

Étude des flux de césium dans les cours d'eau

La préfecture de Fukushima présente un réseau hydrographique très dense, avec de nombreux petits fleuves côtiers (Mano, Nitta, Ota, Odaka et Ukedo), qui se jettent dans l'océan Pacifique au nord de la centrale de Fukushima-Daiichi, et le fleuve de l'Abukuma qui traverse la ville de Fukushima et rejoint, un peu plus au nord encore, également le Pacifique. Le rapport « Impact environnemental de l'accident de Fukushima-Daiichi. Annexe 2 du dossier « Accident de Fukushima-Daiichi : état des lieux 2 ans après l'événement » (IRSN, 2013) exposait les informations disponibles en 2013 sur la contamination de ces milieux aquatiques sur la période juin 2011-mars 2012.

Dans la continuité de ce rapport de 2013, ce chapitre dresse un bref bilan des connaissances actuelles sur ce sujet et présente les recherches actuellement menées sur le terrain par l'IRSN en collaboration avec des organismes partenaires. En effet, dans le cadre d'un projet collaboratif plus large financé au titre du programme Investissements d'Avenir (AMORAD n° ANR-11-RSNR-0002), initié à l'automne 2013 pour une durée de 6 ans, l'IRSN et ses partenaires ont systématisé la collecte et le regroupement des données rendues publiques et ont commencé à acquérir leurs propres données lors de campagnes de prélèvements, dans l'objectif d'évaluer et modéliser le lessivage des dépôts radioactifs, c'est-à-dire les flux de radionucléides depuis les bassins versants vers l'océan.

Comme déjà évoqué dans le rapport de 2013, les activités en césium (134 et/ou 137) dans l'eau brute (dissous + particules en suspension) restent en dessous de 1 Bq/L depuis fin 2011 environ pour la quasi-totalité des cours d'eau figurant dans le plan de surveillance de l'environnement (NRA, MEXT, MOE). Le fleuve Ukedo, qui draine les bassins les plus contaminés par l'accident, connaît cependant des activités épisodiquement significatives même encore aujourd'hui, avec par exemple, des activités en césium 137 de 1,3 Bq/L (08/2012), 1,5 Bq/L (06/2013), 4,1 Bq/L (09/2013), et 2 Bq/L (08/2014) (source : MOE, 2011-2014). Il est difficile de connaître les niveaux d'activités réellement rencontrés aujourd'hui car les seuils de détection des mesures officielles, les plus abondantes, sont de 1 Bq/L. Avec des limites de détection plus basses, Kajimoto *et al.* (2012) ont mesuré en 2012, en conditions normales (c'est-à-dire hors typhons), des activités brutes en césium 137 entre 0.068 et 0.639 Bq/L dans la région de Minamisoma (fleuves côtiers Mano, Nitta, Ota et Odaka situés au nord de la centrale) qui illustrent la variabilité spatiale en liaison avec la contamination des bassins versants drainés (Tsuji *et al.*, 2014 ; Yoshimura *et al.*, 2015a). Par ailleurs, les activités varient dans le temps, et peuvent augmenter d'un facteur 10 en période de typhons par rapport aux conditions normales (Nagao *et al.*, 2013).

Hors mesures officielles, plusieurs études scientifiques permettent d'aller au-delà d'une mesure dans l'eau brute en analysant séparément l'eau filtrée, les matières en suspension (soit piégées dans des trappes à sédiments, soit récoltées par filtration, soit déposées hors du lit mineur lors des crues) et les sédiments de fonds. Le transport du césium dans les cours d'eau japonais semble être majoritairement particulaire (Sakaguchi *et al.*, 2015), alors qu'il était essentiellement sous forme soluble en Bélarus et en Ukraine après l'accident de Tchernobyl (Gorbachova, 2005). Pour le fleuve Abukuma par exemple, 84 à 92% de l'activité transportée était sous forme particulaire pendant la période d'août 2011 à mai 2012 (Yamashiki *et al.*, 2014). Mais le transport soluble n'est pas toujours négligeable et dépend en fait

des conditions de débit. Pour les fleuves côtiers Same et Natsui (au sud de la centrale), les fractions particulières en Césium 134 et 137 ont varié de 21 à 56% en conditions normales de débit de juillet à décembre 2011, mais approchaient 100% pendant le typhon Roke (21-22 septembre 2011) (Nagao et al., 2013). Le césium 137 présent dans les matières en suspension prélevées au Japon est plus concentré sur les particules les plus fines du fait de leur plus grande surface spécifique, comme cela a déjà été largement observé ailleurs avant 2011 (Tanaka et al., 2014 ; Tanaka et al., 2015).

Ces observations issues de la littérature scientifique sont confirmées par les premiers résultats des campagnes IRSN. Lors des automnes 2013 et 2014, des échantillons d'eau, de matières en suspension et de sédiments ont été collectés en zone libre d'accès en une trentaine de stations de prélèvements réparties sur les différents cours d'eau des cinq bassins versants situés au nord du site de la centrale de Fukushima-Daichi (du nord au sud : Mano, Nitta, Ota, Odaka et Ukedo).

La campagne IRSN de 2013 avait été postérieure aux typhons, et était caractérisée par des débits liquides relativement faibles (au maximum une quinzaine de m^3/s) et des eaux claires et limpides avec des charges en matières en suspension de quelques mg/L voire de quelques dixièmes de mg/L seulement. Les activités dissoutes en césium 137 mesurées dans l'eau filtrée étaient toutes inférieures à 1Bq/L (valeur maximale : 720 mBq/L à l'aval de l'Ota). Les activités en césium 137 dans les matières en suspension pouvaient dépasser 1000 kBq/kg sec (valeur maximale : 4400 kBq/kg en amont de l'Ota). A noter que les zones les plus contaminées, soumises à autorisation d'accès, n'ont pas été étudiées. Dans ces conditions hydrologiques, les flux instantanés calculés aux exutoires des différents bassins versants montrent par exemple que le flux de ^{137}Cs délivré au milieu marin par l'Ukedo, bassin le plus proche de la centrale, est environ trois fois plus élevé que celui transféré par la Mano, bassin le plus au nord, malgré un débit liquide environ 2 fois plus faible.

Les résultats acquis montrent également qu'en dehors des périodes de typhons les flux dissous délivrés par ces petits fleuves côtiers au milieu marin ne sont pas négligeables et qu'ils peuvent même, dans le cas de l'Ota, être jusqu'à 10 fois plus importants que les flux particuliers. En terme de bilan, c'est à dire en considérant l'ensemble des 5 bassins versants étudiés, il apparaît qu'environ $54 \pm 13 \%$ du flux de ^{137}Cs exporté vers le pacifique est sous forme dissoute, pour ces conditions de débits et de charges, c'est-à-dire représentatives des conditions hydrologiques siégeant l'essentiel du temps. Les stocks de ^{137}Cs dans les bassins versants à l'amont de chaque point de prélèvement ont été estimés. Les résultats acquis ont permis de vérifier de bonnes corrélations entre les activités mesurées dans les matières en suspension ou les sédiments de fond et les activités surfaciques moyennes estimées dans les sols des bassins versants en amont des points de prélèvement, validant ainsi à la fois les mesures de terrain et les estimations des dépôts atmosphériques (Figure 1).

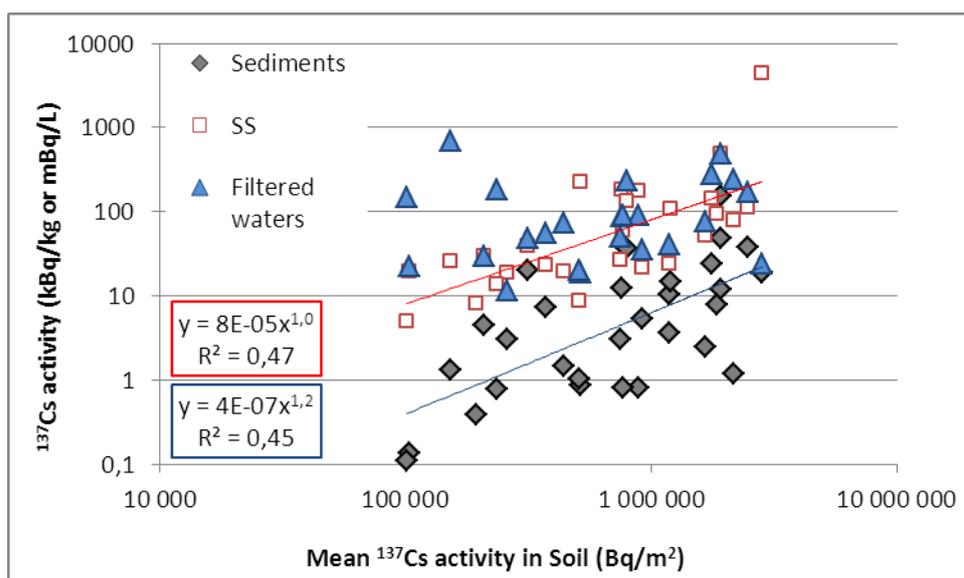


Figure 1 : Relations entre les activités en césium 137 mesurées dans les sédiments, les matières en suspension (SS) et les eaux filtrées des petits fleuves côtiers (Mano, Nitta, Ota, Odaka et Ukedo) et les activités surfaciques moyennes dans les sols des sous bassins versants en amont des points de prélèvements

La campagne IRSN de 2014 a été marquée par le passage de deux typhons qui ont permis d'avoir des conditions de débits et de charges nettement différenciées de celles de la campagne de 2013. En particulier, l'échantillonnage des exutoires des cinq versants a été doublé suite au passage du typhon Vanphon. Les résultats de mesure sont en cours d'acquisition et permettront de mieux caractériser les flux pour des modes de transferts événementiels produits par le passage des typhons.

En résumé, le césium (134 et/ou 137) reste présent en quantité relativement modérée dans les cours d'eau de la préfecture de Fukushima. Les niveaux enregistrés à l'automne 2013 sont toutefois jusqu'à 1 000 fois supérieurs à ceux enregistrés dans les eaux filtrées du Rhône aval (fleuve le plus nucléarisé de France). Quant aux matières en suspension, elles présentent des activités jusqu'à 100 000 fois plus élevées que celles des particules en transit dans le Rhône aval. Les flux apportés à l'océan constituent ainsi un terme source terrigène conséquent qui sera discuté dans la note sur le milieu marin.