

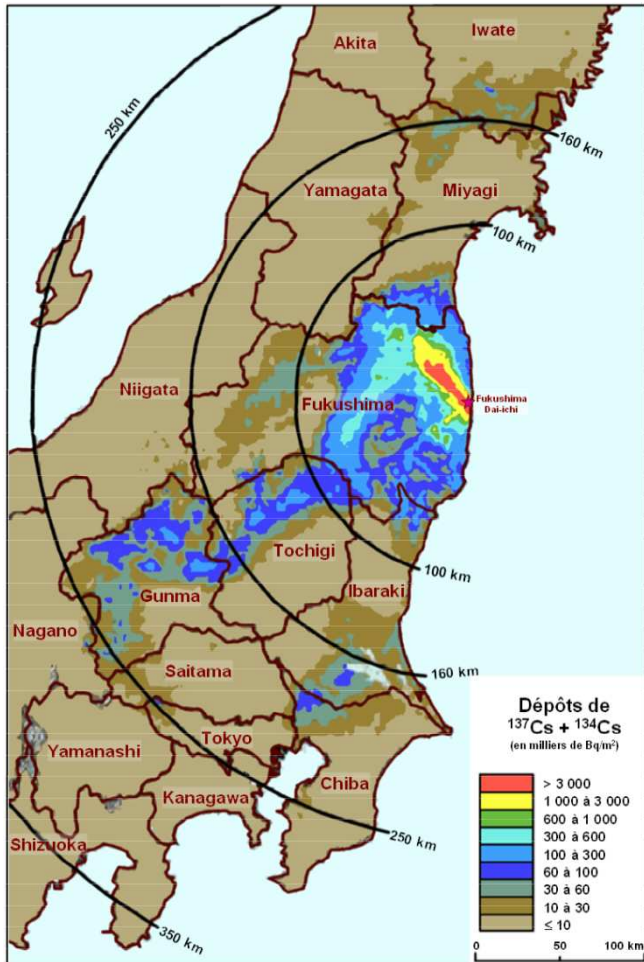
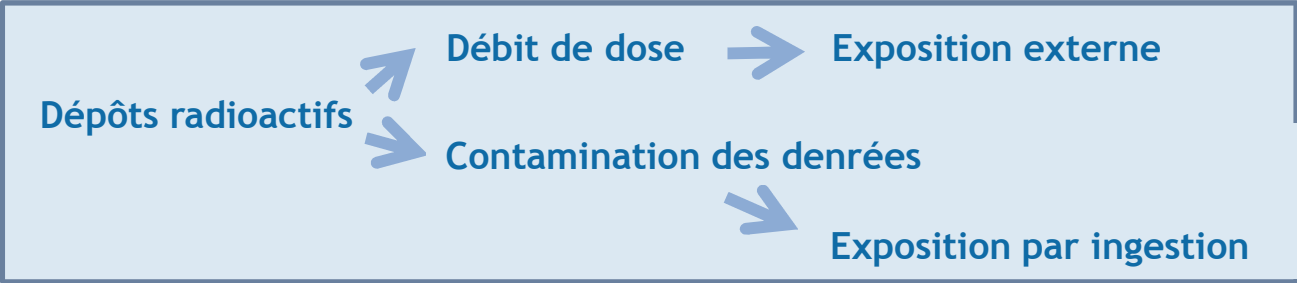
The logo for IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) features the letters 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The 'I', 'R', and 'S' are red, while the 'N' is blue with a white outline.

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Conséquences de l'accident de Fukushima sur l'environnement terrestre et doses associées

Philippe Renaud



Les radionucléides de période courte ont pratiquement disparus en 3 mois entrainant une diminution d'un facteur 10 du débit de dose dans l'air

et une contamination des denrées

liées aux seuls césium 134 et 137

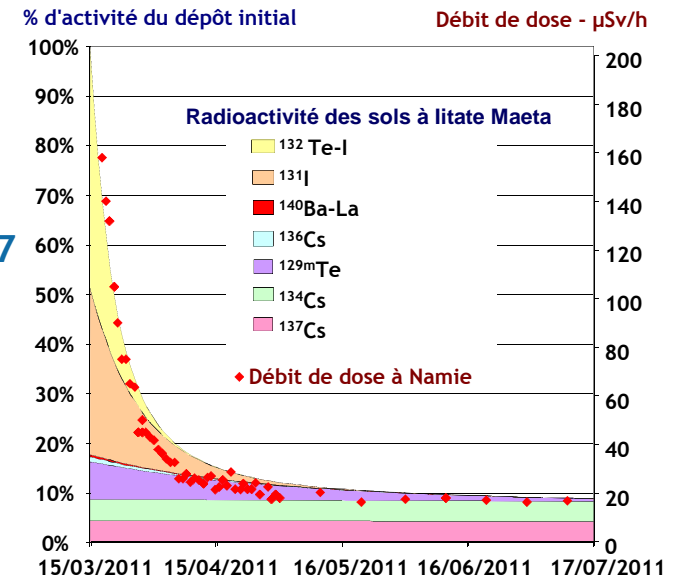
avec une relation initiale :

1 000 000 Bq/m² (de césium)

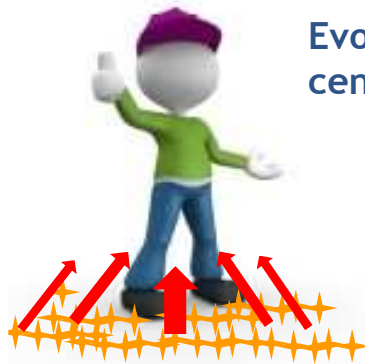


2 à 4 µSv/h

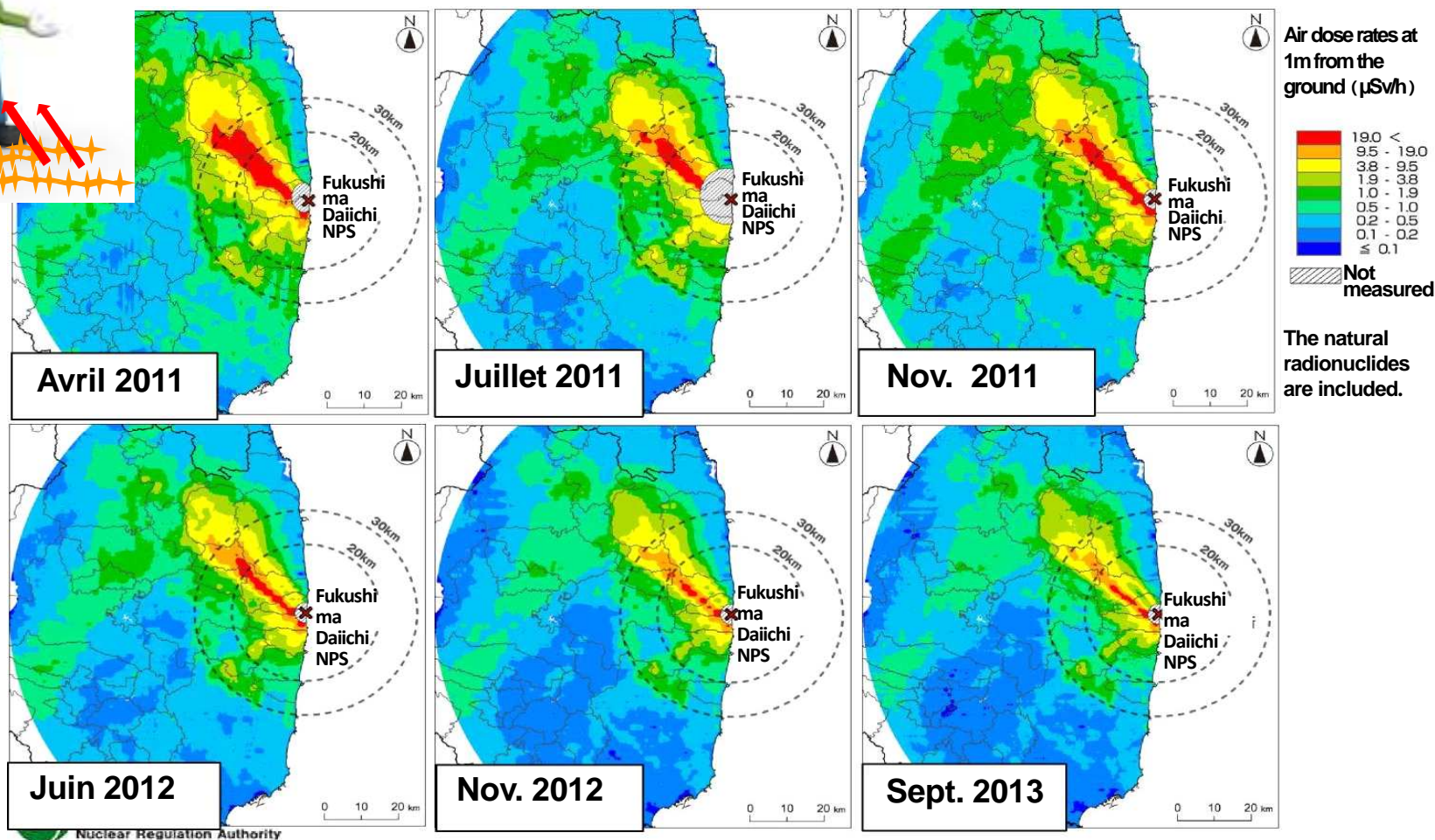
(dans l'air à 1 m au-dessus du sol)



Evolution du débit de dose dans l'air au fil des mois



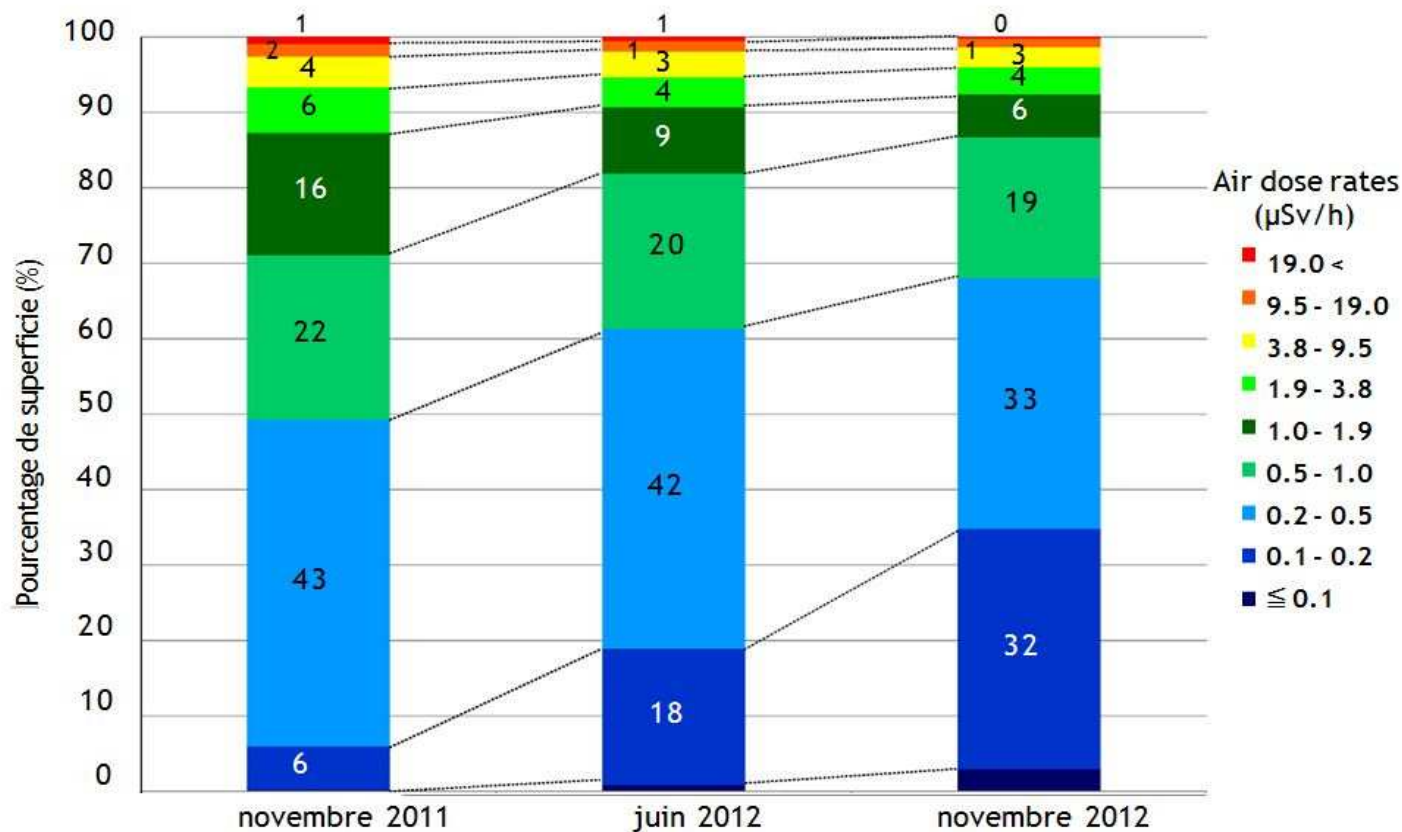
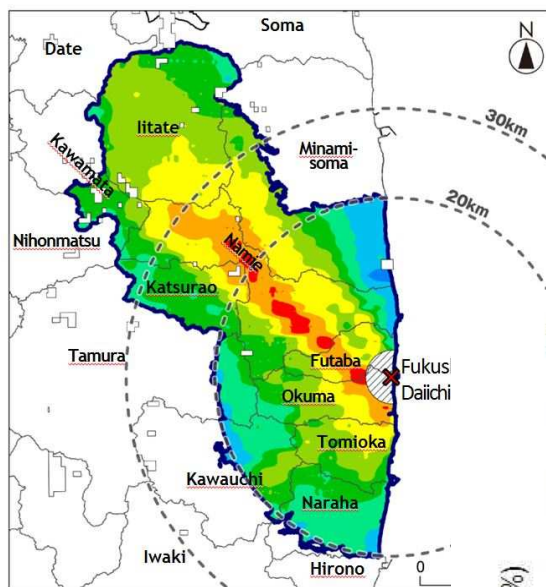
Evolution du débit de dose dans l'air à 1m au-dessus du sol dans les 80km autour de la centrale de Fukushima, vue au travers de 6 des 9 campagnes de mesures aéroportées



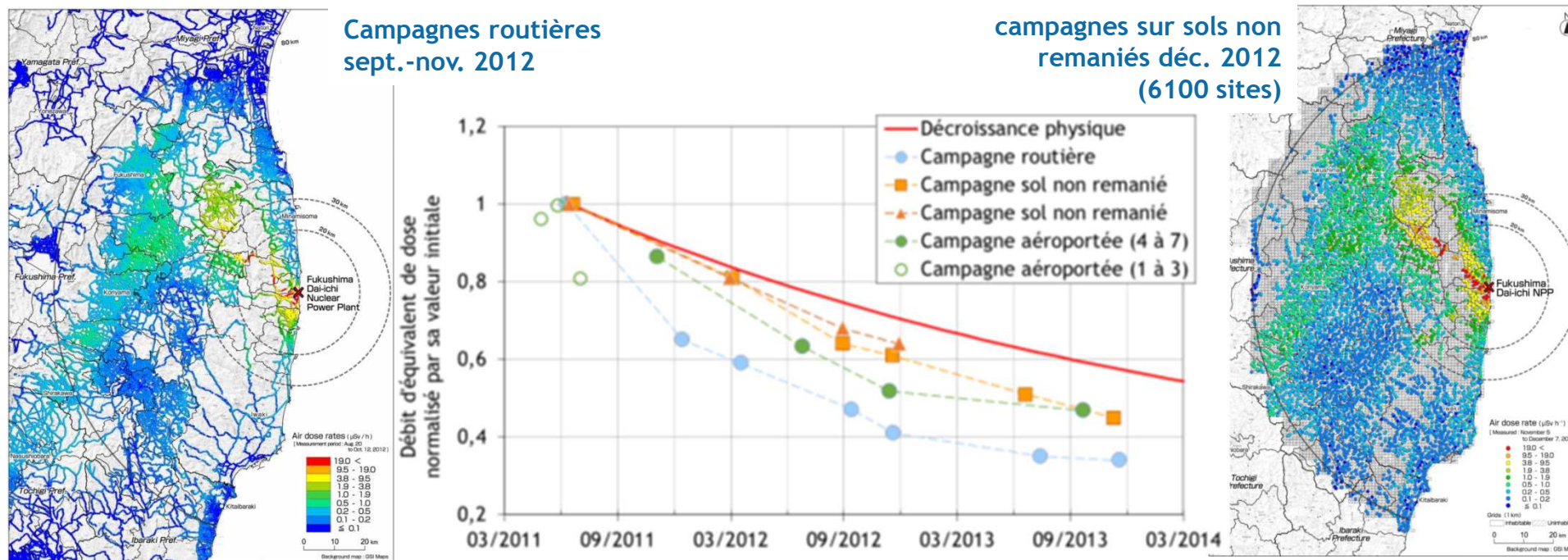
Le débit de dose dans l'air diminue plus vite que la décroissance radioactive

Evolution du débit de dose dans l'air au fil des mois

Evolution des surfaces concernées dans les zones évacuées



Evolution du débit de dose dans l'air au fil des mois



Diminution d'un facteur 2 à 3 entre mi-2011 et fin 2013 (dans les 80 km autour de l'installation accidentée)

- soutenue durant les deux premières années (-40% entre nov. 2011 et nov. 2012 vu par aéroporté)
- ralentie en 2013, (proche de l'évolution théorique liée à la décroissance du ^{134}Cs)

Le débit de dose de diminue pas à la même vitesse dans les différents milieux

La diminution observée résulte du déplacement du césium :

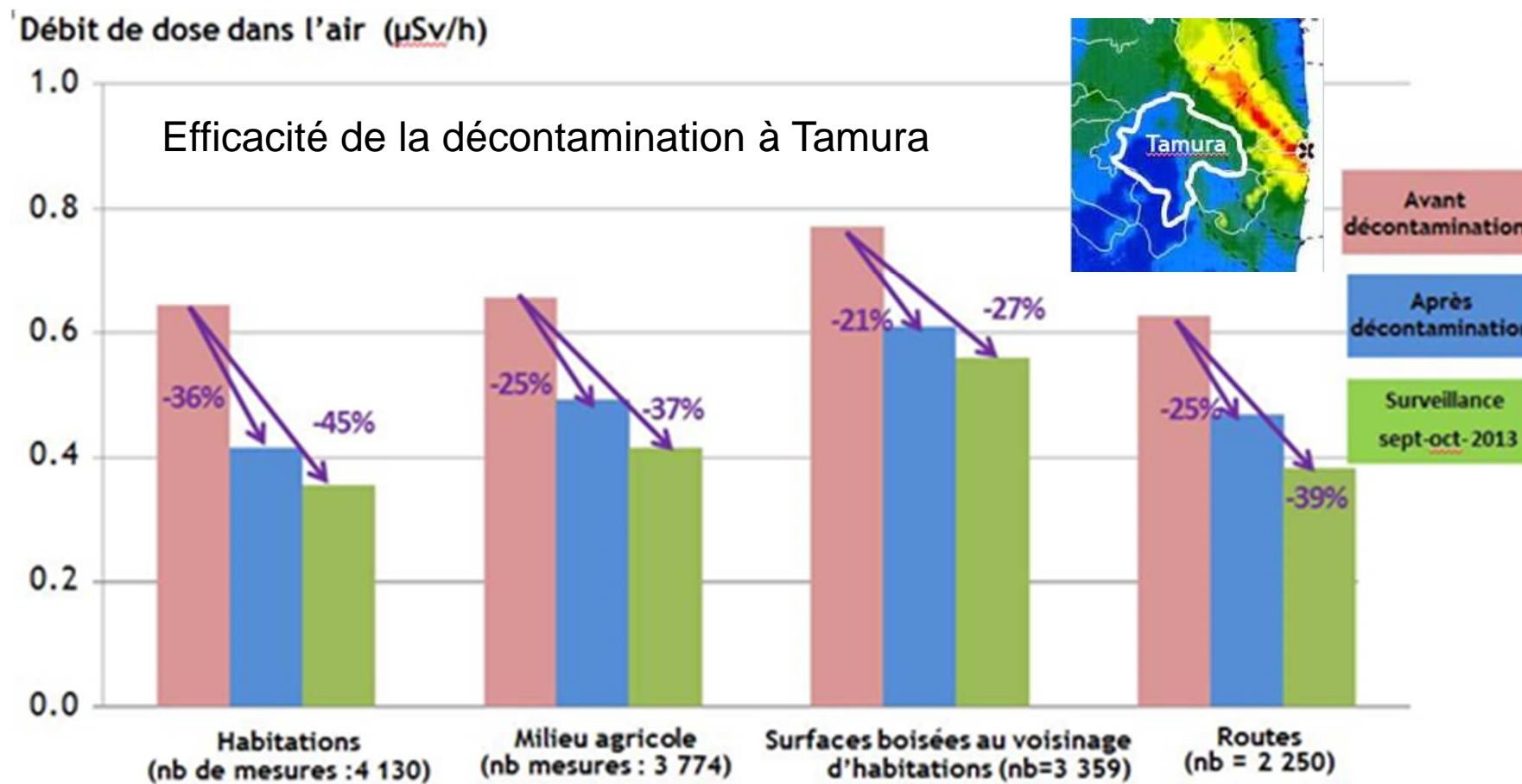
- chute des feuilles (biais de mesure), migration vers la profondeur, labours, lessivage des surfaces artificielle, drainage vers le milieu aquatique...
- Opérations de décontamination

Efficacité de la décontamination

Efficacité variable suivant type d'environnement et le DdD initial : plus le DdD initial est élevé plus la décontamination est efficace

Taux de réduction moyens du DdD : 20 à 50%

Taux de réduction contamination (activités surfaciques) : 50 à 70% par lavage/brossage des surfaces artificielles ; 80 à 90% par enlèvement de la couche



Dose dans l'air extérieur vs Doses externes efficaces individuelles

❑ Le débit de dose à l'intérieur des habitations est plus faible qu'à l'extérieur

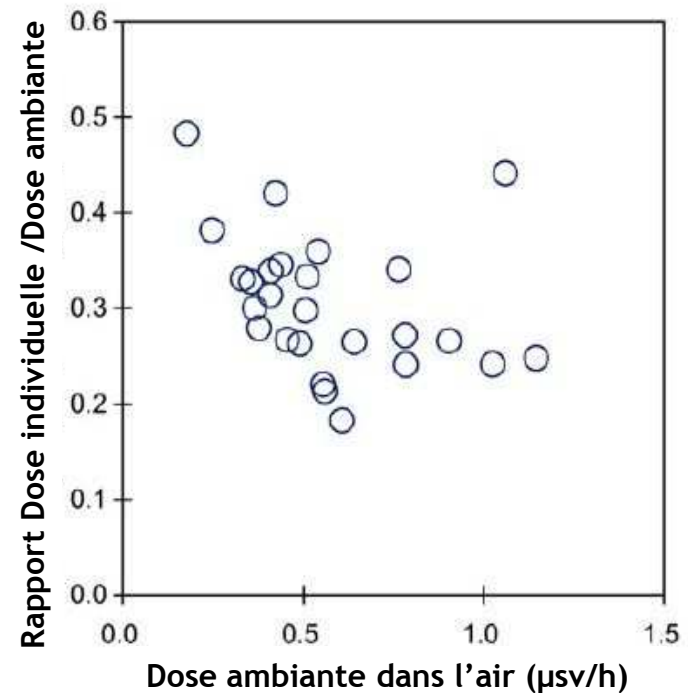
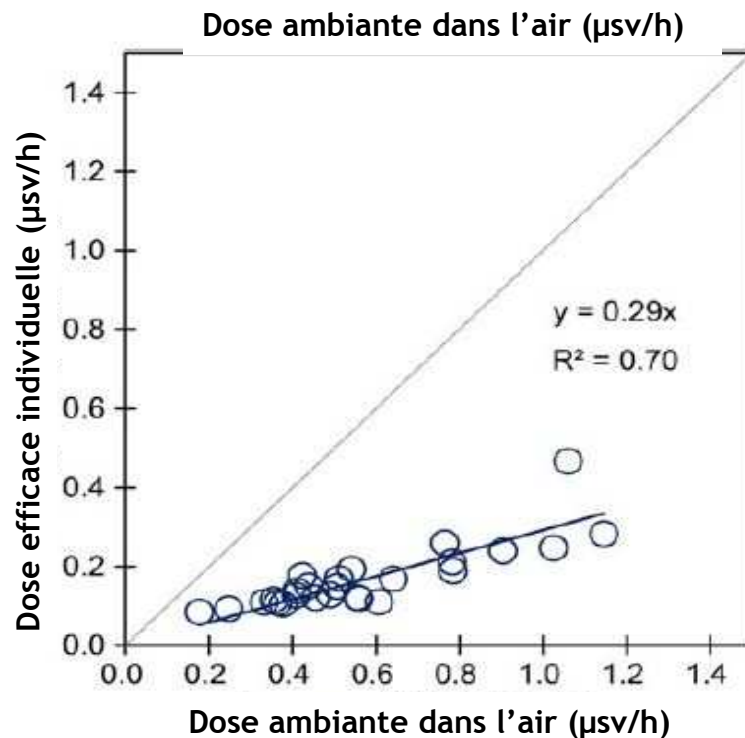
❑ Par approche calculatoire (facteurs de protection et 16h à l'intérieur)

Dose efficace « théoriques » individuelle = $\frac{1}{2}$ Dose mesurée à l'extérieur

(Utilisation opérationnelle d'un débit de dose dans l'air extérieur de $0,23 \mu\text{Sv/h}$ pour respecter un objectif de 1 mSv/an)

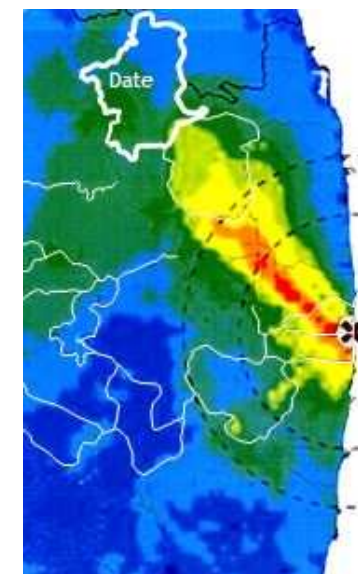
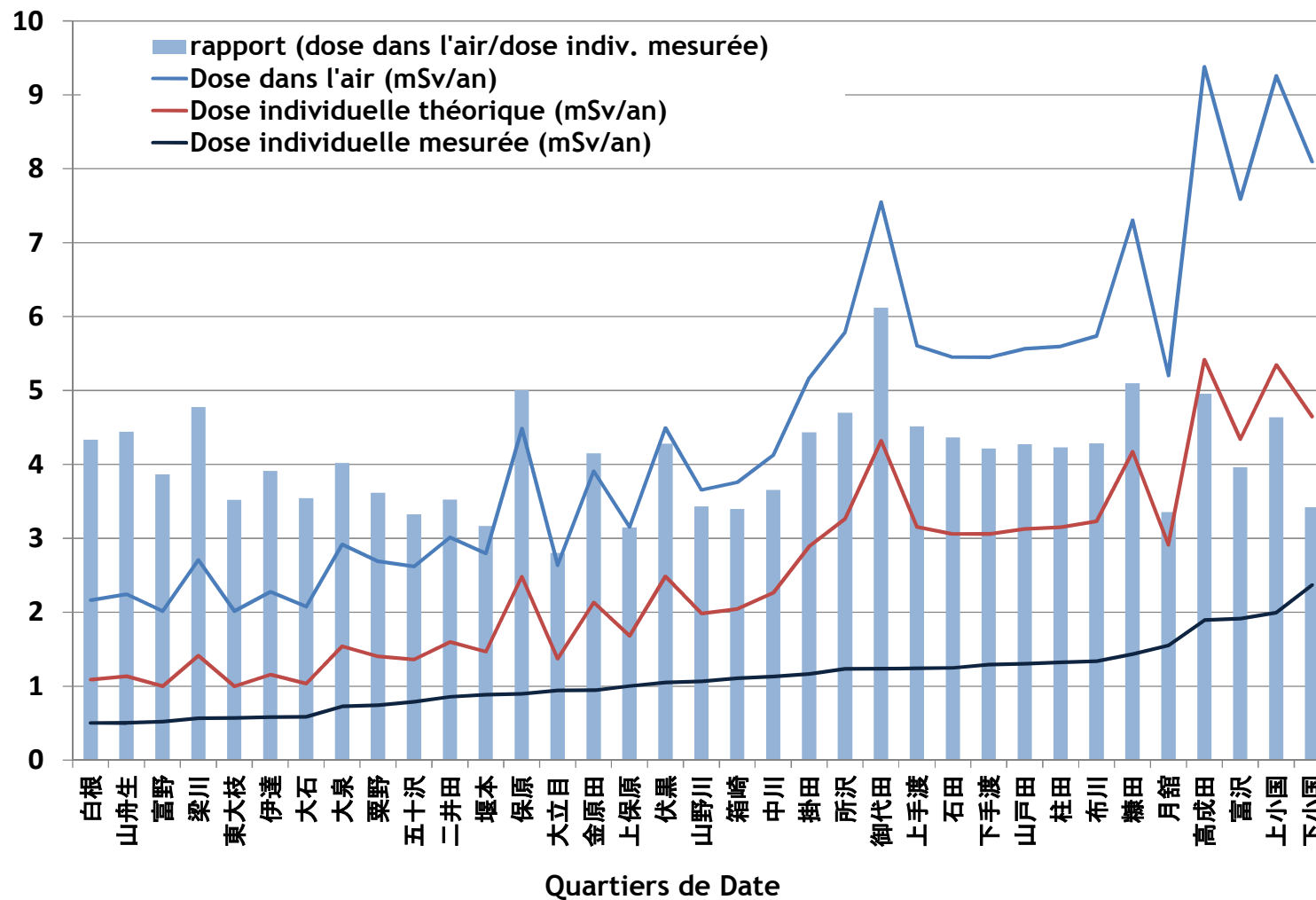
❑ En moyenne sur la base des mesures individuelles, :

Dose efficace individuelle = $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$ Dose mesurée à l'extérieur



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



Éléments déterminant la contamination des denrées agricoles et d'élevage après un dépôt radioactif accidentel

Les productions agricoles les plus contaminées après un dépôt radioactif accidentel sont celles qui sont en cours de culture et dont la récolte est imminente (quelques jours à quelques semaines suivant le type de production)

Il faut des feuilles pour intercepter les dépôts et un stade de développement minimum pour que le radionucléide soit transféré des feuilles vers la partie consommée (fruit, grain, racine...). Ce stade est atteint entre mi-printemps et l'été pour la plupart des cultures). Même dans ce cas, seule une petite partie est transférée.

Les légumes dont on consomme les feuilles (salades, épinards, poireaux...) en cours de production au moment des dépôts sont donc les denrées agricoles potentiellement les plus contaminées.

Leur croissance entraîne une diminution très rapide de leur activité massique (dilution)

Le transfert racinaire est très faible, voire négligeable au regard du transfert foliaire, mais il va perdurer des années en diminuant lentement, mais plus rapidement que par décroissance radioactive

La contamination des produits de l'élevage est directement liée à celle de leur nourriture

Le contexte agro-climatique de mars 2011 au Japon

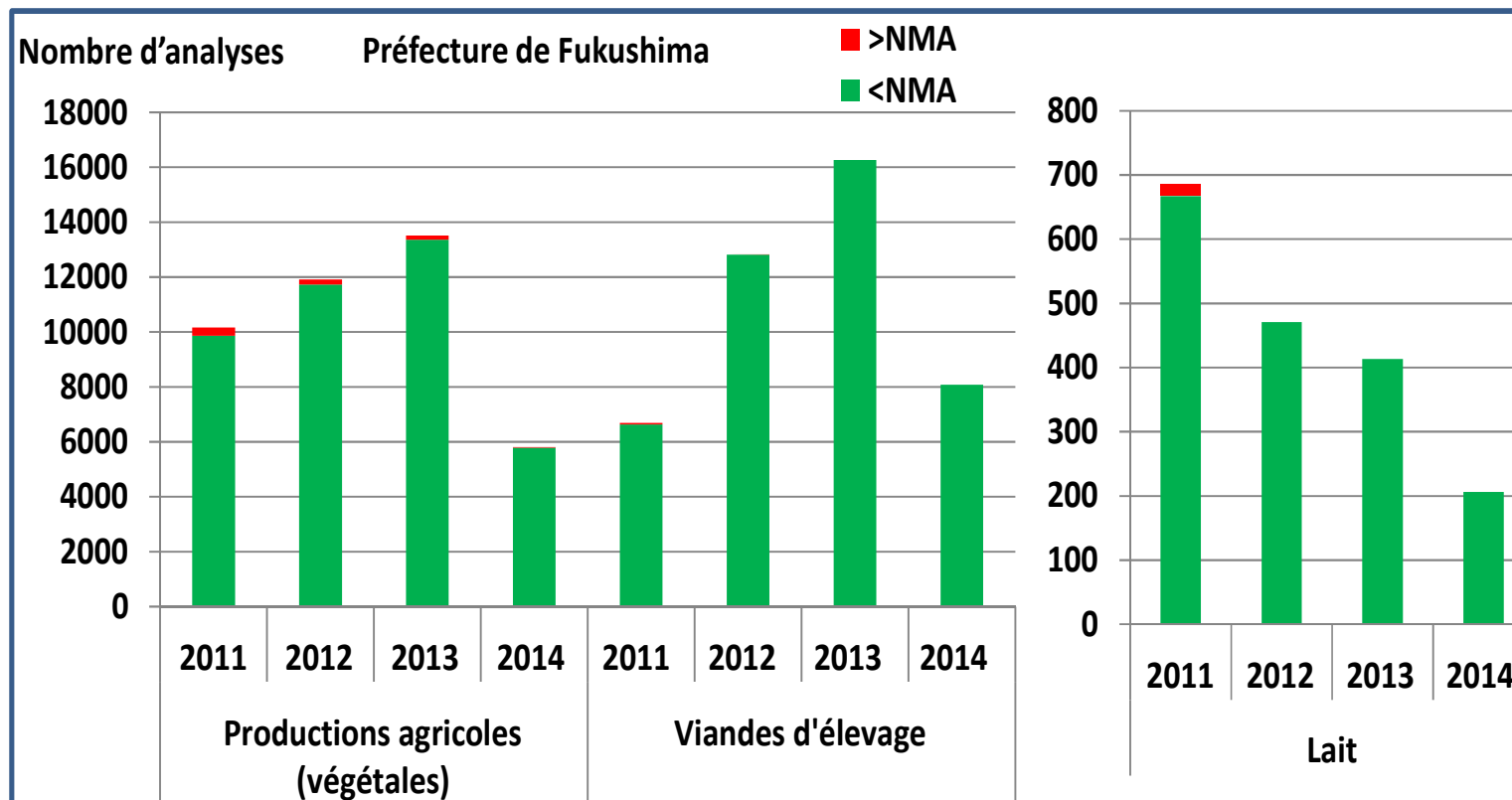
- **Fin d'hiver** en zone tempérée ; pluie et neige lors des dépôts radioactifs
- Les **cultures maraichères** (légumes et fraises) sont les seules en cours de production, notamment sous serres
 - A quelques rares exceptions, les **arbres fruitiers** n'ont ni feuilles, ni fleurs
 - Certaines **céréales** sont en places mais sont loin de la floraison (en mai)
- Quelques **végétaux semi-naturels et arbustes** à l'origine de denrées spécifiques ont des feuilles (bambous, théiers, aralia...)
- La pratique d'alimentation des **animaux d'élevage** la plus courante est basée sur l'importation de fourrage

La vallée de Kawamata en début mars



En mars 2011, les légumes-feuilles, notamment les épinards, sont de loin les denrées les plus contaminées

Contamination des denrées agricoles et d'élevage produits dans la Préfecture de Fukushima



Nombre d'analyses d'échantillons de denrées produites dans la Préfecture de Fukushima et supérieures (respectivement inférieures) aux normes de commercialisation (NMA) : 2000 Bq/kg pour l'iode 131 , 500 Bq/kg jusqu'en mars 2012, puis 100 Bq/kg pour les césiums 134+137.

En raison de la date hivernale de l'accident et de la maîtrise des fourrages, même en 2011 et sur la Préfecture de Fukushima, les denrées agricoles et d'élevage sont restées très majoritairement en dessous des normes de commercialisation (Normes Maximale Admissibles = NMA)

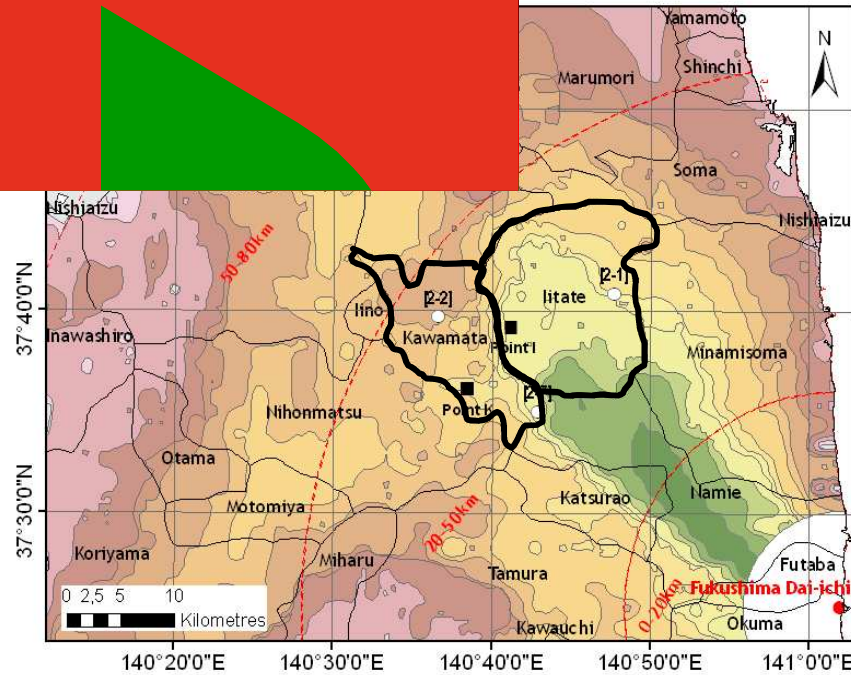
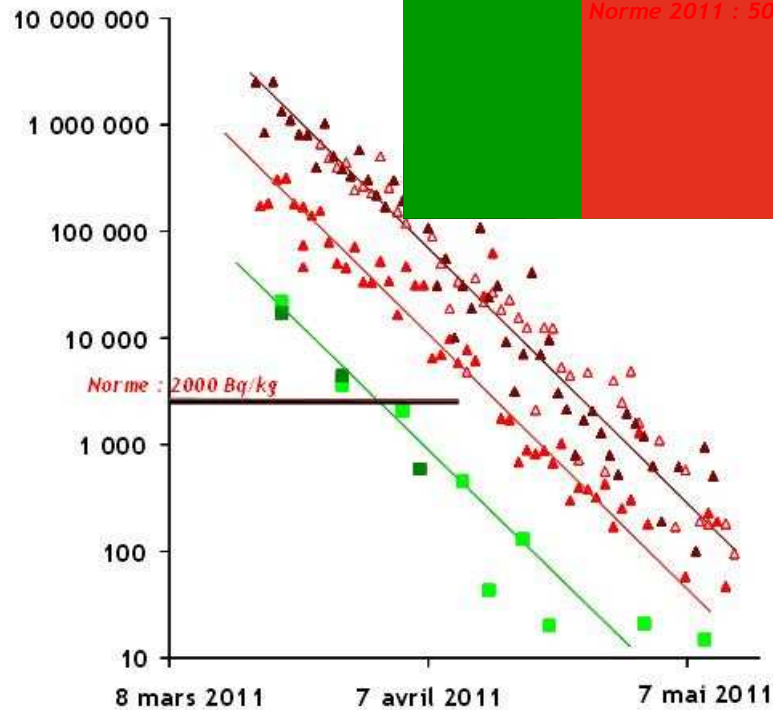
Contamination en césium (134+137) des herbages et des légumes-feuilles

Bq/kg césium 134+137

Activités diminuées d'un facteur 100 à 1000 en 3 mois pour le césium et disparition de l'iode 131 au-delà de Mai 2011

- Légumes-feuilles à Kawamata
- Légumes-feuilles à Iitate
- Mauvaise herbes à Kawamata centre
- Mauvaise herbes à Kawamata Sud
- Mauvaise herbes à Iitate

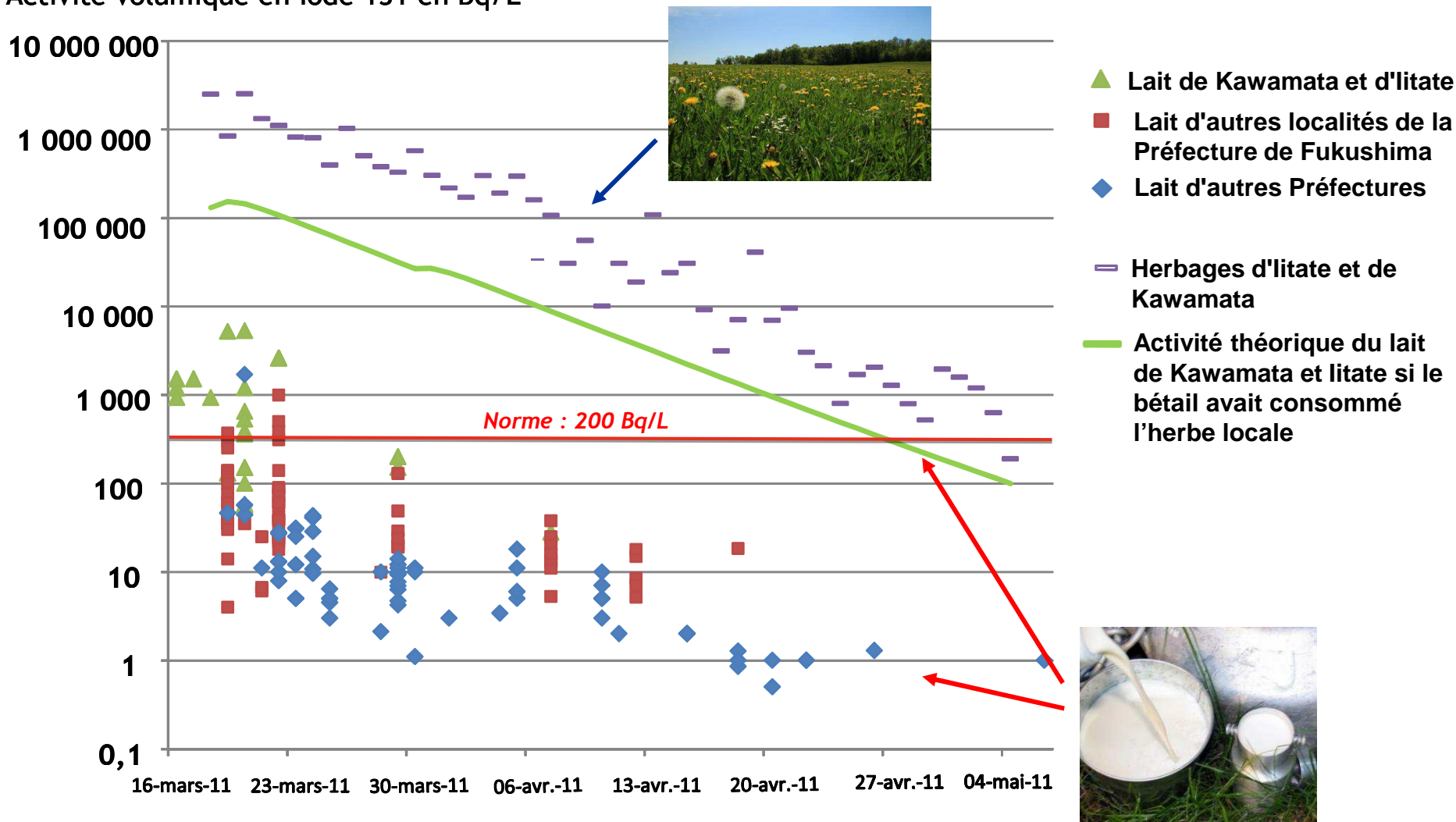
Bq/kg Iode 131



Le contexte japonais concernant l'élevage

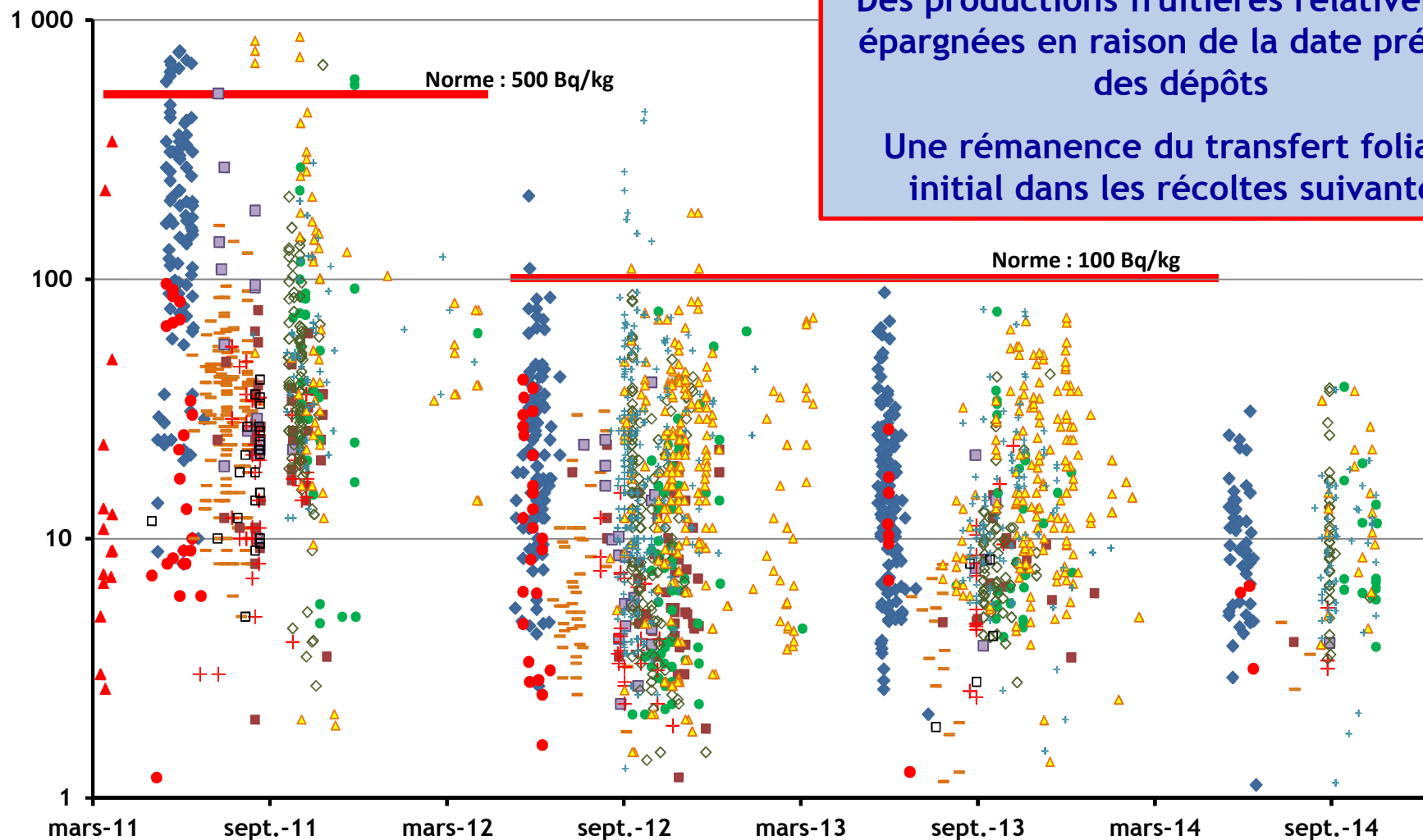
→ Une contamination très modérée en raison de la pratique courante d'importation des fourrages

Activité volumique en iode 131 en Bq/L



Evolution 2011-2014 de la contamination des fruits japonais

Bq/kg frais de césium 134+137



Des productions fruitières relativement épargnées en raison de la date précoce des dépôts

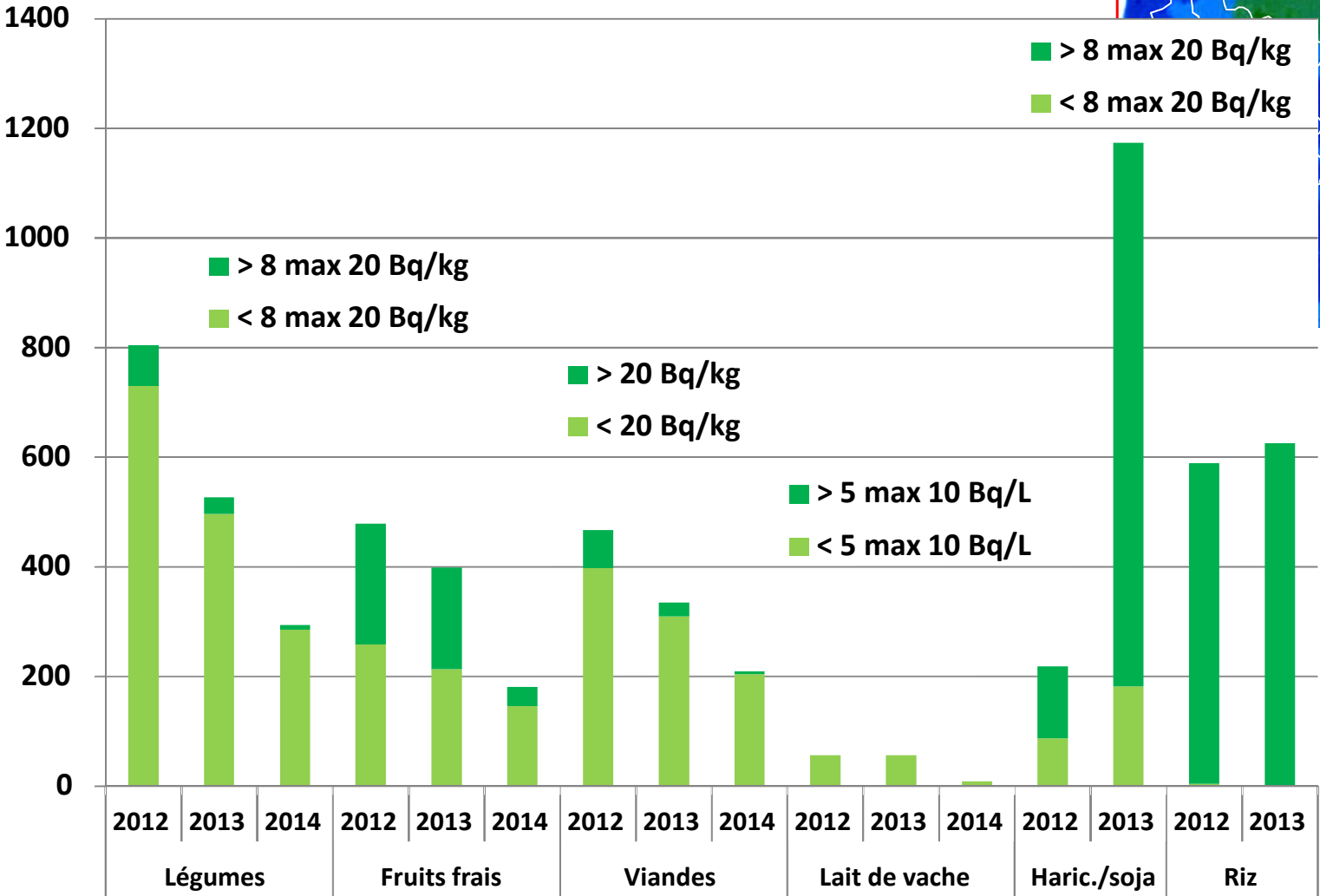
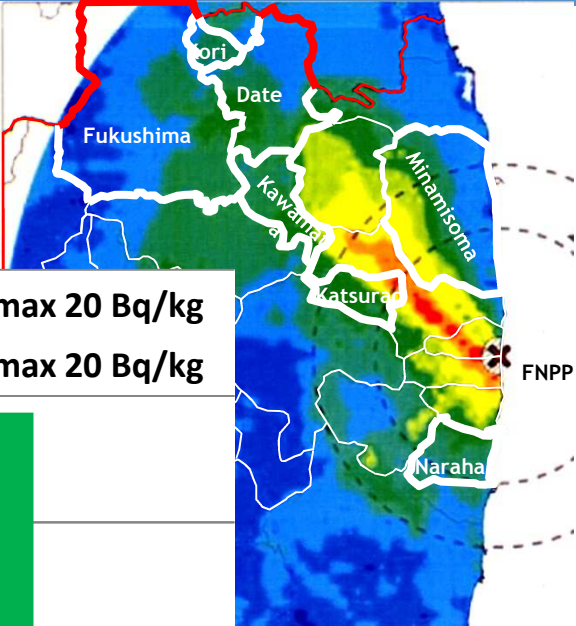
Une rémanence du transfert foliaire initial dans les récoltes suivantes

- ▲ Fraises
- Pêches
- Kiwis
- Raisin
- ◆ abricots japonais
- Pommes
- + Poires
- ▲ Agrumes divers
- Cerises
- Figues
- ◇ Kakis
- + Fruits secs (chataignes, noix..)

Evolution 2012-2014 dans les communes les plus touchées non-évacuées

Les légumes, le lait et la viandes se situent majoritairement en deçà des seuils de mesure indiqués

Les légumineuses (soja notamment) et le riz sont majoritairement au-dessus des seuils indiqués (mais <NMA de 100 Bq/kg)

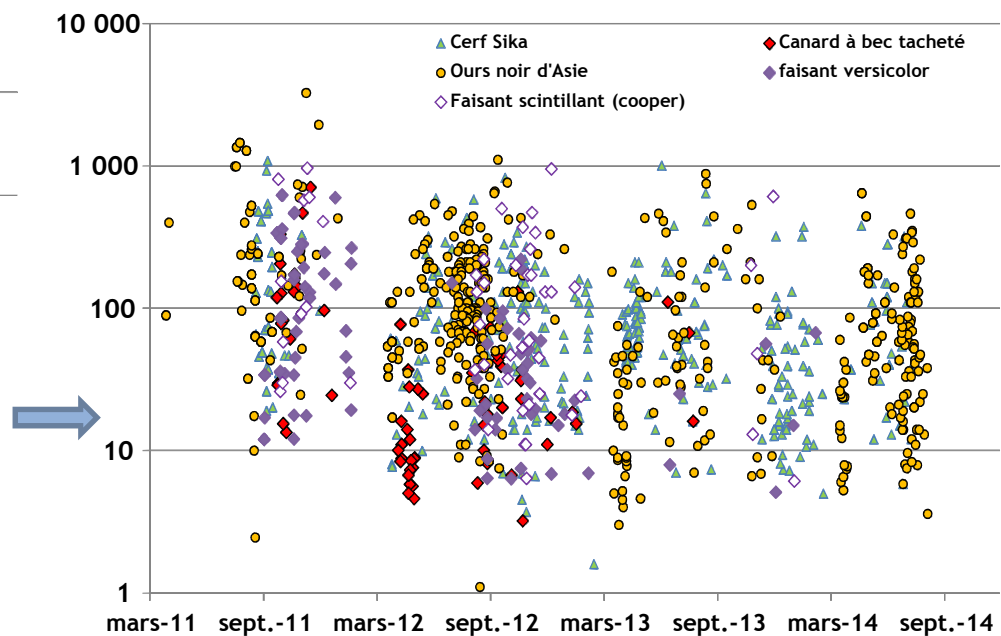
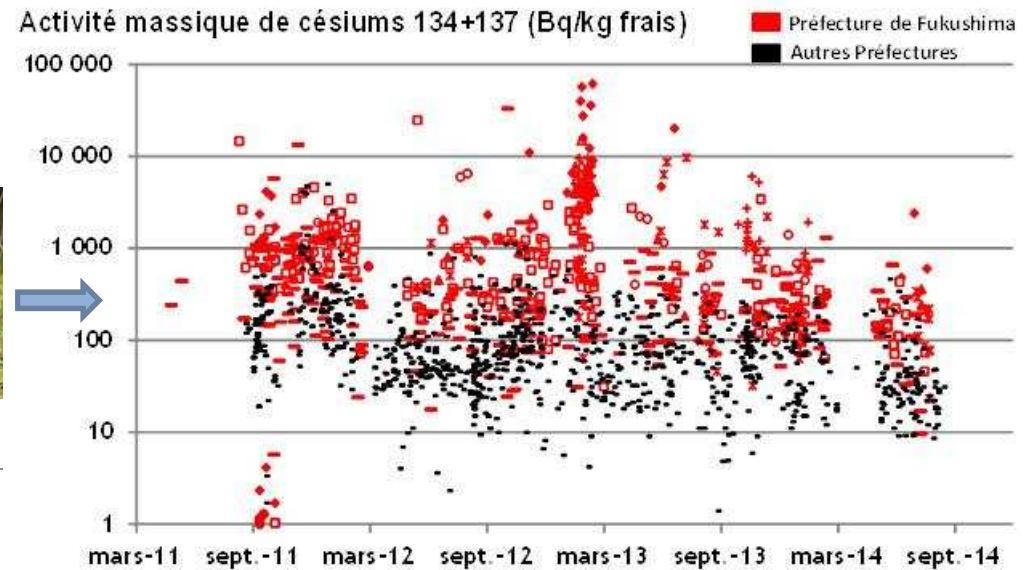
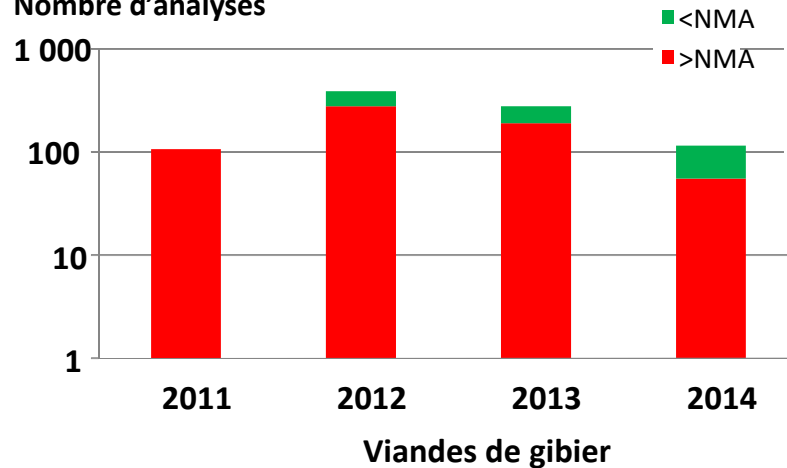


Contamination de la viande de gibier japonais

Des activités de césium encore très élevées dépassant les NMA

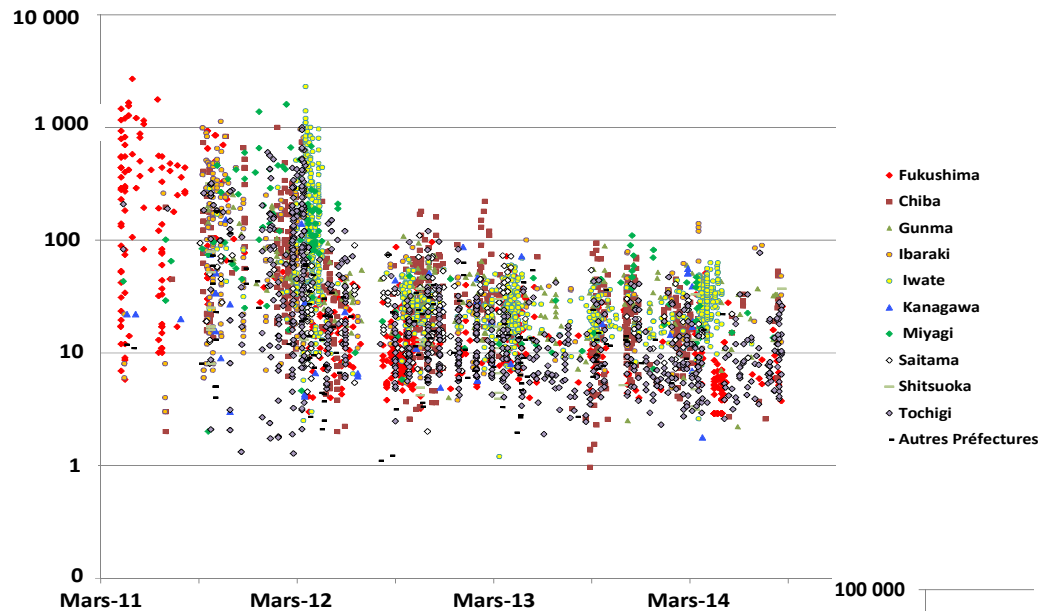


Préfecture de Fukushima
Nombre d'analyses



Contamination des champignons et plantes sauvages

Activités massiques en césiums 134+137 (Bq/kg frais)



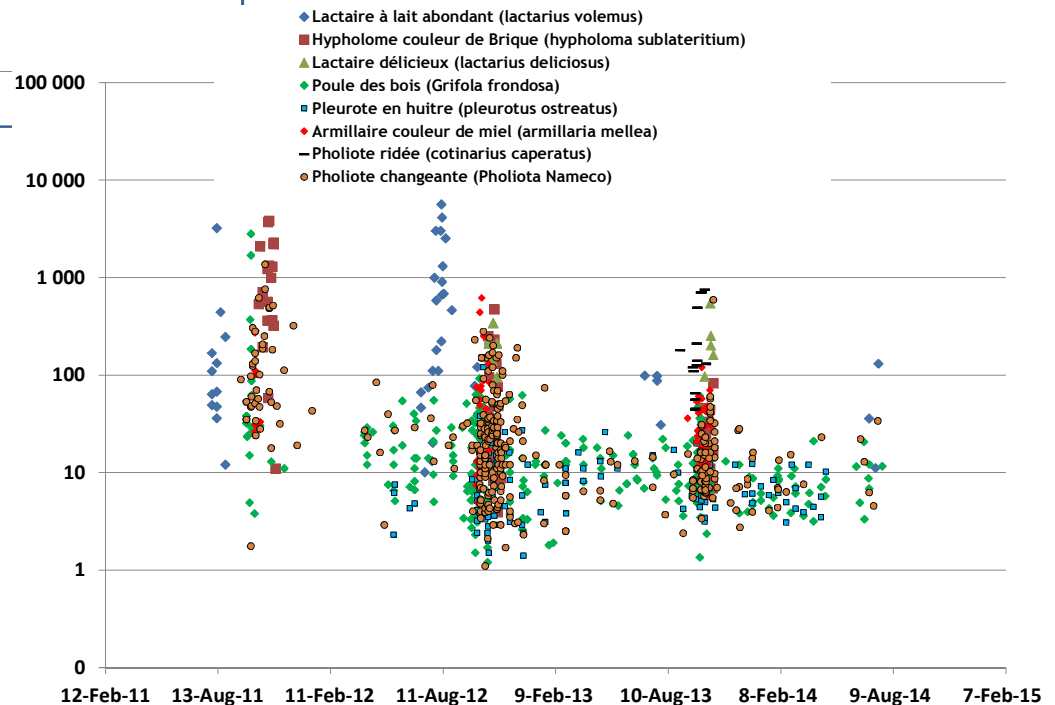
Des activités de césium des champignons de culture (Shiitake) en dessous des NMA grâce à des actions spécifiques

Forte variabilité interspécifique et persistance dans le temps d'activités élevées des champignons et des plantes sauvages

Quelques espèces sensibles de champignons sauvages dépassant les NMA, y compris hors de la Préfecture de Fukushima



Idem pour les pousses de plantes sauvages (pousses d'aralia, de Koshiabura, crosses de fougère...)



Evolution de la contamination des denrées

$^{137+134}\text{Cs}$ (Bq/kg frais)¹ dans les denrées produites sur les zones les plus touchées non évacuées

	Légumes feuilles <i>ponct . : Sanglier</i> <i>très ponct . : Bœuf</i>	<i>ponct . : Sanglier</i>	<i>ponct . : Sanglier</i>	
10 000	Sanglier <i>ponct . Autre gibier</i> <i>Champignons</i> <i>Bœuf</i> <i>Pousses Bambou</i>	Sanglier <i>ponct . Champignons</i>	Sanglier	<i>ponct . : Sanglier</i>
1 000	Autre gibier Champignons <i>Quelques fruits²</i> <i>ponct . Lait, viandes</i> <i>prod . végét .</i>	Autre gibier Champignons <i>ponct . : Riz, soja ³...</i> <i>Pousses bambou</i>	Autre gibier Champignons sensibles <i>ponct . : Riz, soja ³...</i> <i>très ponct . Pousses bambou</i>	Gibier Champignons sensibles
100	Lait, viandes, Productions végétales	Fruits, Bœuf <i>Pousses bambou</i> <i>Lég . potagers</i>	Champignons, Fruits <i>Pousses de bambou</i> <i>Riz, soja ³...</i> <i>Ponct . Bœuf, lég . potagers</i>	Champignons <i>Pousses de bambou</i> <i>Ponct . Quelques Fruits ¹,</i> <i>Riz, soja ³...</i>
10		Lait, Autres viandes, Blé, orge, Leg potagers	Lait, Autres viandes, Blé, orge, Leg potagers	Lait, Viandes, Productions végétales
	2011	2012	2013	2014

1 : produits frais, non séchés, non transformés

3 : et autres légumineuses : sarrasin, haricots rouges...

2 : Abricots, kiwis, kakis, fruits secs (noix, Chataignes...)

Dose équivalente à la thyroïde pour les personnes non évacuées

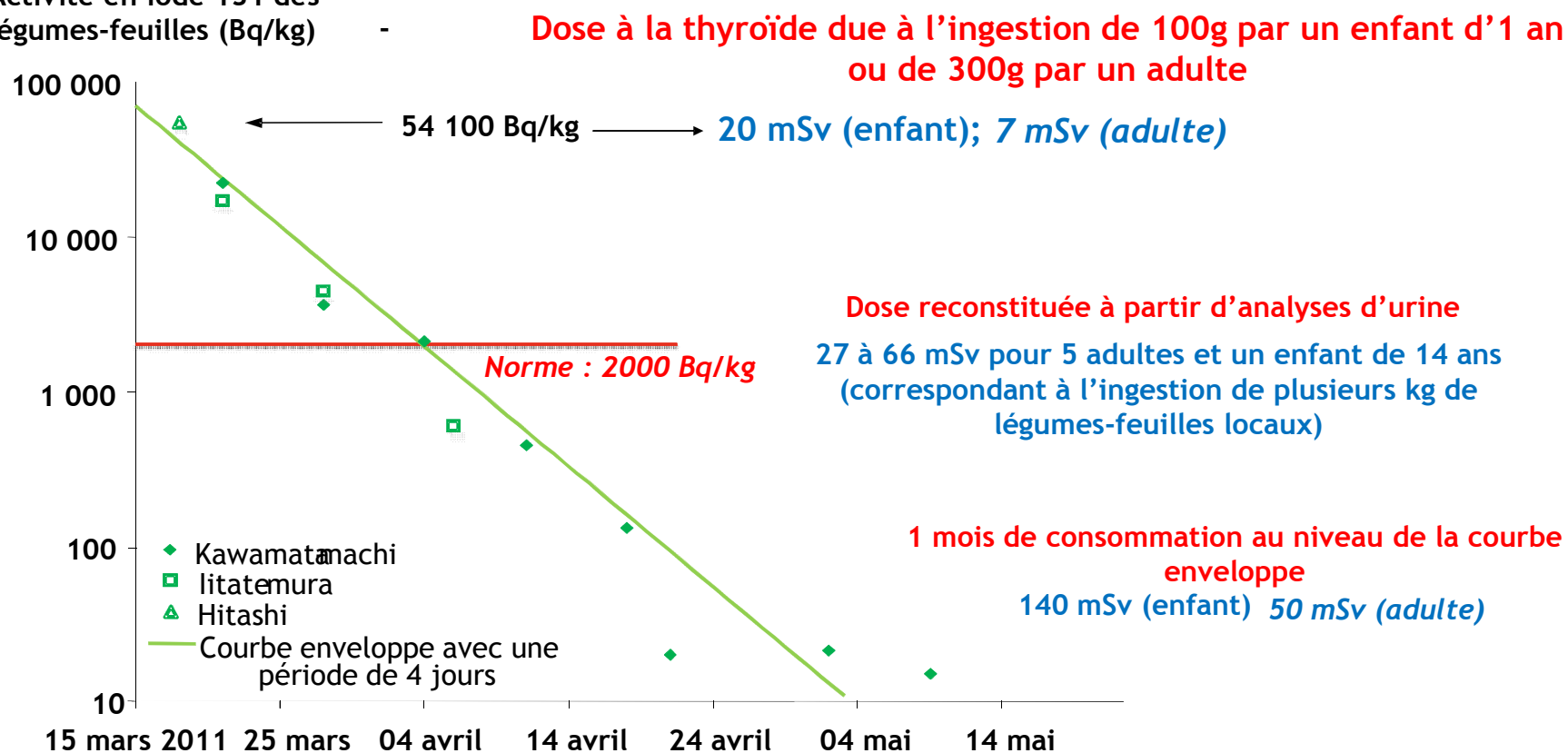
Estimations de l'UNSCEAR : adulte : 8 - 17 mSv ; enfant de 1 an : 33 - 52 mSv

Pour les plus élevées, 50% par ingestion

Les mesures de charge thyroïdiennes montrent des doses 3 à 5 fois plus faibles

Des doses vite atteintes par ingestion...

Activité en iode 131 des légumes-feuilles (Bq/kg)

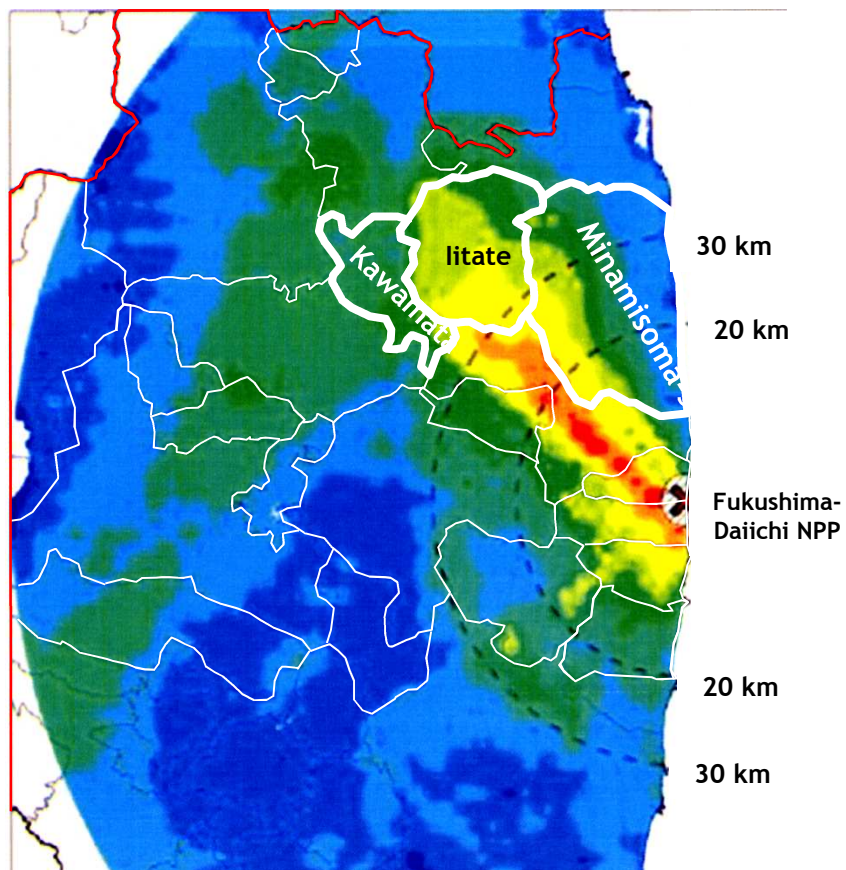


Estimation de doses efficaces potentielles par ingestion de denrées

Pour des adultes résidant sur les communes surlignées (parmi les plus touchées non évacuées), qui auraient consommé exclusivement des denrées locales dans le respect des interdictions de consommation ; sur la base de rations japonaises

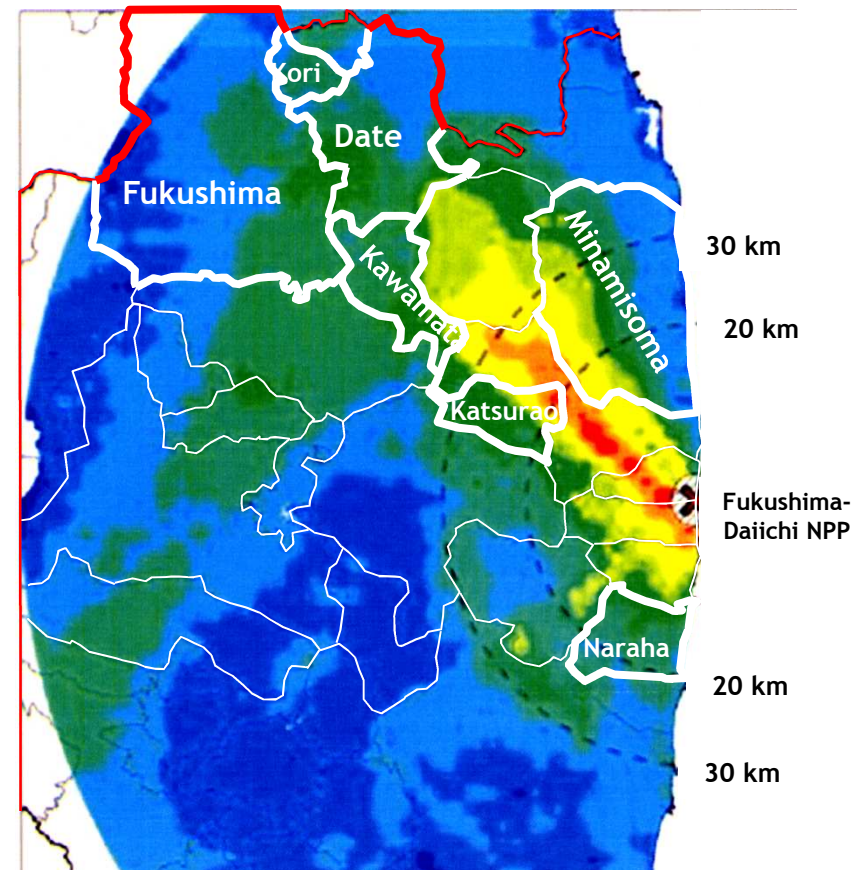
Dose efficace pour la période Mai-Décembre 2011

0,6 mSv



Dose efficaces 2013

0,3 mSv



Résultats des mesures anthroporadiométriques

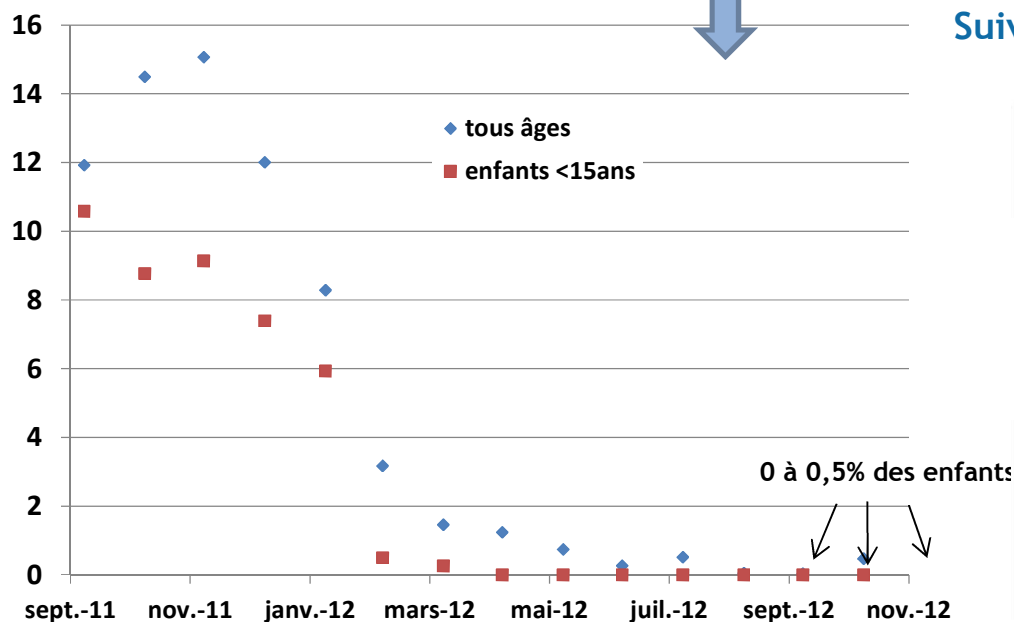
	nombre de résultats
< 1 mSv*	106 070
1- 2 mSv	14
2- 3 mSv	10
> 3 mSv	2
Total	106 096

Résultats de mesures de charges corporelles en césium réalisées sur plus de 100 000 personnes entre juin 2011 et décembre 2012

* 1 mSv = 30 000 Bq de charge corporelle (adulte) = 400 - 450 Bq/kg

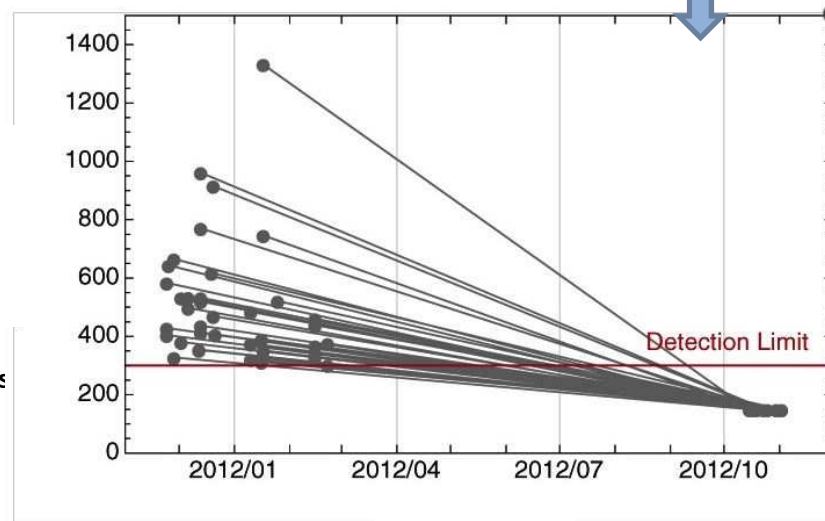
Résultats de mesures de charge corporelle en césium réalisées entre octobre 2011 et novembre 2012 sur 32 811 personnes dont 19 530 enfants de moins de 15 ans ; valeur maximale estimée : 1,1 mSv

% dépassant 300 Bq/personne*



Suivi effectué pour 40 enfants ayant dépassé 300 Bq

Charge corporelle de césium (Bq/personne)



*300 Bq de charge corporelle ~ 21 µSv/an pour enfant de 10 ans, ~ 13 µSv/an (15 ans), ~ 10 µSv/an (adulte)



Merci pour votre attention