

► Fukushima situés à Kawamata. « Grâce à la collaboration avec nos collègues Yuichi Onda et Hiroaki Kato, de l'université de Tsukuba, nous avons bénéficié de sites instrumentés dès juillet 2011. Deux parcelles de forêts de conifères : des cèdres japonais (*Cryptomeria japonica*). Et une forêt de chênes (*Quercus serrata*) qui jouxte l'école élémentaire du village Yamakiya », précise Pierre Hurtevent. Sur ces parcelles, on évalue les retombées à partir des mesures aéroportées de 2011 entre 420 et 450 kBq/m².

ÉCHANTILLONNAGE DE TOUS LES COMPARTIMENTS

Les chercheurs de l'IRSN complètent alors l'échantillonnage des composantes clés de la forêt pour être en mesure de décrire très finement tout le cycle biogéochimique du césium. Aux mesures permettant de caractériser les transferts du césium-137 de l'arbre vers le sol, en raison du lessivage des feuilles et des troncs par les pluies et de la chute de feuilles et de branches, déjà réalisées par leurs collègues japonais entre 2011 et 2013, ils ajoutent un examen minutieux de chaque compartiment.

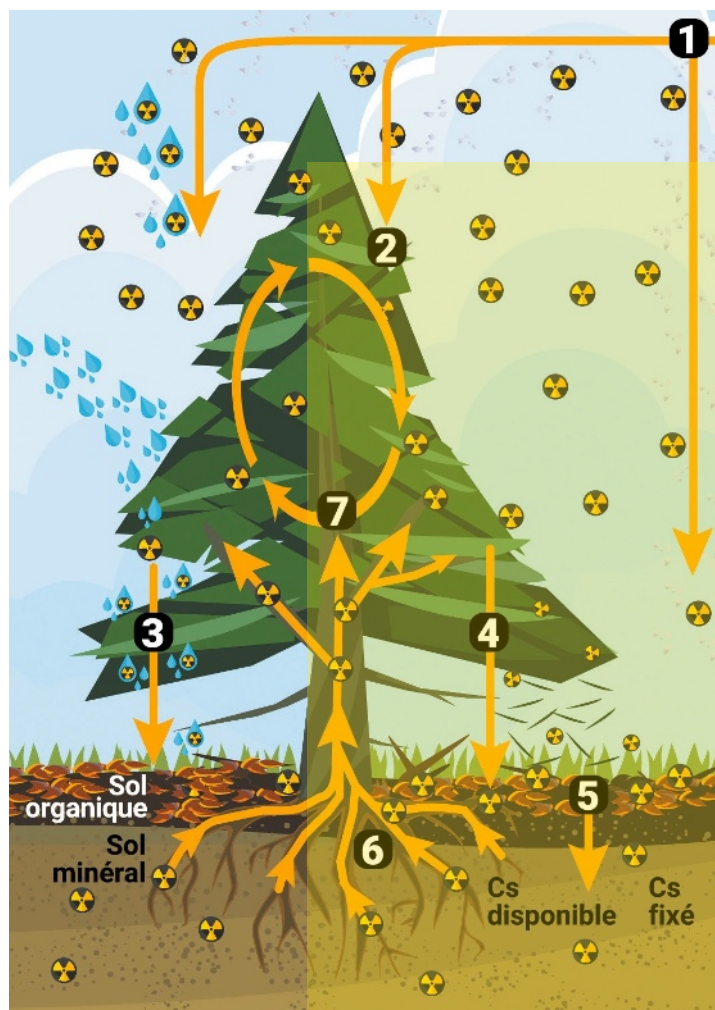
Dans les arbres, ils mesurent la contamination des feuilles, des branches, de l'écorce, du bois et des racines. Dans le sol, ils prélèvent systématiquement deux couches dans la partie dite « organique » : la litière — c'est-à-dire la couche superficielle de feuilles et branches tombées dans l'année — et l'humus — la couche sous-jacente plus dégradée. Et en dessous, dans la partie dite « minérale » du sol, ils analysent trois autres niveaux, jusqu'à 20 centimètres de profondeur.

La précision de l'échantillonnage est déterminante. Le cèdre japonais renouvelle en moyenne son feuillage tous les quatre à cinq ans. « Toutes les aiguilles n'ont pas la même histoire : une aiguille de trois ans en novembre 2013 a reçu directement le dépôt radioactif alors que ce n'est pas le cas de celle de deux ans ou de celle de l'année. Si ces dernières contiennent du césium-137, c'est qu'il vient de l'intérieur de l'arbre ou du lessivage des aiguilles plus anciennes. Quand vous faites une

mesure globale des aiguilles vous perdez toutes ces informations », explique Frédéric Coppin. Cet inventaire précis a permis de mieux comprendre les processus de recyclage du césium-137 entre l'arbre et le sol mais aussi au sein même de chacun de ses compartiments. Il a permis en particulier de quantifier certains phénomènes de translocation, c'est-à-dire de transfert via les flux de sève, entre les aiguilles et les différents organes de l'arbre. Tout comme ont été évalués la fraction de césium-137 retournée au sol par les chutes d'aiguilles et de branches et son temps de résidence dans les sols organiques.

Autant de données qui n'existent pas pour les forêts contaminées par l'accident de Tchernobyl puisque les premières mesures n'y ont été réalisées qu'à partir de 1992, soit six ans après la contamination. Les premiers modèles élaborés suite à cet accident ont souffert de ce manque d'informations et sont restés longtemps rudimentaires. Aujourd'hui, grâce à toutes les données acquises dans les forêts de Fukushima entre 2011 et 2017, les modélisateurs ont affiné leur outil. En confrontant résultats des simulations et observations, Marc-André Gonze, spécialiste de modélisation et Philippe Calmon, radio-écologiste, en charge du développement de l'outil, ont amélioré le modèle de l'IRSN : le modèle TREE4 (Transfer of Radio-nuclides and External Exposure in FORest systems). « C'est le seul modèle qui intègre les transferts physiques, chimiques et biologiques au sein de tous les compartiments, en tenant compte à ce niveau de détail des caractéristiques physiologiques de l'arbre », précise Marc-André Gonze.

TREE4 tient compte en effet de l'ensemble des transferts de césium à différentes échelles : il calcule l'interception du césium-137 atmosphérique par la canopée, le transfert vers le sol via le lessivage et la chute de litière, l'écoulement sur les tiges et l'écorce. À l'intérieur de l'arbre, il modélise l'incorporation du césium-137 par les processus physiologiques des parties externes vers les parties internes (du feuillage vers le tronc) et, inversement, il quantifie aussi



LE RECYCLAGE DU CÉSIMUM RADIOACTIF

Les retombées de césium-137 1 sont interceptées en majeure partie par le feuillage 2. Ce dépôt atteint ensuite le sol, soit lessivé par les pluies 3 soit via la chute d'aiguilles ou de branches 4. Puis, il migre dans le sol 5. De là, une partie du césium-137 disponible remonte dans l'arbre par les racines 6 et se répartit dans le tronc, les branches et les feuilles par transfert interne 7.