

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

**EVALUATION AU 66^{ÈME} JOUR DES DOSES EXTERNES
PROJETÉES POUR LES POPULATIONS VIVANT DANS
LA ZONE DE RETOMBÉE NORD-OUEST DE
L'ACCIDENT NUCLEAIRE DE FUKUSHIMA**

- IMPACT DES MESURES D'EVACUATION DES POPULATIONS -

Rapport DRPH/2011-10

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

RESUME

Le 8 avril 2011, 28 jours après l'accident nucléaire de la centrale de Fukushima, l'IRSN a publié sur son site internet la première carte au monde des doses susceptibles d'être reçues par les populations japonaises par irradiation externe pendant la 1^{ère} année après l'accident. Cette carte a été élaborée à partir des mesures aéroportées des débits de dose réalisées par le DoE/NNSA des Etats-Unis et publiées sur leur site internet le 7 avril 2011. Elle révélait des doses externes significatives dans une zone située au nord-ouest de la centrale, d'une vingtaine de km de large et de 50 à 70 km de longueur. D'autres cartes dosimétriques ont ensuite été réalisées et publiées par le DoE/NNSA le 18 avril 2011 et plus récemment par le « Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology » (MEXT) du Japon, au 44^{ème} jour après l'accident. Ces cartes dosimétriques étaient en cohérence et du même ordre de grandeur (écart d'un facteur inférieur à 2,5) que la première évaluation dosimétrique de l'IRSN.

Le 56^{ème} jour après l'accident, le MEXT a publié les premières cartes de dépôts des césiums qui révélaient des valeurs très importantes et comparables à celles des territoires les plus contaminés de Tchernobyl, y compris au-delà de la zone initiale d'évacuation de 20 km de rayon autour de la centrale japonaise. Une nouvelle évaluation dosimétrique a été réalisée par l'IRSN au 66^{ème} jour pour estimer les doses par irradiation externe liées aux dépôts, projetées sur 3 mois, 1 an et 4 ans.

Les doses projetées qui sont estimées atteignent des valeurs particulièrement significatives, supérieures à 200 mSv, qui ne sont plus dans le champ dit des faibles doses selon l'UNSCEAR. Ces niveaux de doses ne prennent pas en compte les doses reçues lors du passage du panache sur les territoires concernés ni celles déjà reçues ou à venir liées à l'alimentation. Les doses efficaces totales (externe + interne) pourraient être augmentées notablement selon le type de dépôt (sec ou humide), le régime alimentaire et la provenance des aliments.

L'effectif des populations japonaises vivant sur les territoires les plus contaminés en dehors de la zone d'évacuation initiale des 20 km autour de la centrale de Fukushima (874 km² à plus de 550 000 Bq/m² de césium 137+134) pourrait être significatif, de l'ordre de 70 000 personnes dont 9 500 enfants de 0 à 14 ans.

Cet effectif est environ 26 % de celui de Tchernobyl (270 000 personnes) pour une surface de territoire ne représentant que 8,5 % de celle de Tchernobyl (10 300 km²).

L'institut a par ailleurs étudié :

- l'impact du choix d'un niveau de référence de dose sur la taille des populations à évacuer, dans la plage de 20 à 100 mSv, celle recommandée par la CIPR dans les situations d'urgence ;
- les doses évitées par ces populations en cas d'évacuation selon plusieurs scénarios : évacuation à 3 mois, 1 an et 4 ans après l'accident.

L'importance des doses externes projetées sur les prochaines années - jusque 4 Sv pour la dose vie dans les régions les plus contaminées (30 millions de Bq/m² de césium-137 + 134) - impose d'envisager des mesures de protection de la population par évacuation.

Conformément aux recommandations de la CIPR en situation d'urgence, le choix du niveau de référence le plus protecteur, soit une dose maximale de 20 mSv au cours de la première année, permettrait d'éviter des doses externes supérieures à cette valeur pour 15 000 à 20 000 personnes.

Si les autorités japonaises décidaient de prendre un niveau de référence encore plus protecteur, par exemple celui de 10 mSv au cours de la première année, les doses externes évitées pour les populations concernées (70 000 personnes environ) seraient d'autant plus importantes que les délais d'exécution de l'évacuation seraient plus courts. Ainsi, une évacuation un an après l'accident conduirait à éviter 59% de la dose externe projetée pour cette population ; une évacuation 3 mois après l'accident permettrait d'en éviter 82%.

Cette politique de prévention du risque de développer à long terme une leucémie ou un cancer radio-induit a manifestement été appréhendée par les autorités japonaises comme en témoigne la carte d'évacuation des populations au delà de la zone initiale d'exclusion des 20 km rapportée par l'AIEA et portée à la connaissance de l'IRSN le 16 mai, soit le 66^{ème} jour après l'accident. La zone d'évacuation retenue semble satisfaire le niveau de référence de 20 mSv, le plus protecteur de la plage recommandée par la CIPR dans les situations d'urgence. Cette prise de décision des autorités japonaises démontre rétrospectivement la pertinence de la carte d'évaluation dosimétrique de l'IRSN, la première à avoir été publiée dans le monde, 28 jours après l'accident.

MOTS-CLES

Accident nucléaire, Fukushima, Doses, Césium, Evacuation

1 INTRODUCTION	7
2 L'IMPACT DOSIMETRIQUE PAR IRRADIATION EXTERNE DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA.....	8
2.1 LA PREMIERE EVALUATION DE L'IMPACT DOSIMETRIQUE REALISEE PAR L'IRSN 28 JOURS APRES L'ACCIDENT.....	8
2.2 LA PREMIERE EVALUATION DE L'IMPACT DOSIMETRIQUE PAR LE DOE/NNSA DES ETATS-UNIS 38 JOURS APRES L'ACCIDENT	11
2.3 LA PREMIERE EVALUATION DOSIMETRIQUE PAR LE « MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY » (MEXT) DU JAPON 44 JOURS APRES L'ACCIDENT.....	12
2.4 L'EVALUATION DE L'IMPACT DOSIMETRIQUE REALISEE PAR L'IRSN PRENANT EN COMPTE LA CARTOGRAPHIE DES DEPOTS DE CESIUM DU MEXT.....	15
3 L'IMPACT DES MESURES D'EVACUATION SUR LES DOSES EXTERNES PROJETEES	21
3.1 L'IMPACT DES MESURES D'EVACUATION SUR LES TAILLES DE POPULATION SELON LES NIVEAUX DE REFERENCE RETENUS	21
3.2 L'IMPACT DOSIMETRIQUE DES MESURES D'EVACUATION SELON LES DELAIS D'EXECUTION.....	23
4 CONCLUSIONS.....	27
ANNEXE	

1 INTRODUCTION

Une estimation de l'impact dosimétrique de l'accident nucléaire de Fukushima n'a pu être réalisée dans les jours qui ont suivi l'accident en l'absence de données fiables en provenance du Japon, aussi bien pour la composition des rejets, que pour les mesures environnementales ou celles réalisées chez les populations directement touchées par les retombées radioactives au voisinage de la centrale nucléaire.

Les seules informations d'ordre sanitaire disponibles étaient alors l'évacuation de la population japonaise dans un rayon de 20 km autour de la centrale puis son confinement dans la zone de 20 à 30 km ainsi que la consigne des autorités américaines d'évacuer leurs ressortissants présents dans un rayon de 80 km, une mesure de précaution dont l'interprétation était alors délicate.

Ce sont les mesures aéroportées des débits de dose réalisées par le DoE/NNSA¹ des Etats-Unis et publiées sur leur site internet le 7 avril 2011 qui ont permis à l'IRSN de publier le 8 avril 2011 sur son propre site internet la première carte des doses susceptibles d'être reçues par les populations par irradiation externe pendant la 1^{ère} année après l'accident dans la zone de retombées au nord-ouest de la centrale. D'autres cartes ont été publiées ensuite par le DoE/NNSA et plus récemment par le « Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology » (MEXT) du Japon.

L'objet de ce rapport est de porter une réflexion sur l'ensemble des évaluations dosimétriques réalisées à ce jour à notre connaissance, et sur l'impact des mesures d'évacuation des populations à prendre pour minimiser les risques à moyen et long terme de développer des leucémies ou d'autres cancers radio-induits. On s'intéresse ici seulement aux doses externes reçues et à recevoir du fait des dépôts, indépendamment des doses précédemment reçues du fait du passage du panache radioactif. Il est à noter que pour ce qui concerne le risque de développer un cancer de la thyroïde chez les enfants et les adolescents, les doses au niveau de cet organe ont déjà été reçues et que des mesures de protection efficaces de cette population à risque, telle que l'administration d'iode stable au plus tard dans les heures suivant l'exposition, ne peuvent désormais plus être envisagées.

¹ US Department of Energy, National Nuclear Security Administration

² La dose projetée est définie par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) comme étant

2 L'IMPACT DOSIMETRIQUE PAR IRRADIATION EXTERNE DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

2.1 LA PREMIERE EVALUATION DE L'IMPACT DOSIMETRIQUE REALISEE PAR L'IRSN 28 JOURS APRES L'ACCIDENT

La première évaluation de doses projetées² de l'accident de Fukushima qui a été publiée dans le monde à notre connaissance a été réalisée par l'IRSN, à partir de mesures aéroportées de débits de dose externe effectuées entre le 30 mars et le 3 avril 2011 par la « National Nuclear Security Administration (NNSA) » américaine et publiée sur le site du « US Department of Energy » le 7 avril 2011. La carte américaine (figure 1) révèle des débits de dose particulièrement élevés dans une bande orientée vers le nord-ouest, d'une vingtaine de kilomètres de largeur et de 50 à 70 kilomètres de longueur. Dans cette zone, les dépôts de radionucléides semblent avoir été nettement plus importants qu'ailleurs, sans doute à cause des précipitations (pluie et neige) qui y sont tombées au moment de la dispersion du panache radioactif.

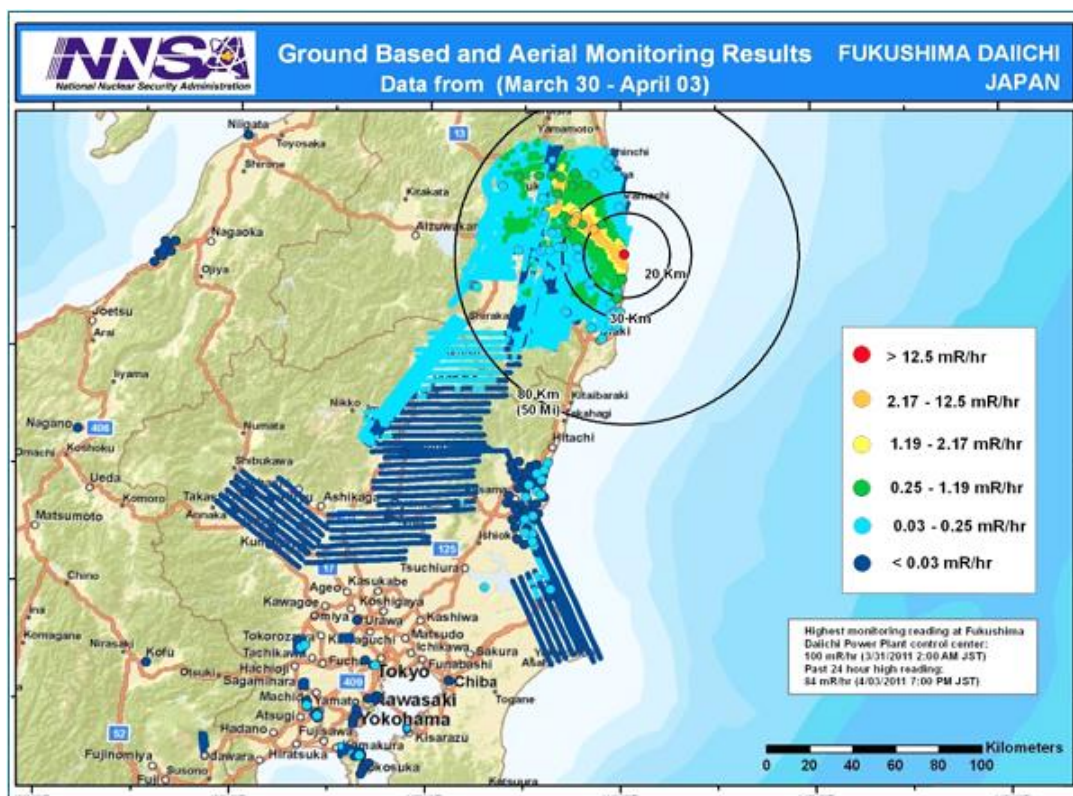


Figure 1 : Mesures aéroportées des débits de doses en mRoentgen/hr réalisées par le DoE/NNSA entre le 30 mars et le 3 avril 2011 (carte publiée sur le site internet du DoE le 7 avril 2011)

² La dose projetée est définie par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) comme étant la dose vraisemblablement reçue si aucune action de protection - ou aucun ensemble d'actions de protection - n'était mis(e) en œuvre (Recommandations 2007 de la CIPR, Publication n° 103, 2007)

A partir de cette carte des débits de dose mesurés, l'IRSN a réalisé une cartographie des doses qui pourraient être reçues localement par la population la 1^{ère} année qui suit l'accident, et qui sont consécutives à l'irradiation externe résultant des dépôts de radionucléides sur les territoires contaminés de la bande nord-ouest décrite ci-dessus. La méthodologie employée pour calculer ces « doses projetées » à partir des débits de dose a pris en compte les considérations suivantes :

- L'évolution temporelle des débits de dose mesurés par les balises situées dans la préfecture de Fukushima a montré que ce sont les rejets radioactifs qui ont eu lieu entre **le 15 et le 16 mars** 2011 qui ont essentiellement conduit à ces dépôts.
- Les doses projetées ont été calculées à partir des débits de dose mesurés par l'aéronef américain et de l'estimation de la décroissance de ces débits de dose au cours du temps (du 30 mars au 3 avril 2011). La dose potentiellement reçue par une personne située toute l'année en zone contaminée a ainsi été calculée en intégrant heure par heure le débit de dose sur l'ensemble de l'année.
- Pour estimer la décroissance du débit de dose en fonction du temps, il est nécessaire de connaître les contributions relatives des différents radionucléides présents dans le dépôt conduisant au débit de dose mesuré, car l'activité de chaque radionucléide décroît au cours du temps en fonction de sa période radioactive, c'est-à-dire la durée que met l'activité de celui-ci pour être réduite de moitié.
- Les contributions relatives des différents radionucléides au débit de dose mesuré ont été estimées en s'appuyant sur une évaluation des activités des radionucléides rejetés dans l'atmosphère par les cœurs des réacteurs endommagés, réalisée à l'IRSN par la cellule d'évaluation des installations de son centre technique de crise. Selon cette évaluation, les débits de dose mesurés deux semaines après l'accident résultent principalement des césiums (Cs-137, Cs-134 et Cs-136), de l'iode-131, des tellure-132 / iode-132, des ruthénium-103 / rhodium-103, des baryum-140 / lanthane-140 et du niobium-95.

Par ailleurs, un facteur de protection de la population par l'habitation a été pris en compte. La valeur usuelle de 0,3 a été appliquée pendant la moitié de la journée.

Cette évaluation de la composition des dépôts en radionucléides a permis de réaliser une cartographie des doses externes potentiellement reçues la première année, du 16 mars 2011 au 16 mars 2012 (figure 2).

La figure 2 ainsi réalisée et publiée sur le site internet de l'IRSN le 8 avril 2011 montre que les doses externes reçues au cours de la première année sont très significatives, même avec le facteur de protection dû à l'habitat. En effet, les doses projetées dans certaines zones en dehors de la zone d'exclusion inhabitée sont supérieures à 30 mSv, soit 12,5 fois la dose moyenne annuelle due à l'irradiation naturelle au Japon.

Il est important de rappeler que ces estimations dosimétriques portent uniquement sur l'irradiation externe due aux dépôts, et ne tiennent pas compte de la dose supplémentaire susceptible d'être reçue par contamination interne résultant de la consommation de denrées alimentaires contaminées produites localement. On estime que la dose efficace due à l'ingestion peut être significativement plus élevée que la dose externe selon les conditions du dépôt et en fonction de l'efficacité des mesures de restriction alimentaire mises en place.

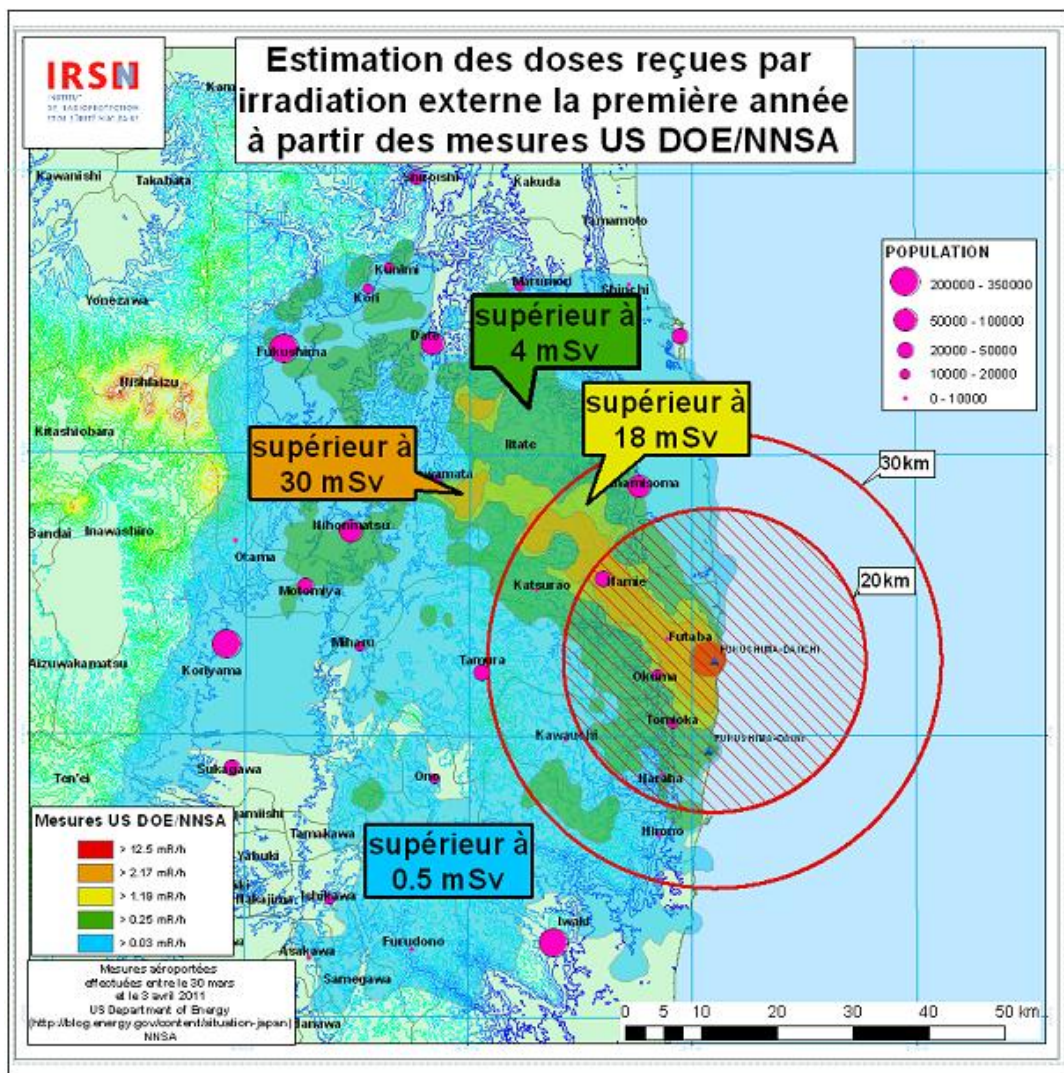


Figure 2 : Cartographie, réalisée par l'IRSN, des doses externes reçues la 1^{ère} année à partir des mesures aéroportées de débits de doses réalisées par le DoE/NNSA du 30 mars au 3 avril 2011 (carte publiée sur le site Internet de l'IRSN le 8 avril 2011)

2.2 LA PREMIERE EVALUATION DE L'IMPACT DOSIMETRIQUE REALISEE PAR LE DoE/NNSA DES ETATS-UNIS 38 JOURS APRES L'ACCIDENT

Le DoE/NNSA a publié le 18 avril 2011, soit 38 jours après l'accident, une évaluation des doses externes reçues la 1^{ère} année à partir des mesures aéroportées du débit de dose réalisées du 30 mars au 3 avril 2011 (figure 3). Cette cartographie des doses potentiellement reçues la 1^{ère} année est proche de celle de l'IRSN publiée le 8 avril 2011. La seule différence notable, dans la représentation cartographique, réside dans le choix de la borne supérieure des doses reçues, à savoir > 20 mSv pour l'US-DoE et > 30 mSv pour l'IRSN.

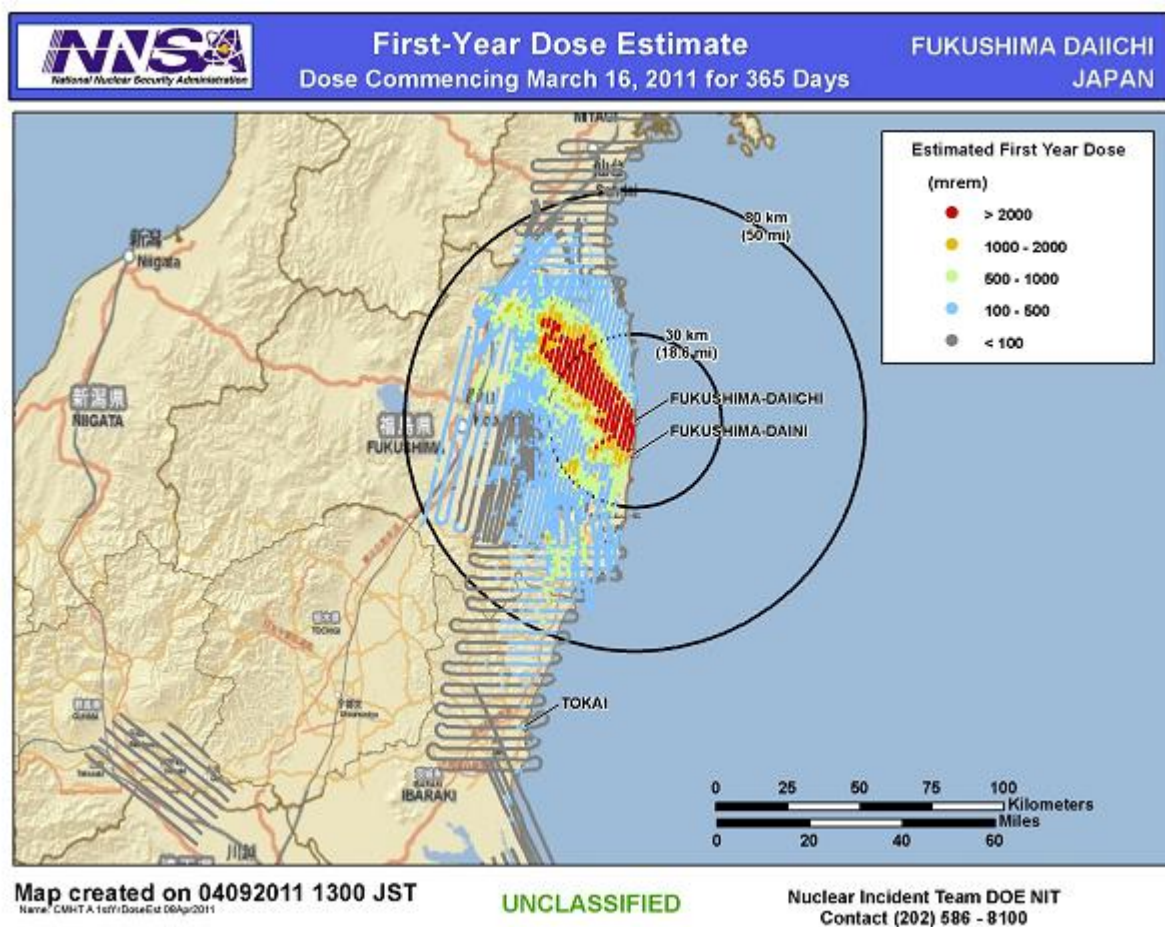


Figure 3 : Cartographie, réalisée par le DoE/NNSA, des doses externes reçues la 1^{ère} année à partir des mesures aéroportées de débits de doses réalisées par le DoE/NNSA du 30 mars au 3 avril 2011

2.3 LA PREMIERE EVALUATION DOSIMETRIQUE REALISEE PAR LE « MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY » (MEXT) DU JAPON 44 JOURS APRES L'ACCIDENT

Le MEXT a publié sur son site internet à la date du 26 avril 2011 une carte des débits de dose de la zone nord-ouest qui s'échelonnent entre 1 et 50 $\mu\text{Sv/h}$ (figure 3A) ainsi que la première carte dosimétrique officielle japonaise présentant les doses, en mSv, par irradiation externe dues aux dépôts et projetées sur la première année après l'accident. Les évaluations dosimétrique ont pris en compte un facteur de protection des habitations de 0,4 pendant 16 des 24 heures d'une journée. Le coefficient de réduction global est de 0,6. Cette valeur est à comparer à celle prise en compte dans l'évaluation de l'IRSN qui est de 0,65 (0,3 pendant 12 heures sur 24 heures).

Les doses externes de la 1^{ère} année sont comprises entre 10 et 200 mSv (figure 3B). C'est la première fois que l'on voit apparaître une dose externe pouvant dépasser 100 mSv, valeur qui correspond au seuil de détection par les études épidémiologiques d'un excès significatif de risque de cancer radio-induit.



Figure 3A : Cartographie des débits de dose externe ($\mu\text{Sv/h}$) publiée par le MEXT à la date du 26 avril 2011

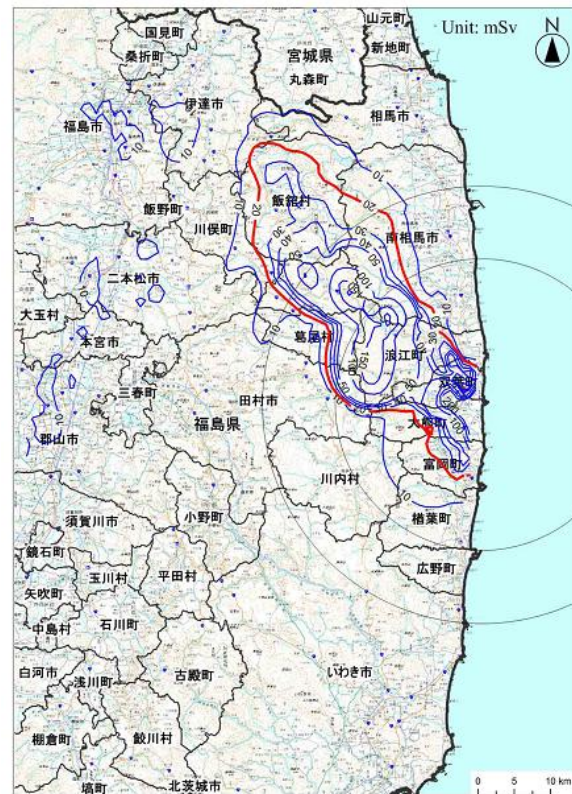


Figure 3B : Cartographie des évaluations de la dose externe (mSv) qui seront reçues la 1^{ère} année après l'accident et publiée par le MEXT à la date du 26 avril 2011

Pour simplifier la lecture et pouvoir comparer cette carte à la carte IRSN (figure 2) publiée le 8 avril 2011, M. Jean-Pierre BENOÎT du DEI/SESUC a réalisé une nouvelle « carte MEXT » en réduisant la gamme des isodoses à 5 valeurs : 5, 10, 20, 50 et 100 mSv (figure 4).

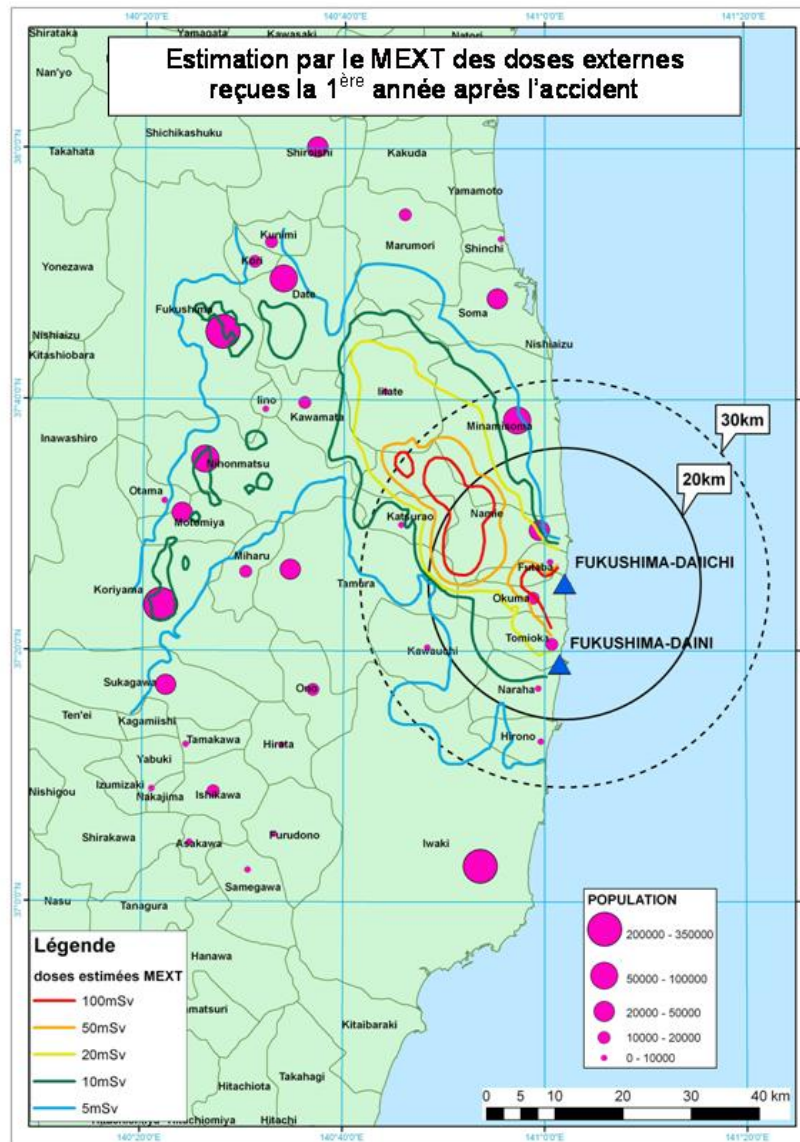


Figure 4 : Carte, adaptée par l'IRSN, des doses externes reçues la 1^{ère} année (mSv) à partir de la carte du MEXT (figure 3B) après réduction des isodoses à 5 valeurs repères : 5 ; 10 ; 20 ; 50 ; 100 mSv

L'isodose 5 mSv (trait bleu) de la figure 4 n'est pas présente sur la carte originale MEXT (figure 3B). Cette isodose de 5 mSv a été reconstituée par l'IRSN à partir de l'iso-débit de dose de 1 μ Sv/h de la carte de la figure 3A, en considérant un facteur de correspondance de 5 entre le débit de dose (en μ Sv/h) et la dose annuelle (en mSv), sachant que l'isodose de 20 mSv correspond à l'iso-débit de dose de 4 μ Sv/h.

Une comparaison de cette carte établie à partir de la première carte japonaise officielle avec la première carte dosimétrique de l'IRSN (figure 2) révèle des doses plus élevées sur la carte MEXT (figure 5).

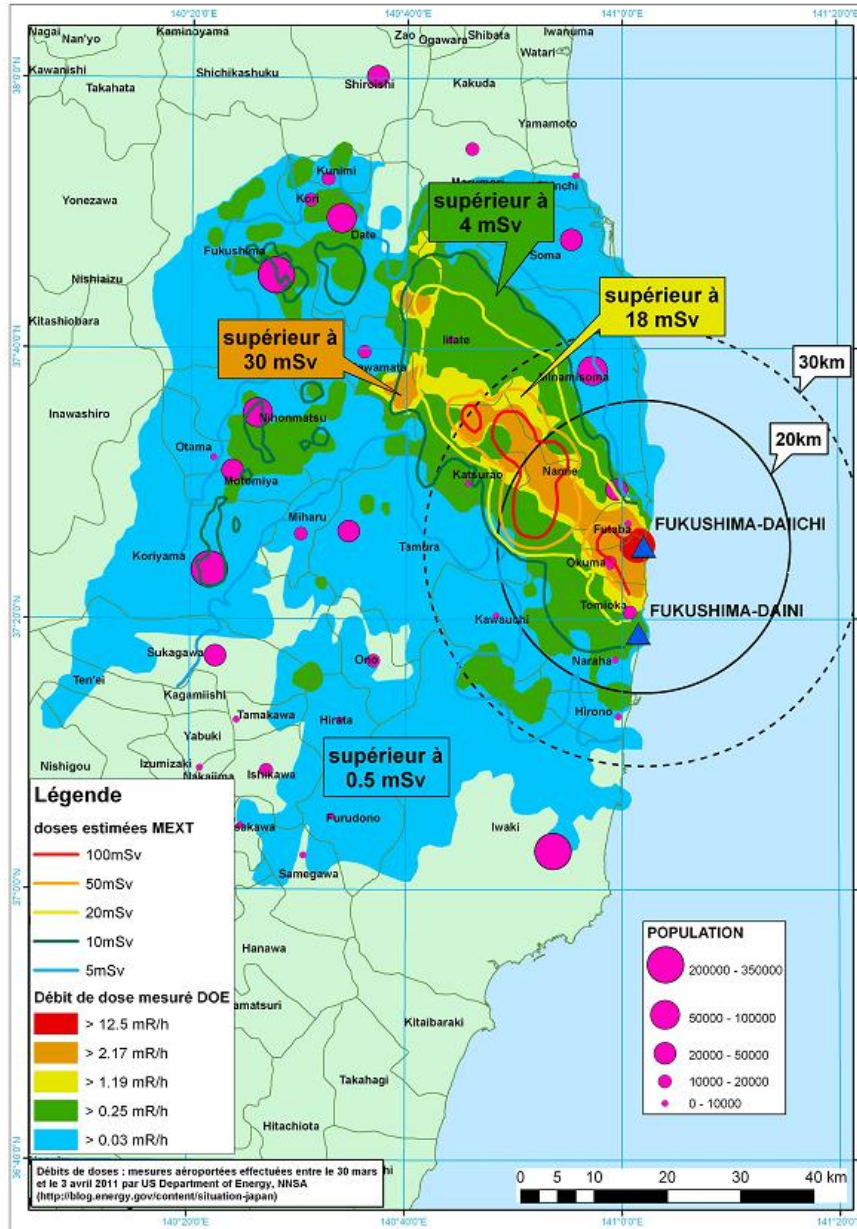


Figure 5 : Comparaison de la carte des doses externes 1^{ère} année réalisée par l'IRSN (figure 2) et de la carte dosimétrique MEXT publiée à la date du 24 avril (figure 4)

La comparaison de l'isodose MEXT 10 mSv (trait vert) avec la zone verte IRSN (> 4 mSv) montre que le facteur de multiplication entre les deux évaluations est de l'ordre de 2,5.

Ce facteur de multiplication entre les deux évaluations dosimétriques s'explique en partie par une surestimation des activités du couple baryum-140 / lanthane-140 dans les rejets évalués initialement par l'IRSN.

2.4 L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE RÉALISÉE PAR L'IRSN PRENANT EN COMPTE LA CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS DE CESIUM DU MEXT

Le 6 mai 2011, au 56^{ème} jour après l'accident, le MEXT a publié sur son site internet des cartes de dépôts de Cs-134, de Cs-137 et de leur somme (figure 6A) au niveau de la zone nord-ouest, en Bq/m², et une carte des débits de dose externe, en µSv/h, (figure 6B) qui résultent de ces dépôts. Il est à noter que le rapport Cs-134 sur Cs-137 est égal à 1 dans cette évaluation.

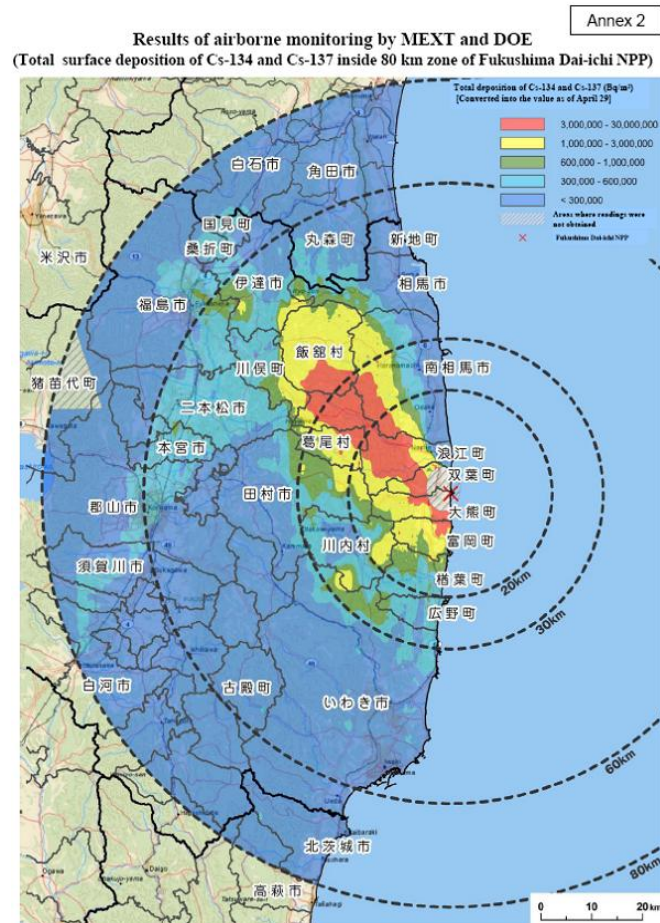


Figure 6A : Carte, réalisée par le MEXT et le DoE, représentant les dépôts au sol (Bq/m²) de la somme des Cs-137 et Cs-134 suite à des mesures aéroportées effectuées entre le 6 et le 29 avril 2011

Annex 1

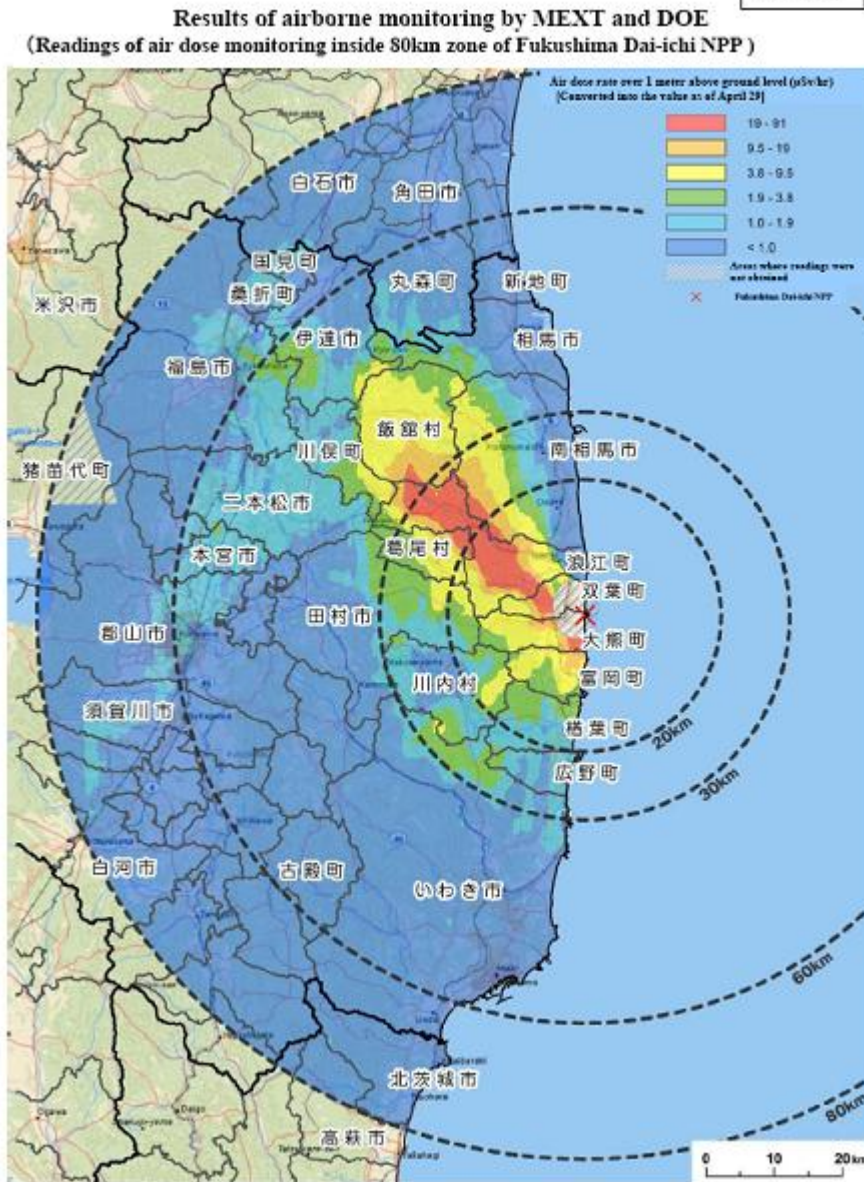


Figure 6B : Carte, réalisée par le MEXT et le DoE, représentant les débits de doses obtenus suite à des mesures aéroportées effectuées entre le 6 et le 29 avril 2011

La carte des dépôts des césiums (Cs-134 + Cs-137) présente 5 niveaux d'activité surfacique s'échelonnant de < 0,3 à 30 MBq/m². La carte des débits de doses présente quant à elle 6 niveaux de débits de dose entre < 1 et 91 µSv/h.

L'examen des 2 cartes montre que le facteur de conversion de débit de dose en activité surfacique est de l'ordre de 300 000 Bq/m² par µSv/h.

Une nouvelle carte des dépôts des césiums a été dessinée par l'IRSN (figure 7) qui reprend les mêmes niveaux que la carte MEXT entre 0,3 et 3 MBq/m² mais ajoute un niveau supplémentaire

(6 MBq/m²) calculé à partir du niveau 19 µSv/h figurant sur la carte 6A et du facteur de conversion ci-dessus.

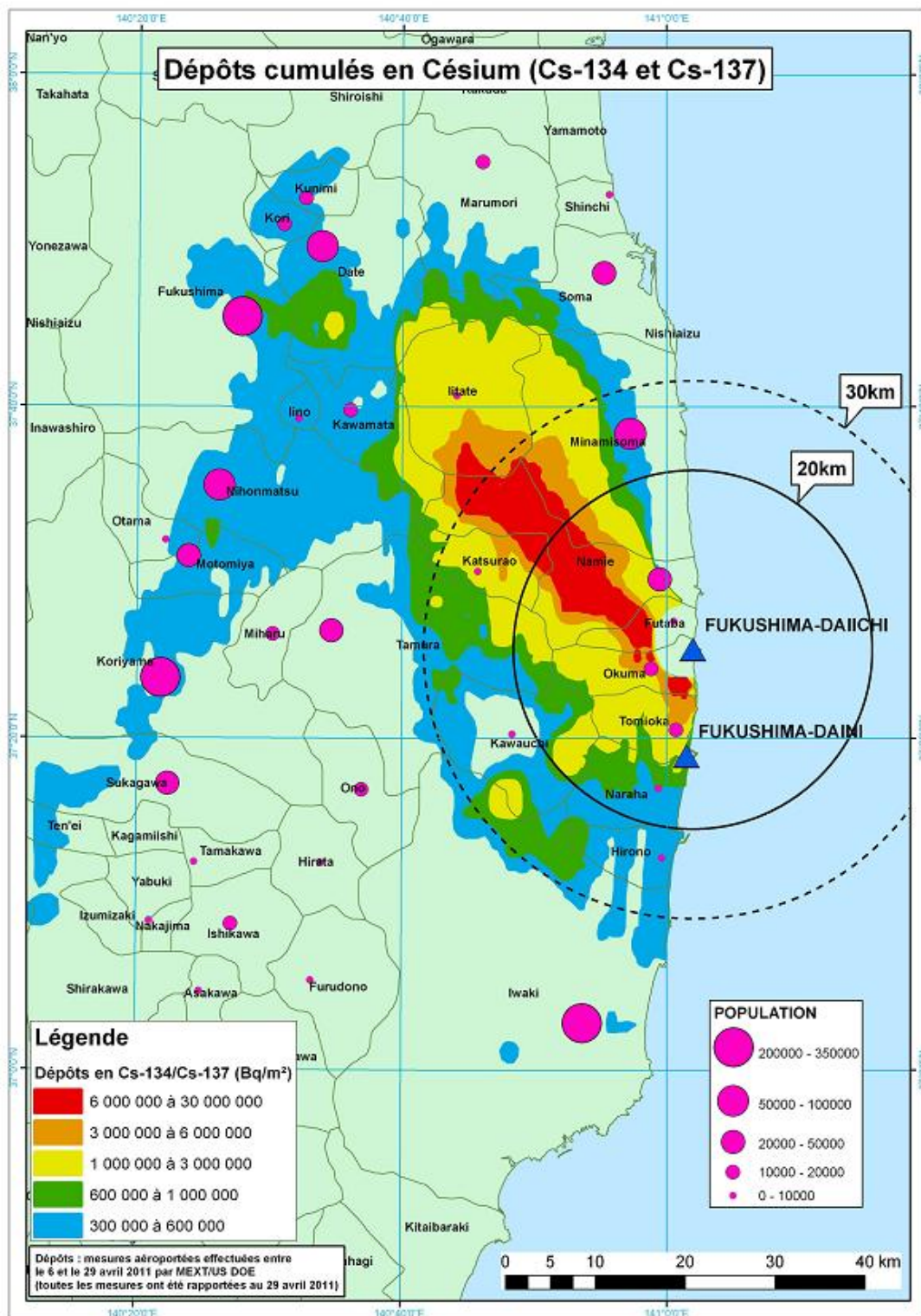


Figure 7 : Carte reprenant les données du MEXT sur les dépôts cumulés des césiums 137 et 134 de 0,3 à 30 MBq/m² et sur laquelle l'IRSN a ajouté le niveau de 6 MBq/m²

La comparaison de cette carte des dépôts de césium avec la carte MEXT des doses externes projetées pour la 1^{ère} année après l'accident (figure 4) permet de déterminer un coefficient de conversion entre l'activité des césiums déposés et la dose externe potentiellement délivrée en un an aux populations vivant sur ces territoires contaminés. La figure 8 illustre la superposition de ces 2 cartes (dépôts et doses) pour 3 niveaux de dose externe : 5 ; 10 ; 20 mSv.

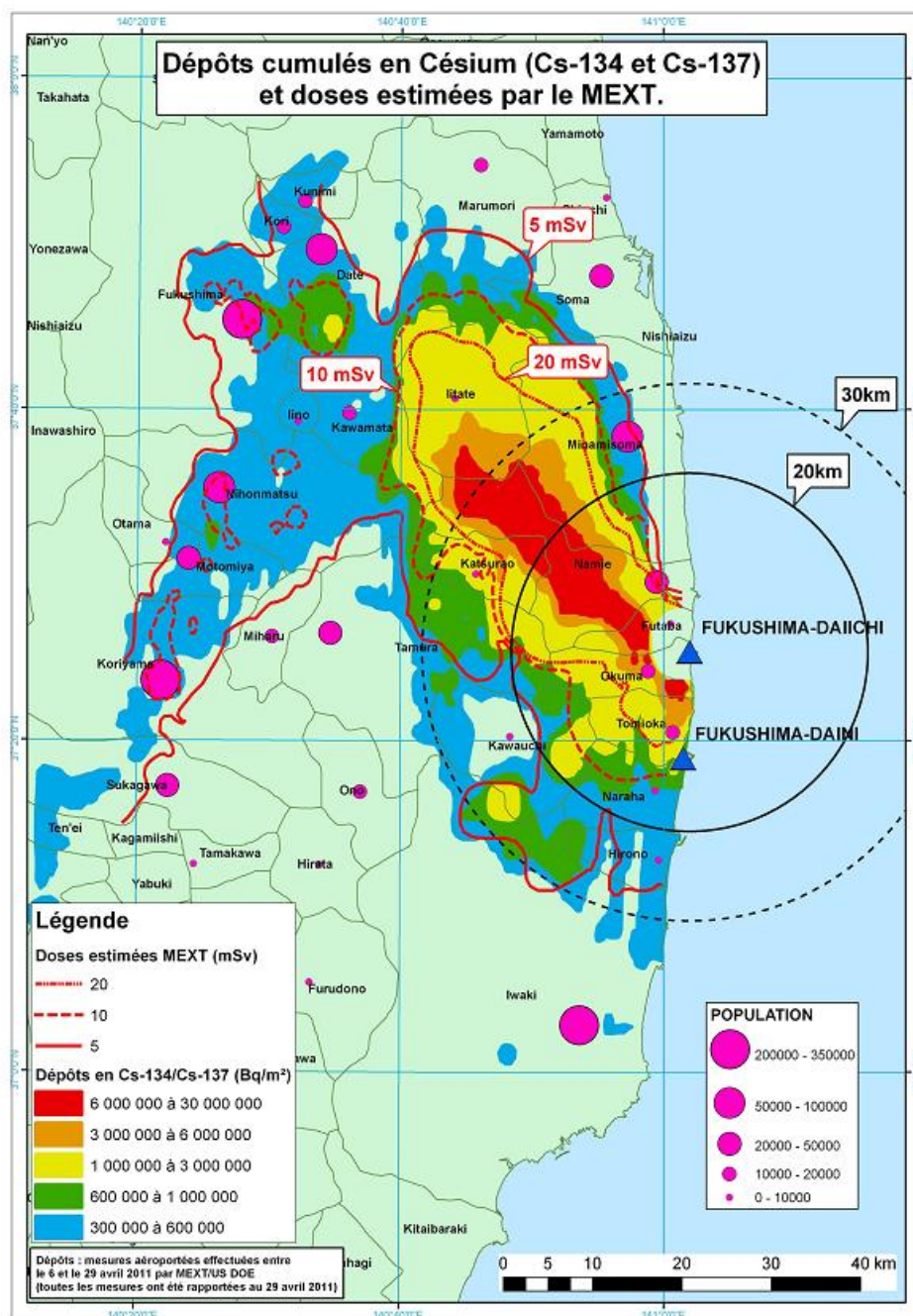


Figure 8 : Superposition de la carte des dépôts des césiums 137 + 134 de la figure 7 et de la carte des doses 1^{ère} année de la figure 4 pour les 3 niveaux de dose (5 ; 10 et 20 mSv)

Les dépôts de 300 000 à 600 000 Bq/m² correspondent à des doses externes projetées pour la 1^{ère} année comprises entre 5 et 10 mSv. Le coefficient de conversion de l'activité surfacique des césiums en dose externe 1^{ère} année est de **16,6 mSv/an par MBq/m²**. Les correspondances entre les niveaux de dépôt en césium et les doses externes potentiellement reçues la 1^{ère} année par les populations sont représentées sur le tableau 1.

Les tailles des populations présentes sur les différentes zones contaminées sont également présentées dans ce tableau 1. Elles sont établies à partir des données démographiques de la préfecture de Fukushima provenant du « Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan » (site internet <http://www.stat.go.jp/>).

Les populations concernées par chaque zone de dépôt sont déterminées au prorata des surfaces des communes interceptées, en calculant une densité moyenne pour chaque commune. Pour les cas particuliers des communes de Namie et Minamisoma, les zones urbaines n'étant pas concernées, la densité moyenne retenue a été déterminée en ne considérant que la partie rurale. Les limites administratives des communes utilisées pour les calculs de surfaces proviennent de la base de données « Global Administrative Area (site internet www.gadm.org) ».

Tableau 1 : Dépôts, doses externes 1^{ère} année et populations impliquées

Dépôts de césium (137 + 134) (Source MEXT)	> 300 000 Bq/m ²	> 600 000 Bq/m ²	> 1 million Bq/m ²	> 3 millions Bq/m ²	6 - 30 millions Bq/m ²
Dose externe 1 ^{ère} année (16,6 mSv par MBq/m ²)	> 5 mSv	> 10 mSv	> 16 mSv	> 50 mSv	100 - 500 mSv
Population hors zone d'exclusion	292 000	69 400			
		43 000	26 400		
			21 100	3 100	2 200

Les doses projetées pour les 10 premières années et les 70 années suivant l'accident de Fukushima, mises en correspondance avec les dépôts de césium et les populations impliquées, sont présentées dans le tableau 2. Ces doses ont été évaluées à partir des éléments suivants :

- la dose reçue la première année calculée par le MEXT,
- les rapports entre les doses reçues respectivement au bout de 10 et 70 ans et celles reçues pendant la première année ; ces rapports ont été déterminés à partir des doses reçues pour des durées d'exposition de 1, 10 et 70 ans, calculées à partir d'une nouvelle estimation du

terme source par l'IRSN. Selon ce terme source les débits de dose mesurés 2 semaines après l'accident résultent pour :

- 43% des césiums (Cs-137, Cs-136 et Cs-134);
- 17% de l'iode-131 ;
- 13% des tellure-132 / iode-132 ;
- 10,5% des ruthénium-103 / rhodium-103 ;
- 9,5% des baryum-140 / lanthane-140 ;
- 4% du niobium-95.

Tableau 2 : Dépôts, doses externes projetées à 10 et 70 ans et populations impliquées

Dépôts de césium (137 + 134) (Source MEXT)	> 300 000 Bq/m ²	> 600 000 Bq/m ²	> 1 million Bq/m ²	> 3 millions Bq/m ²	6 - 30 millions Bq/m ²
Dose externe 10 ans (63 mSv par MBq/m ²)	> 19 mSv	> 38 mSv	> 63 mSv	> 190 mSv	380 - 1900 mSv
Dose externe vie (70 ans) (136 mSv par MBq/m ²)	> 41 mSv	> 82 mSv	> 136 mSv	> 408 mSv	816 - 4080 mSv
Population hors zone d'exclusion	292 000	69 400			
		43 000	26 400		
			21 100	3 100	2 200

Les projections des doses externes qui sont susceptibles d'être reçues par les populations vivant en territoires contaminés toute leur vie donnent des valeurs particulièrement significatives, certaines sortant même du champ dit des faibles doses redéfini en 2010 par l'UNSCEAR, à savoir moins de 200 mSv³. L'effectif des populations impliquées pourrait être également significatif, de l'ordre de 70 000 personnes dont 9 500 enfants de 0 à 14 ans (les enfants au Japon représentant 13,7% de la population en 2005).

Ces niveaux de doses ne prennent pas en compte les doses reçues lors du passage du panache sur les territoires concernés ni celles déjà prises ou à venir liées à l'alimentation.

Les doses efficaces totales (externe + interne) pourraient être augmentées significativement selon le type de dépôt (sec ou humide), le régime alimentaire et la provenance des aliments.

³ Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. Fifty-seventh session (16-20 August 2010)

Les doses externes 1^{ère} année, les surfaces et les populations impactées dans les territoires fortement contaminés par l'accident de Fukushima peuvent être mises en perspective avec celles de l'accident de Tchernobyl (cf. le tableau en Annexe).

Les surfaces fortement contaminées situées en dehors de la zone d'évacuation initiale des 20 km autour de la centrale de Fukushima seraient de 8,5 % de celles de Tchernobyl (874 km² à comparer à 10 300 km²) et l'ordre de grandeur de la taille de la population concernée serait de 26 % de celle de Tchernobyl (69 400 personnes à comparer à 270 000).

3 L'IMPACT DES MESURES D'EVACUATION SUR LES DOSES EXTERNES PROJETEES

Le retour d'expérience de l'accident de Tchernobyl a conduit la Commission internationale de Protection Radiologique (CIPR) à élaborer une doctrine à appliquer en situation d'urgence vis-à-vis des populations concernées, qui a été introduite dans la publication 103 de 2007 et décrite plus en détail dans la publication 109 de 2009.

Les actions de protection par évacuation qui sont ou qui seront mises en place au Japon devraient logiquement s'appuyer sur les recommandations des publications 103 et 109 de la CIPR.

3.1 L'IMPACT DES MESURES D'EVACUATION SUR LES TAILLES DE POPULATION SELON LES NIVEAUX DE REFERENCE RETENUS

La publication 103⁴ de la CIPR fournit un cadre conceptuel pour la protection des populations dans une situation d'exposition d'urgence radiologique. Les recommandations ont été précisées par la CIPR dans sa publication 109⁵. La première préoccupation doit être d'éviter ou de réduire les doses reçues par la population. Cependant, l'accident qui est à l'origine de cette situation peut avoir des conséquences allant très au-delà des seuls effets des rayonnements sur la santé : par exemple, conséquences économiques, sociales...

La mise en œuvre de toute action de protection individuelle doit alors, d'une part être justifiée, c'est-à-dire qu'elle doit apporter plus d'avantages -individuels ou collectifs- que d'inconvénients, et d'autre part être optimisée pour faire en sorte que la probabilité d'exposition, le nombre de personnes exposées et le niveau des doses individuelles soient maintenus au niveau le plus faible raisonnablement possible, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux.

⁴ Recommandations 2007 de la Commission Internationale de Protection Radiologique. Publication 103. Editions Tec&Doc (2009)

⁵ Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1) (2009)

Pour cela, la CIPR recommande l'utilisation de niveaux de référence. Les niveaux de référence représentent le niveau de dose ou de risque :

- au-dessus duquel l'exposition est jugée inacceptable et nécessite la mise en œuvre d'actions de protection,
- en-dessous duquel la protection doit être optimisée, ceci en prenant en compte toutes les voies d'exposition.

Pour la situation post-accidentelle, la CIPR propose de retenir un niveau de référence en termes de dose efficace dans une plage de 20 à 100 mSv reçue en une année. Le choix de la valeur du niveau de référence doit être adapté à la situation et à la stratégie de protection à laquelle celle-ci est appliquée.

Les ressources nécessaires pour mettre en œuvre les mesures de protection ne sont pas les seuls facteurs qui interviennent dans le cadre d'une stratégie globale de protection. D'autres facteurs existent, parmi lesquels : bouleversements individuels et sociétaux, anxiété et réconfort, conséquences économiques indirectes. En particulier, l'évacuation prolongée d'une population suppose des conditions de relogement acceptables.

Au final, la stratégie globale de protection choisie doit apporter plus d'avantages que d'inconvénients et impliquer les parties prenantes dans les discussions préalables à la prise de décision.

L'application des recommandations de la publication 103 de la CIPR à la situation de Fukushima aurait des conséquences très variables en termes de population à évacuer selon le niveau de référence choisi par les autorités japonaises.

Le tableau 3, lui-même extrait du tableau 2, illustre dans une plage de 20 à 100 mSv l'impact du niveau de référence choisi sur la taille des populations à évacuer.

Tableau 3 : Doses externes 1^{ère} année et populations impliquées et niveaux de référence recommandés par la CIPR en situation d'urgence radiologique

Dose externe 1 ^{ère} année	> 5 mSv	> 10 mSv	> 16 mSv	> 50 mSv	100 - 500 mSv
Population hors zone d'exclusion	292 000	69 400			
		43 000	26 400		
			21 100	3 100	2 200

Le tableau 3 montre que 2 200 personnes dont la dose externe dépasserait 100 mSv la 1^{ère} année devraient être impérativement évacuées. Suivant le niveau retenu entre 20 et 100 mSv, l'ordre de grandeur de la taille de la population à évacuer pourrait fluctuer entre 2 200 et environ 15 000 à 20 000 personnes. Ces données démontrent qu'il est impératif d'évacuer *a minima* les 2200 personnes susceptibles de recevoir des doses supérieures à 100 mSv.

3.2 L'IMPACT DOSIMETRIQUE DES MESURES D'EVACUATION SELON LES DELAIS D'EXECUTION

La taille des populations de Fukushima vivant dans la zone nord-ouest des retombées et susceptibles de dépasser la dose externe de 10 mSv la 1^{ère} année suit une décroissance exponentielle en fonction des doses externes à recevoir dans les 4 ans qui suivent l'accident si aucune mesure d'évacuation n'est prise (droite bleue en échelle logarithmique de la figure 9A).

La comparaison de cette répartition de la population de Fukushima avec celle de Tchernobyl en fonction des doses externes reçues permet de mettre en perspective l'impact dosimétrique de l'accident de Fukushima par rapport à celui de Tchernobyl, pour 3 scénarios : évacuation à 4 ans (figure 9A), à 1 an (figure 9B) et à 3 mois (figure 9C).

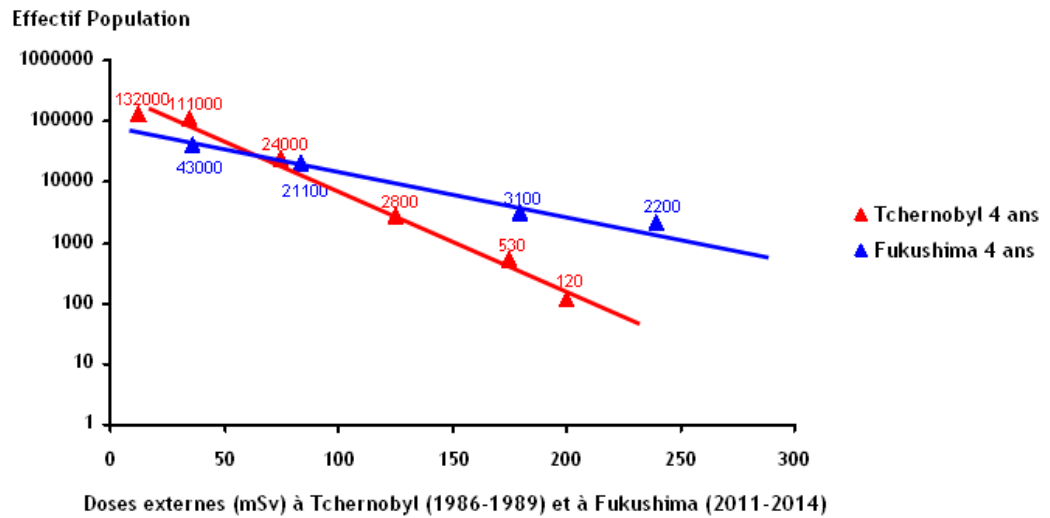


Figure 9A : Répartition de l'effectif des populations de Fukushima et de Tchernobyl en fonction des doses externes, projetées (à Fukushima) et reçues (à Tchernobyl) au cours des 4 années qui suivent l'accident

Ainsi, en l'absence de mesure d'évacuation des populations à Fukushima l'impact dosimétrique de l'accident de la centrale japonaise pourrait être du même ordre de grandeur que celui de la centrale ukrainienne. La répartition en fonction de la dose externe reçue en 4 ans par les 270 000 personnes ayant vécu dans les territoires les plus contaminés par les retombées de Tchernobyl⁶ (> 555 000 Bq/m²) suit également une décroissance exponentielle matérialisée par la droite rouge en échelle logarithmique de la figure 9A). La comparaison des doses externes reçues pendant 4 ans par les 270 000 personnes ayant vécu sur les territoires fortement contaminés par l'accident de Tchernobyl à celles qui sont susceptibles d'être délivrées sur la même durée aux 70 000 personnes qui résident dans la zone nord-ouest de la centrale de Fukushima Daiichi montre qu'une frange de la population japonaise serait plus impactée que celle de Tchernobyl. Aux doses les plus élevées (au dessus de 100 mSv en 4 ans), la taille de la population impactée à Fukushima (3100+2200, soit 5300 personnes) est plus élevée que celle Tchernobyl (2800+530+120, soit 3450 personnes).

Un indicateur de risque qui prenne en compte à la fois l'impact dosimétrique et les tailles de la population est la dose collective (en personne.Sv), produit de la dose par le nombre de personnes impliquées.

⁶ Tchernobyl : évaluation des incidences radiologiques et sanitaires. Mise à jour 2002 de Tchernobyl dix ans déjà, Agence pour l'Energie Nucleaire OCDE Tableau 11 p. 77

La dose collective externe délivrée sur 4 ans pour la population de 270 000 personnes à Tchernobyl est de 7 300 personnes.Sv (tableau 11 Référence ci-dessus). La dose collective externe projetée sur 4 ans pour la population de 70 000 personnes à Fukushima est de 4 400 personnes.Sv. Ainsi, en l'absence de contremesures d'évacuation pendant 4 ans, l'impact dosimétrique externe de l'accident de Fukushima serait 60 % de celui de Tchernobyl.

La figure 9B illustre la distribution des doses externes projetées pour l'année qui suit l'accident de Fukushima. Cette distribution s'est décalée vers les plus faibles doses par rapport à la distribution des doses de Tchernobyl (1986-1989).

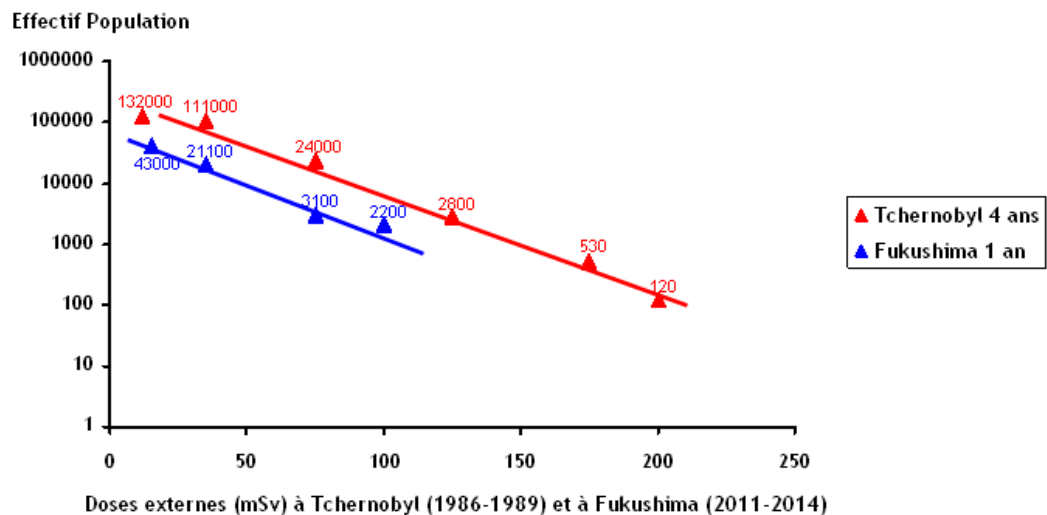


Figure 9B : Répartition de l'effectif des populations de Tchernobyl en fonction des doses externes 4 ans et des populations de Fukushima en cas d'évacuation un an après l'accident

L'évacuation des populations japonaises un an après l'accident réduirait très significativement l'impact dosimétrique. La nouvelle dose collective deviendrait 1800 personnes.Sv, soit une réduction de 59 % de l'impact dosimétrique de l'accident.

La figure 9C illustre la distribution des doses externes projetées pour les 3 mois qui suivent l'accident de Fukushima. Cette distribution s'est très fortement décalée vers les plus faibles doses par rapport à la distribution des doses de Tchernobyl (1986-1989).

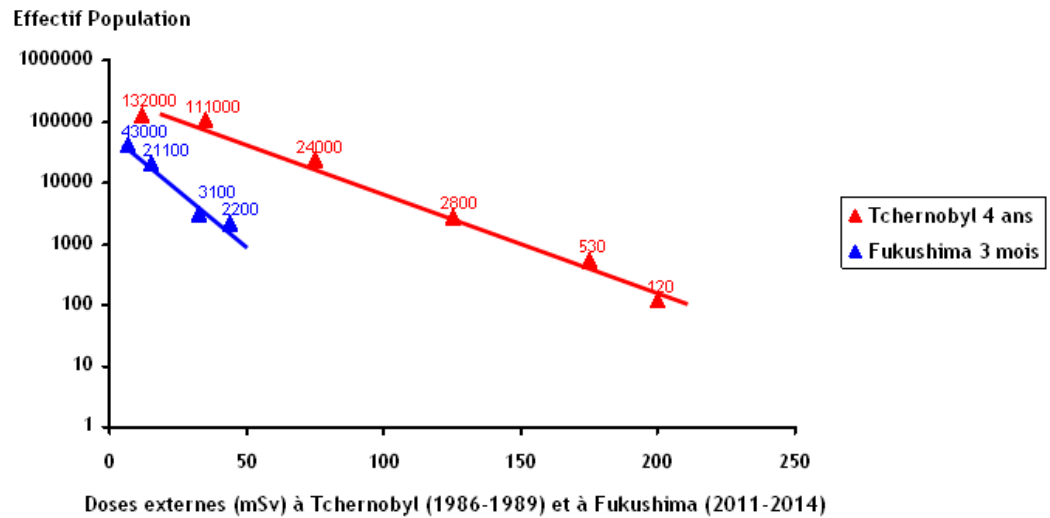


Figure 9C : Répartition de l'effectif des populations de Tchernobyl en fonction des doses externes 4 ans et des populations de Fukushima en cas d'évacuation 3 mois après l'accident

L'évacuation des populations japonaises dans un délai de 3 mois après l'accident réduirait de façon drastique l'impact dosimétrique. La nouvelle dose collective deviendrait 800 personnes.Sv, soit une réduction de 82% de l'impact dosimétrique de l'accident.

Ainsi, en cas d'évacuation totale des populations 1 an et *a fortiori* 3 mois après l'accident de Fukushima, le risque projeté de développer à long terme une leucémie ou un cancer radio-induit pour la population japonaise serait très nettement inférieur à celui de Tchernobyl.

4 CONCLUSIONS

Depuis le début de l'accident de Fukushima, plusieurs évaluations dosimétriques ont été réalisées par l'IRSN, le DoE des Etats-Unis et le MEXT du Japon. Ces évaluations dosimétriques sont du même ordre de grandeur, et on observe une grande cohérence entre ces évaluations dosimétriques et l'importance des dépôts en césium-137 et césium-134.

Les projections des doses externes qui sont susceptibles d'être reçues par les populations vivant en territoires contaminés toute leur vie donnent des valeurs particulièrement significatives, supérieures à 200 mSv, qui ne sont plus dans le champ dit des faibles doses selon l'UNSCEAR. L'effectif des populations impliquées pourrait être également significatif, de l'ordre de 70 000 personnes dont 9 500 enfants de 0 à 14 ans (les enfants au Japon représentant 13,7% de la population en 2005).

Ces niveaux de doses ne prennent pas en compte les doses reçues lors du passage du panache sur les territoires concernés et celles déjà prises ou à venir liées à l'alimentation. Les doses efficaces totales (externe + interne) pourraient être augmentées significativement selon le type de dépôt (sec ou humide), le régime alimentaire et la provenance des aliments.

L'importance des doses externes projetées sur les prochaines années - jusque 4 Sv pour la dose vie (70 ans) dans les régions les plus contaminées (30 millions de Bq/m² de césium-137 + 134) - impose d'envisager des mesures de protection de la population par évacuation.

Conformément aux recommandations de la CIPR en situation d'urgence, le choix du niveau de référence le plus protecteur, soit une dose maximale de 20 mSv au cours de la première année, permettrait d'éviter des doses externes supérieures à cette valeur pour 15 000 à 20 000 personnes.

Si les autorités japonaises décidaient de prendre un niveau de référence encore plus protecteur, par exemple celui de 10 mSv au cours de la première année, les doses externes évitées pour les populations concernées (70 000 personnes environ) seraient d'autant plus importantes que les délais d'exécution de l'évacuation seraient plus courts. Ainsi, une évacuation un an après l'accident conduirait à éviter 59% de la dose externe projetée pour cette population ; une évacuation 3 mois après l'accident permettrait d'en éviter 82%.

Cette politique de prévention du risque de développer à long terme une leucémie ou un cancer radio-induit a manifestement été appréhendée par les autorités japonaises comme en témoigne la carte d'évacuation des populations au delà de la zone initiale d'exclusion des 20 km rapportée par l'AIEA et portée à la connaissance de l'IRSN le 16 mai, soit le 66^{ème} jour après l'accident (figure 10). La zone d'évacuation retenue semble satisfaire le niveau de référence de 20 mSv, le plus protecteur de la plage recommandée par la CIPR dans les situations d'urgence. Cette prise de décision des autorités japonaises démontre rétrospectivement la pertinence de la carte d'évaluation dosimétrique de l'IRSN, la première à avoir été publiée dans le monde, 28 jours après l'accident.

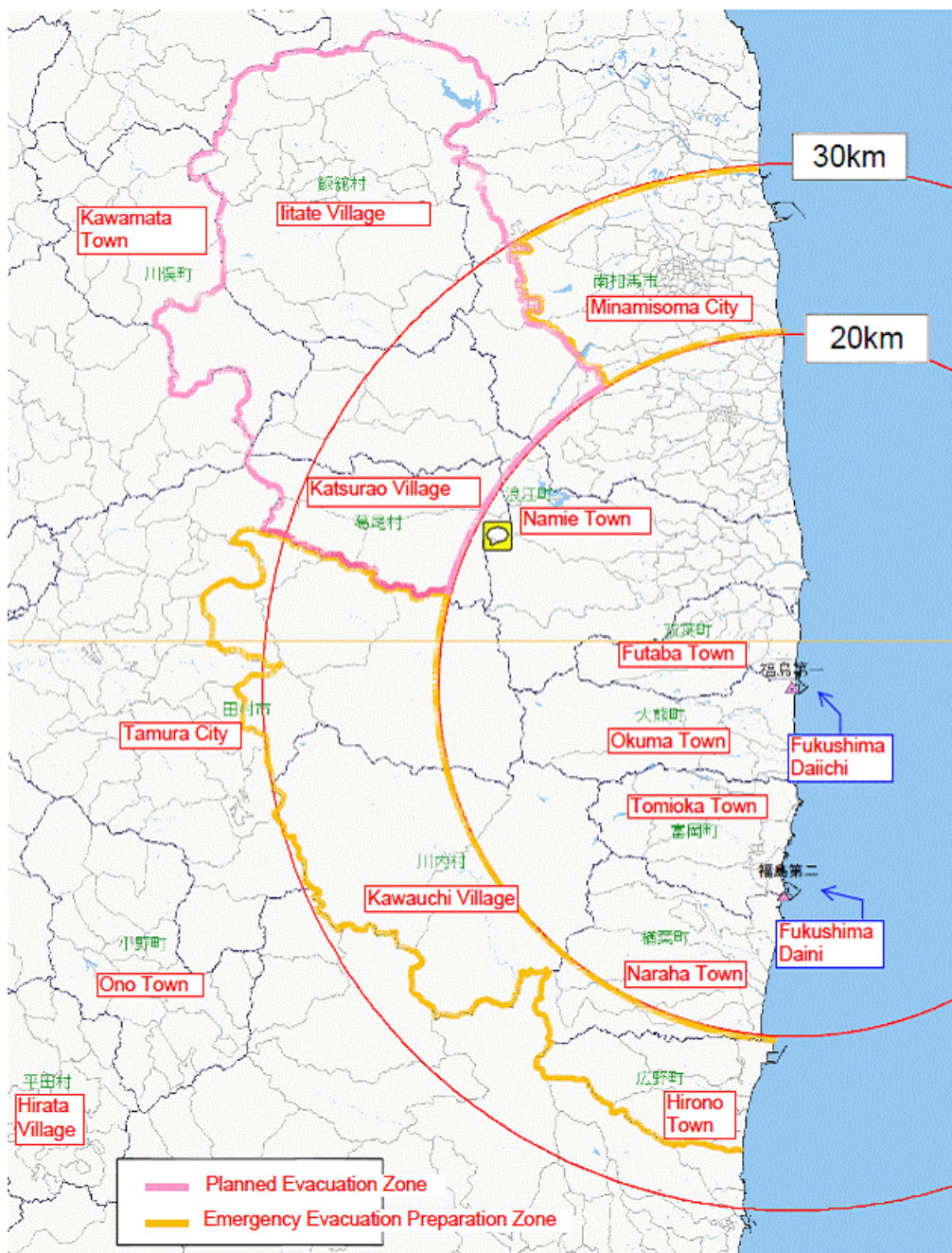


Figure 10 : Zones d'évacuation planifiées ou en préparation établie par les autorités japonaises compétentes dont la « Nuclear and Industrial Safety Agency » (NISA) et le MEXT

ANNEXE

**Tableau de comparaison des accidents
de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011),
en termes de dépôts, doses, populations et surfaces concernées**

TCHERNOBYL

Régions plus faiblement contaminées				Régions fortement contaminées					
ORGANISATION ADMINISTRATIVE des ZONES CONTAMINEES	ZONE Contrôle Radiologique	ZONE « Relogement Volontaire » Création d'entreprises agricoles et industrielles interdite Développement des entreprises existantes interdit		« STRICT CONTROL ZONES (SCZs) » « Zone de Relogement Obligatoire » Productions agricoles et industrielles interdites Entrées et sorties soumises à autorisation spéciale				ZONE EVACUATION INITIALE 30 km	
		Dépôts de césium-137	Dose externe 1 ^{ère} année (13 mSv par MBq de Cs-137 /m ²)	Surface	Population	EVACUATION (sans caractère obligatoire)	EVACUATION OBLIGATOIRE		
		37 000 Bq/m ² (1 Ci/km ²)	185 000 Bq/m ² (5 Ci/km ²)	370 000 Bq/m ² (10 Ci/km ²)	555 000 Bq/m ² (15 Ci/km ²)	1,5 million Bq/m ² (40 Ci/km ²)	3,7 millions Bq/m ² (80 Ci/km ²)	7,4 millions Bq/m ² (200 Ci/km ²)	Jusqu'à 37 millions Bq/m ² (1 000 Ci/km ²)
		> 0,5 mSv	> 2,4 mSv	> 5 mSv	> 7 mSv	> 20 mSv	> 50 mSv	> 100 mSv	
		116 000 km ²	19 000 km ²		7 200 km ²	3 100 km ²			2 830 km ²
		5 281 000 (1995)	1 300 000 (1995)		270 000 (1986)				135 000

FUKUSHIMA Dai-ichi

Dépôts de césium-137 (MEXT)	Dose externe 1 ^{ère} année (33 mSv par MBq de Cs-137 /m ²)	Surface hors zone d'exclusion	Population hors zone d'évacuation initiale	> 150 000 Bq/m ²	> 300 000 Bq/m ²	> 500 000 Bq/m ²	> 1,5 million Bq/m ²	3 -15 million Bq/m ²	ZONE EVACUATION INITIALE 20 km
		?	?	> 5 mSv	> 10 mSv	> 16 mSv	> 50 mSv	100 - 500 mSv	
		?	?	1 241 km ²	320 km ²	384 km ²	91 km ²	79 km ²	628 km ²
				292 000	69 400				85 000
				43 000	26400				
					21 100	3 100	2 200		