

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Séisme de Tohoku au large de l'île d'Honshu (Japon)

du vendredi 11 mars 2011 (5h46 TU)
Magnitude = 9,0

Version 2 du 22 avril 2011

*Le Bureau
d'évaluation
des risques
sismiques pour
la sûreté des
installations
(BERSSIN) de l'IRSN
effectue
des recherches
et des expertises
sur l'aléa sismique
en tant que source
d'agression externe
des installations
à risque*

Rappel des faits

Vendredi 11 mars 2011, à 5h46 TU (14h46 heure locale), un séisme de magnitude 9,0 s'est produit à 80 km à l'Est de l'île d'Honshu au Japon.

- La magnitude de moment du séisme (M_w) est estimée à 9,0. L'épicentre est situé à 370 km au NNE de Tokyo, à une latitude de 38,32°N et une longitude de 142,37°E (Figure 1). Le séisme s'est produit sur la zone de subduction à environ 25 km de profondeur. D'après les premières estimations, la zone de faille qui a rompu s'étend sur plus de 500 km, expliquant la durée exceptionnellement longue de la secousse enregistrée à Tokyo (plus de 2 mn). Cet événement de très forte magnitude se place au 4^{ème} rang des séismes les plus forts recensés depuis le XVIII^{ème} siècle. (sources : USGS NEIC/JMA).
- Ce séisme a généré un tsunami de grande ampleur qui a fortement impacté l'ensemble de la côte Est de la région de Tohoku (Nord de l'île d'Honshu). Dans les zones de plus faible relief, le tsunami a pénétré dans les terres sur près de 5 km. Localement, l'eau est montée de plus de 20 m. Le tsunami s'est propagé dans l'ensemble de l'océan Pacifique où il n'a pas occasionné de dommages importants.
- Le séisme a été très fortement ressenti sur une grande partie du territoire de l'île d'Honshu. Pour l'essentiel, il semble que les pertes humaines et les dégâts matériels soient liés au tsunami. Compte tenu de l'ampleur de la catastrophe, l'évaluation du bilan humain et matériel est régulièrement révisée à la hausse.
- Plusieurs centrales nucléaires se situent sur la façade orientale de l'île d'Honshu. Dès les premières secousses, les quatre centrales nucléaires les plus proches de l'épicentre se sont mises à l'arrêt automatiquement. Le tsunami a entraîné la perte des systèmes de refroidissement des centrales de Fukushima Daiichi et Fukushima Daini, occasionnant un accident nucléaire avec relâchement de radioactivité. L'évolution de la situation a été communiquée régulièrement sur les sites internet de l'IRSN et de l'ASN.

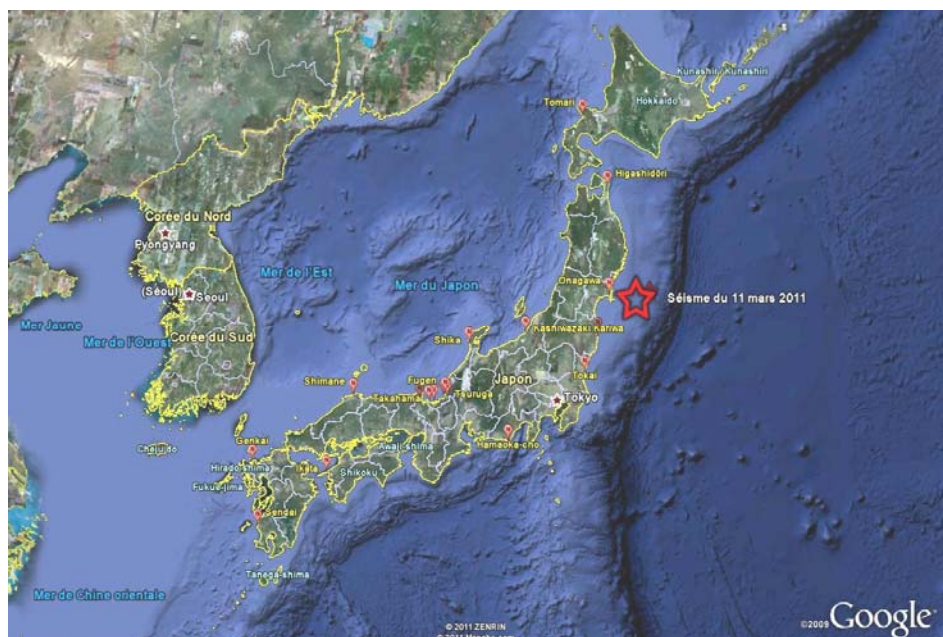


Figure 1. Localisation de l'épicentre du séisme du 11 mars 2011 - Google Earth

CONTACT :

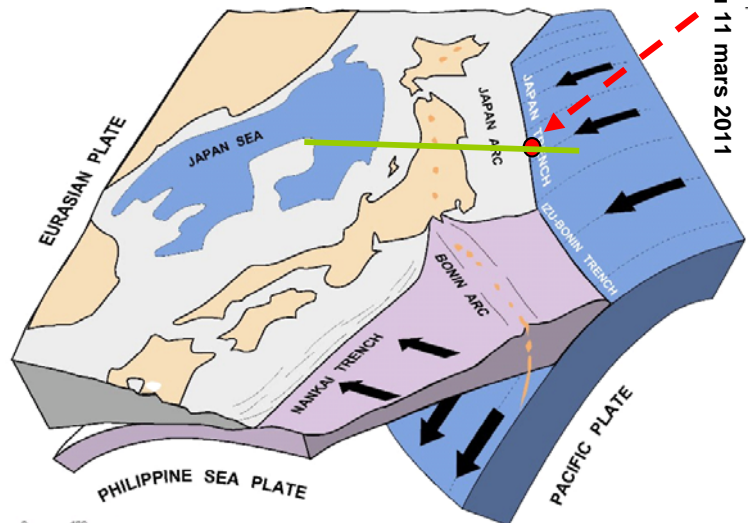
Baumont David
IRSN/DEI/SARG/BERSSIN
01 58 35 76 83
David.Baumont@irsn.fr

Contexte sismotectonique et sismicité historique

L'archipel du Japon se situe à l'aplomb d'une zone de convergence de trois plaques tectoniques dont la structure est complexe (Figure 2).

Au sud, la plaque philippine plonge sous la plaque eurasienne, tandis qu'au nord (au large de Tokyo), la plaque pacifique plonge sous les plaques philippine et eurasienne.

La convergence rapide de ces plaques (-8-9 cm/an) génère une forte sismicité, localisée principalement au niveau des zones de contact des zones de subduction. Les séismes majeurs sont généralement situés au large des côtes et à des profondeurs comprises en moyenne entre 10 et 50 km (Figure 3).



Séisme du 11 mars 2011

Figure 2. Contexte sismotectonique du Japon (d'après L. Jolivet). Le trait vert situe la coupe présentée sur la figure 3

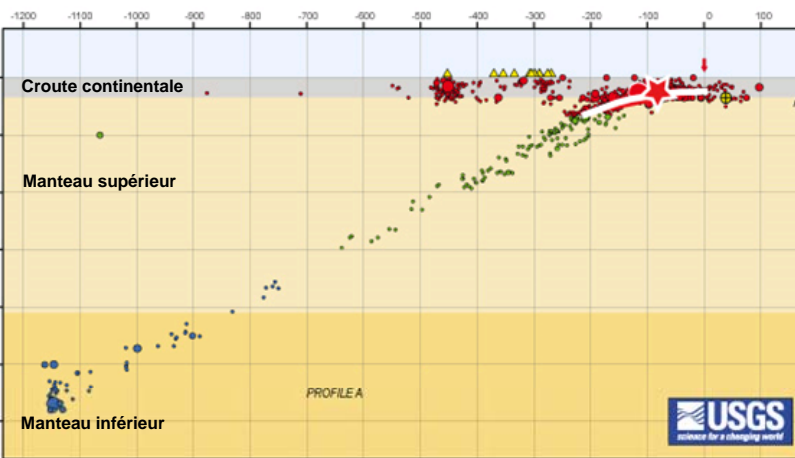


Figure 3. Coupe de répartition des séismes enregistrés entre 1900 et 2007 (voir Figure 2). L'étoile rouge correspond au séisme du 11 mars, le trait blanc à la zone rompue lors de ce séisme.

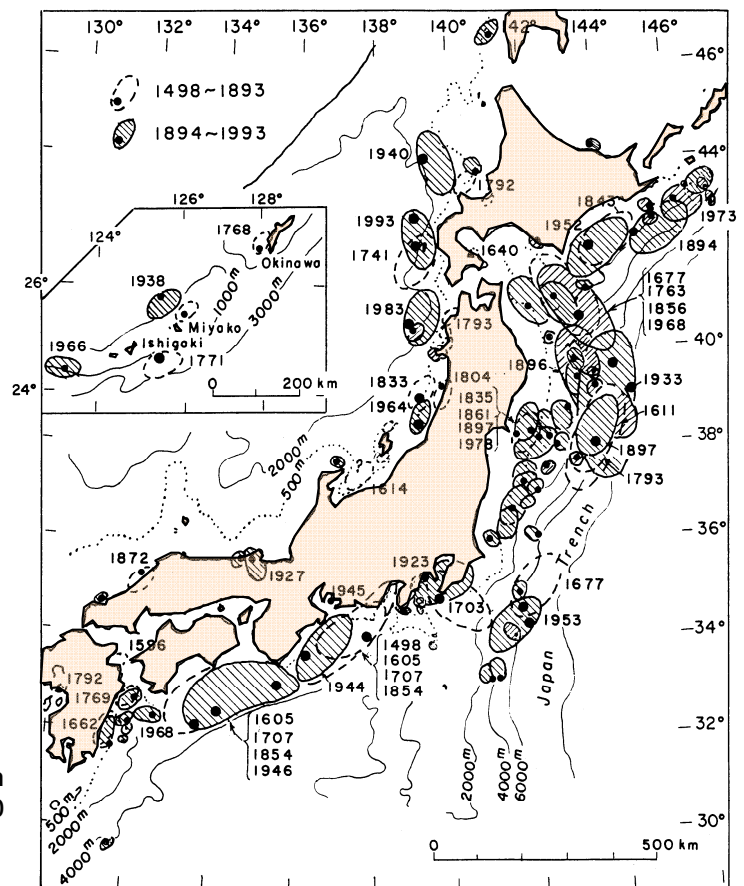
Document USGS/IPGP

Les séismes se distribuent en majorité dans la zone de contact entre les deux plaques, mais aussi dans la plaque pacifique plongeante et la plaque supérieure eurasiennne. La sismicité souligne bien la structure tectonique globale schématisée en Figure 2.

Au cours de son histoire, le Japon a subi de très nombreux séismes meurtriers. En particulier les séismes de Zenkoji (34 000 morts, magnitude 7,4 le 18/05/1847) ; Sanriku (22 000 morts, magnitude 7,6 le 15/06/1896) ; Tokyo (plus de 100 000 morts, magnitude 8,3 le 01/09/1923) ; Kobé (5 502 morts, magnitude 7,2 le 16/01/1995).

Au risque sismique, il faut ajouter le risque de tsunami, phénomène particulièrement fréquent au Japon. Un tsunami est une onde générée par le déplacement d'un important volume d'eau. C'est en particulier le cas lorsqu'un séisme modifie la topographie du fond marin (typiquement pour des séismes dont la magnitude est supérieure à 7).

Figure 4. Séismes localisés au voisinage du Japon ayant générés des tsunamis au cours des 500 dernières années - Source JNES



Premières analyses concernant le séisme de Tohoku

La magnitude de moment du séisme (M_w), initialement estimée à 8,9, a été réévaluée à 9,0 par l'USGS, ce qui le place au 4^{ème} rang des séismes les plus forts recensés depuis le XVIII^{ème} siècle (Tableau 1). Ce séisme a été précédé 2 jours auparavant par un séisme de magnitude 7,2, localisé sur la même structure tectonique à environ 40 km de distance. Deux fortes répliques (M_w 7,9 et M_w 7,2) ont été enregistrées dans l'heure qui a suivi. Depuis, plus de 600 répliques de magnitude supérieure à 4 ont été enregistrées (Figure 5 - Source USGS NEIC). Une forte réplique de magnitude 7,1 a encore eu lieu le 7 avril (voir communiqué IRSN du 08/04/11).

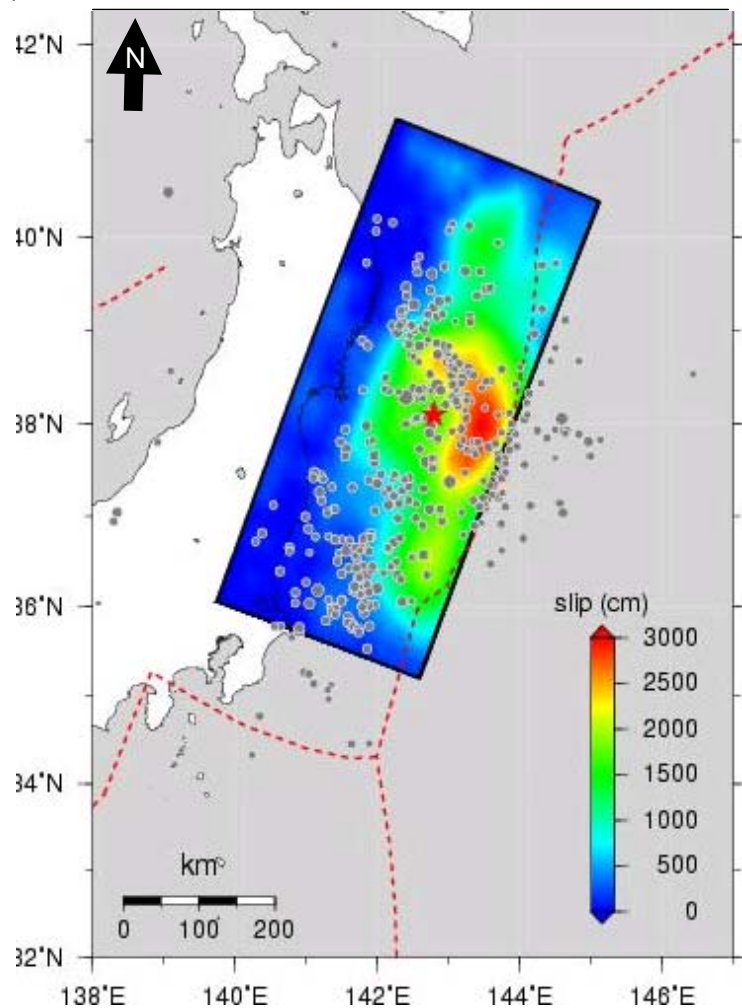
Année	Lieu	Magnitude
1960	Chile	9,5
1964	Prince William Sound, Alaska	9,2
2004	Sumatra-Andaman Islands	9,1
2011	Near the East Coast of Honshu, Japan	9,0
1952	Kamchatka	9,0
1868	Arica, Peru (now Chile)	9,0
1700	Cascadia Subduction Zone	9,0
2010	Offshore Bio-Bio, Chile	8,8

Tableau 1 : Séismes de plus forte magnitude recensés depuis 1700 (source USGS/NEIC)

Le Japon est le pays qui dispose de l'instrumentation la plus complète pour l'analyse et l'étude des tremblements de terre. L'analyse préliminaire des données géodésiques et sismologiques permet:

- d'estimer la dimension de la zone de faille qui a rompu, de l'ordre de 500 à 600 km de long pour 200 à 250 km de large ;
- d'évaluer la répartition du glissement sur la faille, avec en particulier une zone de fort glissement (« slip » plus de 25 m) près du foyer du séisme, et une zone très étendue (400 km) où le glissement dépasse 10 m.

Figure 5. Cette figure montre (i) la répartition des répliques du séisme du 11/03 (points gris); (ii) la projection en surface de la zone de faille (rectangle noir); (iii) la répartition du glissement sur la faille (en couleur). Cette estimation a été obtenue en combinant des données sismologiques et géodésiques. Document produit par Wei et al., 2011 (Caltech, JPL, Geoazur).



L'analyse des données enregistrées par les nombreux GPS du GSI (Geospatial Information Authority) répartis sur la partie Nord de l'île d'Honshu révèle que la côte Nord-Est du pays s'est déplacée vers l'Est (localement de plus de 4 m). De même, l'affaissement enregistré de la côte est en moyenne égal à 50 cm, le maximum ayant été enregistré pour la préfecture de Miyagi Est (Figure 6), avec une subsidence de 1,1 m (source USGS).



Figure 6 : Comparaison d'une zone côtière avant et après le séisme au Nord de la ville de Sendai. La subsidence de la côte se traduit par une invasion permanente de l'océan pacifique dans les terres (source Google Earth/GeoEye).

Impact sur les installations nucléaires

Plusieurs centrales nucléaires se situent sur la côte Nord orientale de l'île d'Honshu (Figure 7). Quatre d'entre elles (soit 11 réacteurs en fonctionnement) se sont arrêtés automatiquement dès les premières sollicitations sismiques. Il s'agit des centrales d'Onagawa, Fukushima Daiichi, Fukushima Daini et Tokai, situées respectivement à 80, 145, 155 et 255 km de l'épicentre du séisme du 11 mars 2011.

Selon les données des réseaux sismologiques KiK-net et K-net (www.kik.bosai.go.jp et www.k-net.bosai.go.jp), les accélérations maximales du sol (PGA) varient fortement d'une station à l'autre, avec localement des valeurs très importantes (près de 3 g - Figure 7). Ces fortes variations sont probablement liées aux caractéristiques géologiques locales propres à chaque station. Les stations les plus proches de la centrale de Fukushima Daiichi ont enregistré des valeurs de PGA comprises entre 0,4 et 1 g.

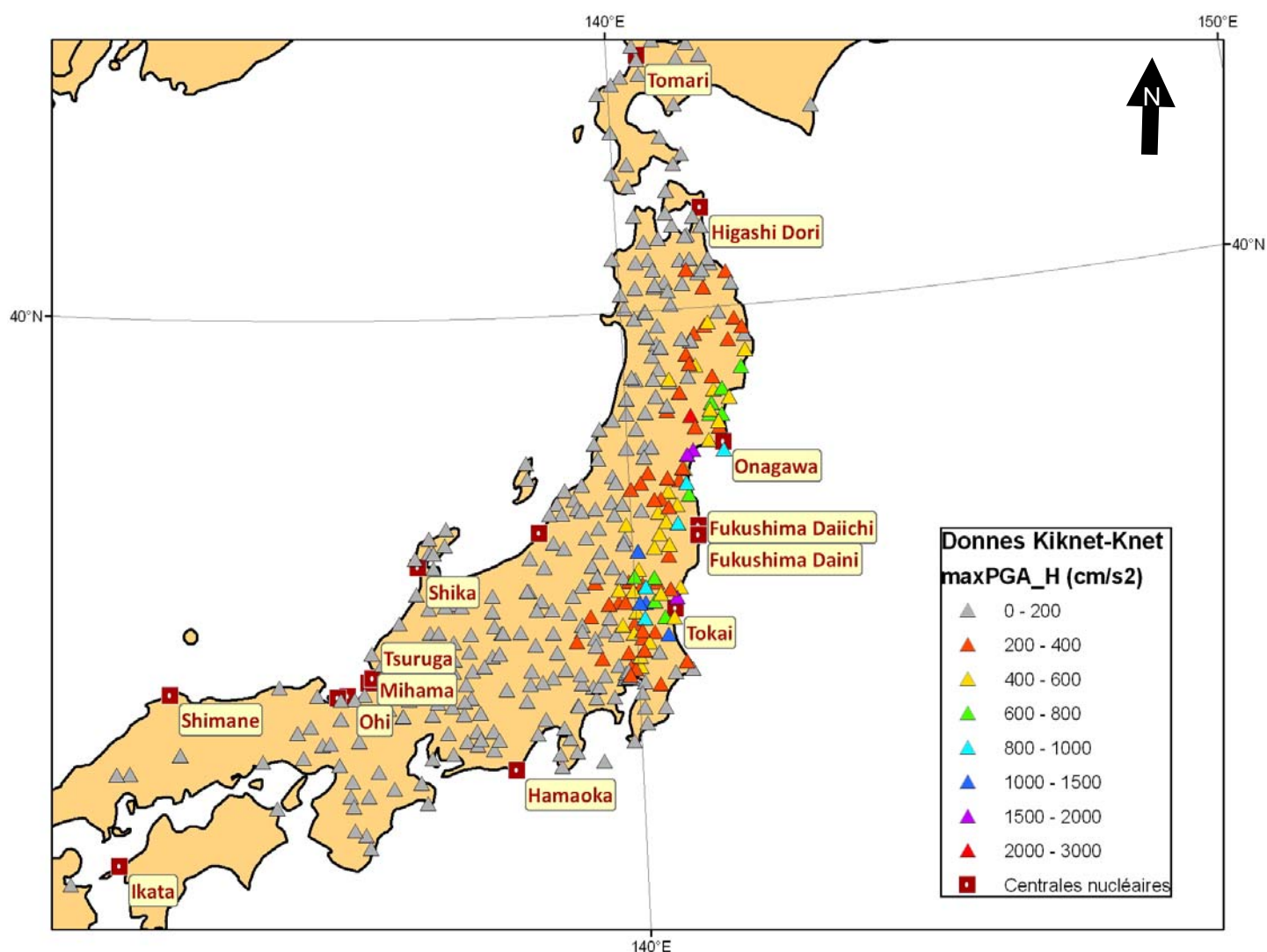


Figure 7. Valeurs maximales d'accélération du sol (PGA) enregistrées par les réseaux KiK-net et K-net japonais. Chaque triangle représente un point de mesure. La valeur est exprimée en cm/s², une valeur de 981 cm/s² correspond à l'accélération de la pesanteur (1 g).

Dans un document TEPCO, l'exploitant compare les valeurs de PGA enregistrées au niveau des fondations des réacteurs des centrales de Fukushima Daiichi et Daini avec les hypothèses de dimensionnement (Tableau 2). Les valeurs enregistrées, comprises entre 0,2 et 0,5 g, sont globalement inférieures aux hypothèses de dimensionnement, sauf pour le réacteur n°3 de Fukushima Daiichi pour lequel un dépassement de 15 % est constaté sur les composantes horizontales. Ces informations ne permettent toutefois pas d'évaluer l'impact de la secousse sismique sur les installations. En effet, le PGA ne correspond qu'à une caractéristique haute fréquence du mouvement sismique. L'analyse doit être complétée en examinant l'ensemble des caractéristiques fréquentielles et temporelles des secousses enregistrées.

Place			Detected maximum acceleration value (Gal)(Tentative estimate)			Design basis acceleration value(Gai)=>(see (d))		
			N-S	E-W	Vertical	N-S	E-W	Vertical
Daiichi	Foundation of reactor building	Unit I	(c)	(c)	(c)	487	489	412
		Unit2	(c)	(c)	(c)	441	438	420
		Unit3	507(a)		231(a)	449	441	429
		Unit4	319(a)		200(a)	447	445	422
		Unit5	(c)	(c)	(c)	452	452	427
		Unit6	290 (b)	431(b)	244(b)	445	448	415
Daini	Foundation of reactor building	Unit I	251 (b)	230 (b)	186 (b)	434	434	512
		Unit2	221 (b)	196 (b)	232 (b)	428	429	504
		Unit3	277 (b)	216(b)	209(b)	428	430	504
		Unit4	210(b)	205(b)	288(b)	415	415	504

a) Detail analysis on going b) data missing partially c) data not obtained yet d) design basis acceleration

Tableau 2 : Valeurs d'accélération maximales enregistrées aux centrales de Fukushima et valeurs de dimensionnement (document TEPCO).

Un document équivalent a été communiqué par l'exploitant de la centrale d'Onagawa, la plus proche de l'épicentre du séisme du 11 mars (Tableau 3). Les valeurs enregistrées sont comprises entre 0,54 et 0,61 g à la base des trois unités de production. Le document présente les enregistrements pour différentes localisations dans les bâtiments réacteurs. Les dépassements observés sont limités, sauf pour une des composantes horizontales du toit de l'unité 1 pour laquelle le dépassement est de l'ordre de 30 %.

Localisation des mesures		Accélération observées			Dimensionnement		
		Verticale	E - W	N - S	Verticale	E - W	N - S
Unité 1	Toit	2000	1636	1839	2202	2200	1388
	Rez de ravitaillement (5 ^e étage)	1303	998	1183	1281	1443	1061
	1 ^{er} étage	573	574	510	660	717	527
	Base	540	587	439	532	529	451
Unité 2	Toit	1755	1617	1093	3023	2634	1091
	Rez de ravitaillement (3 ^e étage)	1270	830	743	1220	1110	968
	1 ^{er} étage	605	569	330	724	658	768
	Base	607	461	389	594	572	490
Unité 3	Toit	1868	1578	1004	2258	2342	1064
	Rez de ravitaillement (3 ^e étage)	956	917	888	1201	1200	938
	1 ^{er} étage	657	692	547	792	872	777
	Base	573	458	321	512	497	476

Tableau 3 : Valeurs d'accélération maximales enregistrées aux centrales de Fukushima et valeurs de dimensionnement, les accélérations dépassant le dimensionnement sont en gras (document Tohoku Electric Power - D'après version originale en japonais).

Suite au séisme, un important tsunami s'est propagé vers les côtes orientales de la région de Tohoku, impactant les installations nucléaires. Selon TEPCO, le tsunami a atteint 14 m à la centrale de Fukushima Daiichi. La plate-forme où sont construits les réacteurs 1 à 4 est située à 10 m d'altitude (la valeur pour la plate-forme des réacteurs 5 et 6 reste à préciser). La digue de protection est prévue pour parer une augmentation du niveau marin de 5,7 m. L'examen des images satellites montre clairement que les plates-formes ont été envahies par le tsunami comme en témoignent la boue et les débris charriés (Figure 8). La mise hors service des systèmes de refroidissement de la centrale est en grande partie la conséquence de cette submersion par le tsunami.

Il est très probable que la subsidence des zones côtières suite au séisme ait amplifié l'ampleur de la submersion des plates-formes de Fukushima Daiichi et Daini. Les seules données quantifiées à ce jour concernent la centrale d'Onagawa pour laquelle la subsidence aurait atteint 1 m, ramenant la hauteur de la plate-forme de 14,8 m à 13,8 m. Cependant, la plate-forme n'a pas été inondée par l'onde du tsunami qui a atteint 13 m à cet endroit (communiqué Tohoku Electric Power).

Pour l'ensemble des installations nucléaires impactées, il n'est pas encore possible d'évaluer la part exacte des effets liés au séisme et de ceux liés au tsunami.

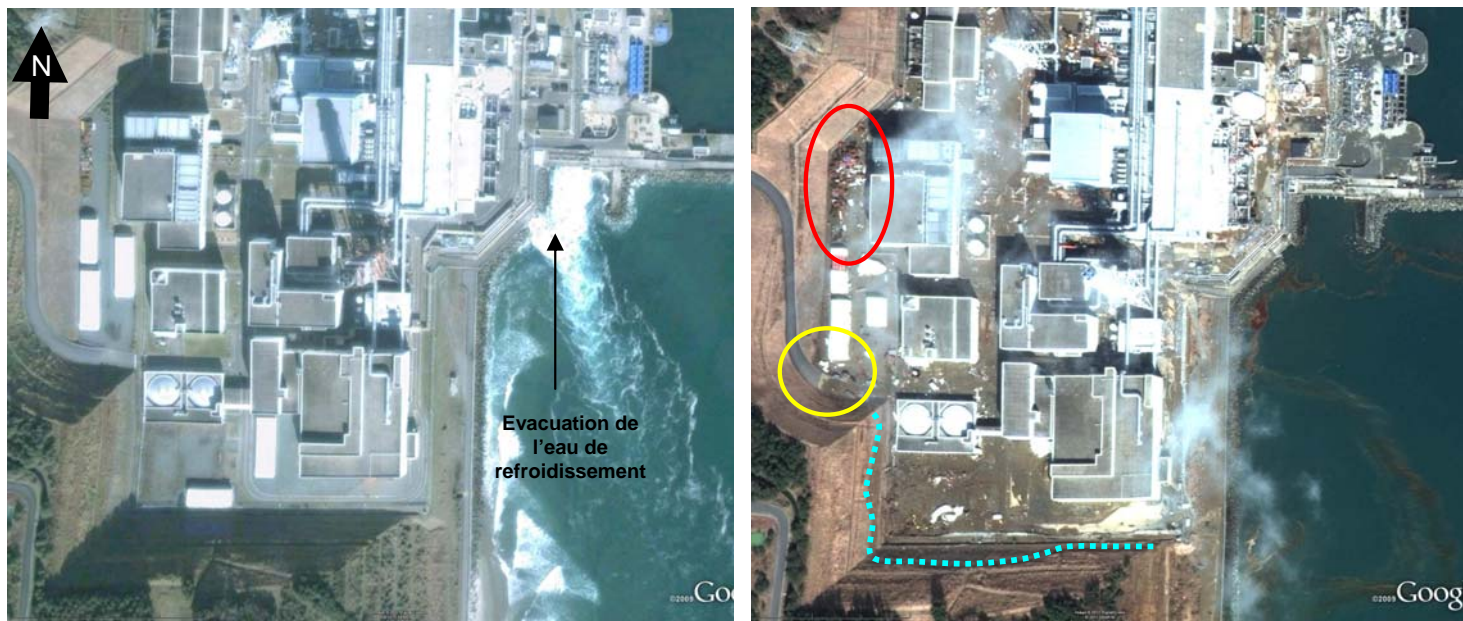


Figure 8. Images satellites de la centrale de Fukushima Daiichi prises avant (gauche) et après (droite) le séisme du 11 mars 2011. L'ensemble de la plate-forme de la centrale est jonchée de débris et de boue comme en témoigne la disparition des zones bitumées. Le niveau atteint par le tsunami est matérialisé par la présence de dépôts de boue sur la rampe d'accès à la centrale (liseré jaune), ainsi que par la présence d'une zone humide au niveau du talus au sud de la centrale (tirets bleus). La zone entourée par un liseré rouge permet également de remarquer l'accumulation de débris à l'arrière de la centrale suite au tsunami. Document Google Earth/GeoEye.