucléides particuliers dont la période va de quelques fractions de secondes à plusieurs années. Ses principaux descendants radioactifs, dont le plomb 214, le bismuth 214 et le plomb 210 se dispersent dans l'air en fonction des conditions météorologiques. Durant les périodes d'inversion de température dans les basses couches de l'atmosphère, comme cela s'est produit au cours de la dernière semaine de septembre, cette dispersion est mal assurée (air stable en deuxième moitié de nuit) et ses radionucléides peuvent ainsi s'accumuler dans ces basses couches, tous comme les particules fines de l'air. Les niveaux d'activités en plomb 214 et bismuth 214 sont habituellement compris entre plusieurs centaines et plusieurs milliers voire dizaines de milliers de mBq/m^3 . Compte tenu des courtes périodes du plomb 214 (27 mn) et du bismuth 214 (20 mn), ces radionucléides n'étaient plus présents dans les filtres prélevés durant cette période, à cause de leur décroissance pendant plusieurs jours avant la mise en mesure des filtres. Ce délai permet d'éliminer ces radionucléides à vie courte des échantillons à analyser et de rechercher ainsi d'éventuels radionucléides artificiels présents à l'état de traces.

Le plomb 210, dont la période est de 22,3 ans, est persistant dans l'air ainsi que dans les prélèvements d'aérosols. Le niveau d'activité de ce radionucléide dans l'air en France au cours des 10 dernières années a été généralement compris entre 0,1 et 2 mBq/m^3 avec une valeur moyenne pour l'ensemble de la France de 0,47 mBq/m^3 . Bien que n'étant pas en équilibre avec le radon 222 compte tenu de sa période longue radioactive, les activités en plomb 210 mesurées dans l'air fin septembre sont significativement plus élevées (entre 1,5 et jusqu'à 3,4 mBq/m^3) qu'à l'accoutumée et témoignent également d'une forte concentration en particules. Les valeurs en plomb 210 obtenues durant cet épisode sont ainsi entre 3 et 7 fois plus fortes que la moyenne des 10 dernières années. Il est donc très probable que les niveaux en ^{214}Pb et ^{214}Bi aient eux aussi été très supérieurs aux valeurs habituelles.

Le phénomène observé sur les stations Téléray n'avait quant à lui jamais été caractérisé de manière aussi précise auparavant, du fait de la statistique de comptage médiocre des anciennes sondes du réseau (compteurs Geiger-Müller). Ce sont les nouvelles sondes équipées de compteurs proportionnels, dont le déploiement par l'IRSN a commencé cet été, qui ont permis de distinguer ces légères fluctuations quotidiennes.

Cependant, si les observations décrites précédemment sur la période du 24 septembre au 3 octobre 2011 sont remarquables par leur durée, du fait de conditions climatiques exceptionnelles, des phénomènes voisins ont été appréhendés dans le passé sur une durée plus courte de quelques minutes à quelques heures lors d'épisodes pluvieux qui lessivent l'atmosphère des produits de filiation radioactive du radon 222, à savoir le bismuth 214 et plomb 214. Ces émetteurs gamma peuvent se trouver précipités au sol par dépôt humide et induisent de ce fait une augmentation temporaire du rayonnement gamma, de quelques nSv/h à quelques dizaines de nSv/h .