

## Accident de Fukushima-Dai-Ichi

### Bulletin d'information n° 10 du 4 juin 2013

*Ce bulletin élaboré par l'IRSN est spécialement destiné à l'information des ressortissants français vivant au Japon. Il actualise les informations et recommandations du précédent bulletin daté du 6 août 2012, compte tenu des données les plus récentes publiées au Japon concernant l'évolution de la contamination environnementale ainsi que celle des denrées alimentaires produites au Japon.*

---

Ce nouveau bulletin aborde deux sujets particuliers, développés respectivement en annexes 1 et 2 :

- l'évolution des dépôts radioactifs dans le milieu terrestre depuis l'année de l'accident, et son incidence sur le zonage mis en place par les autorités japonaises autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi ;
- l'évolution des niveaux de contamination constatés dans les différentes catégories de denrées produites au Japon et l'estimation par l'IRSN des risques pour les consommateurs.

A titre d'illustration, l'annexe 3 présente les résultats de mesures radiométriques réalisées par l'IRSN en février 2013 le long d'un parcours effectué dans la ville de Fukushima. Ces résultats de mesure permettent de montrer en pratique la variabilité de l'ambiance radioactive qui peut être observée à l'échelle locale et d'en expliquer les causes.

Ces informations mises à jour conduisent à actualiser les recommandations émises dans le précédent bulletin.

## **1. Évolution des dépôts radioactifs et de la contamination des denrées**

### **1.1 Les dépôts radioactifs résiduels (voir détail en annexe 1)**

Deux ans après l'accident de Fukushima, la contamination résiduelle au Japon est constituée quasi exclusivement par les césiums 134 et 137 dont les périodes radioactives<sup>1</sup> sont respectivement de 2,1 et de 30 ans. Compte tenu de la décroissance radioactive de ces deux radionucléides, il subsiste environ 95% du césium 137 et 52% du césium 134 initialement déposés pendant l'accident de Fukushima, tandis que les radionucléides de période plus courte ont fortement décru, voire totalement disparu comme l'iode 131. Le césium 137 représente aujourd'hui 64% de l'activité des dépôts radioactifs résiduels.

---

<sup>1</sup> La période radioactive, propre à chaque radionucléide, désigne le temps au bout duquel la radioactivité de l'élément radioactif est réduite de moitié (phénomène de décroissance radioactive). Ainsi, plus la période radioactive est courte, plus le radionucléide considéré disparaît rapidement.

Les mises à jour des cartes des dépôts radioactifs publiées récemment au Japon montrent, comme attendu, une diminution de la radioactivité des dépôts surfaciques. Outre la décroissance radioactive (notamment du césium 134), les mécanismes suivants peuvent être impliqués dans cette baisse de radioactivité résiduelle : la migration verticale des radionucléides dans les sols, l'érosion des sols superficiels où se trouve majoritairement la contamination, les processus de recyclage par les plantes au sein des écosystèmes forestiers (dont l'impact en termes dosimétrique peut être significatif), le retrait des récoltes contaminées, et enfin, les actions de décontamination engagées au Japon, principalement dans les zones agricoles et habitées (labour, enfouissement, décapage des sols, nettoyage du bâti).

Des variations locales des dépôts radioactifs continuent d'être observées. Seules des campagnes de mesures radiométriques réalisées sur le terrain permettent de les caractériser. A titre d'illustration, un « parcours radiométrique » dans la ville de Fukushima est présenté en annexe 3 ; il a été réalisé lors d'une mission de l'IRSN dans cette ville.

Les dépôts radioactifs superficiels émettent en permanence un rayonnement gamma (rayonnement comparable aux rayons X) à l'origine d'un débit de dose ambiant contribuant à l'exposition externe des personnes présentes sur les territoires contaminés. Les doses reçues par cette voie d'exposition dépendent du temps de présence à l'extérieur (le rayonnement étant significativement atténué à l'intérieur des bâtiments) et bien sûr des zones fréquentées. L'IRSN a mis à jour ses estimations des doses potentiellement reçues par cette voie d'exposition, au cours de différentes périodes après la formation de ces dépôts (15 mars 2011) : 1<sup>er</sup> mois, 1<sup>ère</sup> année suivant ce premier mois, 2<sup>ème</sup> année. Compte tenu des hypothèses prudentes retenues pour réaliser ces estimations, les doses théoriques ainsi calculées sont enveloppes des doses réellement reçues par les populations qui vivent dans ces territoires, comme semblent d'ailleurs le confirmer les résultats des campagnes de surveillance dosimétrique menées au Japon. Même si leur efficacité est toute relative, les actions de décontamination des zones habitées entreprises par les autorités japonaises (nationales ou locales, selon les zones concernées) peuvent expliquer une partie de cette situation plus favorable.

Avec la disparition progressive du césium 134 (radioactivité réduite par 2 tous les 2,1 ans), le rayonnement gamma ambiant dans les territoires contaminés devrait continuer de diminuer au cours des années à venir. Cette diminution sera plus lente par la suite, à cause de la période radioactive plus longue du césium 137 (30 ans).

## ***1.2 Évolution de la contamination des denrées produites au Japon (voir détail en annexe 2)***

Depuis avril 2012 (date de changement des normes applicables aux denrées au Japon) et jusqu'à fin mars 2013, soit au cours de la 2<sup>ème</sup> année suivant l'accident, le ministère japonais de la santé (MHLW) a publié sur son site Internet les résultats de mesures de 280 000 échantillons de denrées provenant de toutes les préfectures du Japon. Il s'agit majoritairement, mais pas uniquement, de denrées issues de l'agriculture, notamment 32 000 échantillons de riz et 172 000 échantillons de viande de bœuf.

Seuls 23 000 des 280 000 échantillons contrôlés, soit moins de 10%, présentaient une contamination en césium 134 et 137 dépassant la limite de détection des moyens de mesure utilisés. Cela signifie que pour les autres échantillons, le césium radioactif était présent en quantité trop faible pour être quantifiable.

La norme de commercialisation de 100 Bq/kg frais de césiums (134+137), en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> avril 2012 pour la majorité des aliments solides, n'a été dépassée que pour 2 300 échantillons, soit 0,8% des 280 000 échantillons analysés. Ce taux de dépassement a diminué au cours du temps : il était de 3% en avril 2012, après l'abaissement des normes, puis s'est stabilisé à 0,65% mensuellement à partir de la fin 2012. Ce pourcentage de dépassement varie bien sûr à l'échelle du pays. Il est nul dans la majorité des 47 préfectures du Japon tandis qu'il est de 4% pour la préfecture de Fukushima, dans laquelle se trouvent les zones les plus touchées par les dépôts radioactifs.

Enfin, 172 des 280 000 échantillons mesurés entre avril 2012 et mars 2013 présentaient une

contamination en césium (134+137) supérieure à 1 000 Bq/kg frais (10 fois la norme), soit 0,06% des 280 000 analyses. Il s'agit très majoritairement de produits de la chasse, de la cueillette et de la pêche : 108 viandes de gibier sauvage (dont 106 de sanglier), 19 poissons, 16 champignons (majoritairement sauvages), 11 pousses de végétaux et végétaux majoritairement sauvages (aralia, bambou, koshiabura, fougères...).

Pour estimer le risque pour la santé des consommateurs de denrées produites au Japon, l'IRSN a évalué les doses théoriques que pourrait recevoir une personne qui consommerait des denrées contaminées par du césium radioactif, en tenant compte des résultats de mesure publiés au cours de l'année écoulée et des restrictions mises en place au Japon. Pour cela, deux scénarios majorants ont été considérés. Le premier concerne le cas d'une personne qui consommerait en permanence des denrées dont la concentration en césium se situerait juste en dessous de la norme de 100 Bq/kg applicable au Japon. Le second concerne le cas d'une personne qui aurait consommé un kilogramme d'une denrée dont la concentration en césium correspondrait à la valeur la plus élevée mesurée en 2012 pour la catégorie de denrée considérée.

Les doses ainsi estimées sont faibles, de l'ordre de 1 mSv en une année au maximum<sup>2</sup>. Compte tenu de l'évolution des niveaux de concentration en césium dans les denrées en 2012 et du dispositif de surveillance et de restrictions mis en place par les autorités au Japon, il est en réalité peu probable que de telles doses aient été atteintes au cours de l'année écoulée, sauf pour des personnes ayant un mode d'alimentation particulier (consommation régulière de denrées prélevées directement dans la nature, dans les territoires contaminés, sans mesure de contrôle).

Ainsi, l'IRSN considère que le risque sanitaire pour les consommateurs de denrées distribuées au Japon est très faible.

Compte tenu de la persistance du césium radioactif dans l'environnement (dans les sols et les sédiments), la poursuite d'une surveillance régulière des denrées produites au Japon et le maintien de restrictions de commercialisation ou de consommation dans les territoires les plus impactés s'imposent. Si la contamination a fortement décru depuis 2011 pour la plupart des denrées, la diminution sera plus lente dans les années à venir, plus particulièrement pour les produits d'origine sauvage, prélevés dans le milieu terrestre ou marin où se trouvent des dépôts ou des sédiments contaminés : champignons, gibiers, pousses de plante, certaines espèces de poisson.

En tout état de cause, si les mesures de restriction et le dispositif de contrôle mis en place au Japon sont maintenus, les risques pour la santé des consommateurs continueront d'être très faibles, même en cas de consommation occasionnelle de denrées contenant du césium radioactif à des teneurs supérieures aux normes.

## ***2. Prescriptions et recommandations édictées par les autorités japonaises***

### ***2.1 Pour ce qui concerne la mise sur le marché et la commercialisation des denrées alimentaires***

L'année écoulée a été marquée par :

- l'application d'une norme de commercialisation des denrées plus basse que celle initialement fixée en 2011, ne concernant que les césiums 134 et 137, seuls radionucléides encore présent dans certaines denrées ;

---

<sup>2</sup> A titre de comparaison, en France, la limite réglementaire de dose annuelle pour le public susceptible d'être exposé aux rayonnements ionisants du fait des activités nucléaires autorisées, dans le cadre de leur fonctionnement normal, est fixée à 1 mSv/an. Cette limite ne s'applique pas aux doses reçues du fait de la radioactivité naturelle, qui sont en moyenne de 2,4 mSv/an et peuvent dépasser 5 mSv/an dans les régions en altitude ou dans des zones présentant de fortes teneurs en radon, ni aux doses reçues au cours de diagnostics médicaux utilisant des rayonnements ionisants, qui est en moyenne de 1,3 mSv/an.

- la poursuite de la surveillance de la contamination des denrées mises sur le marché, étendue à l'ensemble des 47 préfectures du Japon ;
- le maintien, voire l'extension de restrictions de commercialisation ou de consommation dans les territoires où la norme est dépassée pour certaines catégories de denrées. L'évolution des restrictions est régulièrement mise à jour sur le site Internet du Ministère japonais de la Santé à l'adresse suivante :

<http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/index.html>.

Plus d'information sur ce dispositif de surveillance et de restrictions est fournie dans l'annexe 2 de ce bulletin.

## 2.2 Pour ce qui concerne la vie dans les territoires contaminés

Grâce à une meilleure connaissance de la répartition des dépôts radioactifs et compte tenu de la diminution progressive des doses potentiellement reçues dans les territoires contaminés, les autorités japonaises ont engagé, à partir d'avril 2012, une démarche conduisant à une évolution progressive du statut des zones évacuées mises en place en 2011, dans la perspective du retour des populations dans les parties de ces territoires où les niveaux de radioactivité le permettent. Ainsi, les zones d'accès restreint (dans un rayon de 20 km) et d'évacuation délibérée (à l'extérieur du cercle de 20 km de rayon, où les dépôts radioactifs sont les plus importants) ont été progressivement réduites au cours de l'année 2012. A la place, trois nouvelles catégories de zones, dont le statut dépend du niveau de radioactivité ambiante, ont été créées (voir annexe 1 pour plus de détail et localiser ces zones) :

- **des zones de type 1, où l'interdiction de séjour de la population a été levée** du fait de doses prévisibles inférieures à 20 mSv/an. Cela concerne certains secteurs des municipalités de Kawauchi, Tamura, Okuma, Nahara, Minamisoma et deux secteurs d'Iitate ;
- **des zones de type 2, où le séjour des populations reste interdit à court-terme** car les doses susceptibles d'être reçues en cas de séjour permanent pourraient dépasser 20 mSv/an. Seuls des retours ponctuels autorisés et encadrés par les pouvoirs publics japonais sont possibles à l'heure actuelle. Pour ces zones, les autorités japonaises visent un retour de la population dans quelques années ;
- **des zones de type 3, où le séjour des populations à long-terme est difficilement envisageable** du fait de doses susceptibles de dépasser une valeur de 50 mSv/an. Seuls un accès très ponctuel est possible, sous réserve d'une autorisation des pouvoirs publics japonais et du port d'équipements de protection. Cela concerne certains secteurs des municipalités de Minamisoma, Okuma, et d'Iitate.

Dans les zones de type 1, le retour des populations n'est pas encore effectif. Seuls des séjours courts sont autorisés pour la reprise de certaines activités professionnelles et la restauration des conditions de vie. Par ailleurs, des opérations de réduction de la contamination sont en cours dans les communes concernées.

**La question du retour des populations dans ces zones « libérées » ne se limite pas aux seuls aspects de radioprotection.** En effet, deux ans après l'accident, les conditions économiques, sociales voire culturelles d'un tel retour font débat au sein des populations concernées et les sondages d'opinion montrent qu'avec le temps, il existe une incertitude croissante quant à un éventuel retour, chez plus de 50% des personnes interrogées. Les points de vue semblent diverger en fonction des générations, les personnes les plus âgées, attachées à leurs terres et leurs traditions, étant plus favorables au retour. Malgré les actions de décontamination et les mesures de surveillance qui permettent d'assurer un niveau d'exposition faible à la radioactivité ambiante, des réticences et des hésitations se manifestent, en lien avec les risques éventuels pour la santé, notamment celles des enfants, les conditions de vie dans ces territoires et les perspectives à long terme dans un environnement qui restera forcément différent de celui qui existait avant l'accident.

### ***3. Recommandations de l'IRSN à destination des ressortissants français susceptibles de se rendre ou de résider au Japon dans les territoires les plus impactés par l'accident de la centrale de Fukushima Dai-Ichi***

Cinq préfectures sont concernées par des dépôts radioactifs persistants, à des degrés divers, provoqués par l'accident de Fukushima Dai-Ichi : Miyagi, Ibaraki, Tochigi, Gunma et surtout Fukushima.

L'ensemble des recommandations de l'IRSN, proposées ci-après, ne font naturellement pas obstacle à l'application des prescriptions et recommandations formulées par les autorités japonaises, résumées ci-dessus.

#### ***3.1 Recommandations pour le séjour ou la résidence dans les territoires contaminés***

Les informations recueillies par l'IRSN sur la situation radiologique au Japon, synthétisées dans ce bulletin, montrent clairement que le niveau de radioactivité dans les territoires contaminés a décru par rapport à la première année ; par ailleurs, les autorités japonaises ont pris des mesures permettant de réduire l'exposition des populations concernées. Aujourd'hui, les doses susceptibles d'être reçues par exposition externe dans les zones où l'interdiction de séjour a été levée sont faibles en moyenne, dans la fourchette haute des doses dues à la radioactivité naturelle dans le monde. D'une manière générale, l'IRSN estime qu'il n'y a plus d'inconvénient à se rendre dans les préfectures affectées par les retombées de l'accident, à l'exception des zones où des restrictions de séjour ou des consignes d'éloignement sont maintenues par le Japan Ministry of Trade, Economy and Industry (METI) (cf. paragraphe 2.2 ci-dessus et annexe 1).

Comme cela est préconisé par le gouvernement japonais, des travaux de nettoyage à des fins de réduction de la contamination peuvent être envisagés pour les personnes résidant en habitat individuel. Ces travaux consistent essentiellement à enlever la boue et les feuilles mortes accumulées dans les gouttières, les fossés, les ruisseaux, les zones d'accumulation, et à nettoyer les grilles d'aération. Les déchets produits par ces opérations doivent être entreposés hors des zones de passage en attendant leur élimination suivant la filière recommandée par les autorités locales.

#### ***3.2 Recommandation de bonnes pratiques alimentaires***

D'une façon générale, pour les ressortissants français résidant au Japon, l'IRSN recommande :

- de limiter au maximum la consommation de denrées collectées directement dans la nature (chasse, pêche, cueillette) ou provenant d'un jardin potager ou d'un élevage familial, à moins que des contrôles n'aient été effectués ;
- de laver soigneusement les fruits et légumes ayant été en contact avec le sol.

Par ailleurs, **l'IRSN recommande de garder une certaine prudence quant à la consommation des denrées suivantes :**

- **les plantes et champignons sauvages ainsi que le gibier, notamment la viande de sanglier** : ces produits sont issus du milieu forestier dans lequel aucune action de réduction de la contamination n'est entreprise ;
- **les champignons, notamment les shiitakes** : le nombre de communes frappées d'interdiction augmente régulièrement depuis l'entrée en vigueur des nouvelles normes alimentaires. De plus, les zones concernées sont de plus en plus distantes de la préfecture de Fukushima ;
- **certains poissons (eau de mer et eau douce)** qui présentent des niveaux de contamination constants et même, régulièrement, supérieurs aux normes.

Pour ces denrées, il convient d'être attentif aux informations sur leur provenance et, le cas échéant, sur les résultats de contrôle de contamination. Plus généralement, il est recommandé de varier son alimentation (notamment en termes de provenance) pour limiter efficacement la contamination interne par ingestion.

Aucune limitation sur la consommation ou l'usage de l'eau du robinet pour la préparation et la cuisson des aliments n'est à envisager.

Il est important de noter que la consommation occasionnelle ou accidentelle de denrées contaminées, même à des niveaux légèrement supérieurs aux normes autorisées, ne présente pas un risque significatif pour la santé (cf. paragraphe 1.2 ci-dessus et annexe 2).



# Annexe 1 - Évolution des dépôts radioactifs et du zonage mis en place autour de la centrale de Fukushima

Cette annexe présente une synthèse des informations sur l'évolution des dépôts radioactifs au Japon, deux ans après l'accident de Fukushima, et sur l'évolution du statut de certaines parties des zones évacuées, décidées par les autorités japonaises. Elle a été élaborée par l'IRSN à partir des données techniques publiées au Japon et de ses propres évaluations de la situation dans les territoires contaminés.

## 1. Mise à jour des cartes des dépôts radioactifs au Japon

Deux ans après l'accident de Fukushima, la contamination résiduelle au Japon est constituée quasi exclusivement par les césiums 134 et 137 dont les périodes radioactives<sup>3</sup> sont respectivement de 2,1 et de 30 ans. Compte tenu de la décroissance radioactive de ces deux radionucléides, il subsiste environ 95% du césium 137 et 52% du césium 134 initialement déposés pendant l'accident de Fukushima, tandis que les radionucléides de période plus courte ont fortement décru, voire totalement disparu comme l'iode 131. Le césium 137 représente aujourd'hui 64% de l'activité des dépôts radioactifs résiduels.

Ces dépôts radioactifs résiduels entraînent la persistance d'un débit de dose ambiant plus ou moins élevé, s'ajoutant à celui d'origine naturelle (tellurique et cosmique).

### 1.1 Cartographie des dépôts radioactifs et du débit de dose ambiant au Japon

De nombreuses campagnes de mesures ont été réalisées au Japon depuis fin mars 2011 pour cartographier les dépôts radioactifs consécutifs à l'accident de Fukushima, notamment en utilisant des techniques de mesure aéroportées. Coordonnées et organisées par le Ministère japonais de l'éducation, de la culture, des sports, de la science et de la technologie (MEXT<sup>4</sup>), ces campagnes de mesures aéroportées ont été menées par l'Agence japonaise de l'énergie atomique (JAEA<sup>5</sup>) et le Centre de technologie en sûreté nucléaire (NUSTEC<sup>6</sup>), avec l'assistance technique du Département américain de l'énergie (US-DOE/NNSA<sup>7</sup>). Quatre campagnes ont été réalisées en 2011, dont la première en avril, et deux en 2012, afin de cartographier spécifiquement les dépôts de césium 134 et 137 ainsi que le débit de dose ambiant qui en résulte, dans un rayon de 80 km autour de la centrale de Fukushima Dai-ichi où se concentrent les dépôts les plus importants. D'autres campagnes de même nature ont également été menées pour cartographier les dépôts à plus grande distance, dans les différentes préfectures impactées par les retombées radioactives.

Par ailleurs, en juin-juillet 2011, un consortium d'universités japonaises a entrepris, sous la coordination de JAEA, de caractériser la contamination de l'environnement dans un rayon de 80 km autour de la centrale accidentée de Fukushima Dai-ichi, avec le soutien du MEXT. Cette campagne de mesures à terre était constituée de prélèvements de sols analysés en laboratoire et de mesures du débit de dose ambiant en 2 200 points de l'environnement. Une deuxième campagne similaire a été effectuée du 13 décembre 2011 au 29 mai 2012 ; outre les protocoles techniques

---

<sup>3</sup> La période radioactive, propre à chaque radionucléide, désigne le temps au bout duquel la radioactivité de l'élément radioactif est réduite de moitié (phénomène de décroissance radioactive). Ainsi, plus la période radioactive est courte, plus le radionucléide considéré disparaît rapidement.

<sup>4</sup> Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

<sup>5</sup> Japan Atomic Energy Agency

<sup>6</sup> Nuclear Safety Technology Center

<sup>7</sup> US Department of Energy, National Nuclear Security Administration

employés lors de la première campagne, des mesures par spectrométrie gamma *in situ*<sup>8</sup> ont été réalisées sur un territoire d'environ 60 000 km<sup>2</sup> (1 000 points). Cette deuxième campagne s'est effectuée avec la participation de l'IRSN, qui a dépêché une équipe de sept personnes en décembre 2011 et une équipe de quatre personnes en avril 2012.

Les résultats de ces différentes campagnes permettent de suivre l'évolution des dépôts radioactifs depuis la survenue de l'accident.

## 1.2 Comparaison des cartes de dépôts entre 2011 et 2012

Les cartes des figures 1 et 2 montrent l'évolution des dépôts de césium 134 et de césium 137 dans un rayon de 80 km, publiées par le MEXT à l'issue de la 4<sup>ème</sup> campagne de mesures aéroportées (réalisées entre le 22 octobre et le 5 novembre 2011) et de la 6<sup>ème</sup> campagne de mesures aéroportées (réalisée entre 31 octobre et le 16 novembre 2012).

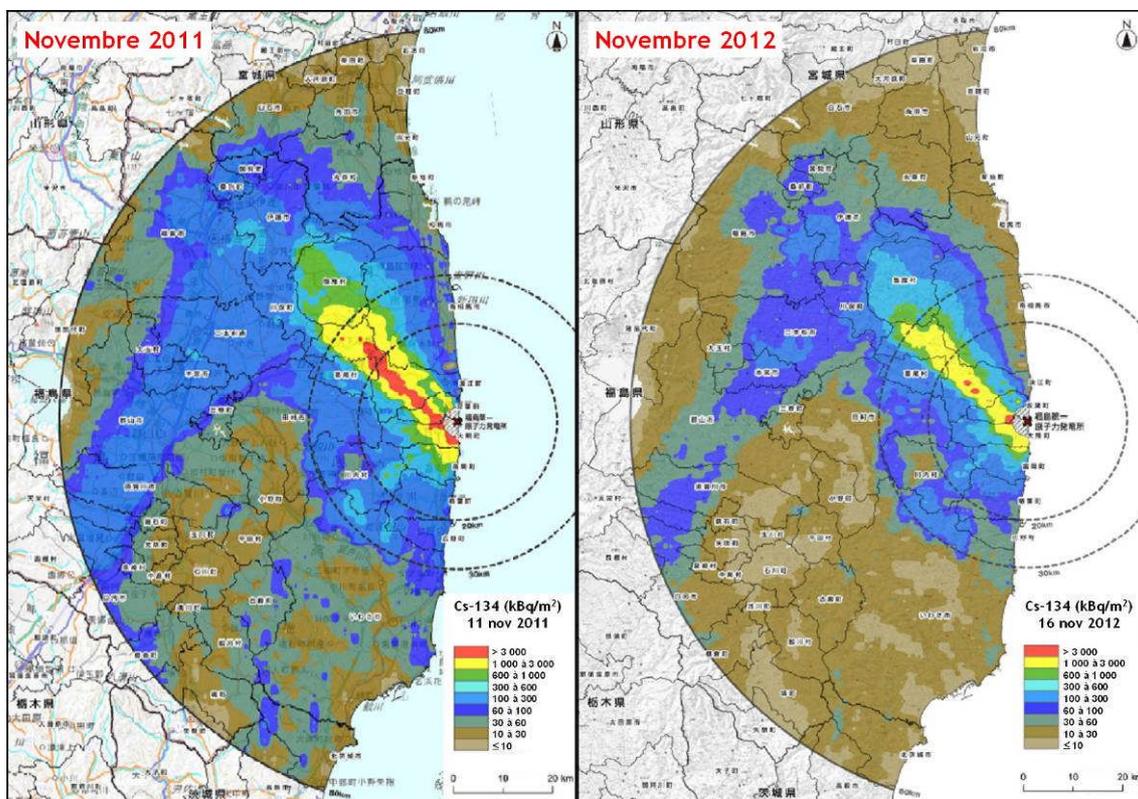


Figure 1 - Comparaison des cartographies des dépôts rémanents de césium 134 en novembre 2011 et en novembre 2012, obtenues respectivement à partir des 4<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> campagnes de mesures aéroportées réalisées sous l'égide du MEXT au Japon (d'après les rapports du MEXT du 16 décembre 2011 et du 1<sup>er</sup> mars 2013).

<sup>8</sup> La spectrométrie gamma *in situ* est une méthode rapide à mettre en œuvre puisqu'elle permet l'acquisition et le traitement des résultats directement sur la parcelle ; de plus, elle lisse les hétérogénéités locales du fait de l'intégration d'un signal sur une surface importante.

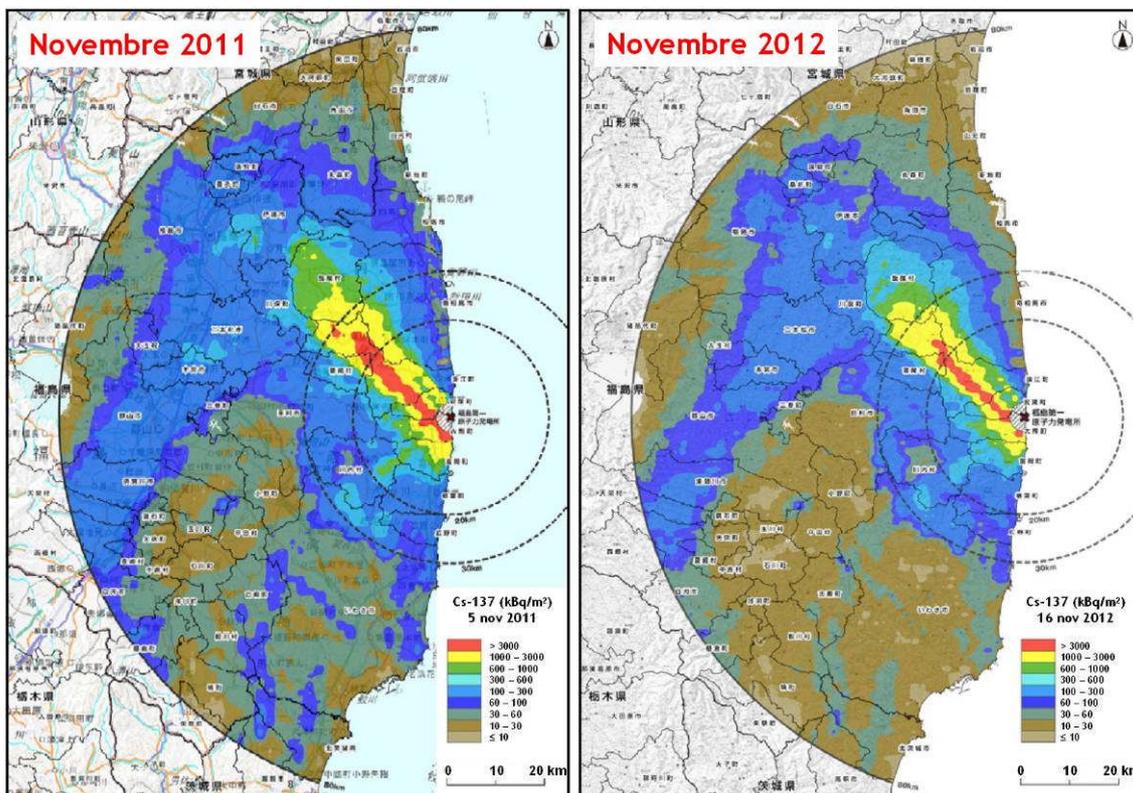


Figure 2 - Comparaison des cartographies des dépôts rémanents de césium 137 en novembre 2011 et en novembre 2012, obtenues respectivement à partir des 4<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> campagnes de mesures aéroportées réalisées sous l'égide du MEXT au Japon (d'après les rapports du MEXT du 16 décembre 2011 et du 1<sup>er</sup> mars 2013).

Comme attendu, une diminution significative de l'étendue des dépôts de césium 134 est observée, du fait de la décroissance radioactive de ce radionucléide (période de 2 ans environ) ; toutefois, une diminution sensible, bien que plus faible, est également observée pour les dépôts de césium 137, malgré sa décroissance radioactive insignifiante à cette échelle de temps (moins de 3% entre novembre 2011 et novembre 2012).

Bien entendu, **cette évolution à la baisse se retrouve également sur les cartes de débit de dose à 1 m au dessus du sol** (figure 3). D'après la note du MEXT publiée le 1<sup>er</sup> mars 2013, rendant compte de la 6<sup>ème</sup> campagne de mesures aéroportées, la diminution du débit de dose dû aux dépôts radioactifs entre novembre 2011 et novembre 2012 serait d'environ 40 %, dont seulement 21% explicable du fait de la décroissance radioactive des deux césiums. D'après le MEXT, le reste de la diminution pourrait s'expliquer par l'effet de ruissellement par les eaux météoriques ou d'autres facteurs environnementaux non précisés.

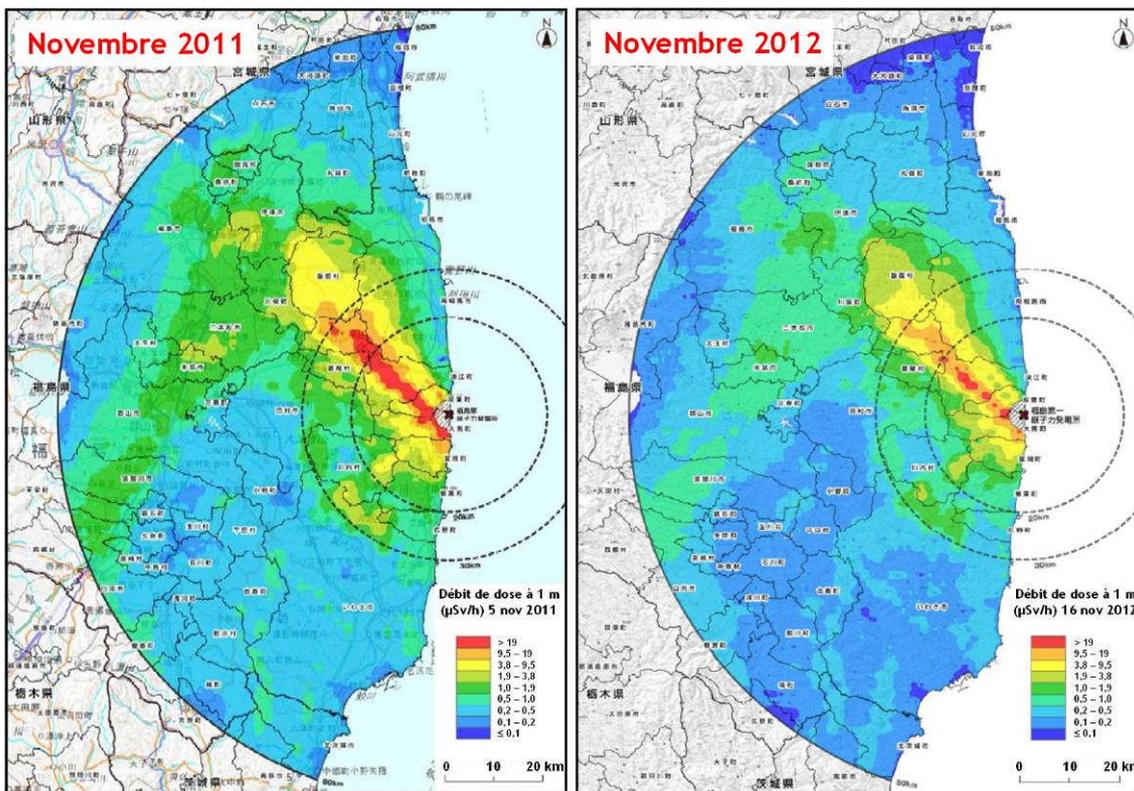


Figure 3 - Comparaison des cartographies du débit de dose à 1 m au-dessus du sol en novembre 2011 et en novembre 2012, obtenues respectivement à partir des 4<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> campagnes de mesures aéroportées réalisées sous l'égide du MEXT au Japon (d'après les rapports du MEXT du 16 décembre 2011 et du 1<sup>er</sup> mars 2013).

L'IRSN considère que de multiples mécanismes d'origine naturelle, et sans doute anthropique, peuvent expliquer cette diminution des niveaux de débit de dose ambiant, dont l'importance est variable selon le lieu. Outre la décroissance radioactive, les mécanismes suivants peuvent être impliqués : la migration verticale des radionucléides dans les sols, l'érosion des sols superficiels où se trouve majoritairement la contamination, les processus de recyclage par les plantes au sein des écosystèmes forestiers (dont l'impact en termes dosimétrique peut être significatif), le retrait des récoltes contaminées, et enfin, les actions de décontamination engagées au Japon, principalement dans les zones agricoles et habitées (labour, enfouissement, décapage des sols, nettoyage du bâti).

Compte tenu des conditions de réalisation de ces cartes de dépôt et de débit de dose ambiant, celles-ci ne donnent qu'une indication du niveau moyen des dépôts au sol à l'échelle du kilomètre, mais ne permettent pas une connaissance précise des variations locales des dépôts qui peuvent résulter notamment du ruissellement et de l'accumulation de l'eau de pluie contaminée au moment de la formation des dépôts ou de la fonte des neiges tombées à ce moment là. Seules des campagnes de mesures radiométriques réalisées sur le terrain permettent une telle caractérisation. A titre d'illustration, un « parcours radiométrique » dans la ville de Fukushima est présenté en [annexe 3](#) ; il a été réalisé lors d'une mission de l'IRSN dans cette ville.

## 2. Exposition des populations au rayonnement gamma ambiant émis par les dépôts radioactifs et évolution des zones évacuées

Les dépôts radioactifs superficiels émettent en permanence un rayonnement gamma (rayonnement comparable aux rayons X) à l'origine d'un débit de dose ambiant contribuant à l'exposition externe des personnes présentes sur les territoires contaminés. Dans les territoires où les dépôts sont les plus importants, les autorités japonaises ont mis en place des zones d'évacuation pour soustraire les populations à l'exposition au rayonnement ambiant. Compte tenu de l'amélioration de la cartographie des dépôts et de l'évolution de ces derniers, comme vu au paragraphe précédent, les autorités ont entrepris de faire évoluer ce zonage au cours de l'année écoulée.

### 2.1 Rappels sur les zones d'évacuation mises en place en 2011 par les autorités japonaises

La carte de la figure 4 montre les différentes zones évacuées mises en place par les autorités japonaises. La zone d'évacuation complémentaire, décidée le 22 avril 2011, concerne des territoires situés au-delà de la zone évacuée en urgence dans un rayon de 20 km, où les prévisions de doses dues à l'exposition externe aux dépôts radioactifs étaient susceptibles de dépasser 20 mSv au cours de l'année à venir, d'après les estimations des autorités japonaises.

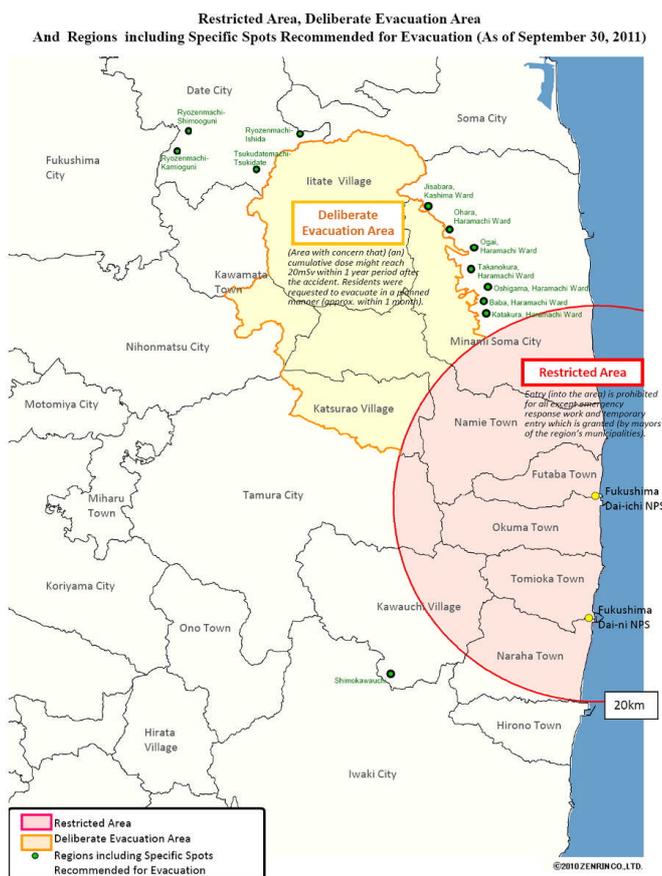


Figure 4 - Zones d'évacuation mises en place par les autorités japonaises en 2011 (source METI). La zone restreinte (« restricted area ») correspond à la zone d'évacuation d'urgence au moment de l'accident, décidée dès le 12 mars 2011. La zone d'évacuation complémentaire (« deliberate evacuation area »), décidée à partir du 22 avril 2011, concerne les territoires où une dose annuelle prévisionnelle due au rayonnement des dépôts radioactifs aurait pu dépasser 20 mSv.

A titre de comparaison, la carte de la figure 5 montre les doses potentiellement reçues par exposition externe due aux dépôts du 15 avril 2011 au 15 avril 2012, en considérant le cas d'une personne fictive résidant en permanence au même endroit au cours de la période considérée, en passant 8 heures par jour à l'extérieur. Cette carte a été réalisée par l'IRSN en utilisant les données de débit de dose mesuré lors de la 5<sup>ème</sup> campagne de mesure aéroportée (28 juin 2012) et en tenant compte de la décroissance radioactive du césium 137 et surtout du césium 134, Il s'agit d'une estimation théorique fondée sur des hypothèses prudentes, qui ne donnent aucune indication directe sur les doses réellement reçues par les personnes présentes dans ces territoires.

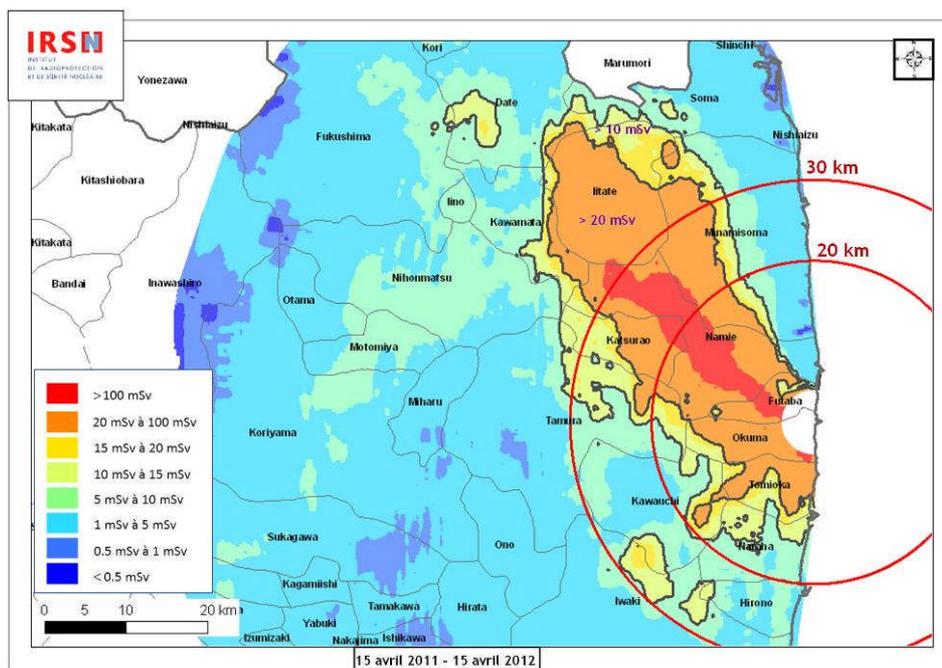


Figure 5 - Évaluation par l'IRSN de la dose potentiellement reçue par exposition externe au rayonnement ambiant entre le 15 avril 2011 et le 15 avril 2012 dans la préfecture de Fukushima.

## 2.2 Évolution du zonage au cours de l'année 2012

Grâce à une meilleure connaissance de la répartition des dépôts radioactifs et compte tenu de la diminution progressive des doses potentiellement reçues dans les territoires contaminés, les autorités japonaises ont engagé, à partir d'avril 2012, une démarche conduisant à une évolution progressive du statut des zones évacuées, dans la perspective du retour des populations dans les parties de ces territoires où les niveaux de radioactivité le permettent (figure 6). Ainsi, les zones d'accès restreint (dans un rayon de 20 km, entourée en rouge) et d'évacuation délibérée (en jaune, à l'extérieur du cercle de 20 km de rayon) ont été progressivement réduites au cours de l'année 2012. A la place, trois nouvelles catégories de zones, dont le statut dépend du niveau de radioactivité ambiante, ont été créées :

- Dans les zones de type 1 (en vert), l'interdiction de séjour de la population a été levée du fait de doses prévisibles inférieures à 20 mSv/an. Cela concerne certains secteurs des municipalités de Kawauchi, Tamura, Okuma, Nahara, Minamisoma et deux secteurs d'Iitate.
- Dans les zones de type 2 (en orange), le séjour des populations reste interdit à court-terme car les doses susceptibles d'être reçues en cas de séjour permanent pourraient dépasser 20 mSv/an. Seuls des retours ponctuels autorisés et encadrés par les pouvoirs publics japonais sont possibles à l'heure actuelle. Pour ces zones, les autorités japonaises visent un retour de la population dans quelques années.

- Dans les zones de type 3 (en rose), le séjour des populations à long terme est difficilement envisageable du fait de doses susceptibles de dépasser une valeur de 50 mSv/an. Seul un accès très ponctuel est possible, sous réserve d'une autorisation des pouvoirs publics japonais et du port d'équipements de protection. Cela concerne certains secteurs des municipalités de Minamisoma, Okuma, et d'Iitate.

Dans les zones de type 1, le retour des populations n'est pas encore effectif. Seuls des séjours courts sont autorisés pour la reprise de certaines activités professionnelles et la restauration des conditions de vie. Par ailleurs, des opérations de réduction de la contamination sont en cours dans les communes concernées.

Ce qu'il reste de la « zone d'évacuation délibérée » et de la zone d'accès restreint devrait être à l'avenir requalifié dans l'une ou l'autre des catégories ci-dessus.

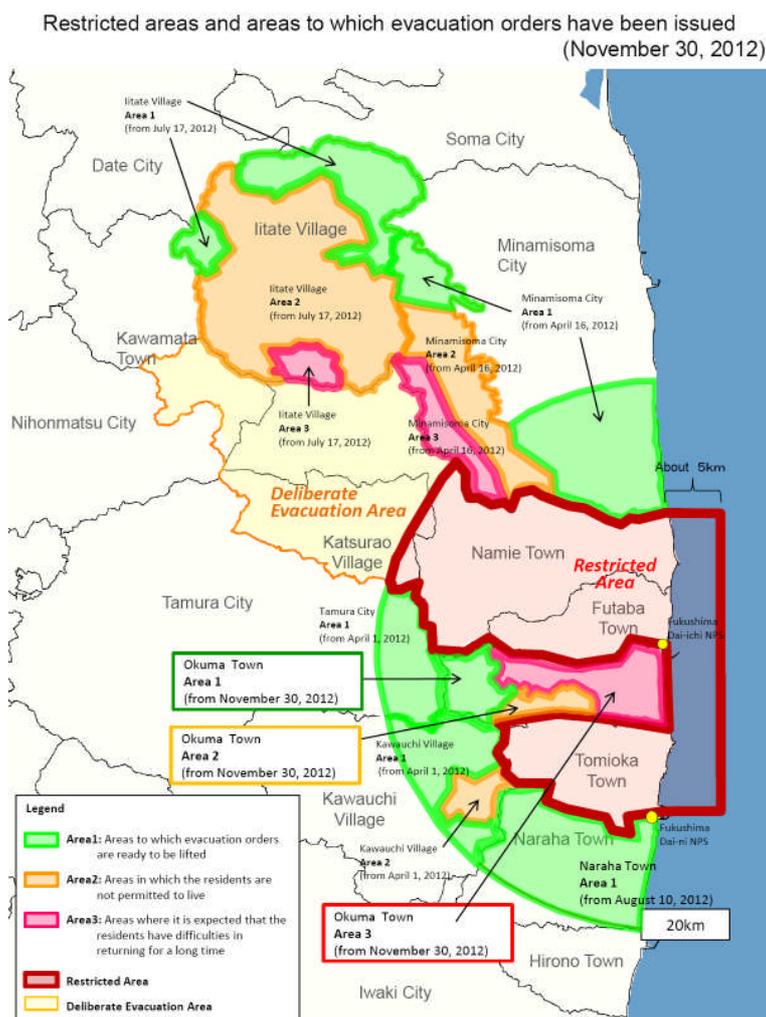


Figure 6 - Évolution du zonage post-accidentelle dans la préfecture de Fukushima (source METI).

A titre de comparaison, l'IRSN a estimé les doses prévisionnelles dues à l'exposition au rayonnement gamma émis par les dépôts radioactifs, pour la période du 15 avril 2012 au 15 avril 2013 (figure 7). Cette carte, élaborée avec les mêmes données et les mêmes hypothèses que celle de la figure 5, tient compte de la poursuite de la décroissance radioactive du césium au cours de cette période. Elle montre très logiquement la diminution de l'étendue des territoires où un même niveau de dose pourrait théoriquement être atteint.

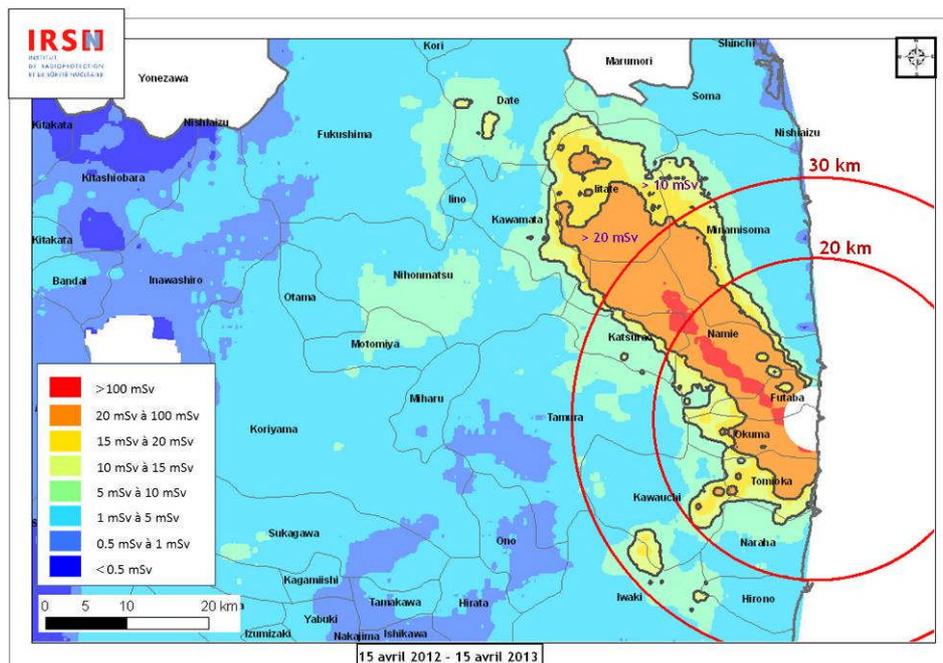


Figure 7 - Évaluation par l'IRSN de la dose potentiellement reçue par exposition externe au rayonnement ambiant entre le 15 avril 2012 et le 15 avril 2013 dans la préfecture de Fukushima.

### 3. Perspectives

Avec la disparition progressive du césium 134 (radioactivité réduite par 2 tous les 2,1 ans), le rayonnement gamma ambiant dans les territoires contaminés devrait continuer de diminuer au cours des années à venir. Cette diminution sera plus lente par la suite, à cause de la période radioactive plus longue du césium 137 (30 ans).

Les doses prévisionnelles estimées par l'IRSN et représentées sur cartes des figures 5 et 7 reposent sur des hypothèses prudentes concernant le temps passé à l'extérieur, supposé être de 8 h/j tous les jours, et l'effet protecteur des bâtiments, avec une valeur retenue relativement faible. Elles sont donc enveloppes des doses réellement reçues par les populations qui vivent dans ces territoires, comme semblent d'ailleurs le confirmer les résultats des campagnes de surveillance dosimétrique menées au Japon. Cette situation, *a priori* plus favorable que les prévisions, peut aussi être liée aux actions de décontamination des zones habitées entreprises par les autorités japonaises (nationales ou locales, selon les zones concernées), même si leur efficacité est toute relative.

La question du retour des populations dans une partie des zones évacuées ne se limite pas aux aspects de radioprotection. En effet, deux ans après l'accident, les conditions économiques, sociales voire culturelles d'un tel retour font débat au sein des populations concernées et les sondages d'opinion montrent qu'avec le temps, il existe une incertitude croissante quant à un éventuel retour, chez plus de 50% des personnes interrogées. Les points de vue semblent diverger en fonction des générations, les personnes les plus âgées, attachées à leurs terres et leurs traditions, étant plus favorables au retour. Malgré les actions de décontamination et les mesures de surveillance qui permettent d'assurer un niveau d'exposition faible à la radioactivité ambiante, des réticences et des hésitations se manifestent, en lien avec les risques éventuels pour la santé, notamment celles des enfants, les conditions de vie dans ces territoires et les perspectives à long terme dans un environnement qui restera forcément différent de celui qui existait avant l'accident.

## Annexe 2 - Évolution de la contamination des denrées produites au Japon et risques pour les consommateurs

Cette annexe présente une synthèse des informations recueillies et analysées par l'IRSN, concernant l'évolution de la contamination des denrées produites au Japon et du dispositif de contrôle et de restriction mis en place par les autorités japonaises pour s'assurer que les denrées mises sur le marché sont de qualité satisfaisante (conformité aux normes). A partir des résultats de mesure des différents types de denrées contrôlées, l'IRSN a réalisé des évaluations de doses pour deux scénarios pénalisants de consommation, afin de donner une indication du risque sanitaire auquel pourrait s'exposer un consommateur éventuel de denrées contaminées par du césium radioactif.

### 1. Contrôles des denrées et mesures de restriction au Japon

Après l'accident de Fukushima survenu en mars 2011, un dispositif de restrictions de mise sur le marché et de consommation des denrées produites au Japon a été mis en place, dès le 17 mars 2011, par le "Director-General of the Nuclear Emergency Response Headquarters" pour limiter le risque d'exposition de la population japonaise par ingestion de denrées contaminées. Ce dispositif s'appuie sur des contrôles de radioactivité des denrées produites dans les préfectures touchées par les retombées radioactives de l'accident et sur le respect de normes alimentaires (valeurs de concentration en radionucléides pour différentes catégories de denrées) définies relativement à un niveau de risque d'exposition acceptable pour la population locale, en termes de radioprotection.

Début 2012, en appliquant une démarche d'optimisation visant à réduire les niveaux d'exposition de la population à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, les autorités japonaises ont décidé d'appliquer des normes nettement plus basses que celles initialement fixées en mars 2011. En effet, la contamination de l'environnement dans les territoires affectés par l'accident de Fukushima a fortement décru ; la contamination en iode radioactif, très importante les premiers mois, a disparu du fait de la décroissance radioactive de son principal isotope, l'iode 131, dont la période est de 8 jours.

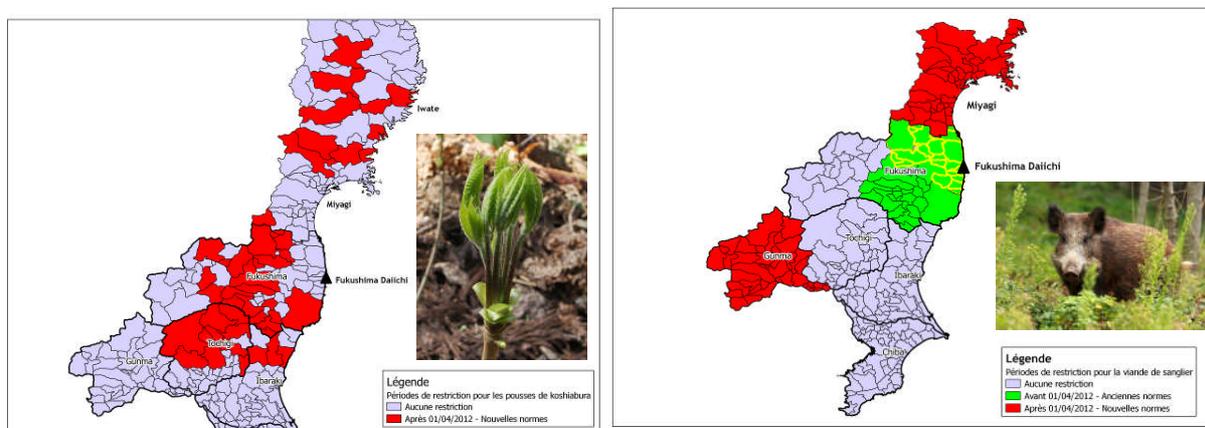
En cohérence avec la situation observée dans l'environnement, les nouvelles normes instaurées au 1<sup>er</sup> avril 2012 (cf. tableau 1) ne font référence qu'aux isotopes radioactifs du césium. Afin de mettre en place les phases de transition entre les deux systèmes de normes, l'entrée en vigueur de ces nouvelles normes a été échelonnée sur toute l'année 2012, selon les denrées alimentaires.

Tableau 1 - Normes alimentaires dans les denrées au Japon (pour ce qui concerne les césiums radioactifs), établies après l'accident de Fukushima et révisées le 1<sup>er</sup> avril 2012.

| Groupe alimentaire                             | Normes avant 01/04/2012 (Bq de Cs134+137 /kg) |   | Groupe alimentaire          | Normes après 01/04/2012 (Bq de Cs134+137 /kg) |
|--|---|---|-----------------------------|---|
| Eau potable                                    | 200   | ⇒ | Eau potable                 | 10  |
| Lait   | 200   |   | Lait                        | 50  |
| Légumes<br>Céréales<br>Viande, œuf,<br>poisson | 500   |   | Autres denrées<br>générales | 100   |
|  |   |   | Aliments pour<br>nourrisson | 50  |
|  |   |   |                             |   |

Par ailleurs, les autorités japonaises ont instauré des restrictions de commercialisation ou de consommation dans les territoires où des niveaux de contamination dépassant les normes ont été

constatés, ainsi que dans les zones de pêche (pour certaines espèces de poisson) sur les côtes des préfectures d'Ibaraki, de Fukushima et de Miyagi. Dans le détail, les zones de restriction varient selon la catégorie de produit et, bien entendu, ne concernent que des territoires où il existe effectivement une production du type de denrée considérée (ce qui explique la répartition souvent discontinue des territoires concernés par des restrictions ; cf. figure 8). Ces zones de restriction peuvent être étendues, pour les denrées particulièrement sensibles à la contamination par le césium (comme par exemple la viande de gibier, certaines plantes sauvages, les champignons). Avec l'abaissement des normes le 1<sup>er</sup> avril 2012, les territoires concernés par des restrictions de commercialisation ont eu tendance à s'étendre. Les communes ayant vu leurs restrictions levées sont assez peu nombreuses ; il s'agit essentiellement de communes faisant partie des préfectures de Chiba, Tochigi, Ibaraki, Kanagawa et Gunma, pour ce qui concerne les feuilles de thé, et de Miyagi, Fukushima, Ibaraki et Aomori pour diverses espèces de poissons. A titre d'illustration, les cartes de la figure 8 montrent les territoires concernés par des restrictions pour deux catégories de denrées particulièrement sensibles à la contamination (pousses de koshiabura et viande de sanglier).



**Figure 8 - Cartes des territoires où des restrictions de commercialisation ont été instaurées pour deux catégories de denrées : les pousses de koshiabura (à gauche) et la viande de sanglier (à droite). Les territoires nouvellement concernés après l'abaissement des normes le 1<sup>er</sup> avril 2012 sont en rouge. Ceux qui l'étaient déjà avant cette date sont en vert. Les municipalités où des restrictions de consommation locale sont prescrites sont entourées de jaune.**

## **2. Point sur la contamination des denrées japonaises et les dépassements des nouvelles normes du 1<sup>er</sup> avril 2012**

Depuis avril 2012 (date de changement des normes applicables aux denrées au Japon) et jusqu'à fin mars 2013, soit au cours de la 2<sup>ème</sup> année suivant l'accident, le ministère japonais de la santé (MHLW) a publié sur son site Internet les résultats de mesures de 280 000 échantillons de denrées provenant de toutes les préfectures du Japon. Il s'agit majoritairement, mais pas uniquement, de denrées issues de l'agriculture, notamment 32 000 échantillons de riz et 172 000 échantillons de viande de bœuf. Selon les informations disponibles, il semble que la surveillance exercée par les autorités japonaises ne repose pas sur un plan strictement défini concernant le type de denrées à contrôler ou encore sur les localisations à surveiller en priorité. Il est donc nécessaire de garder une certaine prudence sur la comparaison des différents résultats obtenus au cours du temps. En effet, les denrées mesurées ne sont pas toujours les mêmes d'un mois sur l'autre et les prélèvements ne sont pas toujours localisés aux mêmes endroits (le nombre de points de prélèvements dans les communes dépend du type de denrée et des résultats de mesure obtenus antérieurement).

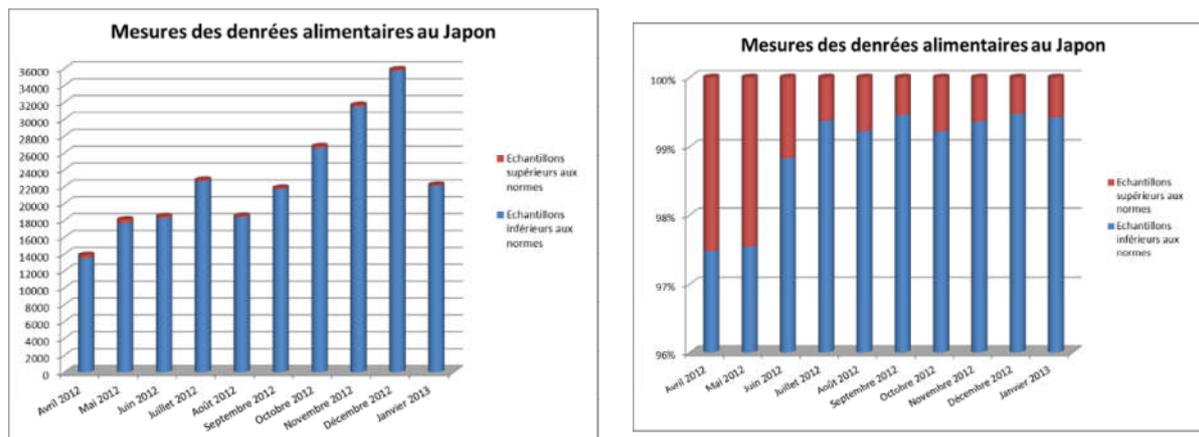


Figure 9 - Statistiques, d'avril 2012 à janvier 2013, des mesures de contamination, toutes denrées alimentaires confondues, au Japon, suite à l'accident de Fukushima du 11 mars 2011.

Seuls 23 000 des 280 000 échantillons contrôlés d'avril 2012 à fin mars 2013, soit moins de 10%, présentaient une contamination en césium 134 et 137 dépassant la limite de détection des moyens de mesure utilisés. Cela signifie que pour les autres échantillons, le césium radioactif était absent ou présent en quantité trop faible pour être quantifiable.

La norme de commercialisation de 100 Bq/kg frais de césium (134+137), en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> avril 2012 pour la majorité des aliments solides, n'a été dépassée que pour 2 300 échantillons, soit 0,8% des 280 000 échantillons analysés. Ce taux de dépassement a diminué au cours du temps : il était de 3% en avril 2012, après l'abaissement des normes, puis s'est stabilisé à 0,65% mensuellement à partir de la fin 2012. Ce pourcentage de dépassement varie bien sûr à l'échelle du pays. Il est nul dans la majorité des 47 préfectures du Japon tandis qu'il est de 4% pour la préfecture de Fukushima, dans laquelle se trouvent les zones les plus touchées par les dépôts radioactifs de mars 2011.

Enfin, 172 des 280 000 échantillons mesurés entre avril 2012 et mars 2013 présentaient une contamination en césium (134+137) supérieure à 1 000 Bq/kg frais (10 fois la norme), soit 0,06% des 280 000 analyses. Il s'agit très majoritairement de produits de la chasse, de la cueillette et de la pêche : 108 viandes de gibier sauvage (dont 106 de sanglier), 19 poissons, 16 champignons (majoritairement sauvages), 11 pousses de végétaux et végétaux majoritairement sauvages (aralia, bambou, koshiabura, fougères...).

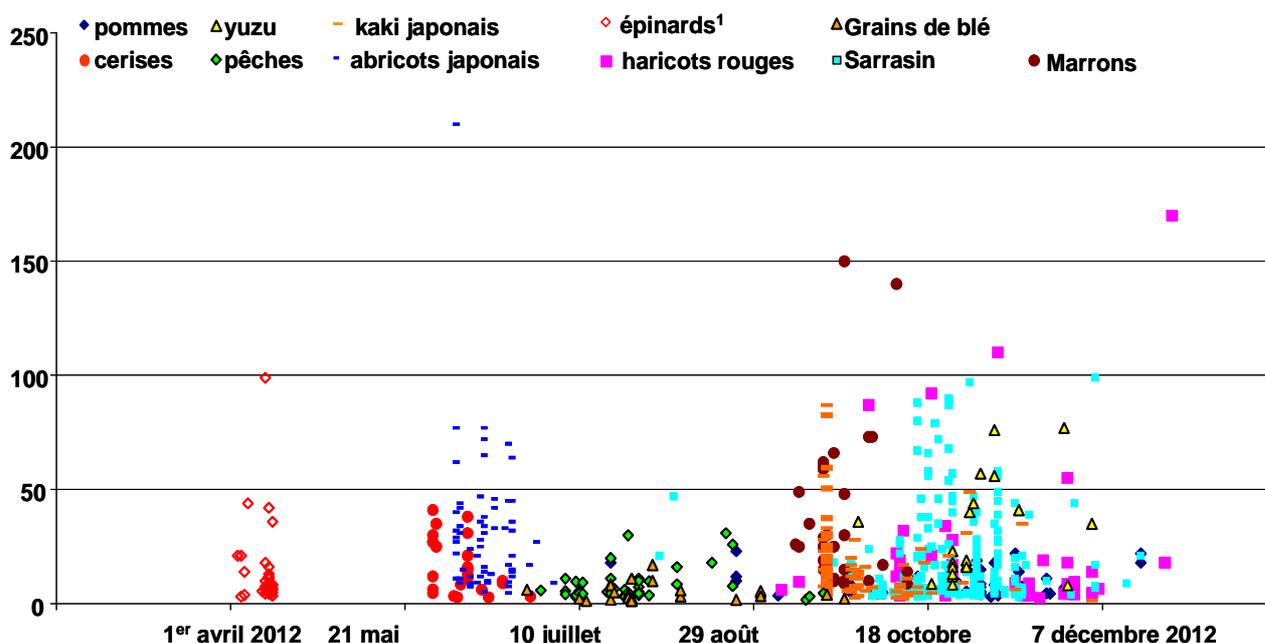
## 2.1 Situation des productions agricoles végétales

Pour les productions agricoles végétales, le nombre de prélèvements analysés a augmenté avec le temps, traduisant un renforcement progressif du dispositif de contrôle, compte tenu des résultats déjà obtenus et de l'abaissement des normes alimentaires. Il a atteint son maximum à l'automne 2012 et a nettement diminué entre novembre 2012 et janvier 2013, en raison peut-être de la saison (hiver).

De manière générale, le taux de dépassement mensuel des normes pour les denrées végétales a fortement diminué pour atteindre une valeur moyenne de 0,6% fin 2012.

A titre d'illustration, le graphique de la figure 10 montre les concentrations en césium radioactif mesurées en 2012 dans diverses denrées agricoles produites dans la préfecture de Fukushima. Les cas de dépassement de la norme de 100 Bq/kg sont peu fréquents et les valeurs atteintes dans ce cas restent modérées en comparaison de ce qui était observé en mars-avril 2011.

### Bq/kg frais de césiums (134+137)



(1) N'est pas représentée sur ce graphique une valeur singulière (520 Bq/kg) attribuée à un échantillon d'épinard, se démarquant fortement des autres valeurs mesurées dans ce type de denrée. Si ce résultat correspond bien à une réalité et ne résulte pas d'une erreur d'analyse ou de restitution, il est difficile à expliquer.

Figure 10 - Concentrations massiques en césium radioactif (Cs-134 et Cs-137) mesurées en 2012 dans diverses denrées agricoles produites dans la préfecture de Fukushima.

#### • Cas du riz et autres céréales

Sur 32 000 analyses d'échantillons de **riz**, 2 200 ont montré des valeurs de contamination supérieures aux limites de détection (7%) et 120 (0,4%) ont atteint ou dépassé 100 Bq/kg. Les niveaux de contamination en césium du riz sont plus élevés que ceux des autres céréales. Ceci vient du fait que la culture du riz nécessite l'inondation des parcelles. Ainsi, outre son absorption racinaire, le césium peut être transféré à la plante via l'eau d'irrigation, elle-même contaminée par les sols. Les **autres céréales** telles que le blé et l'orge présentent des teneurs en césium généralement inférieures à celles du riz, ne dépassant pas 10 Bq/kg frais.

Outre les céréales au sens strict, le cas des **graines de soja** mérite une attention particulière : sur 3 400 analyses, 1400 ont montré des teneurs en césium supérieures aux limites de détection, soit 40%, et 20 (0,5%) d'entre-elles ont dépassé la limite de commercialisation de 100 Bq/kg.

#### • Cas des pousses de bambou et autres pousses sauvages

Certains échantillons de pousses de bambou ont continué de présenter en 2012 des teneurs en césium supérieures à la norme de commercialisation (figure 11). Ainsi, 25% des 366 échantillons de pousses de bambou analysés entre avril et juin 2012, présentaient des teneurs en césiums dépassant les limites de détection et 7 d'entre eux (soit 1,9%) dépassaient la limite de commercialisation en atteignant 300 Bq/kg frais. La persistance d'une contamination significative dans ces denrées s'explique par la captation des retombées radioactives par les feuilles au moment de l'accident ; le césium ainsi intercepté est alors resté dans la plante et une partie a ensuite été transférée dans les nouvelles pousses en 2011 ainsi qu'en 2012. Le cas des pousses de bambou est à rapprocher de celui d'autres pousses de végétaux sauvages consommées dont le feuillage a également intercepté les dépôts radioactifs de mars 2011 : pousses d'Aralia, Koshiabura, crosses de fougère (jusqu'à 1 100 Bq/frais mesuré en 2012 dans une fougère).

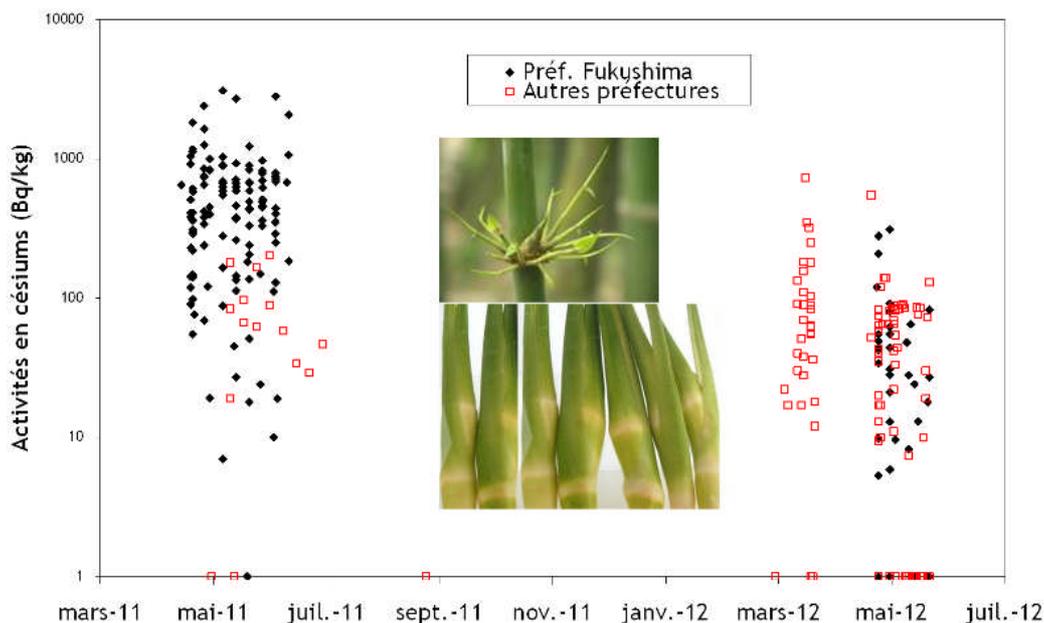


Figure 11 - Concentrations massiques en césium radioactif (Cs-134 et Cs-137) dans les pousses de bambou entre mars 2011 et mai 2012 (source : MHLW, 2013). Par convention, les valeurs sont exprimées sur la base du poids frais et les valeurs non détectables sont représentées à 1 Bq/kg frais.

- **Cas des champignons**

La contamination des champignons en césium radioactif est pratiquement identique à celle observée en 2011, pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers de Bq/kg (31 000 Bq/kg frais dans un champignon sauvage cueilli en août 2012 dans la préfecture de Tochigi). Par conséquent, les champignons constituent la catégorie de denrée dépassant le plus fréquemment la norme de 100 Bq/kg, entrée en vigueur au 1<sup>er</sup> avril 2012. La baisse de cette norme a également eu pour effet d'augmenter l'étendue des territoires concernés par des restrictions de commercialisation des champignons shiitake et des champignons sauvages, y compris dans des préfectures éloignées (Nagano, Saitama, Shizuoka,...).

- **Cas des fruits**

Les abricots japonais, les kakis et les yusus récoltés en 2012 dans la préfecture de Fukushima ont présenté des niveaux de contamination environ 10 fois plus faibles que ceux observés en 2011. D'une manière générale, les teneurs en césium radioactif des fruits provenant de cette préfecture n'ont pas dépassé 50 Bq/kg frais, à de rares exceptions près. Celles des fruits provenant d'autres préfectures n'ont dépassé qu'exceptionnellement les limites de détection des instruments de mesure. Ce faible niveau de contamination des fruits peut être expliqué par l'effet de la date de l'accident, en sortie d'hiver, alors que les feuilles des arbres n'étaient pas encore développées<sup>9</sup>. Ces circonstances ont permis de relativement épargner la première récolte des productions fruitières, en 2011, et, par une contamination modérée des arbres, d'épargner les récoltes suivantes.

<sup>9</sup> La présence de feuilles en abondance favorise la captation des retombées radioactives par les arbres. Les substances radioactives ainsi interceptées par les feuilles peuvent ensuite être transférées dans le reste de la plante, notamment dans des tissus de réserve, puis ultérieurement vers les fruits au moment de leur formation.

## 2.2 Situation des denrées d'origine animale

### • La viande de bétail et le lait

La pratique courante au Japon d'importer les fourrages, avec des filières d'approvisionnement bien établies, renforcée par la limite de contamination en césium fixée pour les fourrages, ont permis de maîtriser la contamination des denrées venant d'animaux d'élevage, comme le lait et la viande. Ainsi, sur les 132 600 analyses effectuées sur la viande de bœuf entre avril 2012 et fin janvier 2013, seules 600, soit 0,5%, présentaient des teneurs en césiums 134+137 supérieures aux limites de détection. La teneur en césium des autres viandes (porc, volaille, cheval...) n'excède que très rarement 10 Bq/kg frais (le 10<sup>ième</sup> de la norme). La contamination du lait est encore plus faible ; sur 3 410 analyses de lait de vache, seules 140 ont montré des teneurs en césiums 134+137 supérieures à 0,5 Bq/L (le 100<sup>ième</sup> de la norme fixée à 50 Bq/L pour le lait) et toutes ont été inférieures à 12 Bq/L.

### • La viande de gibier

Le ministère japonais de la santé (MHLW) a diffusé de nombreux résultats d'analyses dans la viande de gibier sauvage. La viande de sanglier en particulier atteint des niveaux très élevés de concentration en césium (figure 12 ; voir également la figure 8, concernant les zones de restriction).

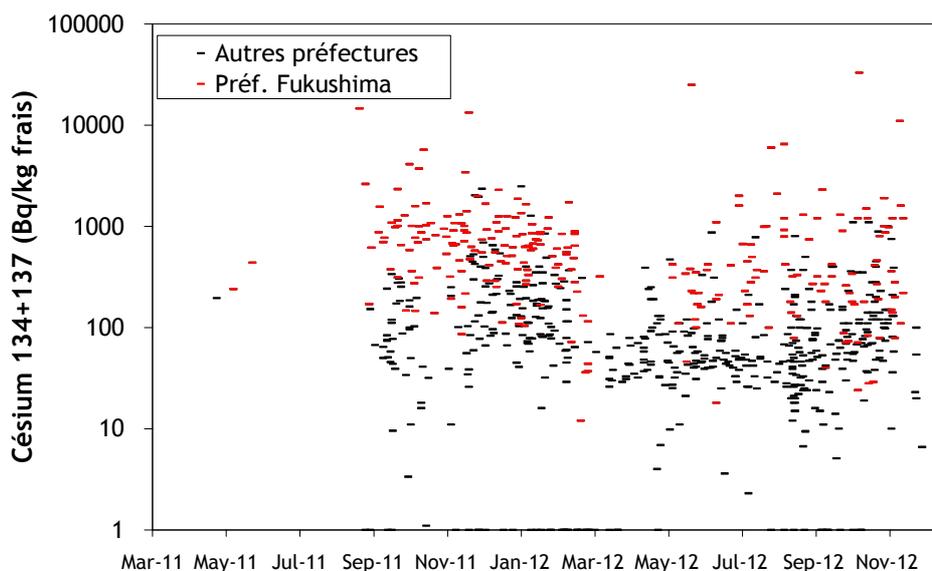


Figure 12 - Concentrations massiques en césium radioactif (Cs-134 et Cs-137) dans la viande de sangliers chassés dans différentes préfectures en 2011 et 2012 (source : MHLW, 2013). Par convention, les valeurs sont exprimées sur la base du poids frais et les valeurs non détectables sont représentées à 1 Bq/kg frais.

Sur l'ensemble des viandes analysées au 2<sup>ème</sup> semestre 2012, l'activité maximale en césium a été atteinte pour un sanglier chassé en octobre 2012 à Iwaki (préfecture de Fukushima) : 20 700 Bq/kg frais de césium 137, 12 300 Bq/kg frais de césium 134, soit un total de 33 000 Bq/kg. Au mois de mars 2013, il y a eu un effort d'échantillonnage particulier pour la viande de sanglier dans la préfecture de Fukushima, avec 95 prélèvements, parmi lesquels 2 seulement avaient des activités massiques en césium inférieures à 100 Bq/kg, tandis que 5, tous chassés à Minamisoma, dépassaient 20 000 Bq/kg de césiums, dont une valeur maximale à 61 000 Bq/kg.

Les viandes d'autres espèces animales sauvages atteignent des niveaux maximaux moins élevés mais restant très supérieurs à ceux de la plupart des autres types de denrées :

- canard à bec tacheté : activité maximale de 4 000 Bq/kg frais en  $^{134+137}\text{Cs}$  ;
- ours : activité maximale de 1 100 Bq/kg frais en  $^{134+137}\text{Cs}$  ;
- cerf : activité maximale de 800 Bq/kg frais en  $^{134+137}\text{Cs}$  ;
- faisan : activité maximale de 500 Bq/kg frais en  $^{134+137}\text{Cs}$ .

### • Les produits de la pêche

**En ce qui concerne les produits de la mer**, seules les espèces vivant à proximité des sédiments autour de la centrale de Fukushima dépassent encore très régulièrement la norme de commercialisation (figure 13). Il s'agit notamment des ainames, flétans, sébastes, grondins. Les poissons moins liés aux sédiments comme les maquereaux, les sardines, les chinchards, ainsi que les mollusques, présentent désormais des niveaux de contamination le plus souvent inférieurs à la norme.

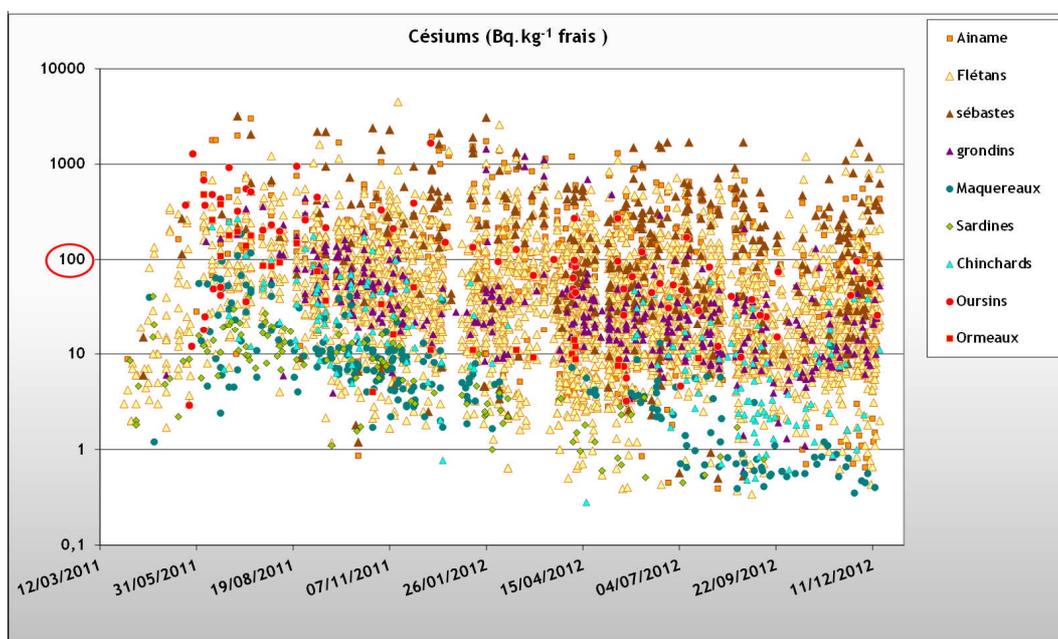


Figure 13 - Évolution temporelle des concentrations en césium radioactif ( $\text{Bq.kg}^{-1}$  frais de  $^{137}\text{Cs}+^{134}\text{Cs}$ ) dans quelques produits de la mer entre le 1<sup>er</sup> avril 2011 et le 20 décembre 2012.

**Remarque :** depuis le 28 mars 2012, TEPCO a mis en place une stratégie des prélèvements d'espèces marines dans l'environnement proche de la centrale de Fukushima. C'est ainsi qu'en octobre et en décembre 2012, des poissons ont été capturés dans le port de la centrale, autour d'un point dénommé « Shallow draft quay ». Les activités en césium ( $^{137}+^{134}$ ) y sont très élevées : de quelques dizaines à quelques centaines de milliers de Bq/kg frais avec une activité maximale observée dans une espèce de sébaste de  $254\,000\ \text{Bq.kg}^{-1}$  frais. Ces activités sont liées au niveau de contamination très élevé présent dans le port de la centrale de Fukushima et en particulier à celle des sédiments pour cette espèce benthique (qui évolue à proximité des sédiments).

**Concernant les espèces d'eau douce**, près de 4 000 prélèvements ont été réalisés entre mars 2011 et décembre 2012 et les résultats sont mis à disposition sur les sites officiels japonais. Parmi les différentes espèces prélevées en lac ou en rivière, 6 présentent des niveaux de contaminations plus élevés et font l'objet d'un suivi régulier (figure 14). Il s'agit des naseux (*Tribolodon hakonensis*), des ombles blancs tachetés (*Salvelinus leucomaenis*), des Ayu (*Plecoglossus altivelis*), des saumons masous (*Oncorhynchus masou*), des saumons rouges du Pacifique (*Oncorhynchus nerka*) et des éperlans japonais (*Hypomesus nipponensis*). Mis à part les naseux, toutes les autres espèces sont des

espèces caractérisées comme amphihalines (espèces qui effectuent des migrations entre les eaux douces et les eaux de mer). La variabilité des résultats est importante, en raison de la diversité des lieux de pêche. Les échantillons les plus contaminés ont tous été récoltés dans des rivières ou lacs de la préfecture de Fukushima, de Gunma et de Tochigi. La concentration en césium la plus élevée (18 700 Bq.kg<sup>-1</sup> frais) a été relevée près du village d'Iitate-Mura, dans la préfecture de Fukushima, le 18 mars 2012.

Plusieurs autres espèces d'eau douce ont fait l'objet d'un suivi plus ou moins régulier comme des espèces de crevettes, de carpes, de barbus de rivière ou de truites. Le plus souvent les césiums y sont détectés à des niveaux inférieurs à 200 Bq kg<sup>-1</sup> frais (<sup>137</sup>Cs+<sup>134</sup>Cs).

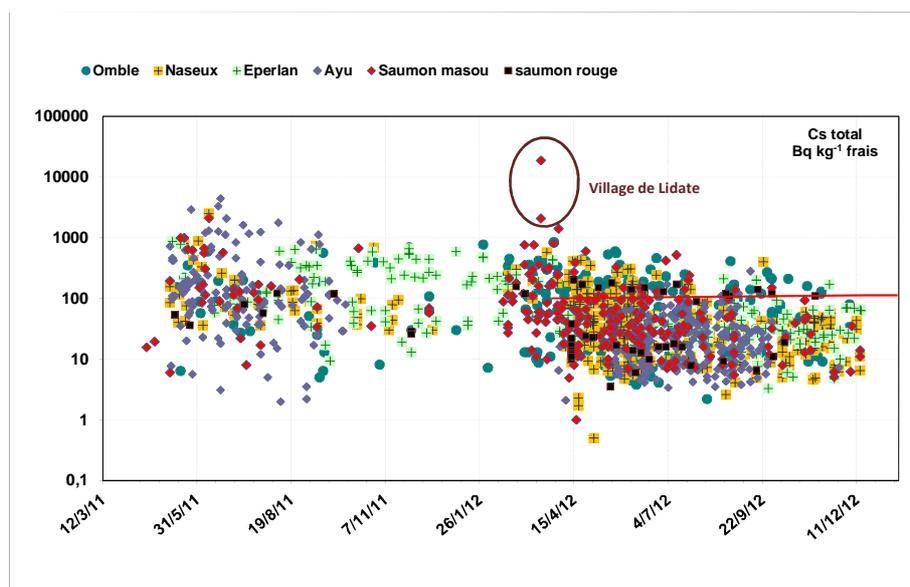


Figure 14 - Concentrations massiques en césium radioactif (Cs-134 et Cs-137) mesurées dans 6 espèces de poissons pêchés en rivières ou en lacs dans différentes préfectures. La ligne rouge indique la norme alimentaire (100 Bq.kg<sup>-1</sup> frais) en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> avril 2012.

### 3. Risque sanitaire vis-à-vis de la consommation de denrées produites au Japon

Pour estimer le risque pour la santé des consommateurs de denrées produites au Japon, l'IRSN a évalué les doses théoriques que pourrait recevoir une personne qui consommerait des denrées contaminées par du césium radioactif, en tenant compte des résultats de mesure publiés au cours de l'année écoulée et des restrictions mises en place au Japon. Pour cela, plusieurs scénarios majorants ont été considérés.

Le premier concerne le cas d'une personne qui consommerait en permanence des denrées dont la concentration en césium se situerait juste en dessous de la norme de 100 Bq/kg applicable au Japon. La dose annuelle reçue serait d'environ 1 mSv/an.

Compte tenu des résultats de mesure obtenus au Japon dans le cadre de la surveillance des denrées, dont une synthèse a été présentée au chapitre précédent, une telle dose, pourtant faible<sup>10</sup>, a peu de chance d'avoir été atteinte au cours de l'année écoulée. En effet, moins de 10% des denrées contrôlées en 2012 ont présenté des concentrations en césium radioactif dépassant les limites de détection des appareils de mesure utilisés, qui allaient de 1 à 50 Bq/kg. Dans ces conditions, la dose

<sup>10</sup> A titre de comparaison, en France, la limite réglementaire de dose annuelle pour le public susceptible d'être exposé aux rayonnements ionisants du fait des activités nucléaires autorisées, dans le cadre de leur fonctionnement normal, est fixée à 1 mSv/an. Cette limite ne s'applique pas aux doses reçues du fait de la radioactivité naturelle, qui sont en moyenne de 2,4 mSv/an et peuvent dépasser 5 mSv/an dans les régions en altitude ou dans des zones présentant de fortes teneurs en radon, ni aux doses reçues au cours de diagnostics médicaux utilisant des rayonnements ionisants, qui est en moyenne de 1,3 mSv/an.

maximale susceptible d'avoir été reçue par les consommateurs au Japon n'a probablement pas excédé 0,1 mSv/an.

Le second scénario concerne le cas d'une personne qui aurait consommé un kilogramme d'une denrée dont la concentration en césium correspondrait à la valeur la plus élevée mesurée en 2012 pour la catégorie de denrée considérée. On fait donc l'hypothèse que la denrée consommée a été malencontreusement mise sur le marché (par exemple du fait d'une insuffisance de contrôle) ou a été récoltée directement par son consommateur (cas des champignons ou du gibier, notamment). Le tableau 2 ci-après fournit une estimation des doses correspondantes pour les différentes catégories considérées.

*Tableau 2 - Estimation de la dose efficace pour un consommateur qui ingérerait de 1 kg des différentes denrées dont la concentration en césium serait égale à la valeur la plus élevée mesurée pour chacune d'elles entre avril 2012 et janvier 2013.*

| Denrée             | Bq/kg  | mSv/kg ingéré |
|--------------------|--------|---------------|
| Viande de bœuf     | 518    | 0,008         |
| Abricots japonais  | 210    | 0,003         |
| Riz                | 360    | 0,005         |
| Haricots rouges    | 170    | 0,003         |
| Pousses de bambou  | 550    | 0,008         |
| Marron             | 410    | 0,006         |
| Graines de soja    | 530    | 0,008         |
| Champignons        | 31 000 | 0,46          |
| Viande de sanglier | 33 000 | 0,49          |
| Poisson            | 1 800  | 0,026         |

Comme attendu, c'est la consommation de champignons ou de viande de sanglier qui entraînerait la dose la plus élevée, tout en restant faible dans l'absolu. Même en consommant 1 kg de toutes ces denrées, la dose reçue aurait été de l'ordre de 1 mSv.

Ces deux scénarios extrêmes permettent de conclure qu'en consommant régulièrement les denrées mises sur le marché au Japon, c'est-à-dire ayant des teneurs inférieures à la norme autorisée, les doses reçues seraient faibles. Il en serait de même en cas de consommation exceptionnelle de denrées contaminées au niveau le plus élevé susceptible d'être trouvées au Japon.

Ces évaluations sont cohérentes avec les conclusions d'une étude récente conduite par une équipe de l'université de Tokyo<sup>11</sup>, à partir de plus de 30 000 mesures anthroporadiométriques réalisées à l'hôpital central Hirata de Fukushima entre octobre 2011 et novembre 2012 sur des résidents de la ville de Fukushima. Ces mesures ont montré que les niveaux de contamination corporelle mesurés étaient plus faibles que ceux estimés de manière théorique à partir des cartes de dépôts, et ceci en particulier pour les enfants. Sur les 30 000 personnes contrôlées, seuls quelques résidents âgés ayant consommé régulièrement des produits locaux ont présenté une contamination plus élevée, pour laquelle une dose d'environ 1 mSv a été estimée.

Ainsi, compte tenu de l'évolution des niveaux de concentration en césium dans les denrées en 2012 et du dispositif de surveillance et de restrictions mis en place par les autorités au Japon, le risque sanitaire pour les consommateurs de denrées distribuées au Japon peut être considéré comme très faible.

<sup>11</sup> Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys. HAYANO et al. Proc. Jpn. Acad., Ser. B 89 (2013)

## 4. Perspectives

Compte tenu de la persistance du césium radioactif dans l'environnement (dans les sols et les sédiments), la poursuite d'une surveillance régulière des denrées produites au Japon et le maintien de restrictions de commercialisation ou de consommation dans les territoires les plus impactés s'imposent. Même si la contamination a fortement décru depuis 2011 pour la plupart des denrées, justifiant la réduction des normes depuis avril 2012, la présence de césium dans certaines catégories de denrées devrait continuer d'être observée dans les années à venir, avec une diminution lente des teneurs mesurées dans ces produits. Cela concerne particulièrement les produits d'origine sauvage, prélevés dans le milieu terrestre ou marin où se trouvent des dépôts ou des sédiments contaminés : champignons, gibiers, pousses de plante, certaines espèces de poissons.

En tout état de cause, si les mesures de restriction et le dispositif de contrôle mis en place au Japon sont maintenus, les risques pour la santé des consommateurs continueront d'être très faibles, même en cas de consommation occasionnelle de denrées dépassant les normes de consommation.

## **Annexe 3 – Parcours radiamétrique effectué par l'IRSN dans la ville de Fukushima**

Voici quelques observations faites par l'IRSN le 27 février 2013 lors d'un parcours à pied dans la ville de Fukushima, avec un radiamètre (FH-40 G-L). Ce parcours permet d'illustrer les variations de dépôts radioactifs à l'échelle locale, d'en expliquer les raisons et d'en mesurer l'impact en termes de débit de dose ambiant. L'instrument utilisé mesure le débit de dose dû au rayonnement gamma émis par les dépôts de césium radioactif (et la radioactivité d'origine naturelle, tellurique ou cosmique) ; le débit de dose est exprimé en nanosievert par heure (nSv/h) ou en microsievert par heure ( $\mu\text{Sv/h}$  ;  $1 \mu\text{Sv/h} = 1\,000 \text{ nSv/h}$ ). En un lieu donné, le débit de dose mesuré dépend de l'importance des dépôts radioactifs dans l'environnement proche et de la distance entre le détecteur et la source d'émission du rayonnement, ainsi que d'écrans éventuels entre la source et l'instrument (cas des matériaux de construction lorsqu'on est à l'intérieur d'un bâtiment).

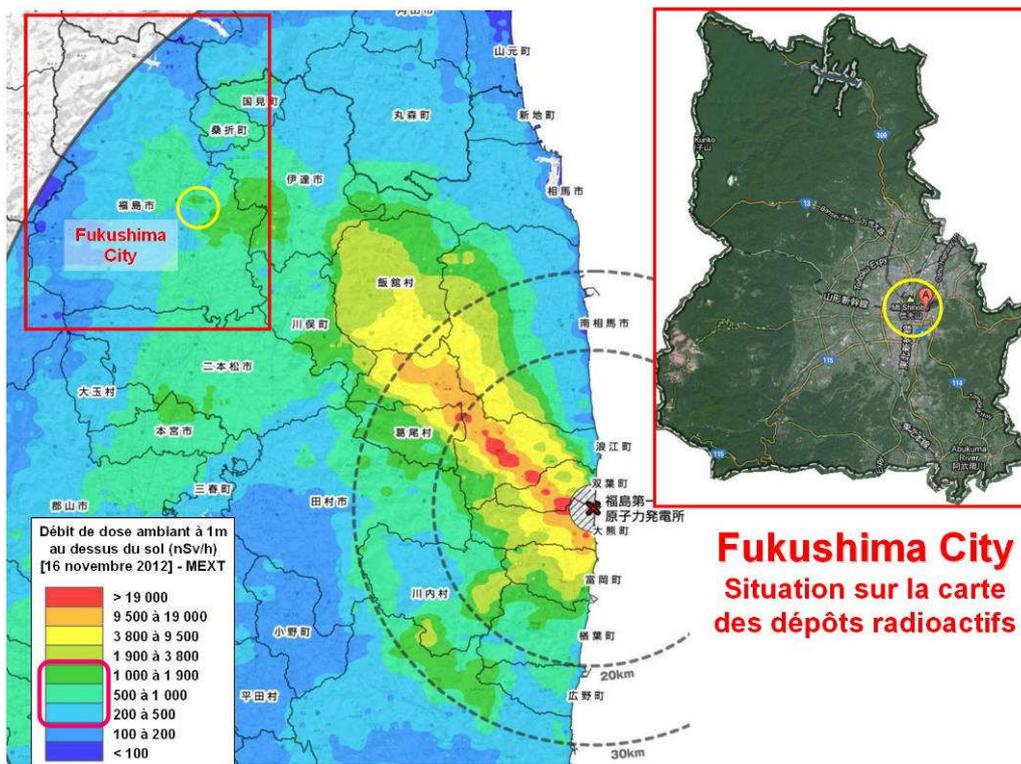
Lorsqu'on place l'instrument au contact du sol, la mesure obtenue permet de caractériser l'intensité de la source radioactive mais n'est pas représentative de l'exposition des personnes, sauf dans le cas particulier d'une personne assise ou couchée au contact de la surface mesurée. Ce type de mesure permet en particulier de rechercher d'éventuels « points chauds », là où le dépôt radioactif est plus concentré.

Lorsqu'on place l'instrument à 1 mètre au-dessus du sol, on mesure un débit de dose ambiant qui est représentatif de l'exposition moyenne d'une personne située au même endroit. Bien entendu, la dose reçue par cette personne dépend du temps d'exposition à ce débit de dose ambiant ; elle peut se mesurer à l'aide d'un dosimètre porté en permanence, si possible au niveau de la poitrine (par exemple dans une poche de veste), qui enregistre la dose accumulée pendant toute la période de port du dosimètre. A titre d'illustration, le graphique présenté à la fin de cette annexe montre l'évolution de la dose cumulée au cours d'une mission au Japon, enregistrée par un dosimètre actif initialisé en France, avant le départ au Japon, et analysé après le retour du Japon, en fin de mission.

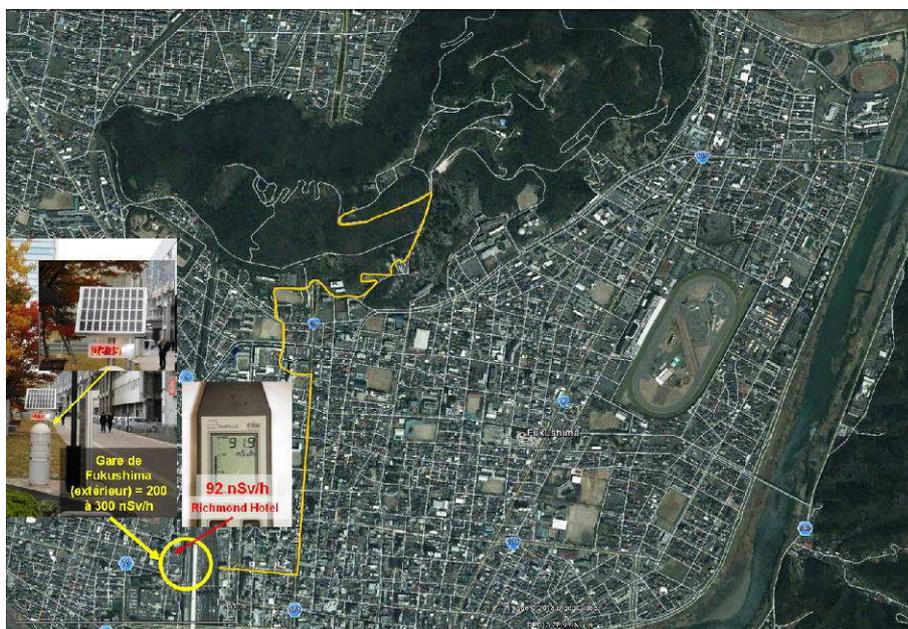
### ***1. Localisation générale sur la carte des dépôts radioactifs au Japon.***

La carte ci-dessous situe la ville de Fukushima (dans le cercle jaune) sur la carte du débit de dose à la date du 16 novembre 2012, publiée par le MEXT le 1<sup>er</sup> mars 2013. D'après cette carte, les valeurs de débit de dose dans ce secteur vont de 200 à 1 900 nSv/h, et les dépôts rémanents de césium 134 et 137 à l'origine de ce rayonnement sont compris entre 100 000 et 600 000 Bq/m<sup>2</sup>.

A titre de comparaison, le débit de dose ambiant au Japon dans des zones non touchées par les retombées de l'accident de Fukushima est d'environ 50 nSv/h. En France, le débit de dose moyen est d'environ 90 nSv/h ; il varie en fonction de la nature géologique des terrains sous-jacents (influence du rayonnement tellurique) et de l'altitude (influence du rayonnement cosmique) : de moins de 60 nSv/h dans les plaines de bassins sédimentaires à plus de 200 nSv/h dans les zones montagneuses ou sur des terrains granitiques (300 nSv/h au sommet du Pic du Midi, à 2 877 m d'altitude).



## 2. Vue d'ensemble du parcours et débit de dose au point de départ



Le parcours (ligne en jaune sur le plan ci-dessus) se trouve en partie en zone urbaine, puis sur une colline boisée dominant la ville. Le point de départ est la gare de Fukushima (cercle jaune). Près de la gare, une station fixe de mesure installée après l'accident indique une valeur comprise entre 200 et 300 nSv/h (fluctue d'un jour à l'autre).

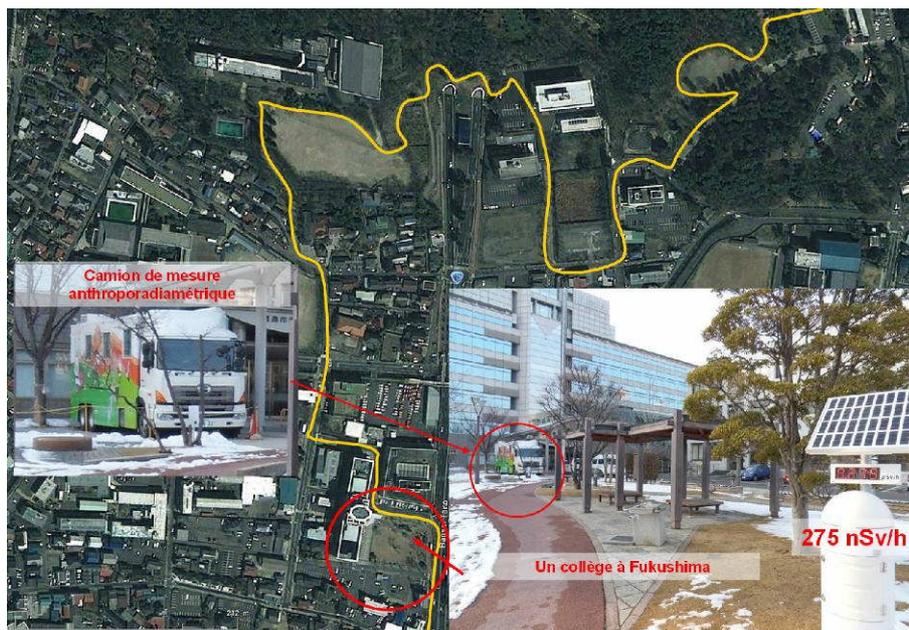
A l'intérieur d'un bâtiment proche de la gare, le débit de dose mesuré se situe autour de 90 nSv/h, c'est-à-dire 3 à 4 fois moins qu'à l'extérieur. On voit ici l'effet protecteur des murs du bâtiment, mais la valeur mesurée est indicative : on se situe au niveau de la borne inférieure de la gamme de mesure du radiamètre utilisé et le rayonnement mesuré dans le bâtiment vient à la fois du

rayonnement extérieur, atténué par les matériaux de construction de l'immeuble, et du rayonnement émis par ces derniers qui peuvent être naturellement radioactifs. En tout état de cause, le débit de dose mesuré à l'intérieur du bâtiment est du même ordre de grandeur que celui mesuré dans une habitation en Île-de-France.

### 3. Observations dans la partie urbanisée du parcours

La première partie du parcours se fait en milieu urbain, caractérisé par des surfaces en dur (murs des bâtiments, toitures, voiries bitumées), sur terrain plat.

❶ La première station observée se trouve à l'entrée d'un établissement scolaire (collège).



On y retrouve une station fixe de mesure qui indique un débit de dose (275 nSv/h) proche de celui mesuré près de la gare.

Devant le bâtiment est stationné un camion décoré. Il s'agit d'un laboratoire mobile de mesure anthroporadiométrique acquis par la municipalité de Fukushima et en service depuis novembre 2011 pour contrôler la charge corporelle en radionucléides émetteurs gamma (en pratique : césium 134 et 137) chez les enfants. La diapositive ci-dessous présentée par le Bureau de gestion des risques de la ville de Fukushima explique les caractéristiques et l'emploi de ce dispositif.

**Health Care for Children**  
Internal exposure examinations using whole body counters

Measurement priority given to children in areas with high radiation dose levels, as well as infants, and pregnant women.

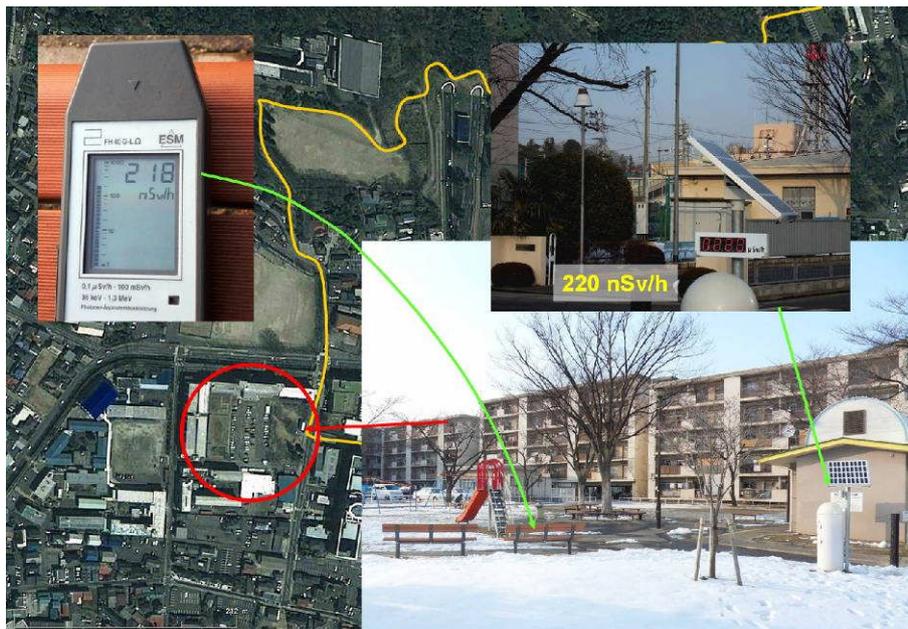
**In-Vehicle whole body counter introduced by Fukushima City Cost: 100 million yen (approx)**

**Whole Body Counter**

**Internal exposure examinations beginning from Nov 2011**

- Top Priority**
  - Pregnant Women
  - Guardians of 0-3 year old children
  - 4-6 year olds children
  - Elementary and junior high school students
- Second Priority**
  - High School Students
- Third Priority**
  - Ages 19-39
- After Completion of Third Priority**
  - Ages 40+

❷ A quelques centaines de mètres de là se trouve une place avec un square pour enfants, également équipée d'une station fixe de mesure du rayonnement gamma ambiant.



Le débit de dose  $y$  est légèrement plus faible, de 220 nSv/h (effet d'un nettoyage ? atténuation du rayonnement par la neige ?). Une mesure faite avec le radiamètre posé sur un banc à proximité de la balise donne une valeur très proche.

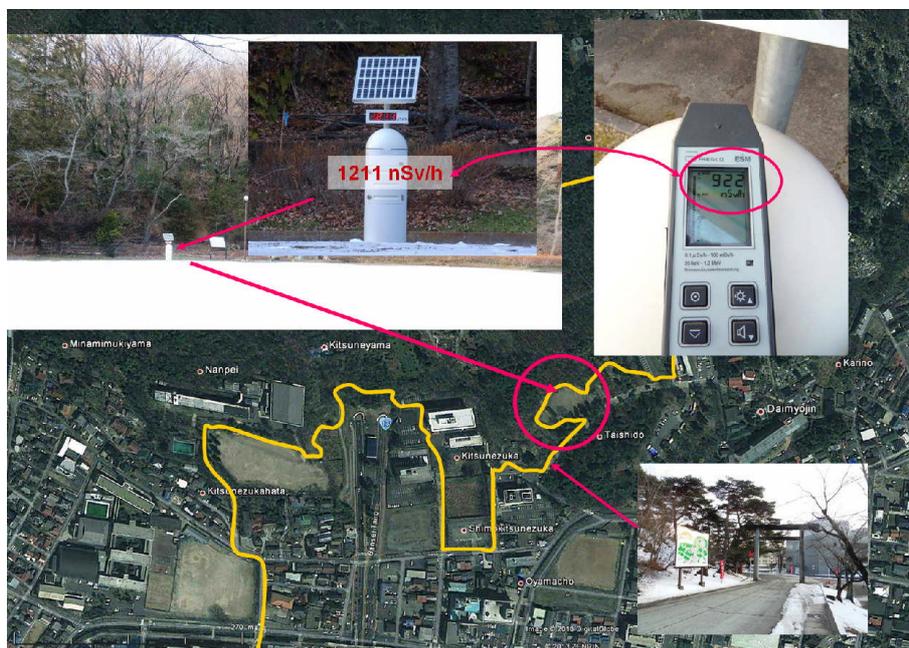
#### 4. Observations sur la colline boisée

③ La première observation dans la zone boisée se trouve au pied de la colline, à proximité d'un lycée (à gauche du cercle rouge sur le plan ci-dessous).



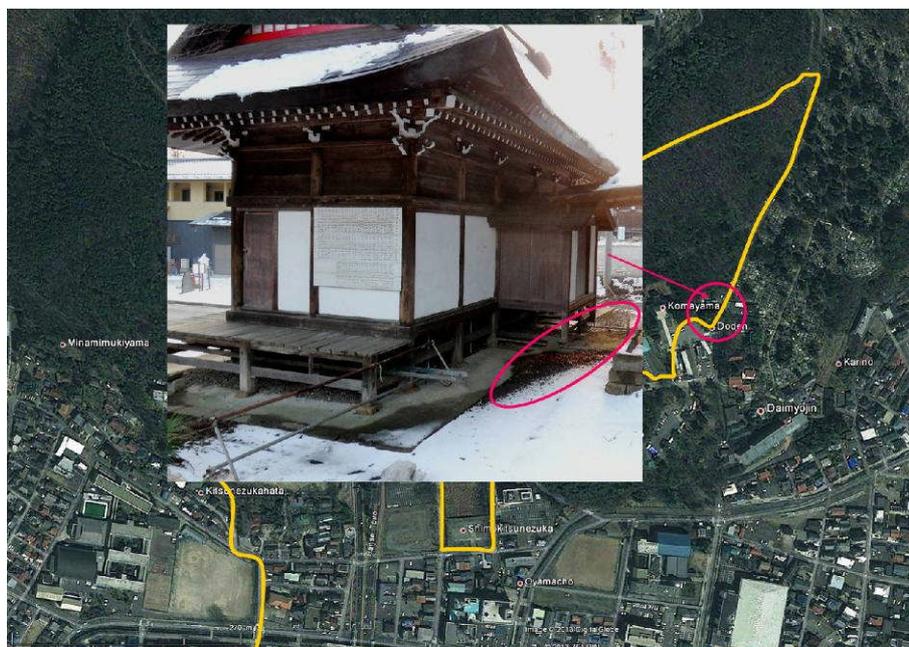
La mesure avec le radiamètre posé sur la litière donne une valeur dépassant 1 000 nSv/h. La mesure faite au même endroit à environ 1 m au-dessus du sol donne une valeur à peine plus faible de 800 nSv/h. Dans le cas présent, le débit de dose ambiant représentatif de l'exposition d'une personne (1 m de hauteur, soit environ le centre du corps humain) résulte d'une source étendue de contamination (sol, arbres, reliefs...) et le gradient d'exposition est faible lorsqu'on éloigne l'instrument de la surface du sol.

④ Plus loin se trouve l'entrée d'un parc forestier qui occupe la colline dominant la ville. Une esplanade dégagée en pied de pente boisée est équipée d'une balise fixe de mesure indiquant un débit de dose ambiant dépassant 1 200 nSv/h (le radiamètre indique une valeur plus faible, autour de 900 nSv/h).



Cette radioactivité ambiante plus élevée s'explique probablement par l'accumulation de césium au pied de la pente et sur l'esplanade, provoquée par l'écoulement de l'eau de pluie venant des terrains adjacents, au moment où le dépôt radioactif s'est formé, ou par la suite.

⑤ Le point d'observation suivant permet d'illustrer le phénomène de « point chaud ». L'image ci-après montre une zone d'égouttement de l'eau de la toiture d'un temple (partie entourée, au pied du bâtiment).



Lorsqu'on place le radiamètre au contact du sol à l'aplomb de cette zone d'égouttement, le débit de dose mesuré est nettement plus élevé que ce qui avait été relevé précédemment au contact de la litière dans la forêt. Dans le cas présent, la valeur relevée au contact du sol dépasse 6 500 nSv/h ; cela illustre bien l'effet de concentration du dépôt radioactif du fait de l'écoulement

de l'eau sur la toiture (ou de la fonte de la neige) au moment de la formation du dépôt sous forme humide. Il s'agit d'un phénomène très localisé. Ainsi, lorsqu'on place le radiamètre à 1 m au-dessus de ce point chaud, le débit de dose est environ 5 fois plus faible (1 330 nSv/h), témoignant d'un gradient d'exposition élevé, contrairement à ce qui avait été vu avant dans la forêt au point ⑤.



De tels points chauds sont probablement fréquents dans le secteur mais ils ont une faible influence sur l'ambiance radiologique générale et ne devraient pas contribuer significativement à l'impact dosimétrique des personnes fréquentant ces lieux. Dans l'exemple montré ici, il n'existe aucune indication de l'existence du point chaud, mais l'accès est entravé par des barrières métalliques, comme le montre l'image à la page précédente, ce qui limite la probabilité de passage fréquent et encore moins de séjour prolongé dans ce lieu.

⑥ Le dernier point d'observation mesuré se situe plus haut sur le flanc de la colline, au niveau d'un belvédère dominant la ville de Fukushima. Une pancarte signale un débit de dose ambiant de 720 nSv/h ; la mesure faite avec le radiamètre confirme cette valeur.



Cette valeur de débit de dose est tout à fait représentative de ce qui a été relevé le long du parcours dans la forêt, variant entre 500 et 800 nSv/h.

## **5. Les enseignements tirés de cette expérience**

Comme attendu, ce parcours d'environ 3 km a montré une situation radiologique contrastée.

Alors que les retombées radioactives initiales ont dû être semblables à cette échelle du territoire, on constate que la radioactivité ambiante est environ 2 à 3 fois plus élevée en forêt que dans les zones urbanisées proches.

Dans la ville de Fukushima, le débit de dose ambiant mesuré à l'extérieur se situe au niveau le plus élevé de la radioactivité naturelle existant en France (de l'ordre de 200 à 300 nSv/h). Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, le rayonnement ambiant est du même niveau que celui existant dans un immeuble d'Île-de-France (< 100 nSv/h).

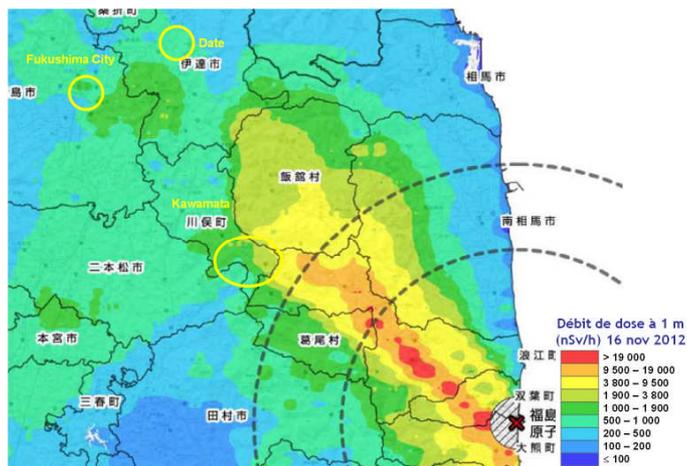
Dans la forêt, la radioactivité ambiante plus élevée s'explique à la fois par le dépôt rémanent dans le sol superficiel et par le dépôt persistant dans les arbres ; le débit de dose mesuré se situe généralement entre 500 et 1 000 nSv/h. Deux types de situations particulières, présentant un niveau de radioactivité plus élevé, ont été mis en évidence le long du parcours :

- des zones d'accumulation en pied de pente (impluvium), où le rayonnement ambiant dépasse 1 000 nSv/h ;
- des « points chauds » de faible étendue, avec un débit de dose au contact nettement plus élevés, mais avec une incidence relativement faible sur le débit de dose ambiant à 1 m au-dessus du sol (représentatif de l'exposition d'une personne).

## **6. Doses reçues par exposition externe lors d'une mission à Fukushima**

Lorsque les salariés de l'IRSN se rendent en mission dans les territoires contaminés de Fukushima, ils sont équipés d'un dosimètre électronique qui enregistre la dose efficace cumulée (exposition externe au rayonnement gamma) durant la mission. Le dosimètre est initialisé peu avant le départ en mission et exploité une fois qu'il est restitué à l'IRSN qui dispose d'un logiciel approprié pour recueillir et analyser les données enregistrées par le dosimètre. Cette exploitation permet notamment de visualiser graphiquement la dose accumulée au cours du temps et de comparer le résultat avec les situations rencontrées au cours de la mission.

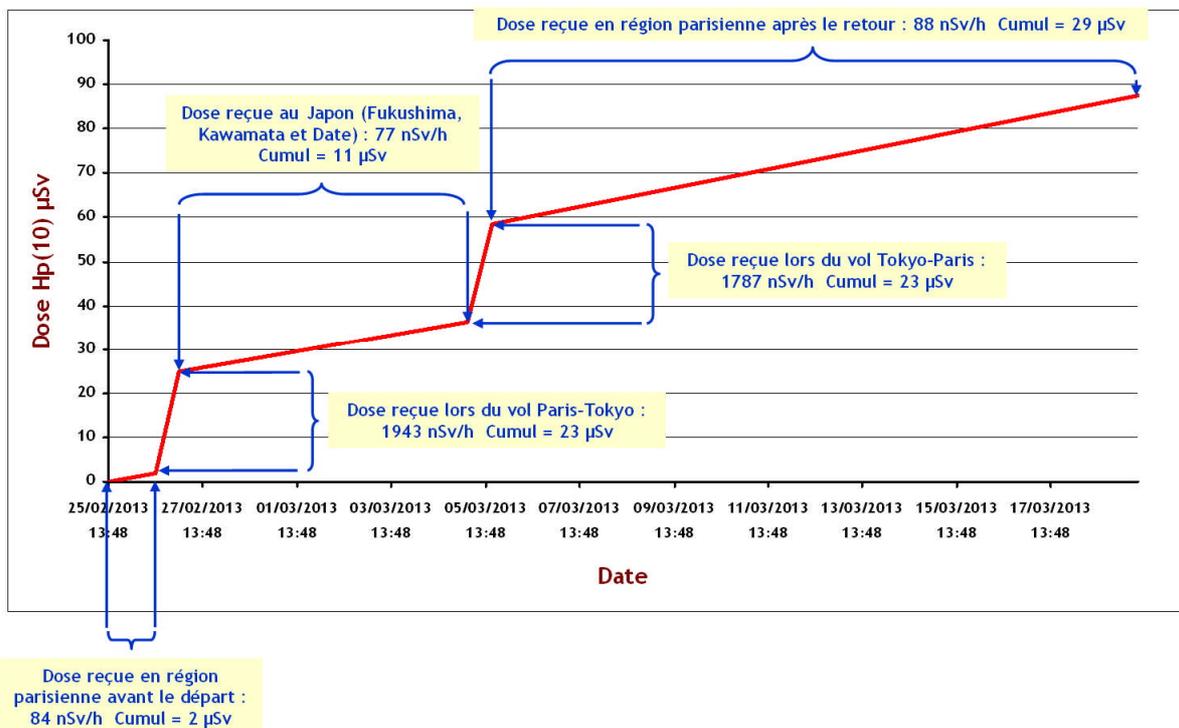
Le graphique page suivante illustre ce type d'enregistrement, pour un dosimètre porté lors d'une mission à Fukushima de fin février à début mars 2013. La mission proprement dite s'est déroulée du 26 février au 5 mars 2013 (trajet en avion inclus). Le dosimètre a été initialisé la veille du départ (25 février) et exploité lorsqu'il a été restitué (18 mars). Le séjour au Japon s'est déroulé ainsi (voir carte ci-après pour situer les principaux lieux fréquentés, entourés en jaune) :



- arrivée dans la ville de Fukushima le 27 février, après un transit à Tokyo ;
- séjour dans la ville de Fukushima (incluant le parcours radiologique présenté dans cette annexe) du 27 février au 3 mars ;
- déplacement dans la zone évacuée de la municipalité de Kawamata (1<sup>er</sup> mars après-midi) ;
- déplacement à Date (2 et 3 mars dans la journée) ;
- séjour à Tokyo (4 et 5 mars).

A priori, la période où le niveau d'exposition était le plus important correspond au séjour dans la partie évacuée de Kawamata, où le débit de dose allait de quelques centaines de nSv/h (zones dégagées) à 1 à 2  $\mu$ Sv/h (secteurs boisés), avec des « points chauds » dépassant 8  $\mu$ Sv/h au contact. Toutefois, la durée du séjour à l'extérieur dans cette zone est restée limitée (environ 2 à 3 heures).

### Dose cumulée due à l'exposition externe aux rayonnements gamma



L'enregistrement de la dose accumulée permet de distinguer plusieurs périodes d'exposition et de calculer le débit de dose moyen pour chaque période :

- la première période (25-26 février) représente l'exposition en région parisienne (essentiellement à l'intérieur de bâtiments), avec un débit de dose moyen compris entre 80 et 90 nSv/h ;
- la seconde période (26-27 février), avec une pente plus élevée, correspond au vol Paris-Tokyo ; le débit de dose apparent<sup>12</sup> calculé est proche de 2 000 nSv/h (2 µSv/h) ; il correspond à l'exposition au rayonnement cosmique, nettement plus important en altitude qu'au niveau du sol du fait de l'atténuation par l'atmosphère ;
- la troisième période (27 février - 5 mars) correspond au séjour au Japon. La courbe de cumul de la dose sur cette période est assez régulière et ne montrent pas de modulation significative, malgré la fréquentation de zones plus ou moins irradiantes. Ce constat tient au fait que les séjours à l'extérieur ont été globalement limités (moins de 2 à 3 heures par jour) et la majorité du temps a été passée à l'intérieur de bâtiments, où le débit de dose est du même ordre de grandeur que celui observé en France. C'est pourquoi la valeur moyenne calculée sur l'ensemble de cette période est proche de 80 nSv/h ;
- la quatrième période (5 mars) correspond au trajet de retour en France par avion. Le débit de dose moyen apparent est proche de celui constaté à l'aller, quoiqu'un peu plus faible (effet des trajectoires de vol et des variations du rayonnement cosmique) ;
- la dernière période (5 mars - 18 mars) correspond à la dose cumulée en Île-de-France, après le retour de mission et avant l'exploitation du dosimètre. Le débit de dose moyen calculé est proche de 90 nSv/h.

En conclusion, cet enregistrement montre que plus de 80% de la dose reçue lors de cette mission a été prise dans l'avion, lors du vol aller et retour Paris-Tokyo. Compte tenu du temps majoritairement passé à l'intérieur de bâtiments, et malgré la fréquentation occasionnelle de zones avec un débit de dose près de 10 fois plus élevé qu'en France, le niveau moyen d'exposition lors du séjour à Fukushima a été semblable à celui observé en France.

ooOoo

---

<sup>12</sup> Le dosimètre ne mesure que la composante « gamma » du rayonnement cosmique ; d'autres types de rayonnements ionisants (neutrons, ions lourds...) contribuent également significativement à la dose reçue en altitude (10 000 m au-dessus du niveau de la mer).