

## **SURVEILLANCE RENFORCÉE MISE EN PLACE EN FRANCE À LA SUITE DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA : LE CAS DES IODES RADIOACTIFS**

Section Environnement de la SFRP<sup>1</sup>

À la suite de l'accident survenu à la centrale de Fukushima Dai-ichi au Japon en mars 2011, d'importantes quantités de radioactivité ont été rejetées dans l'environnement et notamment dans le compartiment atmosphérique. Au regard des circonstances et du retour d'expérience de l'accident de Tchernobyl, une surveillance radiologique renforcée a été mise en place sur le territoire français afin de surveiller l'arrivée et le devenir des masses d'air contaminées en provenance du Japon. Les différents acteurs de la surveillance de la radioactivité de l'environnement se sont ainsi mobilisés dans les premiers jours qui ont suivi cet événement afin de contribuer à la surveillance du territoire national et disposer d'éléments permettant, le cas échéant, la prise de décisions d'ordre sanitaire.

Au total, dans les semaines qui ont suivi l'accident de Fukushima, près de 10 000 résultats de mesures ont été produits par les différents acteurs et transmis à l'IRSN qui avait la charge de les analyser afin de fournir aux autorités et au public une information actualisée – dans les premiers temps quotidienne puis ensuite de façon plus espacée – sur l'état radiologique du territoire national ce qui a notamment permis de confirmer la faible augmentation du niveau de radioactivité mesurée dans l'atmosphère imputable à l'accident, notamment en iodes. À partir de début mai 2011, les activités massiques et volumiques en radionucléides artificiels dans les différentes matrices environnementales surveillées sont revenues à des niveaux habituellement observés avant l'accident et les plans de surveillance renforcée ont été suspendus.

La section environnement de la SFRP propose, à l'occasion des journées techniques sur l'iode, de revenir sur la surveillance renforcée mise en place en France à la suite de l'accident de Fukushima et sur les résultats des mesures d'iode 131 obtenus dans les différents compartiments de l'environnement.

### **Rappel sur l'accident de Fukushima et ses conséquences radiologiques**

Le 11 mars 2011, à 14h46 heure locale (5h46 TU), un séisme de magnitude 9 sur l'échelle de Richter survient dans le nord-est du Japon à 80 km à l'Est de l'île de Honshū. Ce dernier a pour conséquence de priver la centrale de Fukushima Dai-ichi de ses alimentations électriques extérieures. Trois réacteurs (parmi les 6 présents sur ce site) étaient en fonctionnement à pleine puissance au moment du séisme et ont automatiquement été arrêtés.

---

<sup>1</sup> Ont contribué à la rédaction du résumé : Petifrère M. (IRSN), Hémidy P-Y. (EDF), Boyer C. (EDF), Devin P. (Orano); Baglan N. (ASN), Reynal N. (ASN); Leclerc E. (Andra), Lecompte Y. (Marine nationale), Leprieur F. (CEA).

Une heure plus tard, la centrale nucléaire est touchée par un tsunami d'une ampleur sans précédent, rendant inopérants les diesels de secours et les équipements auxiliaires (stations de pompages notamment). Dépourvus de refroidissement, les cœurs des trois réacteurs qui viennent de s'arrêter s'échauffent, entraînant une vaporisation de l'eau puis l'abaissement des niveaux d'eau dans les cuves, et enfin le dénoyage des assemblages de combustible nucléaire. Il en résulte une dégradation de la gaine des crayons de combustible, la production d'hydrogène et la fusion partielle des cœurs des trois réacteurs. Ces dégradations provoquent une explosion qui est à l'origine des rejets radioactifs dans l'atmosphère, essentiellement entre le 12 et le 22 mars, par perte de confinement. Les radionucléides rejetés dans l'atmosphère sont essentiellement des produits de fissions volatils (gaz et particules), en particulier des gaz rares, l'iode 131, le couple iode/tellure 132 et, dans une moindre mesure, les césium 134 et 137 et les tellures.

La première simulation de la dispersion des rejets radioactifs à très grande distance (simulation appliquée au césium 137) a été faite le 19 mars par Météo-France à partir des rejets estimés par l'IRSN. Elle concernait la période du 12 au 26 mars. Cette simulation a ensuite été actualisée à plusieurs reprises par l'IRSN en tenant compte des mises à jour de l'estimation des rejets et des prévisions météorologiques, ainsi que de la cinétique des rejets déterminée à l'aide des pics de débit de dose mesurés sur le site nucléaire accidenté. Les principaux résultats de cette modélisation avaient prévu que :

- la dispersion atmosphérique des radionucléides émis par la centrale de Fukushima n'affecterait que l'hémisphère nord. Il était donc très peu probable de détecter des traces de ces rejets accidentels sur les territoires français de l'hémisphère sud, notamment la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française ;
- le continent nord-américain serait le premier touché par cette dispersion à grande échelle, à partir du 16 ou 17 mars, prévision confirmée par les premiers résultats de mesure publiés par l'agence pour la protection de l'environnement des États-Unis (US-EPA) ;
- les radionucléides dispersés dans l'air atteindraient ensuite les Antilles françaises à partir du 21 mars, Saint-Pierre-et-Miquelon à partir du 23 mars et la métropole à partir du 23 ou du 24 mars ;
- à partir du 25 mars, l'ensemble de la métropole serait touché par les masses d'air contaminées. La mise à jour de la simulation a indiqué ensuite, qu'à partir du 7 avril, l'activité volumique en césium 137 dans l'air serait homogène sur l'ensemble de l'hémisphère nord ;
- les activités volumiques en césium 137 dans l'air en France métropolitaine et dans les départements d'outre-mer de l'hémisphère nord seraient de l'ordre de  $0,001 \text{ Bq/m}^3$ .

### **La surveillance renforcée mise en place en France**

Sur la base de ces estimations, l'IRSN a mis en place un plan de surveillance spécifique en métropole et dans les DOM-COM afin d'être en mesure de confirmer et de quantifier la présence attendue dans l'air d'éléments radioactifs sous forme de particules en suspension (aérosols dont des iodures) et sous forme gazeuse, ainsi que de suivre leur devenir dans l'environnement et leur impact éventuel dans la chaîne alimentaire.

Le plan de surveillance renforcée comprenait la mise en alerte du réseau Téléray dédié à la surveillance du débit d'équivalent de dose gamma ambiant, la réalisation de prélèvements spécifiques dans l'environnement, à une fréquence resserrée, et la pose de dosimètres environnementaux en divers points du territoire. Tout au long de la phase de suivi des masses d'air contaminées, le plan de surveillance a été adapté en fonction de l'évolution de la situation au Japon et des résultats de mesures obtenus. Le retour à des activités volumiques dans l'air similaires à celles mesurées avant l'accident a permis de lever la quasi-totalité du plan spécifique mis en œuvre par l'IRSN à compter du 6 mai 2011.

En complément de la surveillance réalisée par IRSN, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé aux exploitants d'installations nucléaires de réaliser des mesures sur des prélèvements atmosphériques, afin de rechercher les traces de radionucléides artificiels imputables à l'accident. Cette surveillance renforcée, qui s'ajoutait à la surveillance réglementaire prescrite aux exploitants, comportait :

- une mesure par spectrométrie gamma quotidienne puis hebdomadaire à compter du 18 avril 2011, sur le regroupement géographique des filtres de prélèvement d'aérosols (piégeage iodes particuliers notamment) ;
- une mesure par spectrométrie gamma des iodes radioactifs gazeux prélevés sur cartouche de charbon actif, avec une périodicité de 24 à 72 h puis hebdomadaire.

Le 4 mai, l'ASN a autorisé les exploitants nucléaires à mettre fin à cette surveillance complémentaire, qui n'était plus justifiée compte tenu de la diminution constante des niveaux d'activité volumique mesurés dans l'air pour les radionucléides artificiels susceptibles d'avoir été rejetés lors de l'accident de Fukushima.

Au total, 36 sites nucléaires (EDF, Areva, CEA, Marine nationale, Andra et ILL) ont contribué à cette surveillance renforcée qui demandait la réalisation de spectrométries gamma sur des prélèvements d'aérosols atmosphériques sur filtre, sur des cartouches de piégeage de l'iode gazeux, sur des prélèvements d'eaux de pluie et sur des prélèvements d'herbe. Des associations dont l'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (ACRO) et le Laboratoire départemental d'analyses de la Manche (LDA50) ont également contribué à ce dispositif de surveillance renforcée.

### **Résultats de mesure de l'iode dans le compartiment atmosphérique**

En France métropolitaine, les premières traces d'iode 131 particulaire ont été mesurées sur un prélèvement d'aérosols effectué du 21 au 24 mars sur une station IRSN à très grand débit (700 m<sup>3</sup>/h), installée au sommet du Puy-de-Dôme (activité volumique estimée à 0,04 mBq/m<sup>3</sup> en rapportant l'activité mesurée à la seule journée du 24 mars). Avant cette date, tous les résultats de mesure obtenus sur des prélèvements d'air étaient inférieurs aux seuils de décision<sup>2</sup> des techniques d'analyse utilisées, comprises entre moins de 0,01 et 0,05 mBq/m<sup>3</sup>. Les résultats des jours suivants ont confirmé la présence généralisée d'iode 131 particulaire en France. Les activités volumiques moyennes sur la période de surveillance renforcée ont atteint un maximum en métropole entre le 27 mars et le 9 avril avec des valeurs atteignant parfois 1 à 2 mBq/m<sup>3</sup> dans diverses régions de France. Après cette date, l'activité a décliné jusqu'à des niveaux inférieurs à 0,01 mBq/m<sup>3</sup> début mai.

---

<sup>2</sup> Le seuil de décision métrologique est la valeur minimale du comptage obtenu lors de la mesure d'un échantillon, au-dessus de laquelle on peut conclure à la présence de radioactivité dans l'échantillon, avec un risque acceptable de se tromper.

De l'iode 131 sous forme gazeuse a pour sa part été détecté pour la première fois sur des prélèvements effectués entre le 24 et le 26 mars à Cherbourg et à Cadarache (quelques dixièmes de  $\text{mBq/m}^3$ ). Dans les jours suivants, de nouvelles traces d'iode 131 sous forme gazeuse, à des activités volumiques comprises entre quelques dixièmes et quelques millibecquerels par mètre-cube, ont été détectées sur l'ensemble du territoire métropolitain. Les activités volumiques maximales ont été mesurées sur des prélèvements effectués entre le 28 mars et le 8 avril (3 et  $7,4 \text{ mBq/m}^3$ ). À partir du 25 avril 2011, les activités volumiques en iode mesurées dans l'air ont toutes été inférieures aux seuils de décision.

Concernant les DROM-COM, de l'iode 131 particulière a été détecté à Fort-de-France sur un prélèvement effectué entre le 24 et le 31 mars ( $0,21 \text{ mBq/m}^3$ ), ainsi qu'à Saint-Pierre-et-Miquelon sur un prélèvement effectué entre le 25 mars et le 1er avril 2011 ( $0,48 \text{ mBq/m}^3$ ). Des valeurs significatives ont continué d'être observées à Fort-de-France jusqu'au 14 avril ( $0,15 \text{ mBq/m}^3$ ) et à Saint-Pierre-et-Miquelon jusqu'au 22 avril ( $0,28 \text{ mBq/m}^3$ ). Des activités significatives en iode 131 sous forme gazeuse ont uniquement été mesurées à Saint-Pierre-et-Miquelon, sur un prélèvement réalisé du 26 au 28 mars ( $0,81 \text{ mBq/m}^3$ ) et sur plusieurs prélèvements de deux jours effectués entre le 1<sup>er</sup> et le 19 avril (valeurs moyennes comprises entre  $0,12$  et  $4,8 \text{ mBq/m}^3$ ).

La présence d'iode 131 ( $1,7 \text{ Bq/L}$ ) dans l'eau de pluie a été détectée pour la première fois dans un prélèvement réalisé au Vésinet (78) du 25 au 27 mars et à Modane (73) du 26 au 27 mars. Dans les jours qui ont suivi, des activités significatives ont été observées sur le reste du territoire, avec des activités volumiques variant entre  $0,5$  et  $3,5 \text{ Bq/L}$ . Le peu ou l'absence de précipitations du 5 au 12 avril 2011, puis à partir du 22 avril en métropole explique l'absence de résultats d'analyse sur ces périodes. Les prélèvements réalisés du 14 au 22 avril présentent des activités volumiques plus faibles, de l'ordre de  $0,2 \text{ Bq/L}$ . Celles-ci étaient cohérentes avec les niveaux mesurés dans l'air pour la même période.

## Résultats de la surveillance renforcée du milieu terrestre

La surveillance renforcée du milieu terrestre a principalement porté sur l'analyse de prélèvements de végétaux terrestres et de lait. Plus de 200 échantillons de végétaux (herbes, mélange mousse/lichens) ont été analysés spécifiquement par l'IRSN, auxquels s'ajoutent 33 autres échantillons analysés par l'ACRO, le LDA50, le LAC Andra ainsi que les analyses réalisées par les autres exploitants nucléaires.

En métropole, les premières « traces » d'iode 131 ont été mesurées dans un échantillon d'herbe prélevé à Pélussin (42) le 26 mars 2011 ( $0,09 \text{ Bq/kg}$  frais). La détection s'est généralisée les jours suivants sur le reste du territoire métropolitain, à des activités comprises entre  $0,29$  et  $15 \text{ Bq/kg}$  frais, avec des niveaux moyens d'activités de l'ordre de  $2,08 \text{ Bq/kg}$  frais sur la période allant du 26 mars au 15 avril. L'activité maximale a été observée sur un prélèvement d'herbe du 28 mars réalisé à Gradignan (33). Après le 15 avril, les activités en iode 131 dans l'herbe montrent une tendance à la baisse. Les valeurs mesurées à partir de début mai ne dépassent pas  $0,12 \text{ Bq/kg}$  frais et sont très souvent inférieures aux seuils de décision des appareils de mesure.

Dans les DROM-COM, l'analyse d'un prélèvement d'herbe réalisé le 28 mars en Martinique a révélé pour la première fois la présence d'iode 131, à une activité massique de  $0,80 \text{ Bq/kg}$  frais. Des traces d'iode 131 ont également été détectées les



jours suivants en Guadeloupe sur deux échantillons d'herbe, et sur cinq échantillons de mélanges de mousses et de lichens prélevés à Saint-Pierre-et-Miquelon.

Plus d'une centaine de légumes ont fait l'objet d'un contrôle radiologique en métropole et dans les DROM-COM (légumes à feuilles tels que salades et épinards) et, dans une moindre mesure, d'autres types de légumes et aromates (choux pommés, céleris-raves, carottes et thym). Les premières traces d'iode 131 (0,14 Bq/kg frais) ont été détectées le 28 mars sur des feuilles d'épinards prélevées dans la commune de Narbonne (11). D'autres valeurs significatives ont été mesurées en métropole par la suite, principalement sur des salades et des épinards prélevés dans le grand quart sud-est de la France. Jusqu'au 19 avril, les activités mesurées ont varié entre 0,05 et 2,10 Bq/kg frais. Les analyses réalisées après cette date n'indiquaient plus d'activité significative en iode 131 en France métropolitaine.

Les mesures réalisées sur les prélèvements de lait (chèvre, brebis, vache) par l'IRSN, le LDA50 et les exploitants nucléaires ont mis en évidence la présence d'iode 131 à partir du 28 mars 2011 dans le nord-ouest de la France (0,43 Bq/L dans le lait de chèvre à Sepmes (37) et 0,15 Bq/L dans le lait de vache à Brouzils (85)). Dans les jours qui ont suivi, des activités volumiques significatives ont été mesurées sur la plupart des stations de prélèvement du territoire métropolitain, avec des niveaux variants entre 0,05 Bq/L et 3,10 Bq/L. Les valeurs les plus élevées ont été observées dans le lait de chèvre et de brebis, allant de 0,06 à 3,10 Bq/L, alors que la gamme d'activité mesurée dans le lait de vache a été plus faible, de 0,05 à 0,66 Bq/L.

## Conclusion

La surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement mise en place en France après l'accident de Fukushima a permis d'une part de caractériser l'arrivée des masses d'air contaminés en provenance du Japon et d'autre part de mettre en évidence la présence de traces des principaux radionucléides rejetés dans l'air lors de cet accident dont l'iode 131. Elle a également permis d'en suivre l'évolution dans les différents compartiments de l'environnement dans le temps et l'espace jusqu'à début du mois de mai 2011, date d'arrêt de la surveillance renforcée.

La présence d'iode 131 particulière dans l'air, détectée pour la première fois sur un prélèvement effectué le 24 mars au sommet du Puy-de-Dôme, a été confirmée pour l'ensemble de la France à partir du 25 mars. Les activités volumiques les plus élevées en iodes ont été observées entre le 27 mars et le 7 avril dans l'air, et jusqu'à mi-avril dans le compartiment terrestre (végétaux et lait). Au cours du mois d'avril, les activités en iode 131 ont progressivement diminué au point d'être difficilement détectables à partir de début mai malgré l'emploi de techniques analytiques performantes. Contrairement à ce qui avait été observé à la suite de l'accident de Tchernobyl dont les rejets avaient été estimés à près de 1000 fois supérieurs, les différentes mesures réalisées ne conduisent pas à considérer que certaines régions françaises aient été plus touchées que d'autres.

Il est par ailleurs important de rappeler qu'à aucun moment, les activités massiques et/ou volumiques en iode et des autres radionucléides d'origine artificielle (césium 134 et 137 notamment) mesurées dans les différents compartiments de l'environnement en France métropolitaine et dans les DROM-COM, n'ont présenté un quelconque risque environnemental et/ou sanitaire.

## Références

IRSN, Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011.

IRSN, Fukushima, un an après - Premières analyses de l'accident et de ses conséquences, Rapport IRSN/DG/2012-001.

IRSN, Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement, Rapport DEI/2011-01.

IRSN, Synthèse des résultats des mesures de radioactivité dans le cadre de la surveillance de l'impact à très longue distance des rejets de l'accident de Fukushima Dai-ichi en France – Note d'information n°15.

Rapport environnemental annuel relatif aux installations nucléaires de base – Année 2011.