

RISQUES LIÉS À L'IRRADIATION EXTERNE SUR LE TERRITOIRE JAPONAIS SUITE AUX RETOMBÉES DE LA CATASTROPHE DE FUKUSHIMA EN MARS 2011

Cartes officielles de contamination des sols au Japon par les retombées radioactives / comment les interpréter ? / Quels sont les niveaux de radiation résiduels ?

Objectif de l'article

De nombreux citoyens français ou japonais interrogent la CRIIRAD sur les risques qu'il y a, en 2012, à vivre ou à séjourner dans tel ou tel secteur du territoire japonais du fait de la contamination durable de l'environnement par les retombées consécutives à la catastrophe nucléaire de Fukushima en mars 2011.

Il faut rappeler en premier lieu que ces installations continuent à rejeter des substances radioactives dans l'atmosphère (heureusement à un niveau qui n'a pour l'instant aucune commune mesure avec les rejets massifs de mars 2011), mais surtout, personne ne peut garantir qu'une nouvelle catastrophe ne puisse survenir compte tenu, par exemple, des difficultés qu'a TEPCO à refroidir correctement les réacteurs et de la fragilisation des bâtiments (en particulier les piscines d'entreposage des combustibles usés hautement radioactifs ..).

Si l'on s'en tient uniquement à la question des doses liées aux retombées de mars 2011, il faut rappeler que le fait de vivre sur un territoire contaminé entraîne une exposition aux radiations ionisantes par de multiples processus ou « voies d'exposition ». Pour évaluer les risques pour la santé, il faut calculer les doses de radiation provenant de toutes les « voies d'exposition ».

Il faut tenir compte en particulier de :

- l'irradiation externe par les radionucléides présents dans l'air ambiant, ce qui suppose de connaître leur concentration dans l'air exprimée en Becquerels par mètre cube.
- l'irradiation externe induite par les dépôts de substances radioactives sur les surfaces (toitures, sols). Cette contamination peut être exprimée en Becquerels par mètre carré (Bq/m²) ou en Becquerels par kilogramme de sol (Bq/kg).
- l'irradiation interne par inhalation d'air contaminé, qu'il s'agisse des masses d'air contaminé en provenance directe de la centrale nucléaire accidentée ou, à plus long terme, de la remise en suspension des poussières radioactives déposées sur les sols ou la végétation. Cette remise

en suspension peut intervenir lors de travaux (chantiers, labours), d'incendies, d'opérations de brûlage ou d'incinération, ou du fait de phénomènes naturels (vents, typhons, embruns en bord de mer).

- l'irradiation interne par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés, etc..

Pour chacune de ces voies d'exposition, on peut calculer la dose subie pendant une durée donnée ou pour une situation donnée. Mais pour faire une estimation complète, il faut disposer d'une masse très importante de données scientifiques.

Dans ce numéro du Trait d'Union nous allons donner des éléments permettant d'estimer **uniquement l'exposition externe** induite par les retombées au sol à partir des dépôts exprimés en Bq/m².

De nombreuses personnes ayant fait part également de leur difficulté à comprendre les données techniques et les unités (Becquerel, Sievert, etc..), cet article reprend quelques notions de base en physique nucléaire et radioprotection. Ces notions, traitées dans la partie 1, peuvent être utiles à tous nos adhérents même s'ils ne sont pas directement concernés par la situation au Japon.

PARTIE 1 : RAPPEL DE NOTIONS DE BASE

Les Becquerels

La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a rejeté dans l'atmosphère (et dans le milieu marin) des quantités colossales de substances radioactives.

Quelle que soit la substance considérée, la quantité de matière radioactive se mesure en Becquerels.

Un Becquerel (1 Bq) correspond à une désintégration d'atome radioactif par seconde.

Pour chaque substance radioactive, il existe une correspondance entre la quantité en grammes de cette substance et le nombre de Becquerels. Cette correspondance dépend de la probabilité qu'a cette substance radioactive de se désintégrer pendant un laps de temps donné.

On appelle **période physique** d'un élément radioactif le temps qu'il faut pour que la moitié des atomes radioactifs se soit désintégrée. Plus la période physique est courte, plus la probabilité de désintégration est élevée et moins il faut d'atomes (donc de masse de matière) pour un même nombre de becquerels.

Comme indiqué dans le tableau T1 ci-dessous un microgramme de césium 137, de période physique égale à 30 ans, correspond à 3,2 millions de becquerels. Pour l'iode 131, de période physique beaucoup plus courte (8 jours), un microgramme de matière représente 4,6 milliards de becquerels.

T1 / correspondance entre masse et nombre de becquerels

Radionucléide	Période	Bq/µg (Becquerels par microgramme)
Césium 137	30 ans	3,2 millions
Césium 134	2,1 ans	47,9 millions
Iode 131	8 jours	4,6 milliards

Ces chiffres permettent de comprendre pourquoi la non maîtrise des rejets sur un réacteur nucléaire pose autant de problèmes. De très faibles niveaux de contamination (exprimés en grammes) peuvent en effet correspondre à des taux de radiation très importants.

Les rayonnements ionisants

Lorsqu'un atome radioactif se désintègre, il émet des rayonnements invisibles mais très puissants que l'on appelle rayonnements ionisants. Il peut s'agir de particules (alpha, bêta, etc.) ou de radiations (X, gamma, etc.). Le césium 137, le césium 134 et l'iode 131, par exemple, émettent en se désintégrant des rayonnements **bêta** (électrons) et des rayonnements **gamma** (ondes électromagnétiques).

Si l'on a devant soit un kilogramme de terre contaminée par 100 Becquerels de **césium 137** (100 Bq/kg), cela signifie qu'à chaque seconde, au sein de ce kilogramme de terre, 100 atomes de césium 137 se désintègrent. Il y a donc,

à chaque seconde, émission de 100 particules bêta car l'émission de particules bêta est le mode de désintégration principal du césium 137. En outre, le nouvel atome créé (baryum 137m) évacue son trop plein d'énergie sous forme de rayonnements gamma dont l'énergie et la probabilité d'émission est caractéristique de chaque substance radioactive. Dans le cas du césium 137, la désintégration (transformation en baryum 137 stable) s'accompagne de l'émission de 85 rayonnements gamma, en moyenne. L'énergie de chacun de ces rayonnements gamma est de 661,7 keV (661 700 électrons-volts).

Avec 100 Becquerels de **césium 134**, il y a émission, à chaque seconde, de 100 particules bêta et de divers types de rayonnements gamma. Il s'agit en moyenne de 97,6 rayonnements gamma d'énergie 604,7 keV ; 85,4 rayonnements gamma d'énergie 795,87 keV ; 15,4 rayonnements gamma d'énergie 569,3 keV, ainsi que

Y a-t-il une correspondance entre Becquerels et coups par seconde (c/s) ?

Dans l'exemple du kilogramme de terre contenant **100 becquerels** de Césium 137, si toutes les radiations étaient émises dans la même direction, un détecteur placé à proximité du kilogramme de terre mesurerait en théorie **100 coups par seconde** pour les rayonnements **bêta** et **85 coups par seconde** dus aux rayonnements **gamma** soit **185 coups par seconde**.

En pratique, ces radiations sont émises dans toutes les directions. Le détecteur ne va donc « capter » que celles qui se dirigent dans sa direction. La quantité de radiations qui va le traverser dépendra en particulier de sa taille (plus il est volumineux, plus forte sera la probabilité que les radiations émises lui passent à travers) et de la distance entre le détecteur et la source (lorsqu'on éloigne le détecteur, le nombre de rayonnements susceptibles de le traverser diminue).

De plus, ce n'est pas parce que des radiations se dirigent vers le détecteur qu'il va effectivement les détecter. Les radiations peu pénétrantes, comme les rayons bêta, ne parviennent pas à traverser les parois du boîtier de certains détecteurs.

Quant aux radiations très pénétrantes (gamma), elles pénètrent bien dans le détecteur mais ne sont pas forcément détectées. En effet un grand nombre de rayons gamma va pouvoir passer à travers le détecteur sans interagir avec les atomes du détecteur donc sans céder d'énergie dans le détecteur.

Dans cet exemple, le taux de comptage final ne sera pas de 185 c/s mais bien souvent nettement **inférieur au coup par seconde**.

C'est pourquoi il est en général très difficile de convertir des coups par seconde obtenus avec un radiamètre en Becquerels, à moins de réaliser une calibration spécifique qui dépend de nombreux paramètres.

d'autres rayonnements gamma avec une plus faible probabilité d'émission. Dans cet exemple, les 100 Becquerels de césium 134 émettent plus de 300 rayonnements ionisants par seconde (plus de 300 coups par seconde).

Ces deux exemples montrent que chaque substance radioactive émet des radiations de nature ou d'énergie spécifiques. C'est pourquoi, selon la nature de la substance radioactive, un même nombre de becquerels peut entraîner des irradiations très différentes.

En outre, ces radiations sont plus ou moins pénétrantes. Elles vont se déplacer plus ou moins loin depuis la source d'émission, être plus ou moins « arrêtées » par les matériaux situés entre la source et notre corps (air, murs, vêtements, épaisseur de notre peau, etc), pénétrer plus ou moins profondément à travers notre organisme.

Les rayonnements **bêta** comme ceux émis par le césium 137 sont assez peu pénétrants. Même les plus puissants sont totalement arrêtés par 4 mètres d'air ou

4 millimètres d'eau.

Les rayonnements **gamma** sont beaucoup plus pénétrants. Les rayonnements gamma du césium 137 peuvent ainsi parcourir 61 mètres dans l'air avant de perdre la moitié de leur énergie et 7 centimètres dans l'eau. Cela signifie qu'après avoir parcouru 61 mètres dans l'air, certains de ces rayonnements continuent leur chemin, soit intacts, soit quelque peu affaiblis, et vont irradier la matière (déposer leur énergie) un peu plus loin.

C'est parce que les rayonnements gamma sont si pénétrants, qu'il est possible de réaliser des cartes de la contamination du sol par le césium 137 (et le césium 134) en utilisant des détecteurs embarqués sur des avions ou des hélicoptères.

C'est aussi pour cette raison que les radiations émises par le césium radioactif déposé sur le sol peuvent traverser les murs et les fenêtres et atteindre les habitants à l'intérieur des bâtiments.

Mesures du taux de radiation gamma dans une maison à Iitate. CRIIRAD - Mai 2011



Ce phénomène est illustré dans la vidéo tournée par la CRIIRAD le 29 mai 2011 dans la **ville de Fukushima** (Japon) située à environ 60-65 km de la centrale nucléaire accidentée (voir <http://www.youtube.com/watch?v=vCuiYVrvZ7c>).

La scène se déroule au rez-de-chaussée d'un bâtiment du **quartier Watari** lors d'une réunion de travail entre la CRIIRAD et des citoyens japonais dont monsieur Wataru Iwata (co-fondateur des initiatives Project 47 et CRMS) et des responsables de l'initiative « Fukushima Network for Saving Children from Radiation », dont Monsieur Nagate (ex-représentant), Mme Marumori (désormais Directrice Exécutif du CRMS) et Mme Sato.

Dans cet extrait, le responsable du laboratoire de la CRIIRAD utilise un appareil de détection professionnel (scintillomètre DG5) pour montrer l'intensité du taux de radiation gamma, même à l'intérieur d'un bureau. Les taux de radiation sont exprimés ici en coups par seconde (c/s).

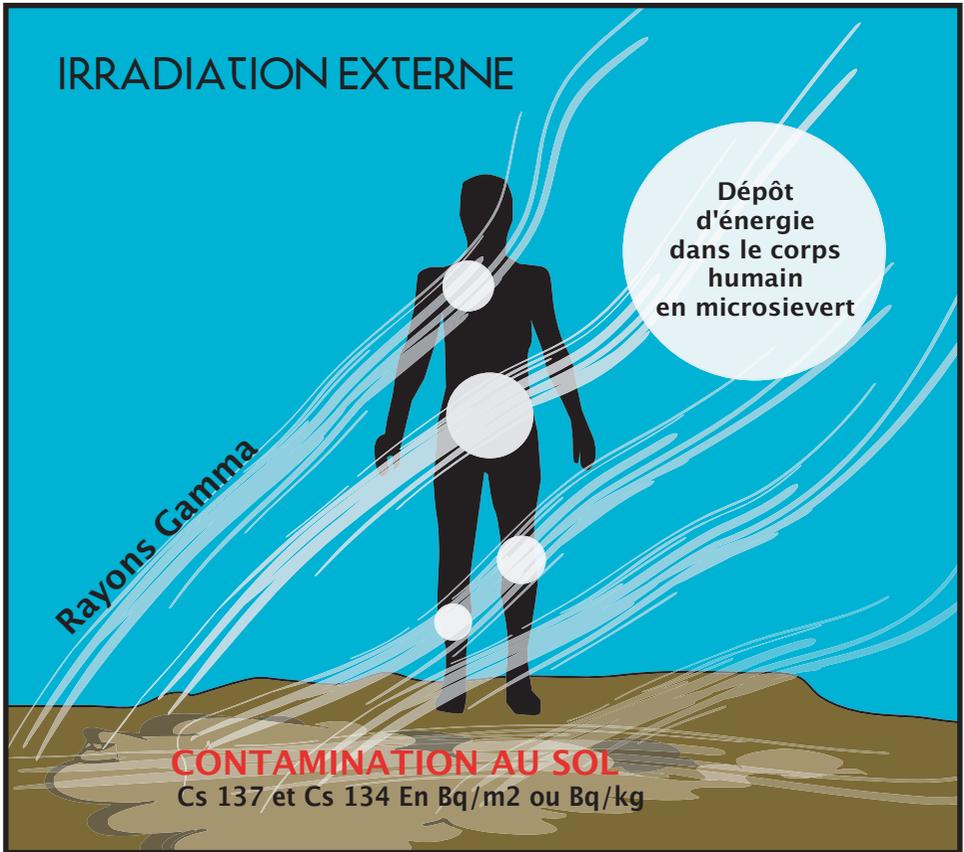
Le niveau normal enregistré avec ce scintillomètre est habituellement de 50 à 150 c/s en fonction de la teneur en éléments radioactifs naturels dans les sols. Au laboratoire de la CRIIRAD, à Valence, on mesure entre 60 et 80 c/s.

Au centre du bureau du quartier Watari, le taux de radiation est environ 10 fois supérieur à la normale. On mesure 700 c/s au contact du parquet et 1 000 c/s à 1 mètre au dessus du parquet.

Le taux de radiation augmente en s'élevant parce que l'on est davantage soumis aux puissantes radiations gamma émises par le césium qui s'est déposé sur le sol du parking à l'extérieur du bâtiment. On voit bien que les radiations viennent de l'extérieur car le taux de radiation augmente en s'approchant de la baie vitrée (environ 1 400 c/s) puis en faisant 2 pas à l'extérieur (plus de 2 000 c/s). D'autres mesures effectuées sur le parking donnent 2 800 c/s à 1 mètre du sol et 4 000 c/s sur les graviers.



Mesures CRIIRAD à Fukushima City, quartier Watari sur le parking : 4 000 c/s au sol et 2 800 c/s à 1 mètre. Mai 2011



Dans cette vidéo, le taux de radiation est également mesuré devant la fenêtre, à l'intérieur du bâtiment, selon qu'il n'y a que de l'air entre le détecteur et la fenêtre ou un corps humain qui fait office d'écran. La présence d'un corps humain fait passer le taux de radiation de 1 300-1 400 c/s à 1 000 – 1 100 c/s. Ceci montre qu'une partie des radiations a été arrêtée dans le corps humain et que donc de l'énergie a été déposée dans l'organisme par ces radiations ionisantes.

La dose

La dose est la quantité d'énergie déposée dans le corps humain par les rayonnements ionisants émis par les substances radioactives qui sont présentes dans notre environnement.

Lorsque ces substances sont à l'extérieur de notre organisme, on parle de dose liée à l'irradiation externe.

Lorsqu'elles sont à l'intérieur de notre organisme après avoir été inhalées ou ingérées, on parle d'irradiation interne suite à une contamination interne.

Dans les deux cas, la dose s'exprime dans la même unité le Sievert (Sv). Un Sievert vaut 1 000 milliSieverts (mSv) ou encore 1 million de microSieverts (μ Sv).

Les risques sanitaires

L'énergie des radiations ionisantes est très élevée.

Pour le césium 137 par exemple, les rayonnements gamma ont une énergie de 661 keV soit 661 000 électrons-volts.

Pour comparaison, l'énergie des rayons lumineux visibles émise par le soleil est de quelques électrons-volts. Ainsi, un seul rayon gamma « émis par un seul becquerel » de césium 137 transporte plus de 100 000 fois plus d'énergie qu'un rayon lumineux du soleil.

Or nous savons qu'une trop forte exposition au soleil peut créer des brûlures (coup de soleil) et des cancers (mélanomes). C'est un peu le même phénomène avec les rayonnements ionisants (alpha, bêta, gamma, etc.). Chaque rayon individuel traversant notre organisme est susceptible d'induire une mutation de l'ADN cellulaire pouvant aboutir à l'apparition d'un cancer, plusieurs

LE GRAY ET LE SIEVERT

Il existe en réalité une première grandeur appelée dose absorbée exprimée en Gray (Gy) et qui correspond à l'énergie déposée dans l'organisme par les rayonnements ionisants (alpha, bêta, X, gamma, neutrons, etc..).

Un Gray correspond à un Joule d'énergie déposé par kilogramme de tissus humains.

Les conséquences sanitaires de ce « dépôt d'énergie » dépendent en fait de la manière dont cette énergie est déposée à l'échelle cellulaire. Le Sievert a été introduit pour tenir compte du fait que différents types de radiations déposent cette énergie de manière plus ou moins « dense ».

Dans le cas où les radiations ionisantes à l'origine de la dose sont des rayonnements bêta ou gamma, comme ceux émis par l'iode 131, le césium 134 ou le césium 137, un Gray égale un Sievert.

années et le plus souvent plusieurs décennies après l'irradiation. Heureusement, la probabilité est très faible. Notre organisme est traversé en permanence par des radiations provenant du cosmos et de la désintégration des éléments radioactifs naturels présents dans le sol (uranium, thorium, potassium). Cette radioactivité « naturelle », même à très faible dose, est déjà à l'origine de cancers. Le risque d'apparition de cancers ou d'autres pathologies est lié à la dose reçue et de manière cumulative.

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) considère que le modèle de risque le plus « plausible » est le modèle linéaire sans seuil, c'est-à-dire que plus la dose cumulée augmente, plus le risque de décès par cancer augmente (linéarité) et que le risque apparaît même au niveau des très faibles doses comparables à la radioactivité naturelle.

Puisque toute dose de radiation, même très faible, augmente les risques sanitaires, la CIPR a mis en place trois principes pour protéger l'homme contre les rayonnements ionisants induits par des activités nucléaires :

- **la justification** : on ne doit pas exposer les gens à des radiations à moins que ce ne soit justifié,
- **l'optimisation** : si une activité nucléaire est justifiée, l'industriel doit mettre en œuvre tout ce qui est raisonnablement possible, sur le plan socio-économique, pour que les

doses soient les plus faibles possible,

- **la limite de dose** au-delà de laquelle le risque sanitaire est jugé « socialement inacceptable ».

En situation normale, la CIPR recommande que l'exposition des citoyens (en dehors de la radioactivité strictement naturelle et des doses liées aux pratiques médicales) reste en dessous de 1 milliSievert par an, soit 1 000 microSieverts par an. C'est la **dose maximale annuelle admissible**.

Selon la CIPR, le risque de décès par cancer est estimé à 5 morts pour 100 000 personnes exposées à **1 milliSievert**. Attention, cette dose doit être calculée en ajoutant les doses par irradiation externe et interne et pour tous les radionucléides issus de toutes les sources de contamination.

En cas de catastrophe nucléaire, la situation devient ingérable et de nouvelles « normes » sont édictées, c'est ainsi que le gouvernement japonais a mis en place en 2011 une norme de **20 milliSieverts** par an pour statuer sur la nécessité d'évacuer ou non une zone contaminée suite à la catastrophe de Fukushima. Cela revient à accepter un niveau de risque très élevé, d'autant que les personnes concernées ont bien souvent reçu entre mars et avril 2011 des doses très nettement supérieures à 20 milliSieverts.

PARTIE 2 : COMMENT ESTIMER L'IRRA- DIATION EXTERNE INDUITE PAR LA CONTAMINATION DES SOLS AU JAPON ?

Lorsque l'on vit sur un territoire contaminé par des substances radioactives comme le césium 134 et le césium 137, le premier risque à prendre en compte est l'irradiation externe, c'est-à-dire le fait que des radiations ionisantes émises par le sol contaminé traversent notre corps et y déposent de l'énergie. En effet, même dans l'hypothèse où l'on réussirait à ne consommer que des denrées saines (importées par exemple), il est très difficile de se protéger de l'irradiation externe.

Pourquoi ne considère-t-on que le césium 134 et le césium 137 ?

Les différentes données disponibles indiquent que les dépôts radioactifs les plus importants sont intervenus sur les sols du Japon autour du **14 au 16 mars 2011** et du **21 au 23 mars 2011**, mais cela dépend évidemment de la localisation par rapport à la centrale de Fukushima Daiichi et des conditions météorologiques.

Nous verrons ci-après que le MEXT (Ministère japonais de l'Education, la Culture, les Sports, la Science et la Technologie) a publié à partir de début mai 2011 des cartes des retombées de césium 137 et de césium 134.

Cela ne signifie pas que seuls ces deux radionucléides étaient présents dans les retombées initiales et il faudrait tenir compte des autres substances radioactives, si l'on voulait calculer les doses des premières semaines après la catastrophe.

Il y avait en effet en réalité dans les panaches radioactifs des dizaines de substances radioactives différentes, des produits de fission, des produits d'activation et également des transuraniens (isotopes du plutonium par exemple).

Dans les premiers jours et premières semaines après l'accident, les isotopes radioactifs de l'iode et du tellure ont délivré des doses plus fortes que le césium 134 et 137, que ce soit par inhalation¹ ou irradiation externe ou encore par ingestion² d'aliments contaminés.

Les éléments radioactifs dont la période physique est de quelques heures, jours ou semaines comme par exemple **l'iode 132** (2,3 heures), **l'iode 131** (8 jours), le **tellure 132** (3,26 jours),

1. Voir par exemple le communiqué CRIIRAD du 17 mars 2011 sur la contamination de l'air à Tokyo : http://www.criirad.org/actualites/dossier2011/japon_bis/11-03-17-CPtokyo.pdf

2. Voir par exemple le communiqué CRIIRAD du 20 et 21 mars 2011 sur la contamination des denrées alimentaires : http://www.criirad.org/actualites/dossier2011/japon_bis/11_03_20_Japon_Aliments.pdf et http://www.criirad.org/actualites/dossier2011/japon_bis/11-03-21_Aug_contamination.pdf

le tellure 129^m (33,6 jours) et le **césium 136** (13,2 jours) ont décliné fortement dans les semaines qui ont suivi les dépôts. Il est donc raisonnable de considérer que début **mai 2011, l'essentiel de l'irradiation externe due aux dépôts radioactifs au sol était bien due au césium 134 et 137.**

La CRIIRAD a d'ailleurs pu le vérifier au moyen d'un spectromètre gamma de terrain et d'échantillonnages de sols effectués au Japon entre le **23 mai et le 2 juin 2011**. Une contamination en **iode 131** des sols restait mesurable en plusieurs endroits, dont la ville de Fukushima ou encore sur des sols de la préfecture d'Ibaraki. Mais l'activité massique résiduelle de l'iode 131 était nettement secondaire par rapport à celle du césium 134 et 137 (moins de 2 % sur deux stations en ville de Fukushima, moins de 5 % à Hitachi - préfecture d'Ibaraki).

A l'inverse, il faut garder à l'esprit que pour rendre compte de la contamination des premières semaines, il faudra disposer de données beaucoup plus complètes que les seules cartes de dépôt en césium 134 et 137. Il faudra reconstituer les niveaux de contamination initiaux de l'air, des sols, des aliments par toutes les substances radioactives qui étaient présentes (isotopes radioactifs de l'iode et du tellure, gaz rares isotopes du krypton et du xénon, plutonium, etc..)

Ceci est illustré par exemple par le

graphique ci-contre élaboré par des universitaires japonais³.

A partir de la contamination relevée les 28 et 29 mars 2011 dans des sols du secteur de **litate**, entre 25 et 45 kilomètres au nord-ouest de la centrale de Fukushima, ces chercheurs ont calculé le débit de dose théorique induit par les dépôts intervenus principalement le 15 mars 2011.

Il faut souligner que ce type de calcul ne tient pas compte de l'irradiation externe induite par les substances radioactives présentes dans l'air (Bq/m³) et non encore déposées sur le sol. Il ne rend compte que de l'irradiation gamma qui vient du sol contaminé par les dépôts.

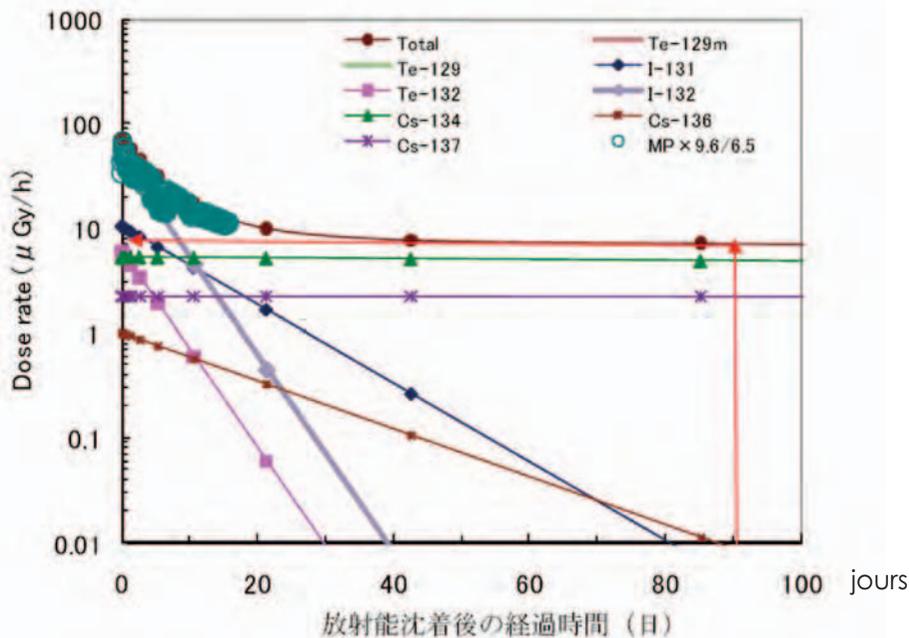
Ce graphique indique, pour chaque substance radioactive déposée sur le sol et encore mesurable fin mars 2011, le débit de dose gamma ambiant à 1 mètre au dessus du sol contaminé. Ce débit de dose est exprimé en microGray par heure ce qui équivaut à des microSieverts par heure (voir partie 1). Au fur et à mesure du temps qui passe, les radionucléides à période courte se désintègrent et au bout de 90 jours l'essentiel de l'irradiation résiduelle est due au césium 134 (courbe avec triangles verts) et au césium 137 (courbe avec croix violettes). La dose résultante induite par chaque radionucléide est la courbe avec points de couleur marron.

3. Imanaka T., Endo S., Shizuma K., Sugai M., Ozawa S. Interim report on radiation survey in litate village area conducted on March 28th and 29th / Publié le 4 avril 2011.

Dans cet exemple, on constate que **le taux de radiation induit par les dépôts de substances radioactives sur le sol a diminué d'un facteur proche de 10 en une quarantaine de jours.**

Après 90 jours, le taux de radiation reste néanmoins très élevé (près de 10 $\mu\text{Sv/h}$ soit plus de 100 fois la radioactivité naturelle) et la dose maximale annuelle admissible de 1 milliSievert par an est atteinte en restant une centaine d'heures sur ce territoire. Lors de la mission sur place de fin mai 2011, l'équipe CRIIRAD a relevé effectivement au sud d'Iitate des débits de dose de 13 $\mu\text{Sv/h}$ dans la cour d'une ferme non évacuée. Nous avons vivement invité les habitants à quitter cette zone.

Evolution théorique du débit de dose (microGray par heure) en fonction du nombre de jours écoulés depuis le 15 mars 2011 (secteur Iitate)



Si l'on cherche à évaluer en 2012 les niveaux de radiation résiduels induits par les dépôts radioactifs de mars 2011, il est donc bien légitime de ne prendre en compte que⁴ les **césium 134 et 137** pour estimer l'exposition externe, c'est-à-dire le taux d'irradiation induit par le sol.

Les calculs ci-après portent sur l'irradiation résiduelle actuelle et non pas sur la reconstitution des doses particulièrement importantes subies dans les premières semaines après la catastrophe.

Comment calculer le débit de dose artificiel ($\mu\text{Sv/h}$) sur un terrain contaminé par les retombées de Fukushima

Il y a naturellement dans le sol des substances radioactives (uranium, thorium, potassium 40) qui émettent des radiations gamma. On appelle cela le rayonnement tellurique. Il faut tenir compte également des radiations cosmiques qui représentent en moyenne $0,0375 \mu\text{Sv/h}$ à basse altitude.

La somme de ces deux composantes induit des débits de dose naturels qui sont classiquement de l'ordre de **$0,1 \mu\text{Sv/h}$** à la surface de la terre.

Sur la base des mesures de la concentration en éléments radioactifs naturels dans des sols prélevés au Japon fin mai 2011, la CRIIRAD a évalué le taux de radiation tellurique naturel. En rajoutant la composante cosmique nous avons évalué par exemple les niveaux naturels entre **$0,06 \mu\text{Sv/h}$** (Ishioka et Tokyo) et **$0,1 \mu\text{Sv/h}$** (Marumori), mais de fortes variations peuvent être enregistrées en fonction des caractéristiques géologiques des terrains.

Pour évaluer l'impact lié à des retombées artificielles, il faut examiner l'irradiation « ajoutée » par la contamination, c'est-à-dire le débit de dose artificiel qui va s'ajouter à la radioactivité naturelle. En multipliant ce débit de

4. En toute rigueur, pour des évaluations à très long terme, il faudra par contre tenir compte du fait que, si la plupart des radionucléides vont voir leur radioactivité baisser au cours du temps, pour d'autres, la radioactivité va augmenter. C'est le cas de l'américium 241 de période longue (433 ans). Cet élément radioactif, émetteur alpha et gamma va voir son activité augmenter dans les sols au fur et à mesure de la décroissance de son père, le plutonium 241, émetteur bêta de période 14,4 ans. Des chercheurs japonais ont en effet démontré que la catastrophe nucléaire de Fukushima avait entraîné une contamination des sols par des isotopes de plutonium, et principalement par le plutonium 241, au nord-ouest et au sud de la centrale, dans la zone 20 à 30 km (valeur maximale mentionnée $34,8 \text{ Bq/kg}$, à 26 km au nord-ouest de la centrale). [Jian Zheng et al. / Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident / Scientific Reports / 8 March 2012]. En ce qui concerne l'irradiation externe, les isotopes du césium vont rester les principaux contributeurs pendant des décennies.

dose (en microSieverts par heure) par le temps passé sur le terrain contaminé (exprimé en heures), on peut calculer la dose artificielle cumulée.

Dans le cadre de ce premier article, nous allons donner des éléments permettant aux personnes concernées de procéder à une estimation du débit de dose artificiel actuel à partir des cartographies officielles en utilisant les cartes qui portent sur les retombées surfaciques au niveau du sol exprimées en **becquerels par mètre carré** (Bq/m²).

On trouve dans la littérature des coefficients moyens⁵ permettant de calculer le débit de dose gamma à 1 mètre du sol [exprimé en microSievert par heure (μSv/h)] en fonction de la contamination surfacique pour chaque radionucléide concerné (Bq/m²).

Pour le **césium 137** nous retiendrons la valeur de **2,11 μSv/h pour 1 million de Bq/m²**. Comme le césium 137 ne décroît que très lentement (environ 5 % en 2 ans), on peut utiliser les cartes de dépôt de césium 137 d'avril 2011 ou novembre 2011 (voir ci-après), sans que cela ne change beaucoup le résultat.

Il faut également tenir compte de l'irradiation induite par le dépôt de **césium 134**. Pour le césium 134, le coefficient reliant les Bq/m² et le débit de dose en microSieverts par heure est de

5,47 μSv/h pour 1 million de Bq/m².

La comparaison de ces 2 coefficients montre que le césium 134 est 2,6 fois plus « irradiant » que le césium 137. Nous avons vu dans la partie 1 que sa désintégration donne lieu à des émissions plus nombreuses de rayonnements gamma avec, pour certains, une énergie supérieure à la raie gamma principale émise par le césium 137.

La contamination en césium 134 (période physique 2 ans) va décroître beaucoup plus rapidement que celle du césium 137 (période physique 30 ans), il faut donc vérifier à quelle date sont exprimés les dépôts de césium 134 sur les cartes.

Pour simplifier, nous proposons de n'utiliser **que les cartes de dépôt de césium 137**. On peut ensuite déduire par le calcul le dépôt de césium 134 associé. Il suffit pour cela de connaître le ratio initial Cs 137 / Cs 134 dans les retombées.

Les mesures réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD sur 18 échantillons de sols prélevés fin mai et début juin 2011 de Tokyo (sud de Fukushima) à Marumori (préfecture de Miyagi au nord de Fukushima) permettent de proposer une estimation de **1,1 pour le ratio moyen Cs 137 / Cs 134** à la date du 15 mars 2011.

5. Ces coefficients sont donnés à titre indicatif pour une première évaluation. En effet, le débit de dose dépend de la répartition du dépôt dans le sol et de la densité du sol.

Nous avons effectué dans le tableau T2 ci-dessous un calcul de l'évolution du débit de dose ($\mu\text{Sv/h}$) lié au césium 134 et au césium 137 au cours du temps (tous les 30 jours) pour un territoire ayant subi une retombée initiale de **30 000 Bq/m² en césium 137** (et donc de 1,1 fois 30 000 soit 33 000 Bq/m² en césium 134).

T2 / estimation du débit de dose « artificiel » à 1 m au dessus d'un sol contaminé par 30 000 Bq/m² de césium 137 (et en tenant compte du dépôt de césium 134 associé)

Date	Débit de dose Cs 137 + Cs 134 ($\mu\text{Sv/h}$)	Dose externe cumulée sur les 30 derniers jours si 100 % du temps en extérieur (μSv)	Temps écoulé depuis 15 mars 2011 (jours)	Cs 137 (Bq/m ²)	Débit de dose Cs 137 ($\mu\text{Sv/h}$)	Cs 134 (Bq/m ²)	Débit de dose Cs 134 ($\mu\text{Sv/h}$)
1/06/11	0,20		78	29 852	0,06	25 188	0,14
1/07/11	0,20	142	108	29 796	0,06	24 514	0,13
31/07/11	0,19	139	138	29 739	0,06	23 858	0,13
30/08/11	0,19	137	168	29 683	0,06	23 220	0,13
29/09/11	0,19	134	198	29 627	0,06	22 599	0,12
29/10/11	0,18	132	228	29 570	0,06	21 995	0,12
28/11/11	0,18	129	258	29 514	0,06	21 406	0,12
28/12/11	0,18	127	288	29 458	0,06	20 834	0,11
27/01/12	0,17	125	318	29 403	0,06	20 277	0,11
26/02/12	0,17	122	348	29 347	0,06	19 734	0,11
27/03/12	0,17	120	378	29 291	0,06	19 206	0,11
26/04/12	0,16	118	408	29 236	0,06	18 693	0,10
26/05/12	0,16	116	438	29 180	0,06	18 193	0,10
25/06/12	0,16	114	468	29 125	0,06	17 706	0,10
25/07/12	0,16	112	498	29 070	0,06	17 233	0,09
24/08/12	0,15	110	528	29 015	0,06	16 772	0,09
23/09/12	0,15	108	558	28 960	0,06	16 323	0,09
23/10/12	0,15	106	588	28 905	0,06	15 887	0,09
22/11/12	0,15	105	618	28 850	0,06	15 462	0,08
22/12/12	0,14	103	648	28 795	0,06	15 048	0,08
21/01/13	0,14	101	678	28 741	0,06	14 646	0,08
20/02/13	0,14	100	708	28 686	0,06	14 254	0,08
22/03/13	0,14	98	738	28 632	0,06	13 873	0,08
21/04/13	0,13	97	768	28 577	0,06	13 502	0,07

Total 29/12/2011 au 22/12/2012 1 360 microSieverts

Le débit de dose résiduel « artificiel » dû au **césium 137 et 134** est, dans cet exemple, de **0,2 $\mu\text{Sv/h}$** le 1er juin 2011 ; **0,17 $\mu\text{Sv/h}$** le 27 janvier 2012 et **0,14 $\mu\text{Sv/h}$** le 22 décembre 2012.

En comparant aux évaluations des taux d'irradiation naturels, on constate que sur les terrains contaminés par 30 000 Bq/m² de césium 137, le taux de radiation artificiel de 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ (en juin 2011) correspond à 2 à 3 fois le niveau d'irradiation naturel ambiant qui existait avant la catastrophe.

Comment calculer la dose artificielle « externe » cumulée dans le temps ?

• **A** / Evaluation par excès dans l'hypothèse où 100 % du temps serait passé à l'extérieur.

Le fait de résider sur un territoire contaminé à un niveau de **30 000 Bq/m² en césium 137** peut entraîner une exposition supérieure à 1 milliSievert par an (soit 1 000 microSieverts par an).

Comme indiqué dans le tableau T2, une personne qui passerait 100 % de son temps à l'extérieur sur ce sol contaminé recevrait une dose cumulée « artificielle » de l'ordre de 100 microSieverts tous les 30 jours.

Entre le 29 décembre 2011 et le 22 décembre 2012, la dose cumulée serait supérieure à 1 300 microSieverts et donc à la dose maximale annuelle admissible.

• **B** / Evaluation en tenant compte du temps passé à l'intérieur des bâtiments (atténuation des radiations).

Le résultat ci-dessus surestime la réalité car on ne passe pas tout son temps dehors et il est vrai qu'à l'intérieur des bâtiments, le taux de radiation « artificiel » dû à la contamination des sols extérieurs est diminué du fait de l'atténuation fournie par les murs du bâtiment.

Cette atténuation n'est cependant pas de 100 % surtout dans le cas du Japon. En effet dans l'habitat traditionnel on rencontre beaucoup de vastes baies vitrées et cloisons en bois qui atténuent nettement moins les rayons gamma que des murs en béton.

La CRIIRAD a pu le constater sur place en mai-juin 2011. Les résultats des mesures effectuées avec un compteur proportionnel LB123 sont reportés dans le tableau T3 ci-dessous.

T3 / Mesures de débit de dose effectuées fin mai 2011 par la CRIIRAD dans la préfecture de Fukushima. Comparaisons entre Intérieur et extérieur des habitations

Iitate Nagadoro		Débit de dose (µSv/h)
Ferme Pelouse (1 m)	13,00	Ratio intérieur / extérieur
Ferme Etable (1 m)	2,40	0,18
Maison salon centre (1 m)	2,51	0,19
Maison salon contre fenêtre (1 m)	5,48	0,42

Fukushima city / quartier Watari		Débit de dose (µSv/h)
Pelouse entrée terrain sport (1 m)	2,9	
Entrée maison (jardin paysager) (1 m)	2,2	Ratio intérieur / extérieur
Dans maison (salon) 1m	0,6	0,27
Dans maison (tatamis chambre) contact	0,38	0,17

Dans l'exemple de la ferme à litate-Nagadoro, le débit de dose mesuré en extérieur était de 13 $\mu\text{Sv/h}$. A l'intérieur, il était encore de 5,48 $\mu\text{Sv/h}$ dans le salon (contre la fenêtre) et de 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ au centre du salon. Pour calculer le débit de dose à l'intérieur, il faut donc multiplier les valeurs mesurées à l'extérieur par **0,19** et **0,42** respectivement.

Dans la ville de Fukushima, quartier Watari, au niveau d'une maison individuelle, le débit de dose mesuré en extérieur dans le jardin était de 2,2 $\mu\text{Sv/h}$. A l'intérieur, il était encore de 0,6 $\mu\text{Sv/h}$ dans le salon (à 1 mètre du sol) et de 0,38 $\mu\text{Sv/h}$ au contact du tatami là où dorment les enfants. Pour calculer le débit de dose à l'intérieur il faut donc multiplier les valeurs mesurées à l'extérieur par **0,27** et **0,17** respectivement.

Nous proposons dans le tableau T4 ci-dessous, toujours pour un terrain contaminé par 30 000 Bq/m² de césium 137, une évaluation de la dose cumulée du 29 décembre 2011 au 22 décembre 2012 en fonction de divers scénarii (variation du temps passé à l'extérieur et à l'intérieur, différents facteurs d'atténuation par les murs de l'habitation).

On obtient dans ces trois exemples des doses cumulées comprises entre 710 et 935 microSieverts.

Ces valeurs plus « réalistes » correspondent à la dose calculée en supposant que l'on passe 100 % du temps à l'extérieur (1 360 microSieverts), multipliée selon les scénarii par un facteur 0,52 à 0,69.

T4 / évaluation de la dose externe artificielle cumulée en fonction de scénarii de vie pour un terrain contaminé par 30 000 Bq/m² de césium 137 (en tenant compte du césium 134 associé). Période : fin décembre 2011 à fin décembre 2012.

Scenario 1

Lieu	Extérieur	Intérieur proche fenêtre (1 m)	Intérieur centre pièce (1 m)	
Pourcentage de temps passé	40%	20%	40%	
Facteur d'atténuation	1	0,42	0,19	
Facteur correctif	0,40	0,08	0,08	0,56
Dose pour 100 % en extérieur	1 360		microSieverts	
Dose pour scenario N°1	763		microSieverts	

Scenario 2

Lieu	Extérieur	Intérieur proche fenêtre (1 m)	Intérieur centre pièce (1 m)	
Pourcentage de temps passé	50%	40%	10%	
Facteur d'atténuation	1	0,42	0,19	
Facteur correctif	0,50	0,17	0,02	0,69
Dose pour 100 % en extérieur	1 360		microSieverts	
Dose pour scenario N°2	935		microSieverts	

Scenario 3

Lieu	Extérieur	salon (1 m)	couchage (tatami) / contact sol	
Pourcentage de temps passé	40%	20%	40%	
Facteur d'atténuation	1	0,27	0,17	
Facteur correctif	0,40	0,05	0,07	0,52
Dose pour 100 % en extérieur	1 360		microSieverts	
Dose pour scenario N°3	710		microSieverts	

Pour estimer la dose « artificielle » totale, il faudrait ajouter aux doses ci-dessus :

- les doses liées à la contamination interne (ingestion et inhalation),
- celles liées à l'irradiation externe lorsqu'on est plus proche du sol extérieur. Une personne n'est pas en effet

toujours debout sur le sol (dose évaluée à 1 mètre au dessus du sol). Dans de nombreuses actions du quotidien, on se trouve à quelques centimètres voire au contact du sol : travail des champs, chantier, camping, pic-nic, jeux d'enfants, etc... Dans ce cas, le débit de dose augmente nettement.

Ces évaluations « préliminaires » montrent que vivre sur un territoire contaminé à plus de **30 000 Bq/m²** en césium 137 (et en tenant compte du **césium 134 associé**), **peut conduire à dépasser la dose maximale annuelle admissible de 1 milliSievert par an pour une résidence sur place de fin décembre 2011 à fin décembre 2012.**

Tout dépend du mode de vie, du type d'habitat, etc. Il est donc extrêmement important d'informer les populations concernées sur la façon d'estimer les doses et les risques afin qu'elles puissent apprécier au mieux la situation et prendre les meilleures dispositions possibles.

Pour une contamination en **césium 137 de 10 000 Bq/m²**, on peut faire des évaluations de dose en reprenant les calculs ci-dessus et en divisant par 3. On obtient, selon le mode de vie, des doses externes cumulées de plusieurs centaines de microSieverts qui ne sont donc pas négligeables sur le plan de la radioprotection. Il est donc souhaitable de tenir compte de cette contamination, même pour les territoires qui, sur les cartes ci-après, ont un dépôt de césium 137 en dessous de 10 000 Bq/m².

Note : la réalisation d'estimations plus complètes des doses subies sort du champ du présent article.

Nature des données présentées dans les cartes du MEXT

Les cartes officielles publiées par le MEXT sont accessibles sur le site :

http://radioactivity.mext.go.jp/en/monitoring_around_FukushimaNPP_MEXT_DOE_airborne_monitoring/

Pour chaque préfecture ayant fait l'objet de mesures, le MEXT met à disposition 4 cartes qui portent sur :

- La quantité de **césium 137** déposée au sol, exprimée en becquerels par mètre carré (Bq/m²).
- La quantité de **césium 134** déposée au sol, exprimée en becquerels par mètre carré (Bq/m²).
- La somme des dépôts de **césium 137 et 134**, exprimée en becquerels par mètre carré (Bq/m²).
- Le **débit de dose gamma** ambiant à 1 mètre au-dessus du sol exprimé en microSieverts par heure (µSv/h). Il s'agit en réalité de la moyenne estimée dans un rayon approximatif de 300 à 1 500 mètres sous la sonde aéroportée (ce rayon dépend de l'altitude de vol). Il semble que ces débits de dose intègrent la radioactivité artificielle et naturelle. Car sur les cartes publiées en décembre 2011, la légende originale est « This map contains air dose rates by natural radionuclides ».

Les contrôles ponctuels effectués au Japon par le laboratoire de la CRIIRAD fin mai-début juin 2011, en une dizaine de lieux différents (secteur Tokyo, préfecture Ibaraki, préfecture de Fukushima, préfecture de Miyagi), ont donné des évaluations du dépôt de césium 137 cohérentes avec les données officielles. C'est pourquoi nous nous permettons de mentionner ces

données officielles, compte tenu de la vision d'ensemble qu'elles apportent du fait de l'utilisation de moyens lourds (mesures aéroportées et héliportées).

Cela ne signifie pas que la CRIIRAD est en mesure de garantir la validité de ces cartes officielles mais qu'il paraît raisonnable de les utiliser pour effectuer de premières estimations.

Bien entendu, il est préférable d'utiliser un radiamètre (compteur Geiger) pour mesurer précisément le niveau de radiation effectif sur le terrain et examiner sa variabilité du fait de la présence de points d'accumulations (fossés, zones de gouttage des toitures ou des arbres, secteurs situés en contrebas de terrains pentus, zones d'épandage de cendres, proximité de filtres de climatiseurs, etc..).

L'évolution des cartes du MEXT

La première série de cartes a été publiée par le MEXT le 6 mai 2011 soit 7 semaines après le début des retombées radioactives qui ont été particulièrement intenses entre le 12 et le 22 mars 2011. Ces cartes établies avec l'aide des américains (le DOE c'est-à-dire le Ministère de l'Energie américain) ne concernaient que les alentours de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, dans un rayon de **80 kilomètres**.

Elles ont été réalisées au moyen de sondes gamma aéroportées. Les premières cartes ont été réalisées à partir de survols effectués par avion et hélicoptère du 6 au 29 avril 2011 à une altitude comprise entre **150 mètres et 700 mètres**. Le DOE a effectué les mesures dans un rayon de 60 kilomè-

tres et le MEXT entre 60 et 80 kilomètres. Compte tenu de la décroissance des débits de dose et des activités avec le temps, les résultats obtenus avant le **29 avril 2011** ont été « ramenés » par le calcul à la date du 29 avril.

Par la suite, de nouvelles versions de ces cartes intégrant d'autres préfectures au-delà des 80 km, ont été publiées par le MEXT. Elles comportent à chaque fois un zoom sur la ou les préfectures qui ont fait l'objet des contrôles aéroportés et des cartes de synthèse qui regroupent toutes les données à l'échelle du Japon.

Les premières cartes du MEXT ne rendaient pas compte de l'étendue du désastre

La carte officielle des dépôts de **césium 137** publiée par le MEXT le **6 mai 2011** est reproduite **page 24**. On constate que la contamination s'étend bien au-delà du périmètre d'évacuation de 20 kilomètres. Dans la zone de 30 à 60 km, en particulier au nord-ouest de la centrale, des territoires ont reçu des dépôts de césium 137 estimés entre **1 et 3 millions de Bq/m²** (couleur jaune).

Des portions du territoire de la ville de Fukushima, situées au niveau du cercle de 60 km sont contaminées entre 300 000 et 600 000 Bq/m². Malheureusement les deux tons de bleu retenus pour les zones 300 000 à 600 000 Bq/m² et inférieur à **300 000 Bq/m²** sont difficiles à distinguer.

La CRIIRAD a demandé, lors des conférences de presse auxquelles elle a par-

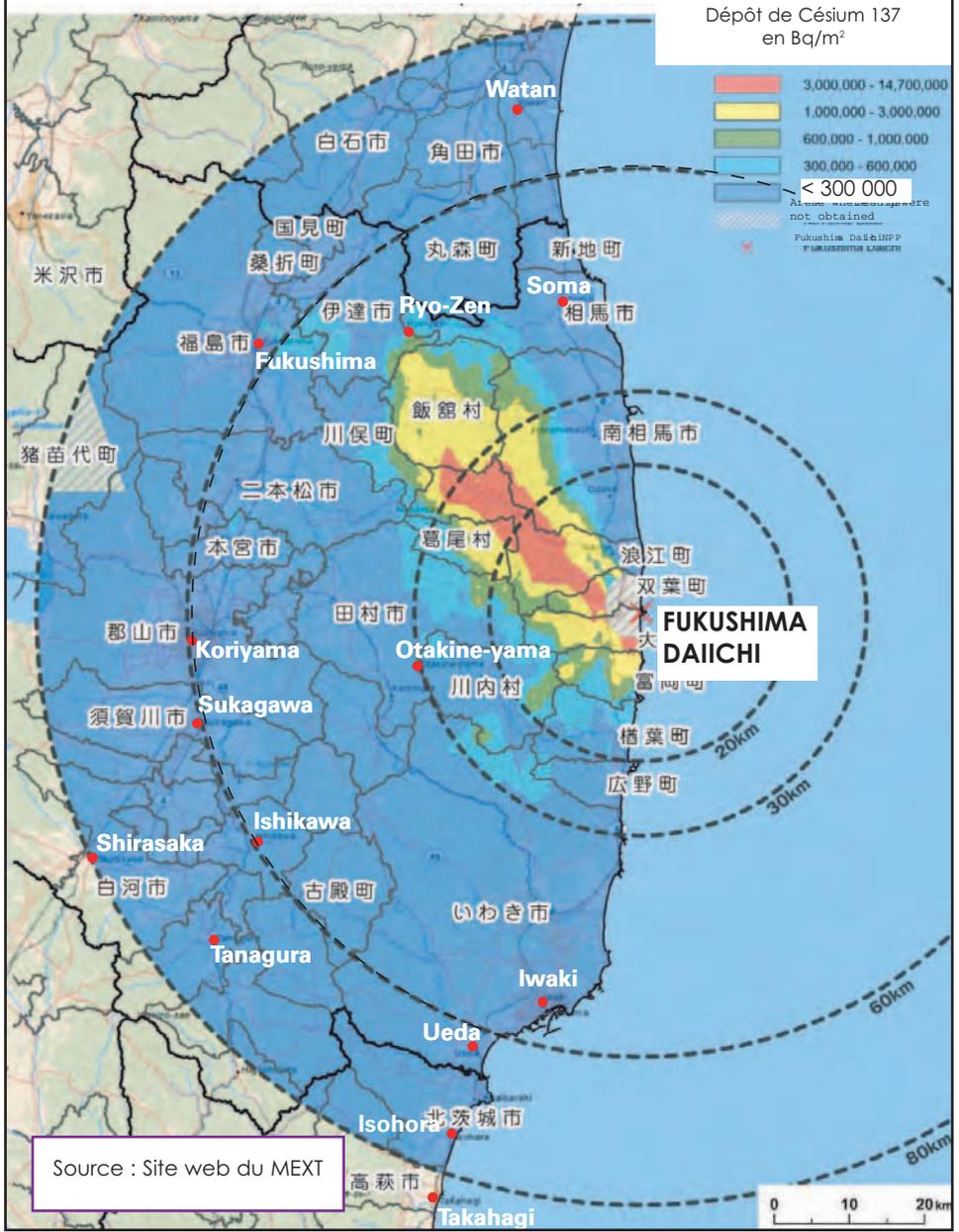
ticipé à Fukushima le 30 mai 2011 et à Tokyo le 31 mai et 1er juin 2011, que les autorités publient des cartes pour l'ensemble du territoire japonais (et pas seulement pour un rayon de 80 kilomètres) et que la résolution de ces cartes soit affinée afin de faire apparaître des contaminations en césium 137 de l'ordre de 10 000 Bq/m² et en dessous et non pas avec une limite inférieure à **300 000 Bq/m²** qui est bien trop élevée.

A partir des calculs effectués ci-dessus (tableaux T2 à T4) on peut constater en effet que vivre 1 an sur un territoire contaminé en césium 137 à plus de 300 000 Bq/m² peut conduire à dépasser 7 voire 9 millisieverts (de décembre 2011 à décembre 2012), rien que du fait de l'irradiation externe. Ce sont des valeurs 7 à 9 fois supérieures à la dose maximale annuelle admissible ... d'autant que les personnes concernées ont pu recevoir dans les premières semaines des doses extrêmement élevées et qu'en restant sur des territoires contaminés elles subissent une contamination interne dont il faut tenir compte pour évaluer la dose totale.

En outre, la carte du 6 mai 2011 pouvait laisser croire aux citoyens qu'il n'y avait pas de contamination au-delà des 80 kilomètres.

L'analyse des mesures officielles de débit de dose ou de contamination de l'air effectuées par exemple à Tokyo, ou encore les mesures réalisées par la CRIIRAD le 23 mai 2011 dès l'atterrissage à l'aéroport de Tokyo Narita montraient des taux de radiation élevés à plus de 200 kilomètres de la centrale de Fukushima. Les cartes publiées progressivement par le MEXT ont fait apparaître cette réalité.

Première carte des dépôts de césium 137 (Bq/m²)
publiée par le MEXT (valeurs ramenées au 29 avril 2011)



Les cartes plus récentes

Le MEXT a progressivement réalisé et publié des cartographies plus précises et sur davantage de préfectures.

Nous reproduisons ci-après certaines des cartes publiées le 16 décembre 2011 sur le site web du MEXT. Sur ces cartes, les retombées sont ramenées au 5 novembre 2011.

Pour ce qui concerne les dépôts de césium 137 dans la zone des 80 kilomètres, les nouvelles cartes font apparaître l'intensité des retombées à partir de 10 000 Bq/m² et non plus de 300 000 Bq/m², ce qui constitue un progrès notable.

VOIR CARTE page 26

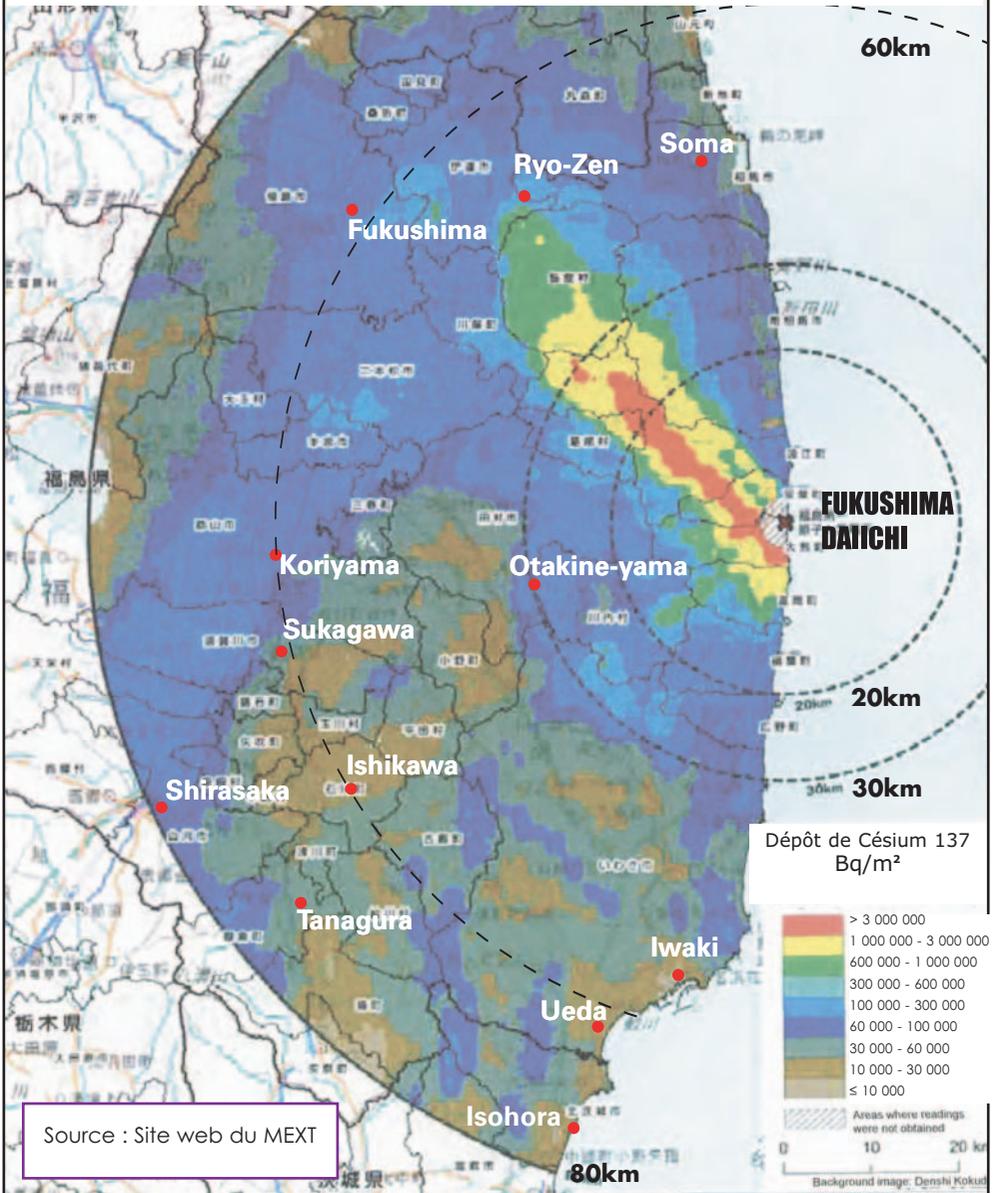
Ces nouvelles cartes montrent également l'étendue de la contamination sur le territoire japonais puisque les données publiées portent sur **22 préfectures**.

La **CARTE page 27** indique par exemple la somme des dépôts en césium 134 et césium 137 exprimés en Bq/m² et ramenés au 5 novembre 2011

Dans cette version, la limite basse est fixée à 10 kBq/m² soit 10 000 Bq/m² et on constate que des zones où la contamination dépasse 10 000 Bq/m² sont identifiées par exemple dans des préfectures situées au nord de la centrale de Fukushima (Miyagi, sud d'Iwate, est de Yamagata, Akita), à l'ouest (Niigata) et au sud (Ibaraki, Tochigi, Gunma, Chiba, Tokyo, Saitama et plus ponctuellement à l'est de Nagano et au nord-est de Yamanashi).

Il faut bien entendu que ce travail de cartographie soit poursuivi sur l'ensemble du territoire japonais afin d'identifier toutes les zones touchées.

Estimation des dépôts de césium 137 en Bq/m² (MEXT) dans un rayon de 80 km (valeurs ramenées au 5 novembre 2011)



Estimation des dépôts de césium 137 et césium 134 en Bq/m² (MEXT)

(valeurs ramenées au 5 novembre 2011)



Source : Site web du MEXT

**Estimation des dépôts de
césium 137 en Bq/m² (MEXT)**
(valeurs ramenées au 5 novembre 2011)



Source : Site web du MEXT

La carte ci-contre indique les dépôts du seul césium 137 exprimés en Bq/m² et ramenés au 5 novembre 2011. Ces valeurs peuvent être utilisées et couplées avec les calculs proposés dans le tableau T2, pour effectuer des calculs de débit de dose et en déduire les risques liés à l'exposition externe pour les personnes qui résident sur ces territoires.

Comme indiqué plus haut, il paraît raisonnable de considérer que sur les secteurs où le dépôt de césium 137 dépasse 30 000 Bq/m² certains groupes de population pourraient dépasser 1 millisievert par an sur l'année 2012.

Bien entendu l'intensité de la contamination est très variable d'un point à un autre. Sur un même terrain, à quelques mètres de distance, on peut enregistrer des différences d'un facteur 2 et bien plus. Et les cartes du MEXT donnent des moyennes valables dans un rayon de 300 à 1 500 mètres. Le plus fiable est alors de faire des mesures directement sur le terrain au moyen d'un radiamètre correctement calibré.

On voit que pour effectuer des estimations précises de l'exposition externe cumulée, il faut en réalité tenir compte de nombreuses données. C'est pourquoi les salariés et bénévoles de la CRIIRAD ne peuvent pas répondre de manière précise et catégorique aux questions posées par les citoyens sur l'évaluation des risques radiologiques actuels au Japon.

Nous y reviendrons plus en détail dans d'autres articles complémentaires car pour parler des risques, il faudra traiter de la question de la contamination des aliments, de la contamination de l'air et du danger que présente toujours la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

Rédaction : Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire CRIIRAD