

The logo for IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) features the letters 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The 'I' and 'R' are red, while the 'S' and 'N' are blue.

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Situation radiologique de l'environnement autour de Fukushima cinq ans après l'accident nucléaire

Réunion plénière du HCTISN

**IRSN-PRP-ENV**

**Date : 24 mars 2016**

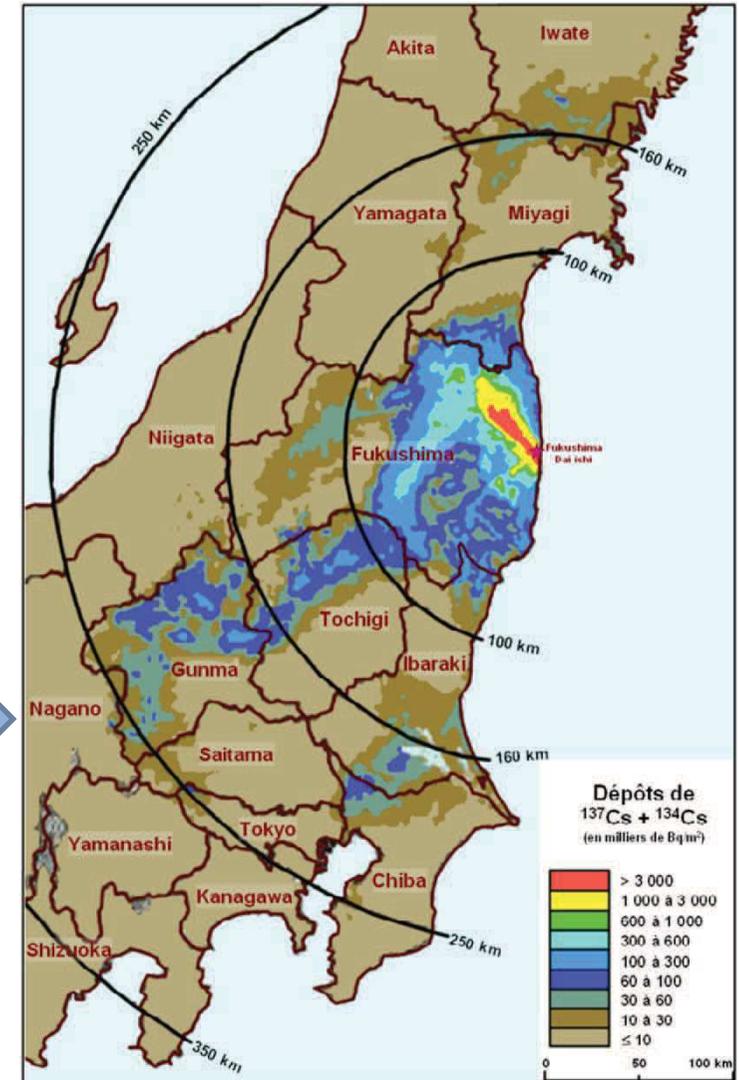
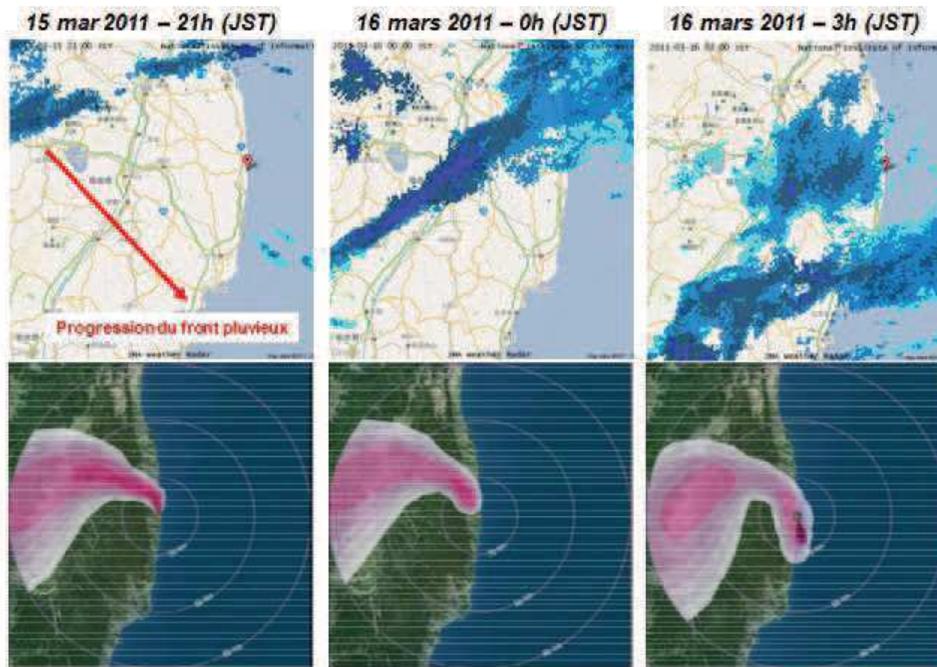
**Auteur : Saey Lionel**

**© IRSN**

1. Rappel/Contexte
2. Les dépôts radioactifs dans l'environnement
3. La contamination des denrées alimentaires japonaises
4. La contamination du milieu marin
5. Bassins versants et poissons d'eau douce
6. Faune et flore des territoires contaminés

# 1. Rappel/Contexte

- Rejets atmosphériques et liquides très importants dans l'environnement à partir du 12 mars 2011, plus modérés mais persistants pendant plusieurs semaines;
- Masses d'air contaminées majoritairement orientées vers l'océan pacifique;
- Contamination terrestre principalement au cours de quatre épisodes:
  - ✓ 12 mars,
  - ✓ **14-16 mars,**
  - ✓ 18 mars,
  - ✓ 20-21 mars.

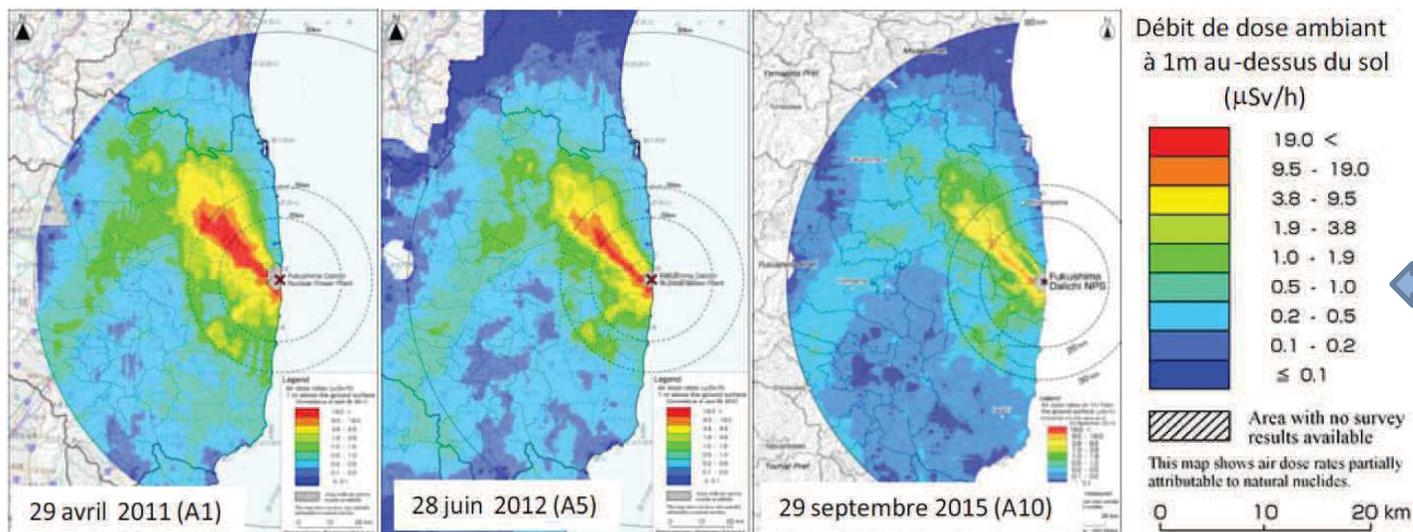


## 2. Dépôts radioactifs dans l'environnement

Suivi des activités de césium déposées sur les territoires et des débits de dose dans l'air extérieur résultants :

### Différents types de mesures

- ✓ Campagnes aéroportées, héliportées, drones;
- ✓ Mesures sur réseau routier;
- ✓ Mesures in situ;
- ✓ Mesures d'activité massique dans les sols.

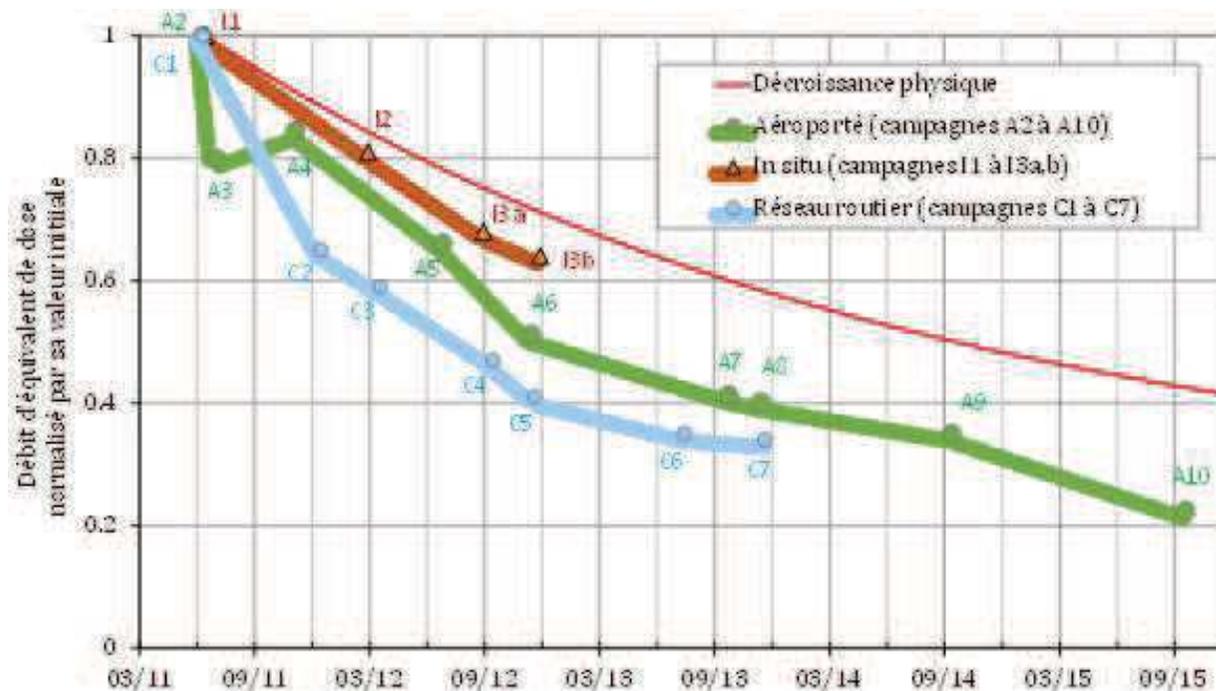


Résultats de 3 des 10 campagnes aéroportées effectuées entre avril 2011 et septembre 2015 montrant la diminution du débit de dose.

**Cartographies des débits de doses dans l'air extérieur à 1 m du sol ( $\mu\text{Sv/h}$ ) établies à partir de mesures aéroportées**

## 2. Dépôts radioactifs dans l'environnement

*Évolution des débits de dose mesurés par l'ensemble des dispositifs déployés et évolution attendue dans un rayon de 80 km autour de la centrale.*

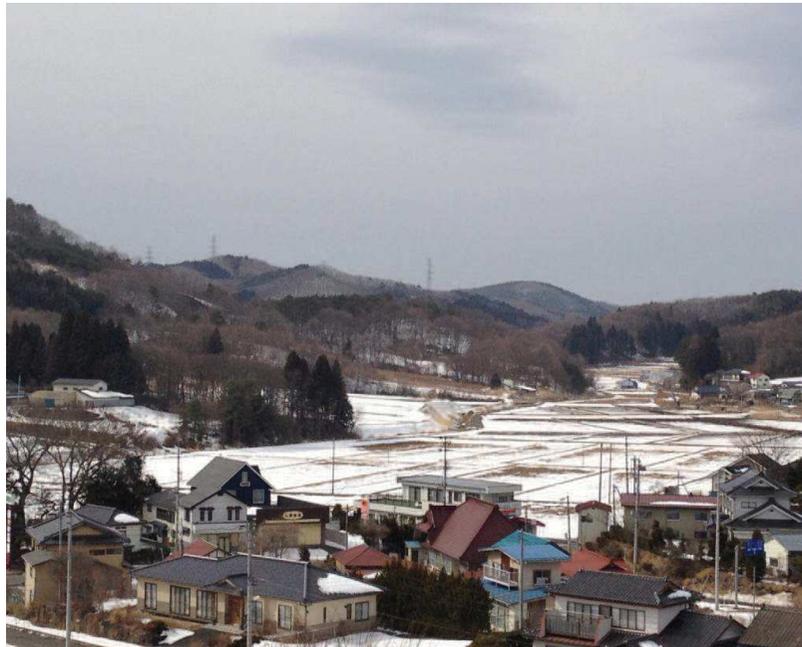


- Le débit de dose dans l'air a diminué en moyenne d'un facteur 2 à 3 entre mi-2011 et fin 2013 dans les 80 km autour de l'installation accidentée ;
- La décroissance générale des débits de dose est en grande partie induite par la décroissance radioactive du césium-134 ;
- Le lessivage par les pluies, la migration dans le sol, l'effet des labours et des actions de décontaminations, ont une contribution significative en milieux urbains et agricoles.

### 3. Contamination des denrées alimentaires japonaises

#### En mars 2011 à Fukushima :

- ✓ Légumes (et quelques fraises) sont les seules cultures en croissance, notamment sous serre;
- ✓ Hormis les abricots japonais, les arbres fruitiers n'ont ni feuille ni fleur;
- ✓ Certaines céréales sont installées, mais sont loin de la floraison (mai);
- ✓ Certains végétaux semi-naturels et certains arbustes spécifiques ont leurs feuilles (bambou, thé arbres, aralia ...);
- ✓ La pratique d'alimentation la plus courante pour bétail est basée sur l'importation de fourrage.

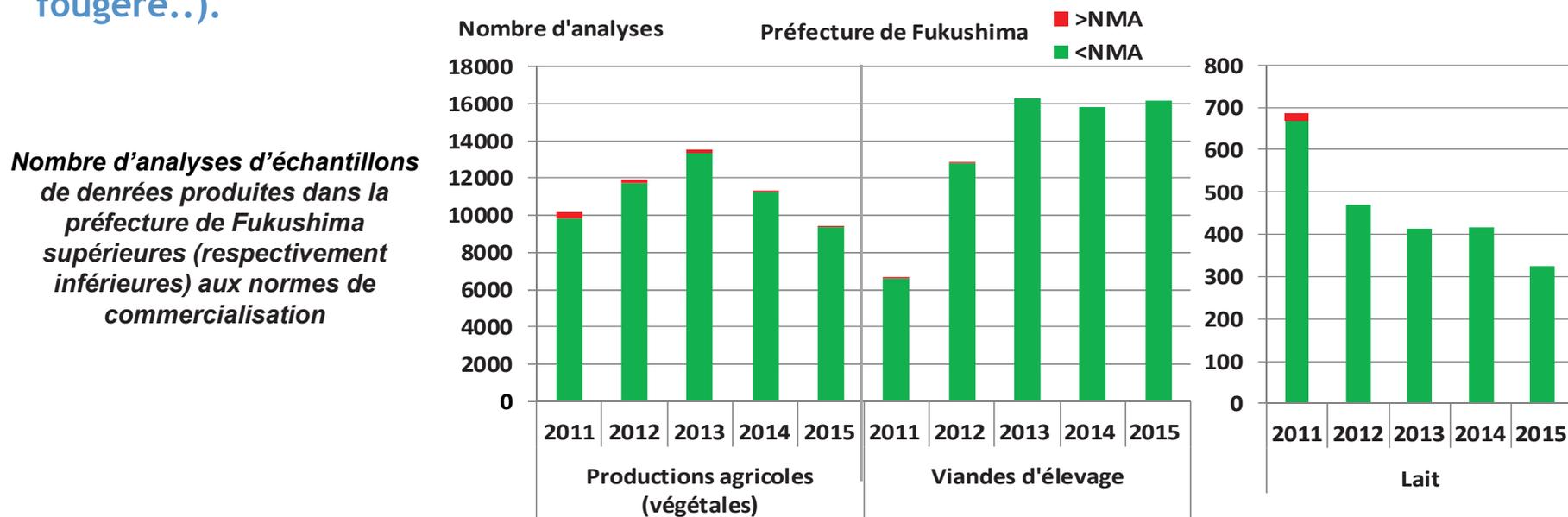


*La vallée de Kawamata en début mars*

La contamination des denrées japonaises a été particulièrement modérée en raison de la date hivernale de l'accident et de l'importation des fourrages

### 3. Contamination des denrées alimentaires japonaises

- ✓ Dès l'été 2011, les denrées produites sur la préfecture de Fukushima sont très majoritairement en dessous des limites de consommation NMA\* (effet date) ; les légumes feuilles ont été de loin, les aliments les plus contaminés;
- ✓ A partir de 2012, pour la majorité des productions, la contamination en césium, ne résulte plus que du seul transfert racinaire (plus faible mais durable); la maîtrise de l'alimentation des animaux a permis de descendre en dessous des NMA;
- ✓ En 2015, moins de 0,1% des résultats de mesures dépassent les NMA : principalement de la viande de gibier ( $\approx 58\%$ ) et certaines denrées spécifiques (bambou, champignon, fougère..).

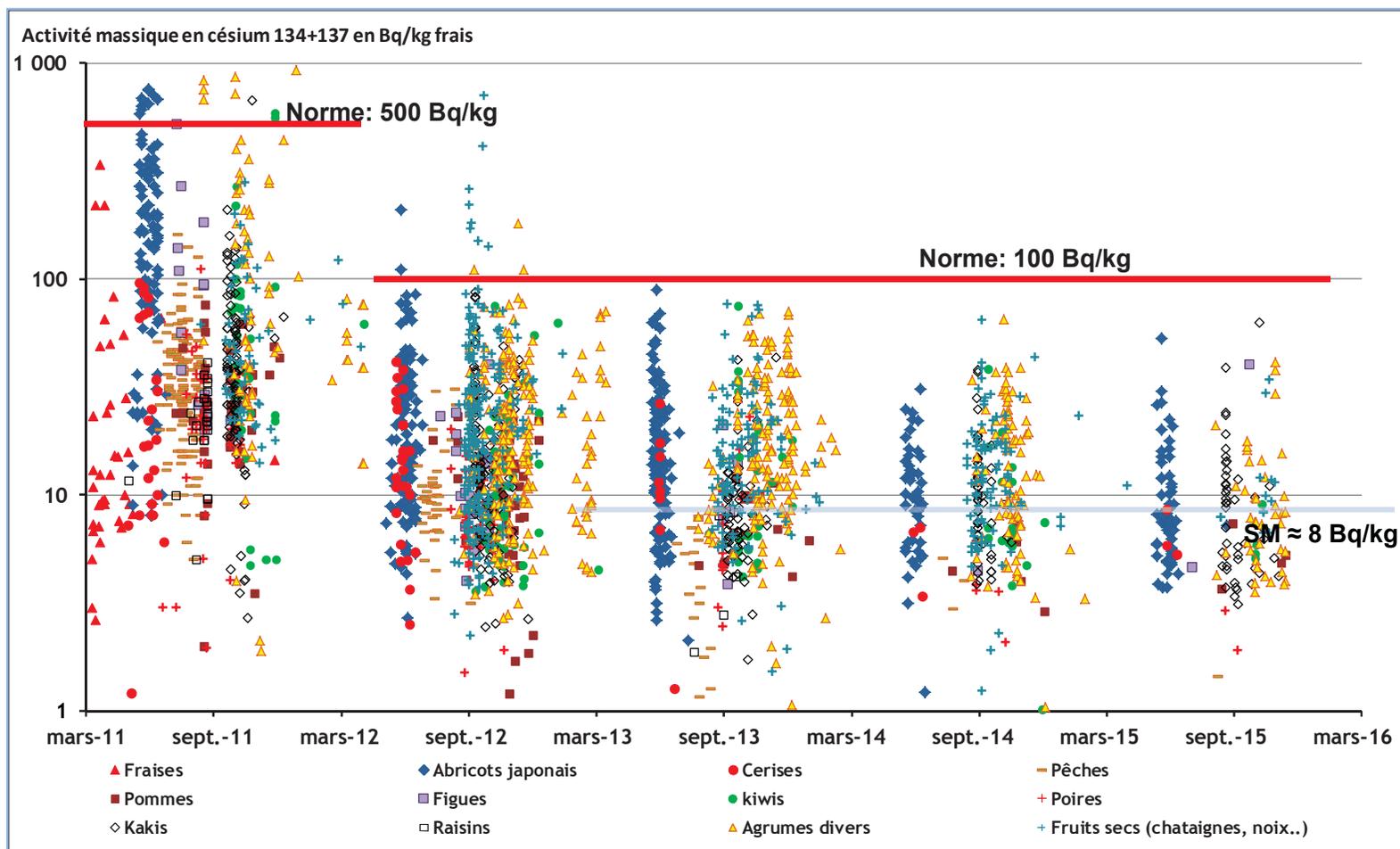


- ✓ Cette situation résulte également des efforts effectués pour diminuer la contamination des cultures les plus sensibles : arrêt de certaines cultures (cas du riz de Minamisoma), ajout d'engrais potassiques, labours, retrait des sols de surfaces, « shiitakes », ...

\* NMA: Normes Maximales Admissibles de commercialisation (2000 Bq/kg frais pour l'iode-131 et 500 Bq/kg frais pour les radiocésiums (134+137) jusqu'en mars 2012, puis 100 Bq/kg frais).

### 3. Contamination des denrées alimentaires japonaises

- ✓ Dans le cas particulier des arbres et arbustes, on observe dans les années suivantes une rémanence de l'interception initiale des dépôts.

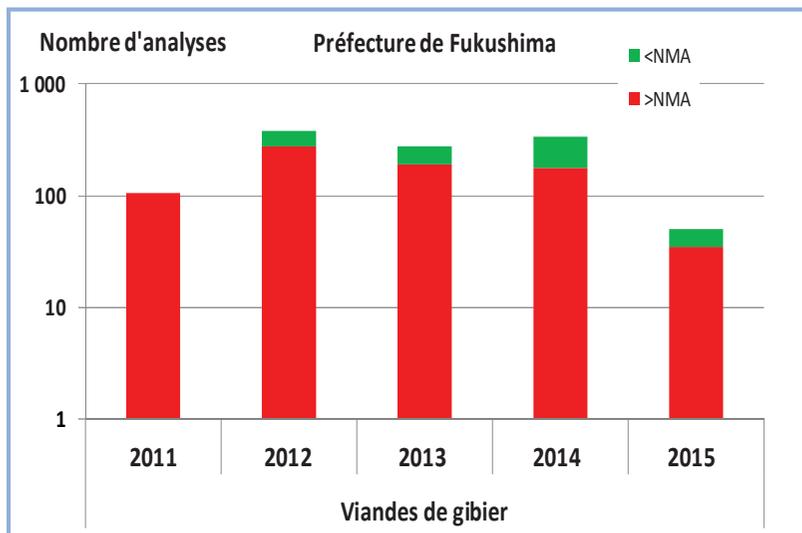


**Activités en radiocésiums (Bq/kg frais), supérieures aux seuils de mesures\*, des échantillons des récoltes successives de fruits produits sur l'ensemble des préfectures.**

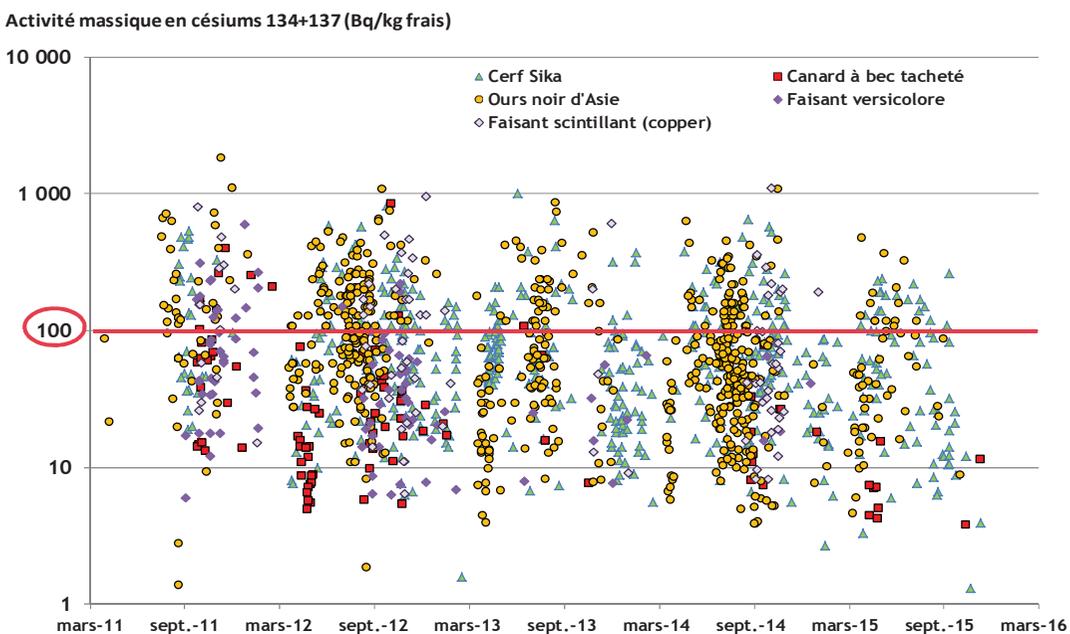
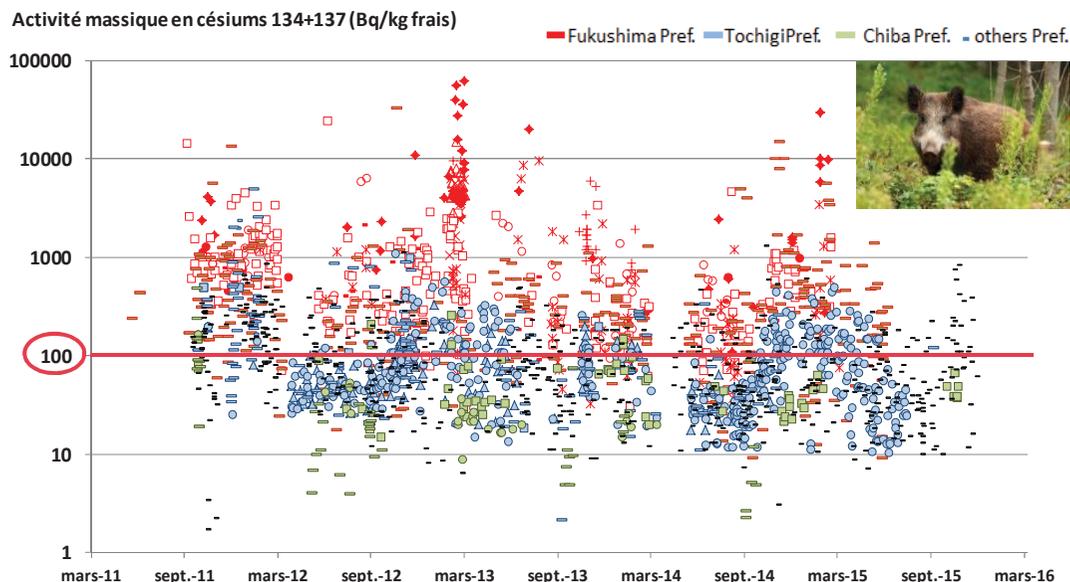
\* Le seuil de mesure dépend des conditions de mesures : type d'appareillage, durée de la mesure, nature et poids de l'échantillon mesuré.

# 3. Contamination des denrées alimentaires japonaises

## Denrées sauvages :



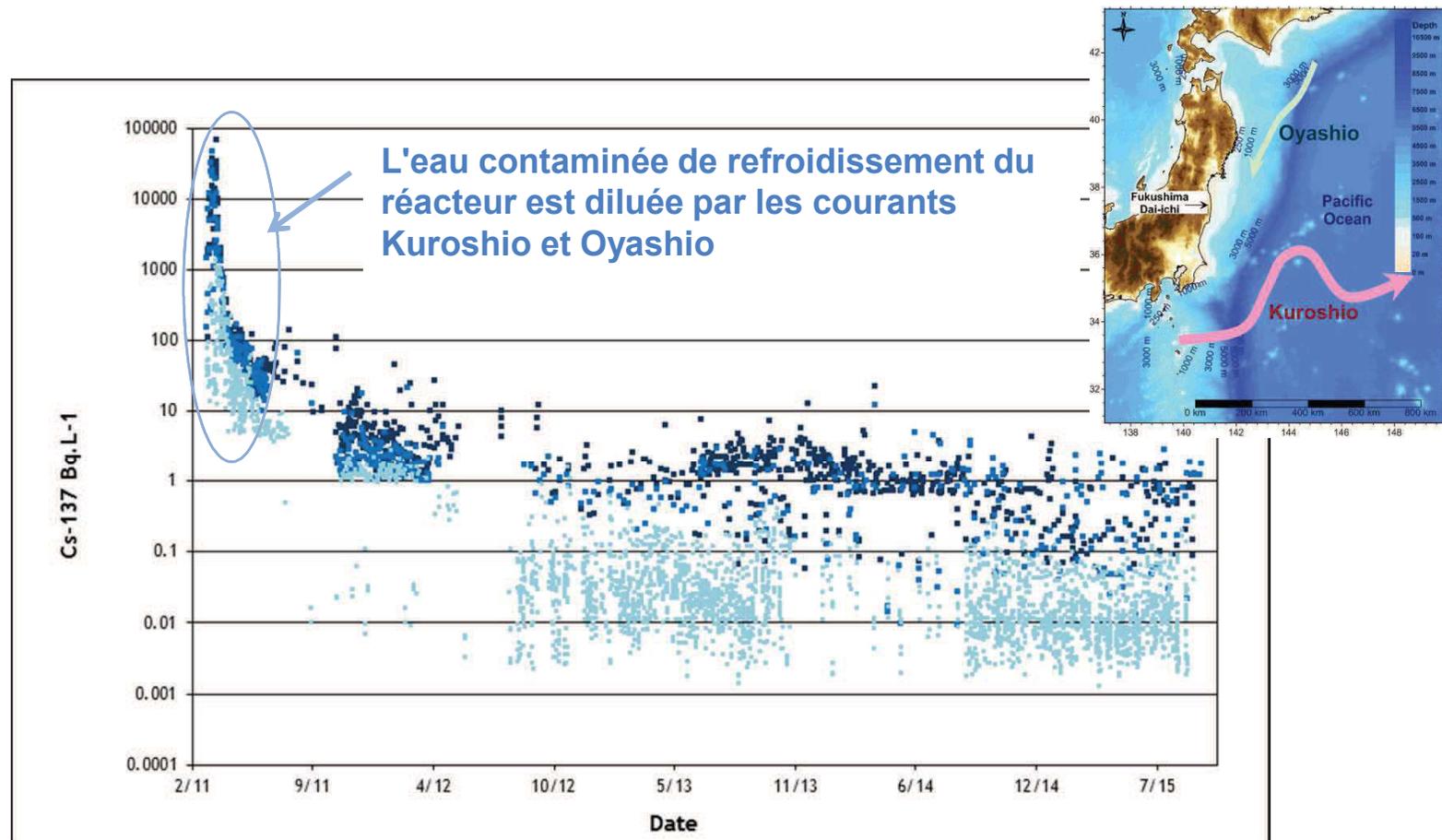
- ✓ Les espaces boisés ont fortement intercepté les dépôts radioactifs en mars 2011
- ✓ Des activités élevées persistent en milieu forestier en raison du maintien d'une forte biodisponibilité du césium



## 4. Contamination du milieu marin

### Source initiale de la contamination du milieu marin :

- ✓ Les rejets liquides liés à l'arrosage pour refroidir les réacteurs (eau mer puis eau douce);
- ✓ Les dépôts atmosphériques sur la surface du Pacifique. Du même ordre que le précédent, mais dispersés sur une grande surface diluée rapidement dans les masses d'eau.



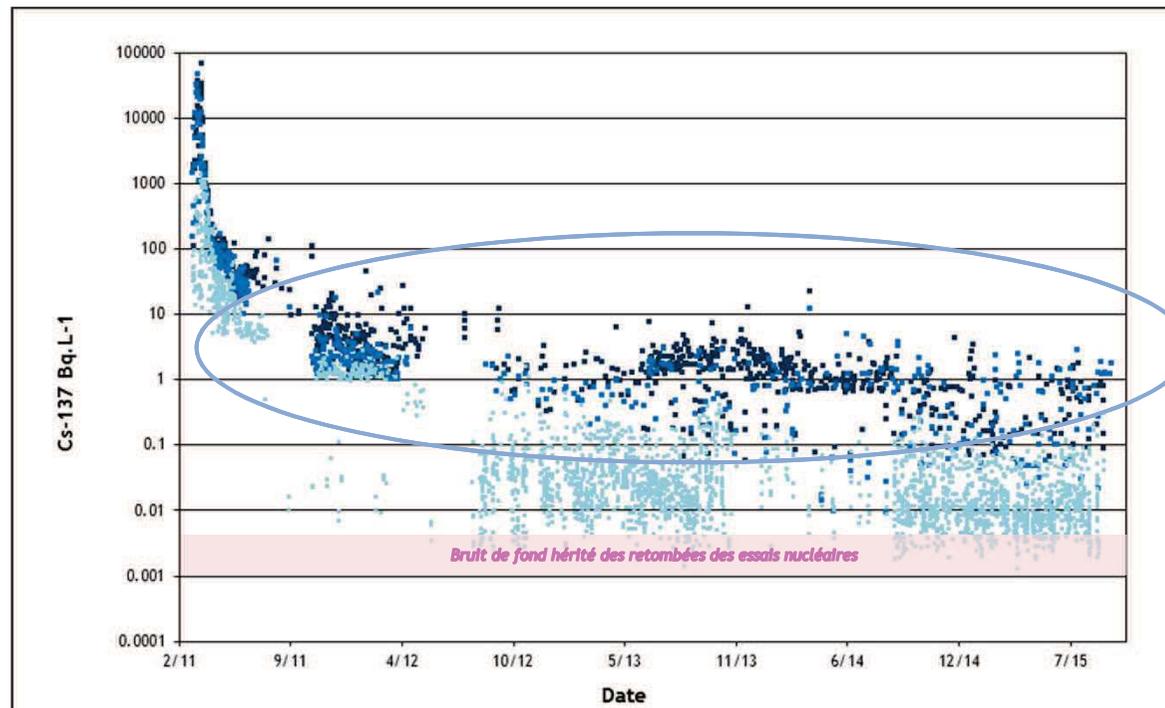
**Evolution au cours du temps de l'activité de l'eau de mer en césium-137 le long de la côte pour des distances à la centrale : inférieures à 2 km (bleu foncé, hors zone portuaire) et comprises entre 2 et 30 km (bleu clair).**

## 4. Contamination du milieu marin

### Source secondaire de la contamination du milieu marin :

Des entrées chroniques maintiennent des niveaux d'activité en  $^{137}\text{Cs}$  le long de la côte :

- ✓ Bassins versants contaminés : apports permanents provenant du lessivage et drainage des sols (forte lors d'événements de typhons);
- ✓ Fuites persistantes provenant des installations et de l'environnement immédiat du site (visible à moins de 2 km de la côte );
- ✓ Remise en suspension de particules sédimentaires et la possible désorption des radiocésiums associés.



**Evolution au cours du temps de l'activité de l'eau de mer en césium-137 le long de la côte pour des distances à la centrale : inférieures à 2 km (bleu foncé, hors zone portuaire) et comprises entre 2 et 30 km (bleu clair).**

## 4. Contamination du milieu marin

### Contamination des sédiments :

- ✓ Initialement contaminés par l'eau utilisée pour le refroidissement des réacteurs;
- ✓ Depuis très variable, mais restant constante.
- ✓ Plus élevée au nord de la centrale accidentée qu'au sud ;

### Concentrations en $^{137}\text{Cs}$ :

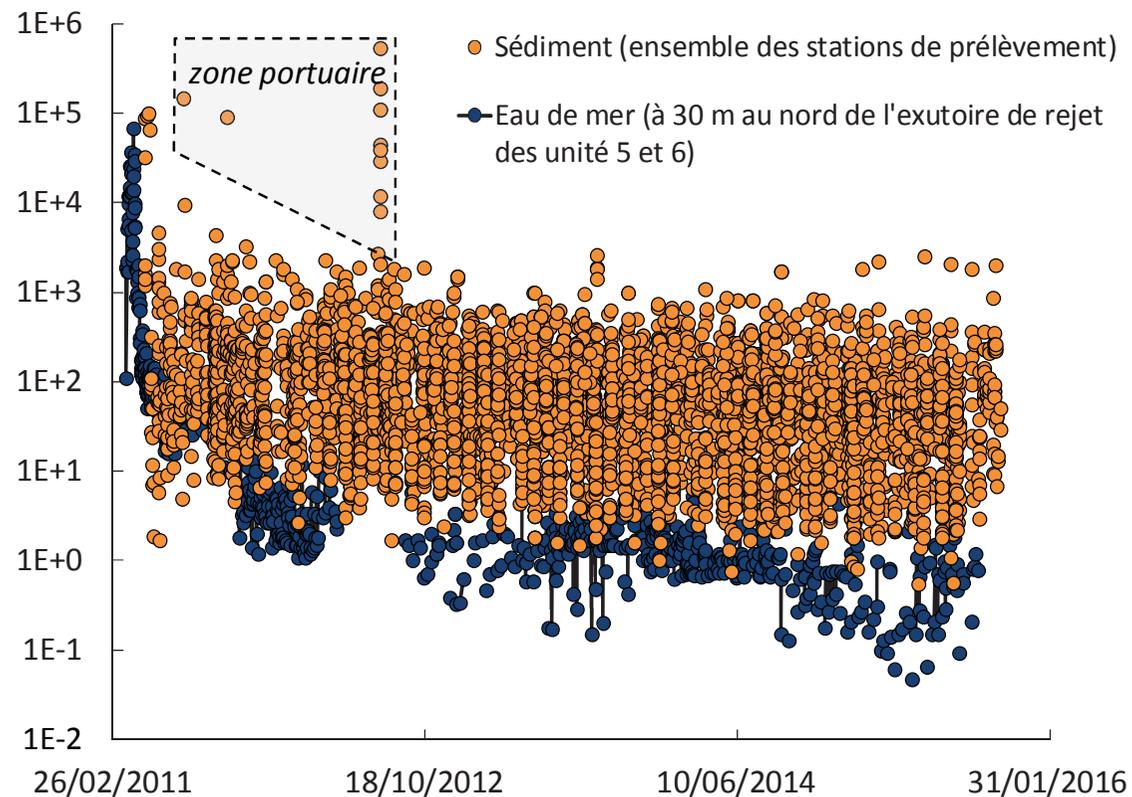
- Jusqu'à 80 km :

Entre 1 et 1000 à 5000 Bq/kg sec (constantes dans le temps depuis 2012);

- Entre 80 et 280 km :

Entre 1 et 100 à 500 Bq/kg sec environ.

Concentration en  $^{137}\text{Cs}$  (Bq kg<sup>-1</sup> pour le sédiment et Bq L<sup>-1</sup> pour l'eau de mer)

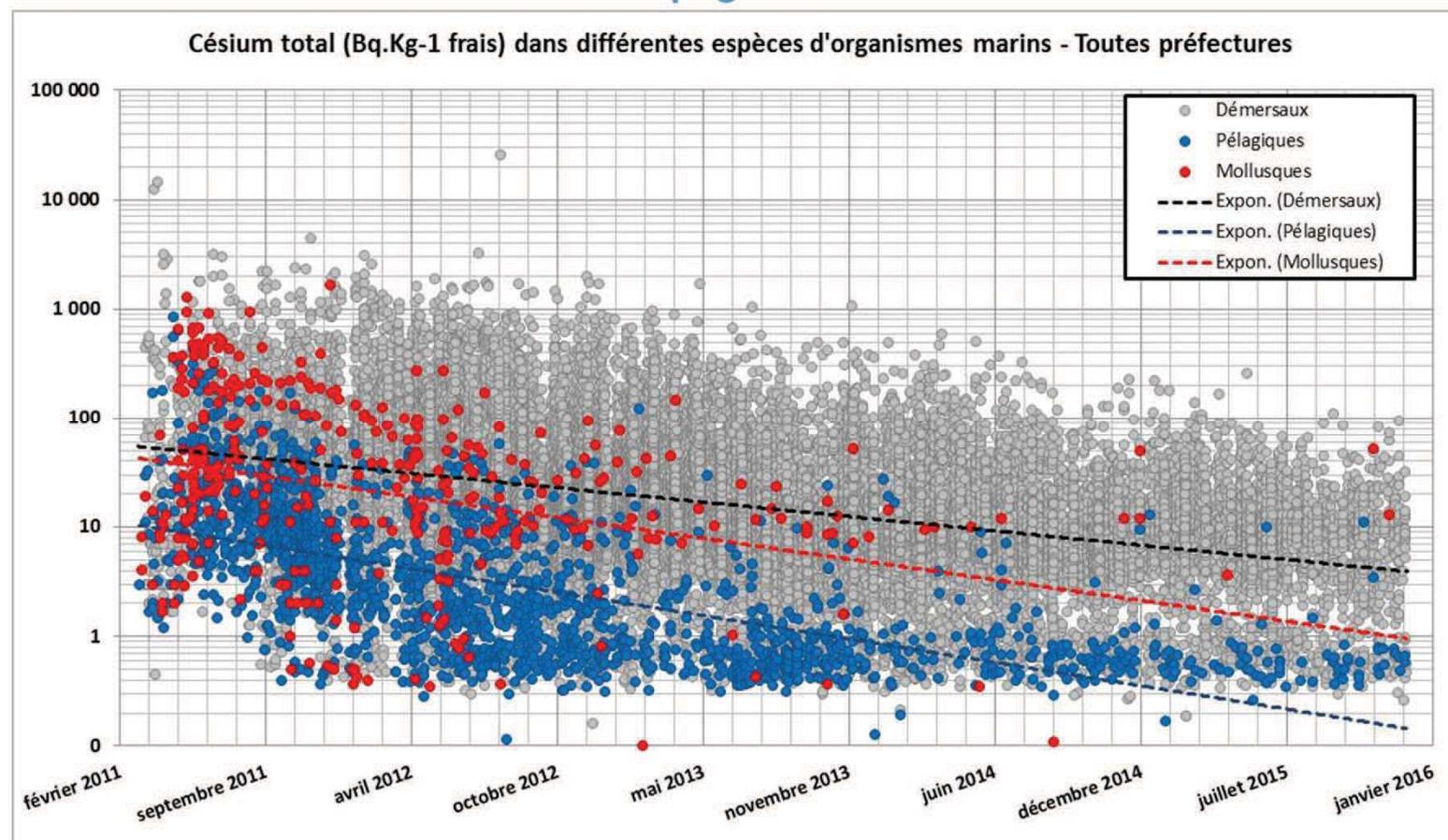


**Evolution au cours du temps de la concentration en césium-137 dans les sédiments jusqu'à 280 km de la côte**

## 4. Contamination du milieu marin

### Conséquences sur les espèces marines :

- ✓ Les poissons vivants à proximité des sédiments (démersaux en gris) présentent des niveaux plus élevés que les poissons vivants dans la colonne d'eau (pélagiques en bleu).
- ✓ Depuis le mois de septembre 2015, les concentrations en radiocésiums sont inférieures à la limite de commercialisation de 100 Bq/kg frais.



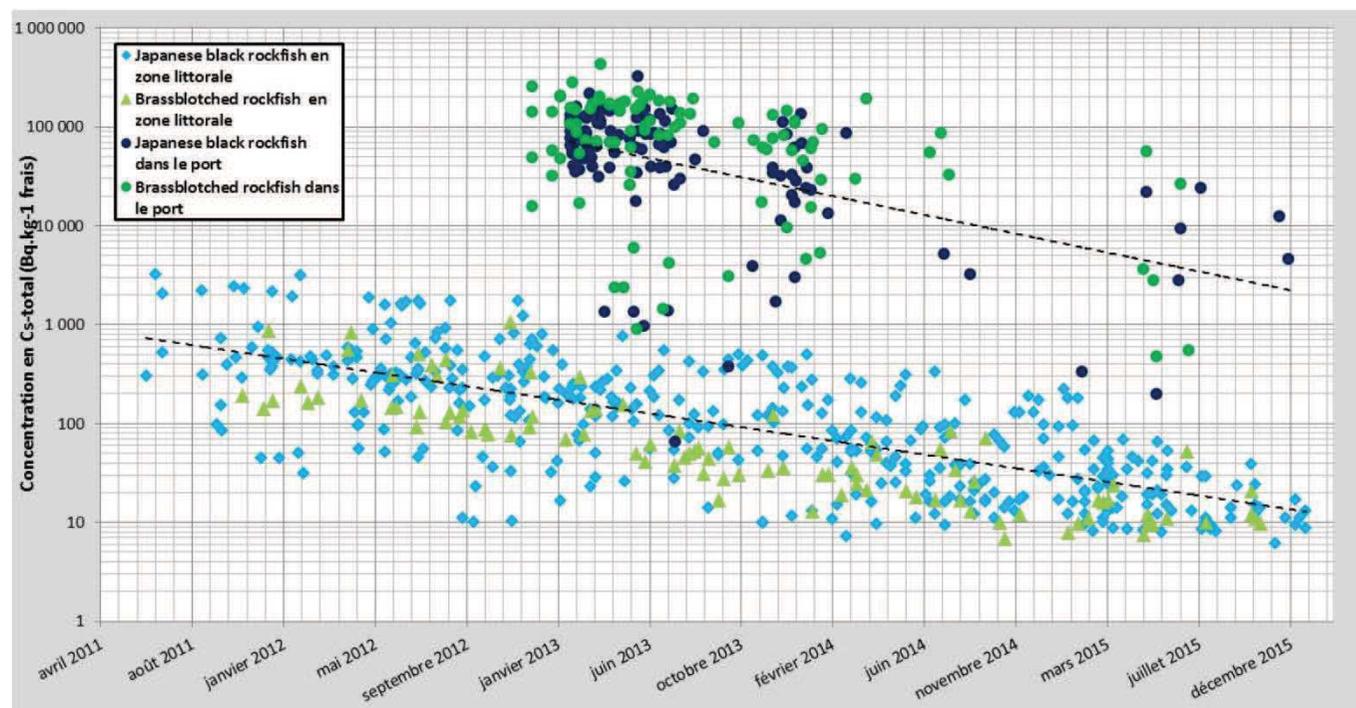
**Représentation des concentrations totales en césiums chez les poissons et les invertébrés marins (rouge) prélevés dans l'océan au nord-est du Japon.**

## 4. Contamination du milieu marin

### Conséquences sur les espèces marines :

- ✓ Dans le port de la centrale de Fukushima, depuis le début de l'année 2015, des concentrations en radiocésiums supérieures à 10 000 Bq/kg frais ont été mesurées dans 3 espèces de poissons démersaux;
- ✓ À plus de 10 km des côtes, diminution des concentrations en radiocésiums, avec des valeurs qui avoisinent, au 28 novembre 2015, les 10 Bq/kg frais.

→ structures mises en place pour limiter les entrées et sorties des poissons du port

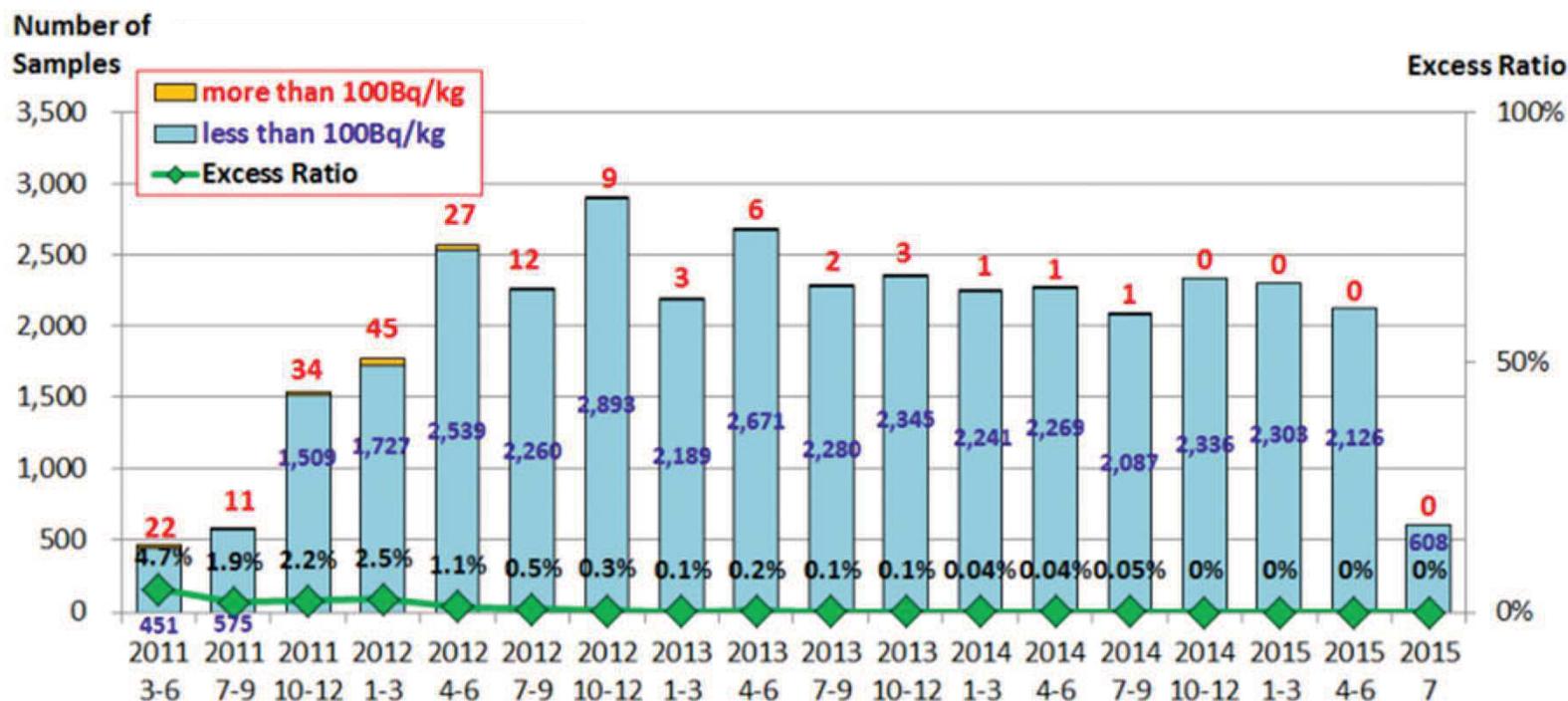


**Représentation des concentrations en radiocésiums dans deux espèces démersales : « Japanese black rockfish » (bleu foncé) et « Brassblotched rockfish » (vert foncé) à l'intérieur du port de la centrale et dans un rayon de 20 km, dans une zone littorale de 20 km (respectivement pour chacune des espèces en bleu clair et vert clair) (Source TEPCO).**

## 4. Contamination du milieu marin

### Conséquences sur les espèces marines :

- ✓ En 2015, les concentrations en radiocésiums dans les poissons débarqués dans les autres préfectures que Fukushima sont inférieures à la limite de commercialisation de 100 Bq/kg frais.

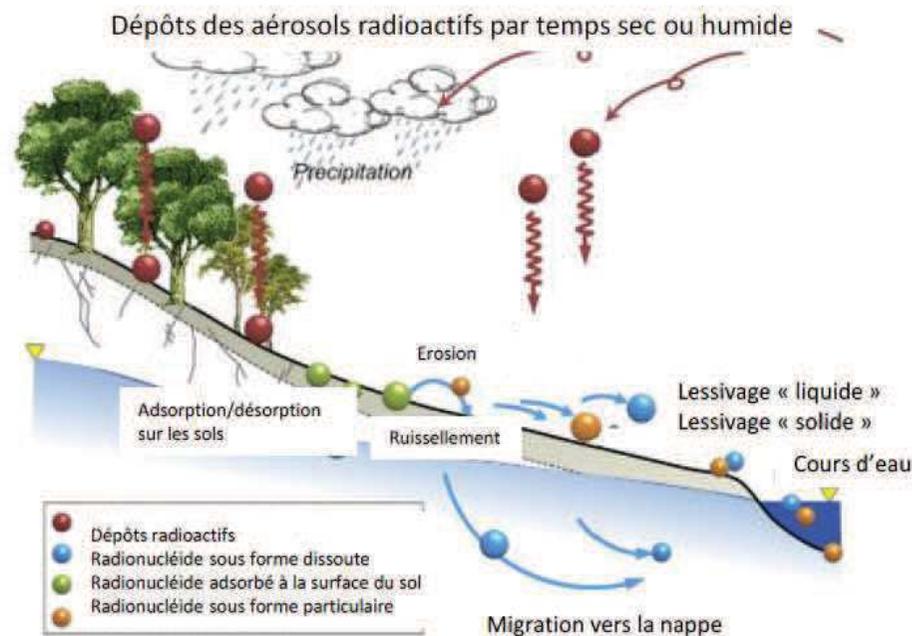


*Evolution temporelle de la proportion d'échantillons dépassant la limite de commercialisation en radiocésiums chez les poissons débarqués dans les autres préfectures que Fukushima*

## 5. Bassins versants et poissons d'eau douce

### Bassins versants :

- ✓ Le lessivage des bassins versants remobilise annuellement moins de 1% de l'inventaire des radiocésiums déposés;
- ✓ Deux vecteurs : l'eau s'ils sont sous forme dissoute (ruissellement) et les matières en suspension (érosion).



### Poissons d'eau douce :

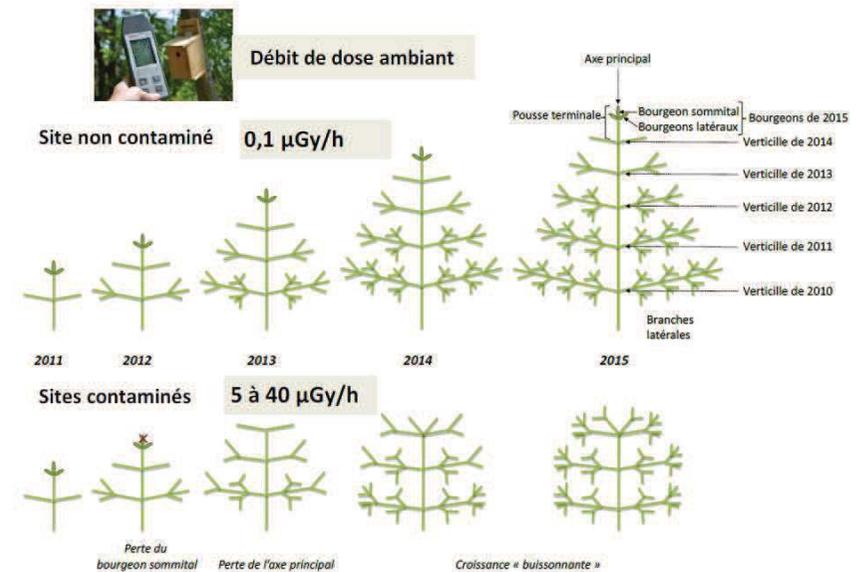
- ✓ L'activité en césium est plus élevée que les concentrations dans les poissons marins;
- ✓ Certains échantillons dépassent toujours les NMA (lacs > rivières).

## 6. Faune et flore des territoires contaminés

Études en cours sur les effets biologiques suite aux observations des espèces végétales et animales peuplant les territoires contaminés :

### Chez les pins :

- ✓ Anomalies morphologiques;
- ✓ Augmentation de perte de la dominance apicale du pin japonais.



### Les communautés d'oiseaux :

- ✓ Diminution d'abondance observée corrélée avec l'augmentation du débit de dose ambiant.

### Invertébrés terrestres :

- ✓ Diminution de l'abondance des papillons et des cigales;
- ✓ Anomalies morphologiques et mortalité accrue observées chez des pucerons prélevés au printemps 2012.



**Merci de votre attention**

<http://www.irsn.fr>

# Évolution du périmètre des zones évacuées

## Fin 2011:

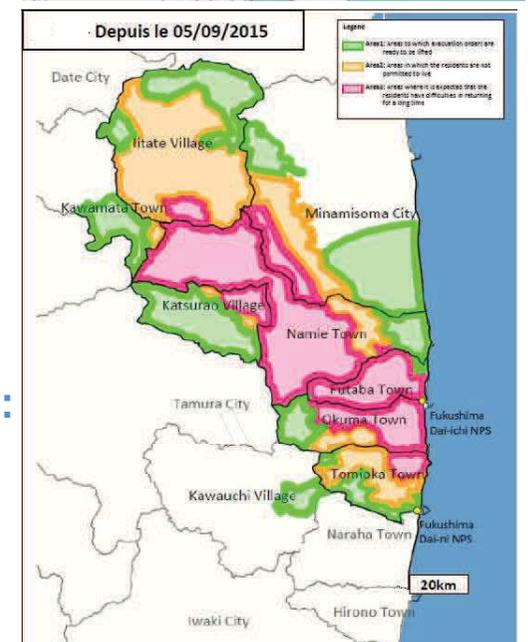
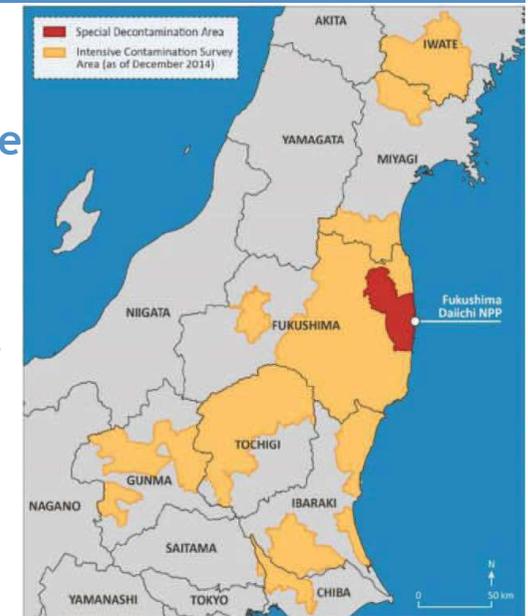
- **En rouge:** la « zone de décontamination spéciale » (Special Decontamination Area-SDA) zones évacuées définies en septembre 2011 (zone d'évacuation des 20 km et zone d'évacuation délibérée). Zone où la dose annuelle pourrait atteindre ou dépasser 20 mSv.
- **En orange:** la « zone d'évaluation intensive de la contamination » (Intensive Contamination Survey Area-ICSA) communes pour lesquelles il est estimé que la dose annuelle peut, être comprise entre 1 et 20 mSv (dose ajoutée au bruit de fond radiologique).

### Critères permettant de lever les ordres d'évacuation:

- Dose annuelle  $\leq 20$  mSv;
- Restauration des infrastructures essentielles;
- Etablir un dialogue entre mairies/préfectures/habitants.

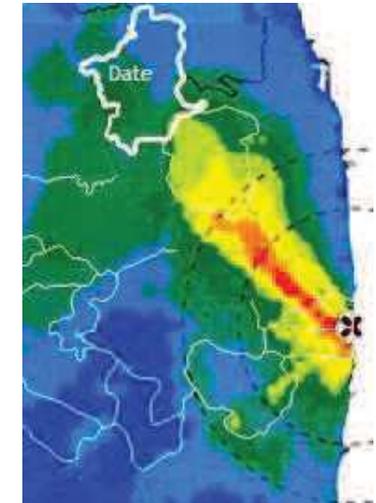
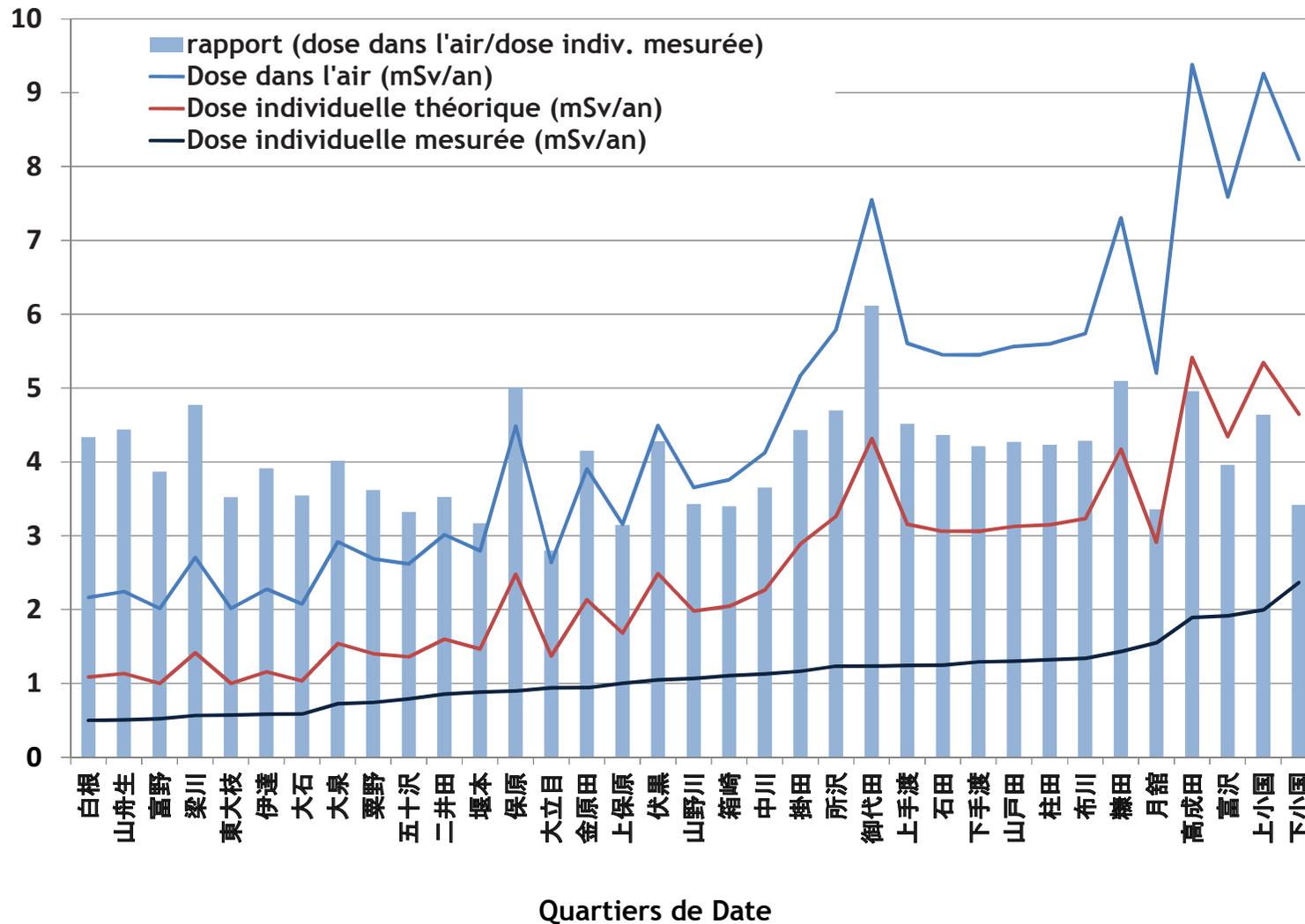
## Fin 2015:

- **Zone 1** - dose sur la première année  $< 20$  mSv : « zone où les ordres d'évacuation sont prêts à être levés ».
- **Zone 2** - dose sur la première année comprise entre 20 et 50 mSv: « zone où les habitants ne sont pas autorisés à résider ».
- **Zone 3** - dose sur la première année  $> 50$  mSv: « zone où les résidents auront des difficultés à se réinstaller » durant une longue période ».



# Dose dans l'air extérieur vs Doses externes efficaces individuelles

- ✓ Suivi dosimétrique de 53 000 personnes (période de juillet 2012 à juin 2013) et 18 700 personnes (période de juillet 2013 à juin 2014) habitant différents ensembles (villages) de la commune de Date



Des doses efficaces de 0,5 à 2 mSv/an, 3 à 5 fois inférieures aux doses dans l'air cumulées

# Actions de décontamination

## Objectifs japonais

- Diminuer le débit de dose dans l'air en zone habitée (où se préparant au retour) à moins de 20 mSv/an
  - Diminuer sur le long terme le débit de dose à moins de 1 mSv/an
  - Diminuer le débit de dose de 50% entre août 2011 et août 2013
- + Impact psychologique important

## Trois types d'actions

### ■ Nettoyage des surfaces contaminées

- À l'eau ou avec des solutions (nitrate d'ammonium pour le Cs),
- Par abrasion : sablage, ice-blasting, ponçage

### ■ Enlèvement des surfaces/matériaux contaminés

- Démolition, Remplacement des toits, Décapage des surfaces horizontales  
Enlèvement/élagage/tonte des végétaux

### ■ Réduction des conséquences de la contamination

- Diminution de la remise en suspension par fixation de la contamination au sol (ex : solution composée de lignine, zéolites)
- Diminution du DdD par enfouissement de la contamination (labours, stockage, entreposage local), couverture des surfaces

# Décontamination : guides et procédures

[1] Rainwater pipes  
Gutters  
Cleaning / washing

[2] Roof  
High-pressure washing or wiping with paper towel

[3] Homestead woodland / garden trees (tall trees)  
Pruning of evergreen trees  
Pruning up to a half of the tree height to a maximum of 5 m

[4] Garden (lawn)  
Peeling of the lawn surface or deeply cutting of lawn

[5] Garden (earth / gravel)  
\* Weeding  
\* Peeling of surface layer  
\* Back-filling

[6] Pavement  
Grinding of surface layer or high-pressure washing

[7] Ditch  
Removal of sludge / high-pressure washing

森林  
Forest  
20m  
宅地

[1] Pruning  
Pruning of evergreen trees  
Pruning up to a half of the tree height to a maximum of 5 m

[2] Removal of underbrush and fallen leaves

[3] Only when there is a slope on the mountainous side  
Construction of a wood fence  
20 m (to be decontaminated)

[1] Edge of roads (1 m from the road side)  
Weeding

[2] Sidewalk  
High-pressure washing

[3] Roadway  
Road sweeper High-pressure water washing vehicle

[4] Ditch  
Removal of sludge / high-pressure washing

# Actions de décontamination



Nettoyage par eau sous pression et brossage des murs et toitures, ponçage éventuellement



Enlèvement du sol d'une cour d'école



Aspiration des eaux de lavage



Nettoyage d'une tuyauterie d'évacuation



Enlèvement de la litière d'un bosquet près d'une habitation



Enlèvement d'un « point chaud » en bas de gouttière



Nettoyage de la voirie

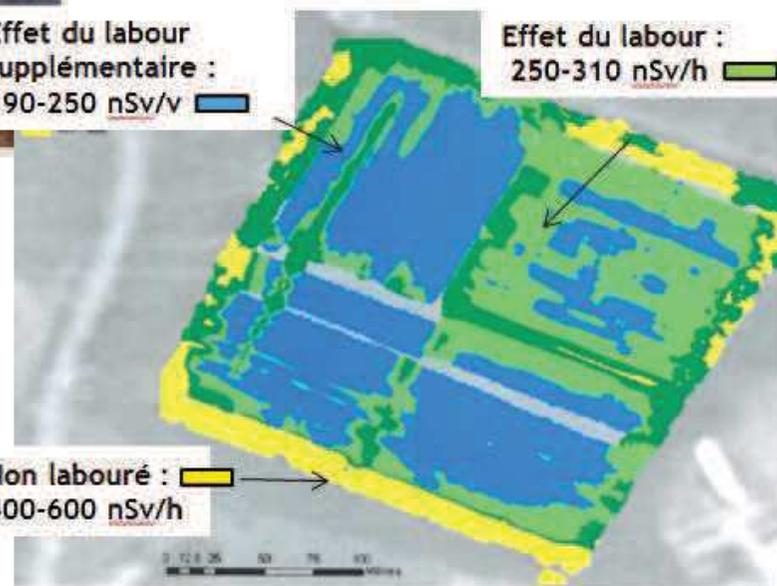
# Actions de décontamination



Effet du labour  
supplémentaire :  
190-250 nSv/v

Effet du labour :  
250-310 nSv/h

Non labouré :  
400-600 nSv/h



# Actions de décontamination



Projection de billes d'acier sur un parking



Billes de glace sur plaque d'égout



Nettoyage à Ultra-haute pression



Résine sur murs et toitures



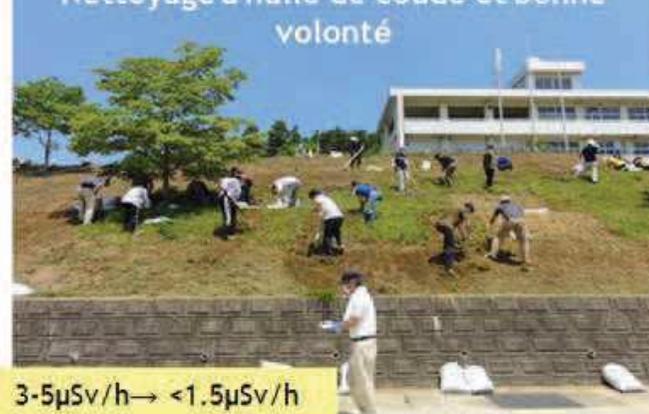
Déplaçage de l'asphalte



Nettoyage à huile de coude et bonne volonté



Utilisation d'un agent fixant



3-5 $\mu$ Sv/h  $\rightarrow$  <1.5 $\mu$ Sv/h

# Contamination des denrées alimentaires japonaises

De manière générale, après un dépôt radioactif accidentel:

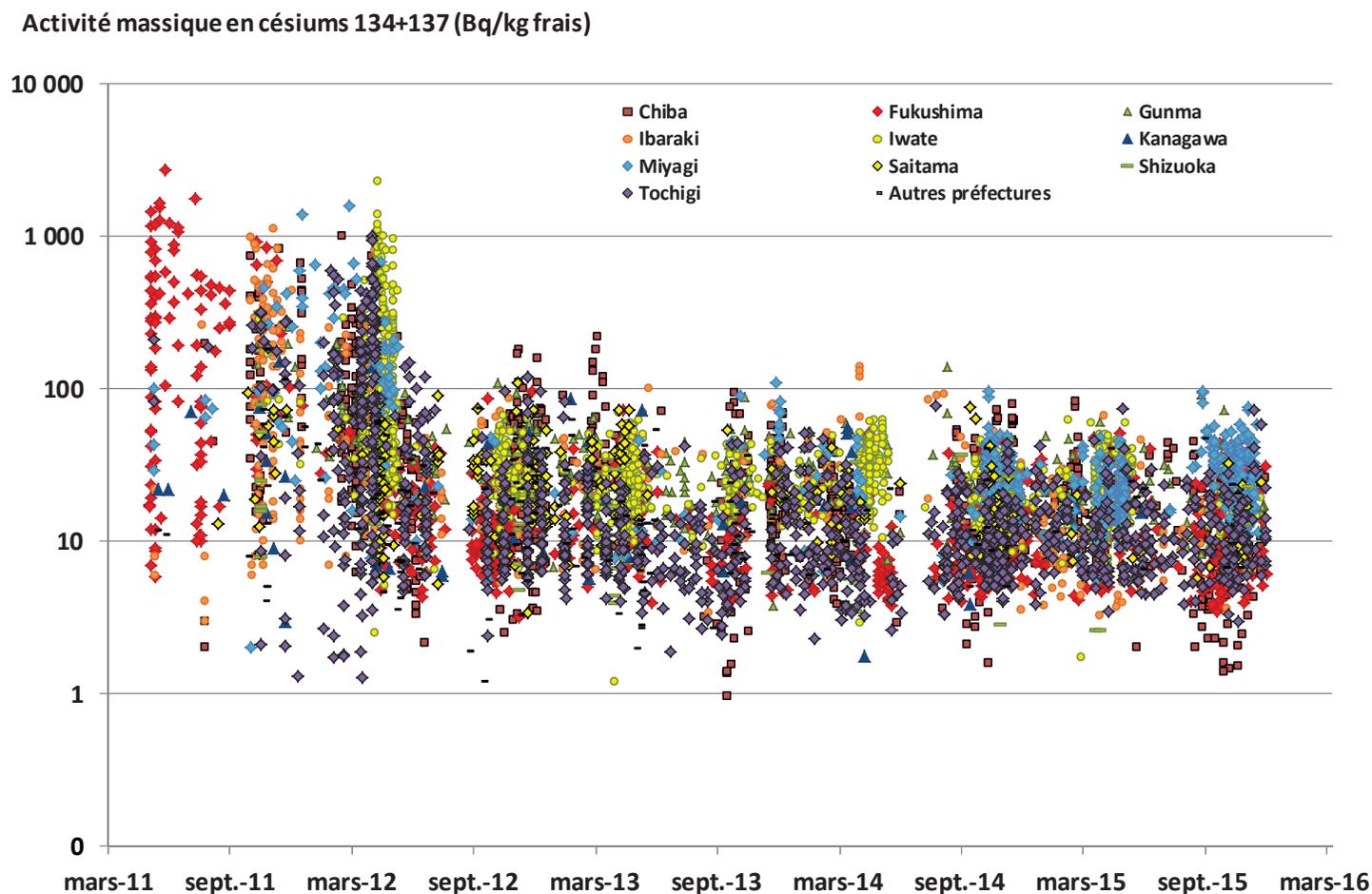
- ✓ Les cultures les plus contaminées sont celles dont la récolte est proche (interception par les feuilles des dépôts radioactif et transfert vers les parties consommées) ; les légumes feuilles sont toujours les plus contaminés;
- ✓ Pour tous les légumes, les niveaux d'activité les plus élevés sont atteints immédiatement après les dépôts. La croissance des plantes conduit à une diminution rapide de leur activité massique (100 à 1000 fois en 3 mois);
- ✓ Pour toutes les autres cultures, le transfert à partir des feuilles vers la partie comestible de la plante, peut atteindre 10%, seulement si les dépôts radioactifs se produisent après la floraison;
- ✓ Le transfert racinaire est très faible par rapport au transfert foliaire : les niveaux de contamination qui en résultent sont plus bas, mais vont durer pendant des années et diminuer lentement ;
- ✓ La contamination des produits d'origine animale est directement liée à celle de leur nourriture (pâturage notamment).



**→ La date des dépôts et les pratiques d'alimentation des animaux sont donc déterminants sur la contamination des denrées alimentaires**

# Contamination des denrées alimentaires japonaises

- ✓ Les mesures effectuées sur les « shiitakes » rendent compte des efforts faits par les producteurs de ce champignon cultivé dans les sous-bois.



*Activités massiques en radiocésiums, supérieures aux seuils de mesures, dans les échantillons de shiitakes provenant de toutes les préfectures.*