

Principaux évènements de contamination

La contamination de l'île d'Honshu

La contamination terrestre de la principale île du Japon, dans le cadre de l'accident nucléaire de Fukushima-Daiichi, est essentiellement due à quatre épisodes : celui du 12 mars, celui du 14-16 mars, celui du 18 mars et celui du 20-21 mars. Ces épisodes sont analysés ci-dessous à la lumière des différentes mesures environnementales, et notamment des mesures d'activité volumique de ^{137}Cs [Tsuruta et al. (2014)].

Evènements du 12 mars et du 18 mars (Figure 1 a et c)

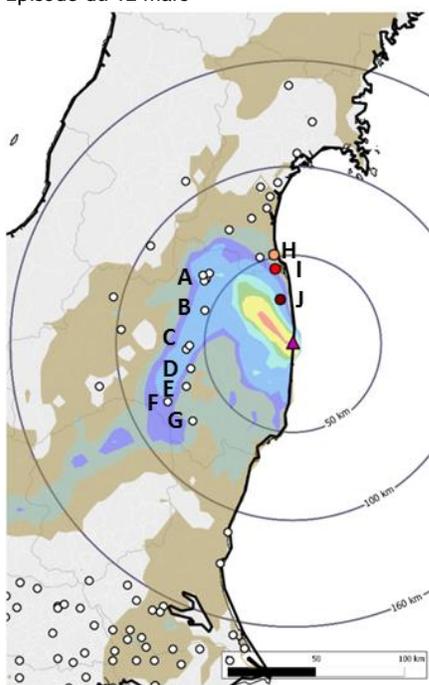
Le 12 mars, quelques heures après l'explosion du réacteur 1 (6h36 UTC¹), un panache radioactif est détecté et mesuré au cours de son parcours le long de la côte en direction du Nord d'Hamadori (points J, I, H). A 25 km de la centrale (point J), un maximum de 575 Bq/m³ de ^{137}Cs est mesuré entre 12 heures et 14 heures, en cohérence avec les augmentations de débit de dose observées. Au total, sur la durée de l'évènement, l'activité volumique intégrée au point J est de l'ordre de 2660 Bq/m³. Au cours de son parcours le long de la côte, le panache n'est pas lessivé, limitant ainsi la contamination du territoire. Au nord de la préfecture de Fukushima, le panache n'est plus mesuré. Il a pris une direction Nord - Nord-Est en s'éloignant de la côte conduisant à une détection de ^{137}Cs le 18 mars en Alaska [Thakur et al. (2013)].

L'évènement du 18 mars est comparable à celui du 12 mars en termes d'activité mesurée et de durée. Un maximum de 440 Bq/m³ est mesuré à la station J et des valeurs supérieures à 100 Bq/m³ y persistent pendant 7 heures. Le panache mesuré semble moins large que celui du 12 mars et ne touche pas la station H, mais les trajectoires paraissent similaires.

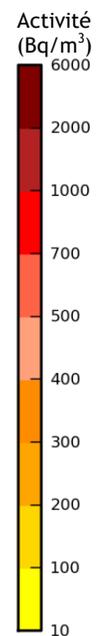
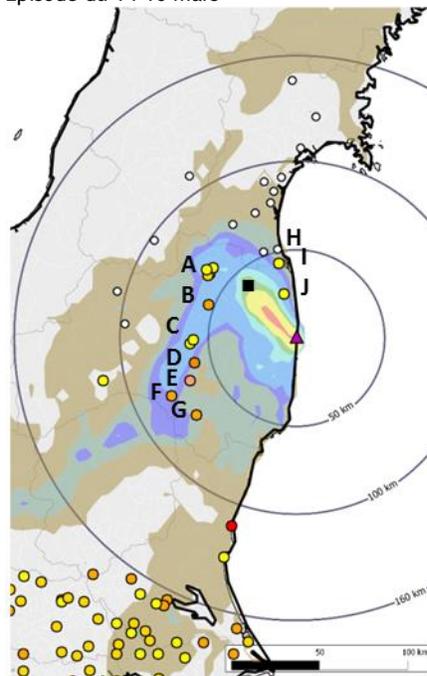
Ces deux évènements sont responsables du dépôt sec sur la pointe Est de la préfecture de Miyagi. Un dépôt de l'ordre de 15 kBq/m² de ^{137}Cs y est mesuré.

¹ Tous les horaires sont donnés en temps universel (il faut ajouter 9h pour l'heure locale japonaise).

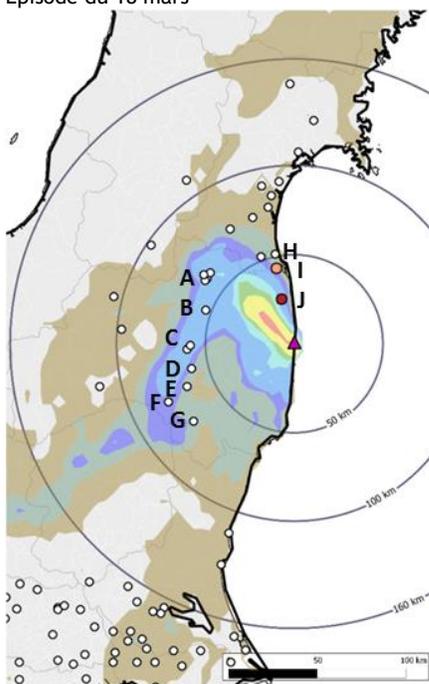
(a) Episode du 12 mars



(b) Episode du 14-16 mars



(c) Episode du 18 mars



(d) Episode du 20-21

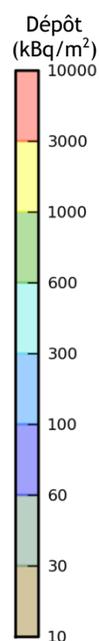
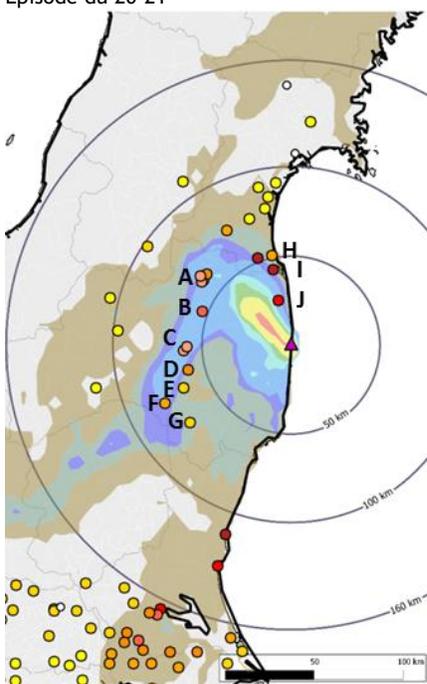


Figure 1 : Mesures d'activités volumique de ^{137}Cs intégrée sur les différentes séquences temporelles (ronds colorés) superposées aux dépôt totaux de ^{137}Cs mesurés. Episode du 12 mars à 19h (a) - Episode du 14-16 mars (b) - Episode du 18 mars (c) - Episode du 20 mars (d). Le carré noir sur la figure (b) indique la position d'Idate.

Evènement du 14-16 mars

Cet évènement est marqué par des vents tournants et par un épisode de pluie qui engendre une importante contamination du territoire japonais.

Au soir du 14 mars, un premier panache radioactif transporté par des vents en direction du Sud-Ouest longe d'abord la côte (366 Bq/m³ mesuré à Tokai) puis rentre dans les terres et atteint la région de Tokyo. A Tsukuba, 153 Bq/m³ sont mesurés entre 23 heures le 14 mars et 2 heures le 15 mars. Ce panache ne subit pas de lessivage par la pluie. Les observations montrent que le vent tourne ensuite progressivement vers l'Ouest puis le Nord-Ouest. Les panaches traversent probablement les reliefs situés à l'Ouest de la centrale (altitude de 900 m en moyenne, le mont Otakine culmine à 1193 m) pour être mesurés dans la vallée de Nakadori (stations A à G). L'augmentation des valeurs de débit de dose aux stations situées à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de la centrale, couplée à l'analyse des vents mesurés par les stations d'observation météorologique du réseau AMEDAS, valide cette hypothèse. Le Sud de la vallée est d'abord touché le 15 mars entre 2 et 3 heures (point E) et la valeur maximale de 330 Bq/m³ y est mesurée entre 3 et 4 heures. Des panaches sont détectés au Nord de la vallée à 6 heures (point B). Les activités volumiques sont plus importantes dans le Sud de la vallée que dans le Nord où elles culminent à 138 Bq/m³ à Nihonmatsu (station B). Les vents très faibles favorisent sans doute la stagnation des panaches qui y sont mesurés jusqu'à midi dans la partie Sud et jusqu'à 17 heures dans la partie Nord. Dans le bassin de Fukushima (point A), les activités mesurées sont nettement moins significatives que partout ailleurs dans la vallée. Elles culminent à 33 Bq/m³ à 13 heures.

Dans la vallée, des précipitations sont quant à elles observées à partir de 8 heures. Les données AMEDAS indiquent que de faibles précipitations ont localement débuté plus tôt, sans avoir pu être mesurées car elles étaient inférieures au seuil de détection des pluviomètres (0,5 mm/h). Les pluies ont vraisemblablement démarré à 6 heures à Idate (carré noir Figure 1b) et entre 4 et 5 heures à Koriyama. Elles progressent ensuite vers le Sud-Est en se généralisant et s'intensifiant. Les pluies engendrent des dépôts dans la vallée (de l'ordre de 100-300 kBq/m² de ¹³⁷Cs), en particulier sur une bande située au Nord-Ouest de la centrale, identifiée comme une des zones les plus contaminées du territoire japonais (de l'ordre de 850 kBq/m² de ¹³⁷Cs mesurés à Idate, située en bordure de la zone de dépôt maximal).

Vers 17 heures, le vent tourne à nouveau et pousse les panaches vers le Sud, le long de la côte où ils sont détectés jusqu'au 16 mars 15h00.

L'analyse croisée de l'ensemble des mesures disponibles pour cet évènement apporte un nouveau regard et permet de clarifier les évènements.

Le dépôt dans la vallée s'est produit le 15 mars : les panaches y ont été transportés avant ceux qui ont touché Fukushima et Idate. Le lessivage débute à 5h à Koriyama et Shirakawa (stations C et F). À Idate, le lessivage a lieu entre 6h et 9h ; à Fukushima (station A), il a lieu entre 7h et 10h.

Il est intéressant de noter, pour les stations où l'ensemble des observations étaient disponibles, que le dépôt s'est produit au commencement de l'épisode pluvieux alors que les précipitations étaient parfois trop faibles pour être mesurées. Ceci explique que cet évènement ait été longtemps mal compris.

Certaines équipes japonaises (JAEA, MRI...) ont émis l'hypothèse que le dépôt dans la vallée était dû au dépôt par le brouillard. Or, aussi bien au Nord de la vallée qu'au Sud, les observations AMEDAS indiquent qu'il n'y avait pas de brouillard. Au centre de la vallée, à Koriyama (point C), la question du brouillard n'est pas complètement résolue car les observations ne sont pas disponibles. Néanmoins, l'hypothèse d'un dépôt engendré par de fines précipitations est privilégiée.

L'hypothèse d'un dépôt par brouillard orographique demeure en revanche crédible pour expliquer la contamination sur le flanc des Monts Nikko et les montagnes de la préfecture de Gunma, comme le suggèrent Hososhima et Kaneyasu (2015), bien qu'il n'existe pas de mesures simultanées du brouillard et du panache dans cette zone.

Les ordres de grandeurs des activités volumiques mesurées près du sol comparées aux élévations du débit de dose et aux dépôts mesurés sur les stations de Fukushima (point A), Koriyama (point C) et les autres stations suggèrent que le dépôt est en grande partie dû au lessivage du panache dont une large part de l'activité serait située en altitude. Cette hypothèse ne peut pas être corroborée par des observations mais elle soulève la délicate question de la répartition verticale des panaches et de l'impact de l'orographie complexe du Japon sur leur évolution. Seuls les outils de modélisation peuvent aider à y répondre.

Evènements des 20-21 mars

Du 20 au 21 mars, plusieurs panaches radioactifs ont été détectés dans l'agglomération de Tokyo, au Nord - Nord-Ouest de la centrale et dans la vallée de Nakadori.

- **Contamination de l'agglomération de Tokyo**

Le 20 mars à 2 heures, un panache en provenance de l'océan Pacifique est d'abord mesuré sur Tokai (110 km au sud de l'installation) puis sur la totalité de l'agglomération de Tokyo, se propageant vers l'Ouest. Un maximum de 40 Bq/m³ est observé à l'extrémité Sud de la préfecture d'Ibaraki (Katori). Le panache très étalé est possiblement un panache émis plus tôt (la modélisation suggère que le panache aurait pu être émis le 19 mars) et transporté au-dessus de l'île d'Honshu après un passage par l'océan Pacifique. Il est continûment observé (quelques Bq/m³) sur une large étendue de la plaine de Kantô jusqu'à 19 heures, au moment où un autre panache plus concentré et beaucoup plus fin s'y propage. Ce deuxième panache a probablement frôlé la côte au sud de la centrale dès 16 heures. À 19 heures, une activité volumique de 420 Bq/m³ de ¹³⁷Cs est mesurée à Tokai. Plus au sud, les activités volumiques augmentent également. Des précipitations observées à partir de 21 heures lessivent le panache le long de la côte vers Tokai et plus au Sud-Ouest. Les mesures de débit de dose suggèrent que la plus grosse partie du panache se trouve au Sud de Tokai au moment où les premières pluies débutent. Les cartes des dépôts totaux mesurés correspondent parfaitement à la position du panache au moment de la pluie.

- **Contamination de la région au Nord-Nord-Ouest de la centrale et de la vallée de Nakadori**

Le long de la côte, en direction du Nord puis du Nord-Nord-Ouest, un panache est mesuré dès 1 heure le 20 mars, et ce jusqu'à 3 heures le lendemain. Un maximum de 360 Bq/m³ est mesuré à Soma (point I) le 20 mars à 11 heures. Le panache se dédouble probablement et suit deux directions différentes. Une partie semble être transportée en direction du Nord-Nord-Est où il sera lessivé entre le Nord de la préfecture de Miyagi et le Sud de la préfecture d'Iwate, conduisant à des dépôts de l'ordre de 10-30 kBq/m². La trajectoire de ce panache n'est pas confirmée par des mesures. L'autre partie du panache est transportée vers le bassin de Fukushima (point A) où 45 Bq/m³ de ¹³⁷Cs sont mesurés le 20 mars à 6 heures. Cette valeur représente près du double de la contamination maximale observée pendant l'épisode du 14-16 mars. Le panache se propage ensuite vers le Sud de la vallée où il est bloqué et y stagne. Il continue à y être mesuré jusqu'à 23 heures. Des pluies éparses ont pu être observées mais elles ne sont pas suivies d'une augmentation du débit de dose mesuré, laissant supposer que l'épisode de dépôt par la pluie a été négligeable en comparaison de celui des 14-16 mars.

Il est notable que la détection du panache ne s'accompagne pas d'une augmentation du débit de dose sur l'ensemble des stations qui avaient été impactées par du dépôt humide au cours de l'épisode du 14-16 mars. Les mesures par radioéléments effectuées à Chiba et Tokai indiquent que la proportion d'iodes, de tellures et de gaz rares est plus faible sur cet épisode que lors des événements précédents. Cela explique en partie le fait que les niveaux de débit de dose n'aient pas augmenté.

Enfin, sur l'ensemble du territoire, l'importance du dépôt par temps sec ne doit pas non plus être oubliée. Par exemple, au cours de l'évènement du 20-21 mars, les vents faibles sur l'île d'Honshu ont pu engendrer une stagnation des panaches responsable d'un dépôt sec non négligeable. L'ordre de grandeur estimé à partir des mesures d'activité volumique est de l'ordre de quelques kBq /m² de dépôt sec.

Hososhima, M., Kaneyasu, N., 2015. Altitude-dependent distribution of ambient gamma dose rates in a mountainous area of Japan caused by the Fukushima nuclear accident. *Environ. Sci. Technol.* 49, 3341-3348. doi:10.1021/es504838w

Thakur, P., Ballard, S. et Nelson, R. (2013). "An overview of Fukushima radionuclides measured in the northern hemisphere." *Science of The Total Environment* 458-460: 577-613

Tsuruta, H., Oura, Y., Ebihara, M., Ohara, T. et Nakajima, T. (2014). "First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations." *Sci. Rep.* 4.