

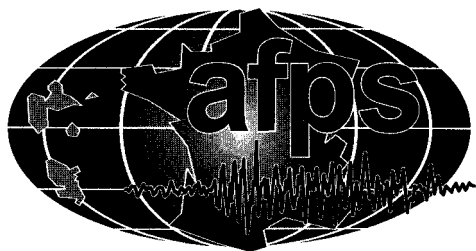
Rapport de mission

Octobre 2007

**Le SEISME de CHUETSU-OKI
(JAPON)**

du 16 juillet 2007





F. Vignon

Le SEISME de CHUETSU-OKI (JAPON)

du 16 juillet 2007



Rapport de la mission AFPS

organisée avec le soutien du
**Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable
(MEDAD)**

*Les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs
et ne sauraient engager celle de l'AFPS*

ISBN n° 978-2-9523205-6-6

AFPS - 28, rue des Saints-Pères - 75343 PARIS Cedex 07
Tél. 01 44 58 28 40 - Fax 01 44 58 28 41- E-Mail : afps@mail.enpc.fr
Site internet : www.afps-seisme.org

SOMMAIRE

Préambule	5
Présentation de la mission AFPS	6
Présentation du rapport de mission	8
Chapitre 1	9
1.1 Les observations	10
1.1.1 La sismicité	10
1.1.2 Contexte géomorphologique	12
1.1.3 Contexte tectonique	13
1.1.4 Les failles actives	16
1.1.5 Le choc principal et les répliques du séisme de Chuetsu-oki	17
1.1.6 Mouvements forts et spécificité du séisme de 2007	20
1.2 Modélisation	24
1.2.1 Source sismique	24
1.2.2 Données GPS, SAR et marégrammes	28
1.2.3 Comparaison aux équations de prédiction du mouvement sismique	31
1.2.4 Mouvement des pierres tombales	32
1.3 Mouvements enregistrés à Kashiwazaki-Kariwa	37
1.3.1 Contexte géotechnique	37
1.3.2 Classification des sites (EC8)	37
1.3.3 Enregistrements des mouvements forts	38
1.3.4 Effets de Site dans la plaine de Kashiwazaki	42
1.4 Les phénomènes induits par le séisme	47
1.4.1 Liquéfaction des sols	47
1.4.2 Instabilités de versants	56
Remerciements	65
Références	65
Chapitre 2	67
2. Réseaux, installations et équipements	68
2.1 Réseaux de transport	68
2.2 Installations industrielles	74
2.3 Centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa	85
2.4 Réseaux et équipements	93
Chapitre 3	99
3. Structures	100
3.1 Modalités de travail	100
3.2 Bâti courant	101
3.3 Ouvrages plus importants	129

Chapitre 4	142
4. Gestion de crise	142
4.1 Contexte (nature et ampleur des dégâts matériels et victimes)	142
4.2 Organisation des institutions locales et régionales en cas de crise	144
4.3 L'urgence (1 à 7 jours)	148
4.4 Le temporaire (7 jours à 1 mois)	159
4.5 Le retour à la normale (1 mois à 2 ans)	165
4.6 Leçons à tirer pour notre territoire	165
Chapitre 5	167
5. Retour sur le séisme de 2004 (Niigata ken-Chuetsu) : réaménagement d'un territoire et comportement face au séisme de 2007	167
5.1 Présentation générale de l'événement 2004 et de l'opportunité offerte à la mission 2007	167
5.2 Volet mouvements de terrains	169
5.3 Volet ouvrages de génie civil	170
5.4 Volet construction courante	171
5.5 Volet reconstruction et urbanisation	172
5.6 Conclusions sur cette partie	173
5.7 Références bibliographiques associées à ce paragraphe	174
6. Le mot de la fin	175

Préambule

Le lundi 16 Juillet à 10h13 en heure locale, le séisme de Chuetsu Oki - de magnitude 6.8 selon l'échelle de magnitude japonaise JMA - a frappé le sud de la préfecture de Niigata, sur la côte Ouest du Japon.

Cette région du Japon est régulièrement affectée par des événements sismiques significatifs : le séisme de Niigata en 1964 a marqué les esprits à son époque par l'ampleur des désordres liés à la liquéfaction généralisée des sols, phénomène illustré par une des photographies les plus universellement représentées sur le sujet. Plus récemment, à quelques dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres, le séisme de Niigata Ken Chuetsu a affecté en 2004 une zone plus rurale.

Le séisme de Chuetsu Oki a affecté principalement une zone urbaine, la ville de Kashiwazaki et ses environs immédiats, provoquant 11 décès, environ 1000 blessés et de nombreux désordres dans l'habitat courant et les réseaux urbains.

Nos collègues japonais ont développé dans les dix dernières années des réseaux de surveillance et de caractérisation des événements sismiques très performants (réseaux de mesure accélérométriques et GPS). Cette qualité des réseaux de mesure constitue un élément fondamental pour l'interprétation de l'événement et pour la qualité du retour d'expérience que l'on peut espérer acquérir en termes de prévention parasismique. Ces données sont de plus largement accessibles, ce dont nous devons remercier l'ensemble des acteurs japonais. De ce fait, chaque événement sismique au Japon constitue un élément important dans la chaîne d'amélioration des connaissances.

Enfin, nous restons collectivement marqués par la catastrophe qu'avait occasionnée le séisme de Kobé en 1995 : depuis cet événement majeur, le Japon a travaillé avec détermination à l'amélioration globale de sa prévention parasismique.

Cet événement sismique a cependant fait l'objet d'une couverture médiatique internationale particulière pour une tout autre raison : la présence à proximité immédiate de la ville de Kashiwazaki du site nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa. Ce site nucléaire est le plus grand site de production d'électricité de ce type au monde, avec 7 unités de production installées correspondant à une puissance électrique de 8300 MW. Il assure une partie des besoins en électricité de la région de Tokyo.

Pour toutes ses raisons, et avec le soutien constant de la Direction de la Prévention de la Pollution et des Risques (DPPR), l'AFPS a organisé une mission d'observation post-sismique, dans la lignée des 25 missions similaires déjà effectuées au fil des années depuis la création de l'association.

Présentation de la mission AFPS

L'équipe de cette mission était composée de :

Jean-François Sidaner	AFPS, AREVA, chef de mission
Philippe Sabourault	DPPR
Laurent Foucher	IRSN
Eric Fournely	CUST Clermont-Ferrand
Yoshimitsu Fukushima	SHIMIZU Corporation
Sandrine Lermite	CEA
Florent De Martin	BRGM
Olivier Monge	GEOTER
Oona Scotti	IRSN
Ghislaine Verrhiest	CETE
Emmanuel Viallet	EDF

La mission a été accompagnée au cours de son travail par un membre des services de l'Ambassade de France à Tokyo, Sylvain Ikazaki ou Mikaru Matsuki, en fonction du programme. Ils ont organisé les principaux contacts avec les acteurs japonais sur place et assuré la fonction d'interprète pour toutes les réunions formelles ou informelles lors du déroulement de la mission. Leur participation a été une aide majeure à l'efficacité de la mission, et l'ensemble de l'équipe tient à les remercier pour leur action et leur disponibilité.

Compte tenu des objectifs de la mission, l'équipe s'est structurée de façon opérationnelle entre 3 sous-groupes relativement autonomes :

- Jean-François Sidaner, Philippe Sabourault, Laurent Foucher et l'accompagnateur de l'Ambassade de France ont pris en charge les réunions organisées avec les structures officielles impliquées dans l'événement, autour des thèmes « gestion de crise » et « structures industrielles ».
- Eric Fournely, Ghislaine Verrhiest, Sandrine Lermite et Emmanuel Viallet ont effectué l'essentiel des observations et des analyses dans le domaine du bâti courant, des ouvrages d'art et des structures.
- Yoshimitsu Fukushima, Olivier Monge, Oona Scotti et Florent De Martin ont couvert globalement les aspects aléa sismique, mouvements sismiques, effets de site et géotechnique.

Le programme de la mission s'est déroulé de la façon suivante :

Mercredi 1 août

Départ de Paris pour Tokyo

Jeudi 2 août

Arrivée à Tokyo, constitution de l'équipe avec les résidents permanents au Japon, réunion avec Shimizu Corporation dans les locaux d'AREVA Japan, réunion avec TEPCO dans les locaux de l'Ambassade.

Vendredi 3 août

Départ pour la préfecture de Niigata. Réunion avec le service de gestion de crise de la préfecture de Niigata. Réunion avec Monsieur le Maire de Kashiwazaki. Premières observations sur la zone de Kashiwazaki.

Du samedi 4 août au lundi 6 août

Observations dans la zone de Kashiwazaki.

Contacts avec les intervenants dans le domaine de la gestion de crise sur site : Services hospitaliers de Kashiwazaki, Service des pompiers de Kashiwazaki, Structures d'intervention des forces marines et des forces d'autodéfense du Japon sur site, Centre d'accueil des réfugiés.

Mardi 7 août

Retour vers Tokyo, réunion de restitution à l'Ambassade de France.

Mercredi 8 août

Départ de Tokyo vers Paris.

Cette mission a bénéficié du support actif de nombreux organismes et personnes en France et au Japon. Nous souhaitons souligner notamment la qualité de l'accueil et la disponibilité de nos interlocuteurs locaux, dans un contexte de gestion d'une situation de crise où le temps de chaque intervenant est précieux. Ils ont accepté de répondre aux questions de la mission, éventuellement très techniques, et ont largement facilité l'accès aux informations recherchées par l'équipe.

Nous souhaitons remercier particulièrement :

Monsieur le Maire de Kashiwazaki,

Monsieur le Directeur du Centre de Gestion de Crise de la Préfecture de Niigata,

Le Commandant de l'unité d'intervention des forces d'autodéfense sur la zone de Kashiwazaki,

Le Commandant de l'unité d'intervention des forces marines sur la zone de Kashiwazaki,

Le Directeur du centre de secours incendie de Kashiwazaki,

Le Directeur de l'hôpital de Kashiwazaki,

Le Directeur des affaires internationales de TEPCO

Les membres du service nucléaire de l'Ambassade de France ont largement participé au succès de cette mission.

La mission a bénéficié du soutien logistique d'AREVA Japan et des nombreux talents de Yoshimitsu Fukushima en termes d'organisation pratique de notre séjour sur place. Outre sa contribution technique éminente, Yoshi a largement veillé à notre bien-être : qu'il trouve ici l'expression de tous nos remerciements, ainsi que Shimizu Corporation.

Nous ne pouvons oublier le soutien permanent du Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, par l'intermédiaire de la DPPR. Enfin, les missions AFPS ne peuvent exister que grâce à la bienveillance et la contribution des organismes de travail des différents membres des équipes ainsi constituées.

Présentation du rapport de mission

Ce rapport de mission a été structuré de façon assez classique autour de 5 grands thèmes, qui en constituent les principaux chapitres.

Le Chapitre 1 présente les informations disponibles sur l'événement sismique lui-même, en l'état actuel lors de l'édition de ce rapport. Il s'appuie notamment sur les nombreuses informations disponibles en termes de caractérisation des mouvements sismiques, et sur les différents travaux entrepris par les universités japonaises sur la modélisation de la rupture sismique. Ces travaux ne sont pas entièrement conclusifs à ce jour, les différentes équipes pouvant présenter des interprétations différentes de la rupture sismique. Il est probable que ces travaux très pointus -réalisés très rapidement après l'événement- seront poursuivis, et que les interprétations reproduites ici évolueront en conséquence.

Le Chapitre 2 présente les observations de la mission relatives aux ouvrages techniques (réseaux de communication, industries et équipements) ainsi que les informations accessibles à la mission qui concernent la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa. Pour ce qui concerne celle-ci, l'importance du travail de caractérisation de l'état des installations ne permettait pas - quelques semaines après l'événement- de prétendre pouvoir tirer un retour d'expérience étendu de l'événement en termes d'analyse de sûreté des installations. Là encore, des travaux détaillés de modélisation et d'analyse des constatations effectuées seront nécessaires pour tirer parti de toutes les leçons de cet événement.

Le Chapitre 3 présente les observations et les analyses de la mission sur le bâti courant, et notamment sur le comportement des maisons individuelles en bois, dans l'optique d'une amélioration de nos propres pratiques en la matière dans le contexte des Antilles, qui présente des analogies fortes avec la côte ouest du Japon. Cette focalisation sur les structures en bois résulte de ce besoin immédiat.

Le Chapitre 4 présente le retour d'expérience engrangé par la mission sur le thème de la gestion de la situation de crise du fait du séisme. C'était un des objectifs majeurs de cette mission, et cela correspond là encore à une nécessité forte de la démarche de prévention parasismique. En effet, si nous pouvons espérer globalement améliorer le niveau de prévention parasismique à long terme au travers des règles modernes de construction parasismique, il n'existe pas de solution générale permettant d'améliorer le parc complet du bâti existant de façon politiquement et économiquement acceptable. Il reste donc nécessaire de se préparer et de savoir gérer une situation de crise sismique. Ce constat ne doit cependant pas conduire à négliger tout travail d'amélioration des ouvrages existants, et notamment de ceux à forts enjeux. L'exemple du Japon depuis 1995 montre qu'un travail permanent et systématique d'amélioration est possible sur des objets ciblés comme les ouvrages d'art ou les réseaux vitaux.

Le Chapitre 5 présente les enseignements tirés de l'examen du comportement des ouvrages et structures situés dans la zone épiscopale du séisme de Niigata Ken-Chuetsu de 2004, tels que réaménagés suite à cet événement, face au séisme de Chuetsu Oki de 2007.

Nous espérons en conséquence que nos lecteurs trouveront dans ce rapport de mission les éléments qui leur sont utiles, et que nous aurons ainsi contribué à la diffusion du retour d'expérience sur cet événement.

Chapitre 1

Chuetsu-Oki, 2007

Un séisme de M6.6 à faible profondeur sur la côte ouest du Japon : Mouvements sismiques et phénomènes induits

Ce chapitre est structuré en quatre sous-chapitres.

- La première partie de ce chapitre décrit le contexte sismotectonique de la région et les principales observations liées au phénomène sismique.
- La deuxième partie présente les résultats des premières modélisations qui permettent d'approcher la complexité du phénomène sismique de Chuetsu-Oki, sur la base des résultats obtenus par différents organismes universitaires au Japon.
- La troisième partie décrit les enregistrements locaux et les effets de site qui ont affecté le bassin sédimentaire de Kashiwazaki, dans la zone où ont été enregistrées les accélérations les plus fortes, les phénomènes de liquéfaction et les dommages les plus importants.
- La quatrième partie permet d'apprécier l'importance des effets induits, souvent responsables de dégâts observés.

La longueur et les détails de ce chapitre sont le résultat à la fois de la motivation et de la passion de chaque participant, de la complexité de cet événement sismique ainsi que de la spécificité du séisme (magnitude et localisation).

Ont participé à l'écriture de cette partie du rapport AFPS Chuetsu-Oki 2007 :

- Yohsi Fukushima [Chapitre 1, 2]
- Oona Scotti [Chapitre 1.1, 1.3, 1.4, 1.2.2, 1.3.3]
- Olivier Monge [Chapitre 1.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.4]
- Florent De Martin [Chapitre 1.3.4]
- Emmanuel Viallet [Chapitre 1.2.4]

Le montage de ce chapitre a été effectué par Oona Scotti.

1.1 Les observations

1.1.1 La sismicité

Le séisme de Chuetsu-OkI au Japon a eu lieu le 16 juillet 2007 à 10:13:22 en heure locale (01:13:22 URC), le long de la côte ouest de Honshu, au large de la ville de Kashiwazaki, dans la zone de convergence de la mer du Japon, entre les plaques tectoniques d'Amur et d'Okhotsk (Figure 1-1). L'épicentre se situe au sud et à l'ouest du prolongement de la zone de compression très active qui caractérise la côte ouest du Japon : une représentation de l'activité sismique récente de cette zone est donnée dans les figures 1-2 et 1-3.

Au sud-est de l'épicentre, une zone de sismicité importante a donné lieu dans les années soixante à des séquences sismiques dans la région de Matsushiro. Bien que la sismicité la plus importante de la région soit représentée par les séismes de subduction, de plus en plus profond en allant d'est en ouest (Figure 1-3), l'aléa sismique récent dans la région de Kashiwazaki est caractérisé par des séismes de faible profondeur et de moindre ampleur, événements associés en principe à de plus longues périodes de retour. Comme le montrent la Figure 1-4 et la Figure 1-5, les 3 derniers séismes de magnitude 6.8 (JMA) qui ont eu lieu depuis 2004 dans la région sont « inattendus » au regard du catalogue historique et des 70 ans de sismicité du catalogue des séismes enregistrés. Le séisme de Chuetsu-OkI est le quatrième séisme significatif récent, non associé à la subduction, ayant eu lieu au Japon et le troisième dans cette région, après celui de Niigata-Ken Chuetsu en 2004 (Mw 6,6) et celui de Noto-Hanto en mars 2007 (Mw 6,7). Les dégâts occasionnés par ces séismes ont été importants et sont dus à la présence de failles crustales actives, mais mal connues, à proximité de zones habitées.

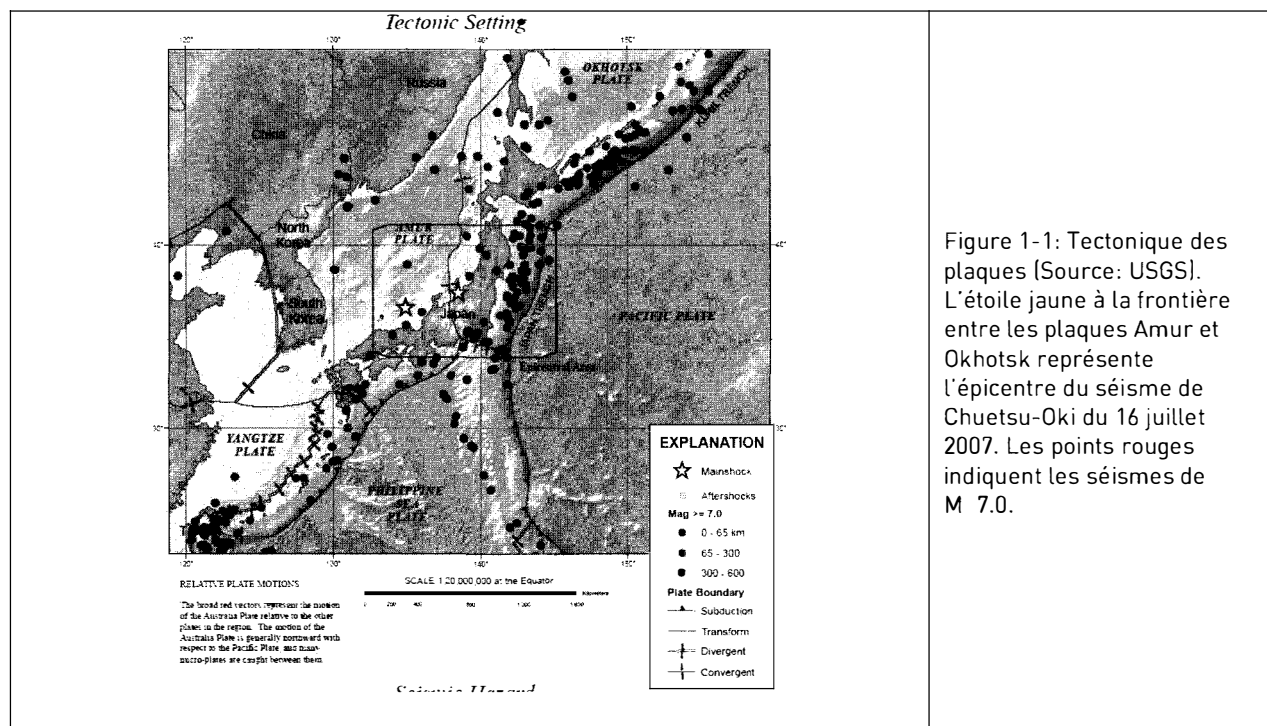


Figure 1-1: Tectonique des plaques (Source: USGS). L'étoile jaune à la frontière entre les plaques Amur et Okhotsk représente l'épicentre du séisme de Chuetsu-OkI du 16 juillet 2007. Les points rouges indiquent les séismes de M 7.0.

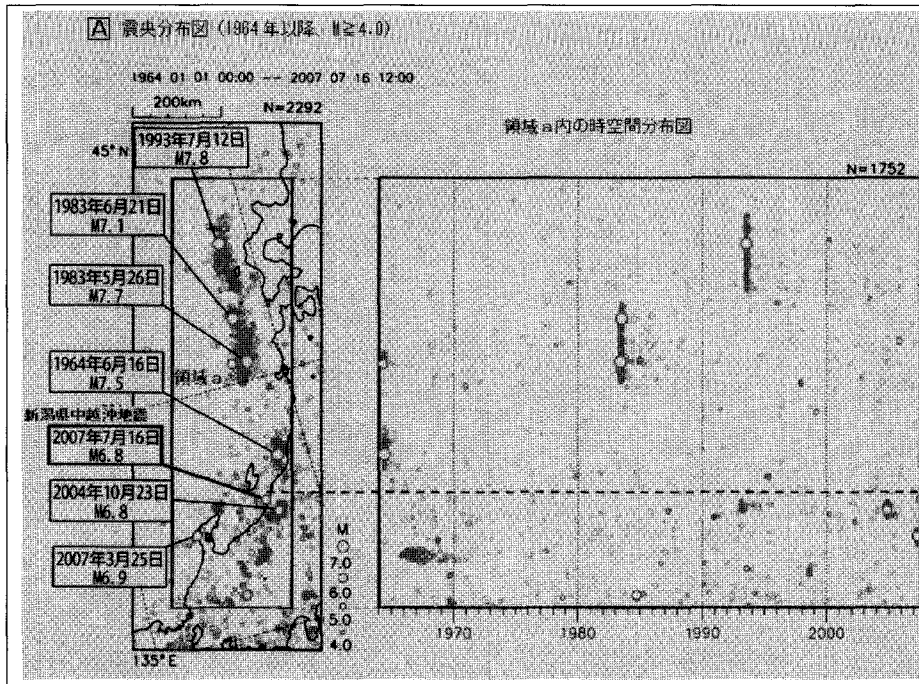


Figure 1-2: Activité sismique le long de la marge ouest du Japon (échelle en haut à gauche). Le panneau de gauche indique la localisation des épicentres pour les séismes de $M_{jma} \geq 4.0$ depuis 1964. Les séismes de magnitude équivalente ou plus forte que celui de 2007 de Chuetsu-oki sont indiqués par des flèches. Le panneau de droite indique la répartition temporelle des séismes localisés à l'intérieur du rectangle bleu. (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07jul_chuetsu_oki/p10.htm).

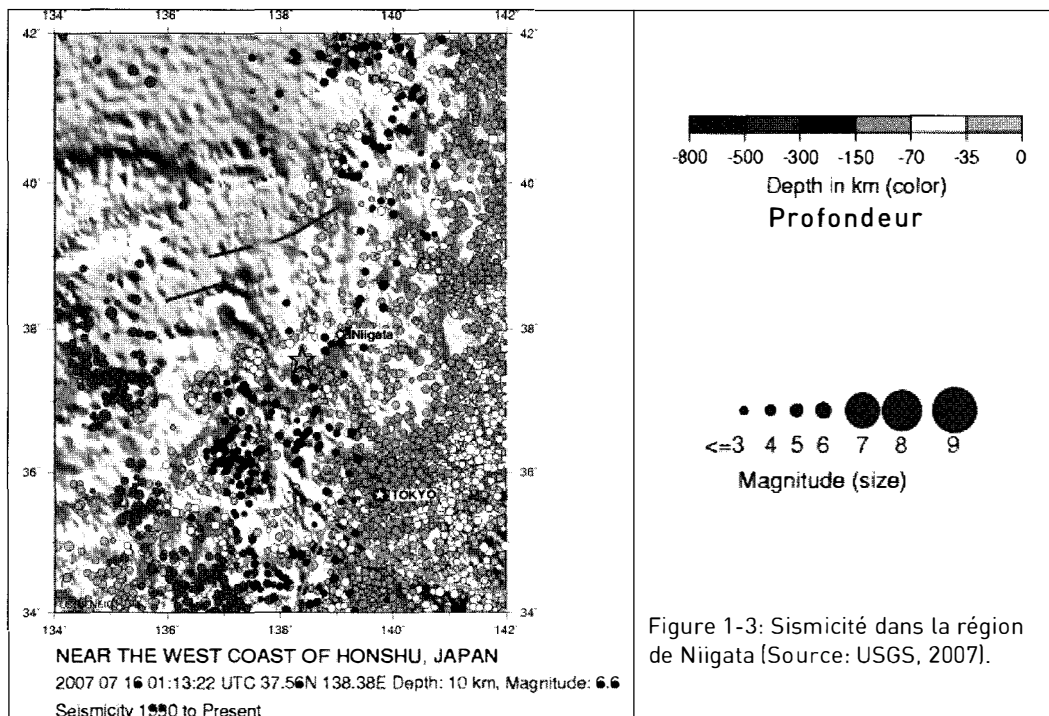


Figure 1-3: Sismicité dans la région de Niigata (Source: USGS, 2007).

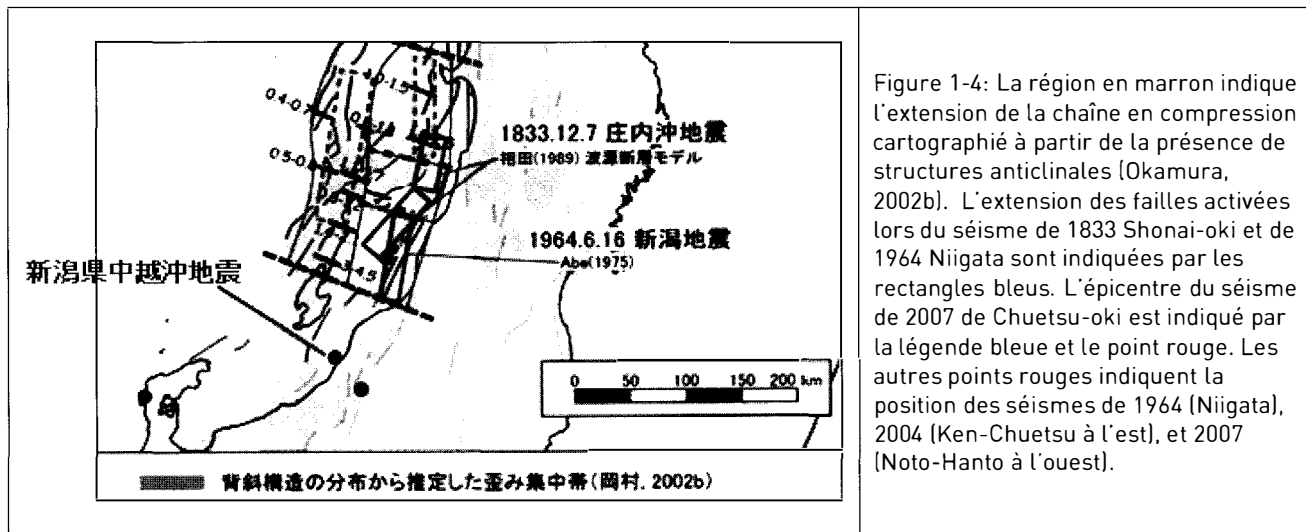


Figure 1-4: La région en marron indique l'extension de la chaîne en compression cartographiée à partir de la présence de structures anticlinales (Okamura, 2002b). L'extension des failles activées lors du séisme de 1833 Shonai-oki et de 1964 Niigata sont indiquées par les rectangles bleus. L'épicentre du séisme de 2007 de Chuetsu-oki est indiqué par la légende bleue et le point rouge. Les autres points rouges indiquent la position des séismes de 1964 (Niigata), 2004 (Ken-Chuetsu à l'est), et 2007 (Noto-Hanto à l'ouest).

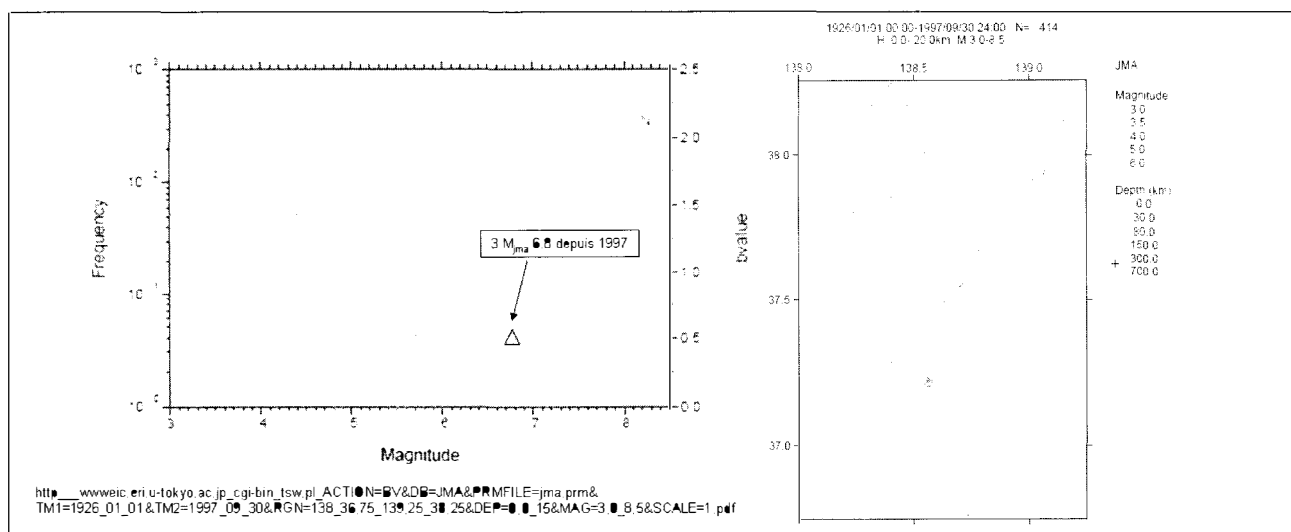


Figure 1-5: Statistiques des séismes entre 1926 et 1997 dans la région de Kashiwazaki. Les 3 derniers séismes de Mjma 6.8 qui ont eu lieu depuis 2004 sont « inattendus » au regard de 70 ans de sismicité du catalogue instrumentale de cette région (cercle : nombre cumulé ; croix verts : valeur de la pente; triangle jaunes : nombre de séismes par intervalle de magnitude. Carte de droite : séismes inclus dans les calculs statistiques (région d'environ 100x100 km² centré sur l'épicentre du séisme de 2007).

1.1.2 Contexte géomorphologique

La région de Kashiwazaki est constituée de trois entités géomorphologiques distinctes (Figure 1-6) : au Nord et à l'Est, les collines de Higashikubiki, au Sud-Ouest le massif montagneux de Yoneyama, au centre la plaine côtière de Kashiwazaki. Les reliefs sont généralement boisés, tandis que la plaine est occupée par les activités humaines, dont la riziculture.

Les collines de Higashikubiki ont une orientation générale NNE / SSO, parallèle au littoral. Cette unité résulte du plissement de sédiments de type Flysch ou Molasse (sables et limons) et de roches volcaniques (néogène à pléistocène inférieur¹). Elle comporte de nombreux niveaux

¹ -23,8 à -0,8 Million d'années (Ma).

cailloux repères. Cette séquence est très épaisse, (> 5000 m, Figure 1.7). Sur la carte géologique, les anticlinaux coïncident avec les collines, dont l'altitude reste modeste, culminant à environ 350 m. Les pentes peuvent localement être importantes, en particulier au niveau de la côte, où les falaises dominent de 50 à 100 m de haut. Le principal axe synclinal est situé au droit de la plaine de Kashiwazaki.

Le massif montagneux de Yoneyama culmine vers 1000 m d'altitude. Il est essentiellement d'origine volcanique (pliocène) : roche andésitique et volcanoclastique avec des intercalations de molasse. Les pentes sont raides au niveau des falaises et des vallées assez profondes incisent le massif.

1.1.3 Contexte tectonique

Durant une phase d'extension, qui a donné lieu à la mer du Japon, un système de failles normales, avec un pendage NO a permis la formation de bassins sédimentaires (Figure 1-8). A présent, le régime tectonique s'est inversé, et ces failles sont aujourd'hui reprises en failles inverses obliques. La segmentation de ces failles est contrôlée par des failles de transfert qui permettent au système d'accommoder une différence dans les taux de déformation. La croûte, amincie lors de la phase d'extension, s'est ensuite plissée pendant la phase de compression, comme le montrent les différentes structures anticlinales et synclinales. La combinaison de ces phases a permis l'accumulation de couches sédimentaires Néogène très épaisses le long de la marge Ouest du Japon. La structure géologique actuelle est donc constituée par une succession de plis dissymétriques à large rayon de courbure, d'axe NNE-SSW et légèrement déversés vers l'Est. Des failles inverses à fort pendage vers l'Ouest rompent les flancs déversés des plis (Figure 1-9). Compte tenu de l'âge récent, de l'épaisseur des formations déformées et de l'encaissement rapide du réseau hydrographique, ces plis sont considérés comme actifs. Les cartes géologiques ne représentent que localement quelques structures. Ces failles qui affectent des formations pliocènes ou quaternaires seraient considérées actives en France. Les failles mobilisées lors du choc principal et de ses répliques sont sans doute à mettre en relation avec l'activité de ces plis actifs.

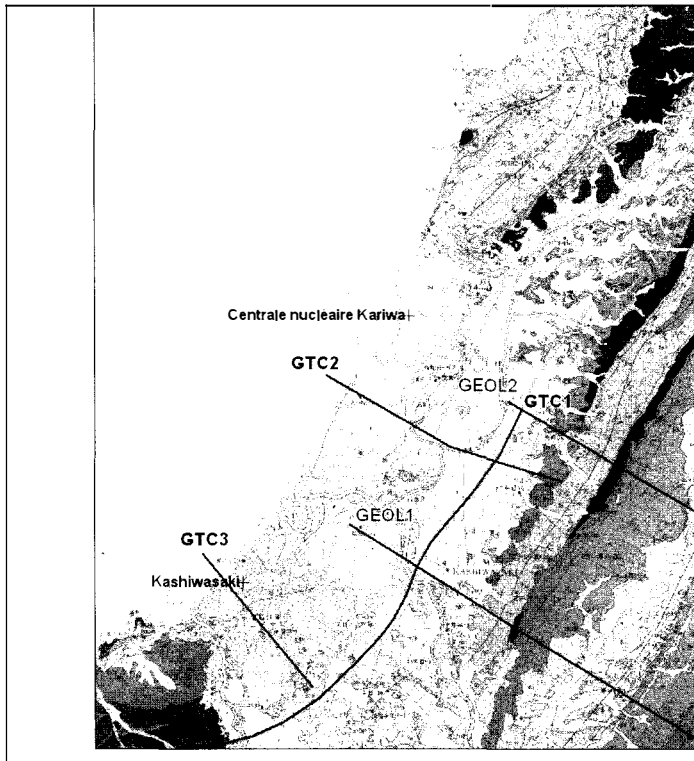
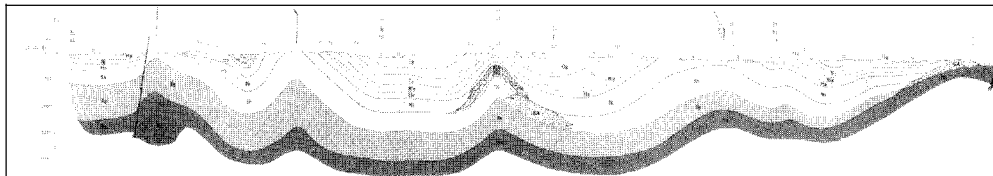
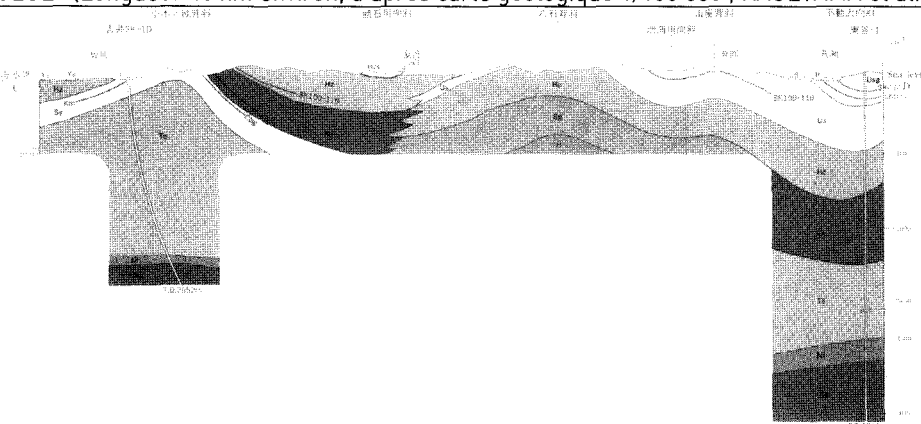


Figure 1-6 : Extrait de la carte géologique de Kashiwazaki (KOBAYASHI et al., 1995a) et localisation des coupes géologiques et géotechniques.



GEOL1 (Longueur 40 km environ, d'après carte géologique 1/100 000 ; KAGEYAMA et al., 1992)



GEOL2 (Longueur 12 km, d'après carte géologique de Kashiwazaki 1/50 000 ; KOBAYASHI et al., 1995a)

Figure 1-7 : Coupes géologiques perpendiculaire au littoral (Figure 1-6).

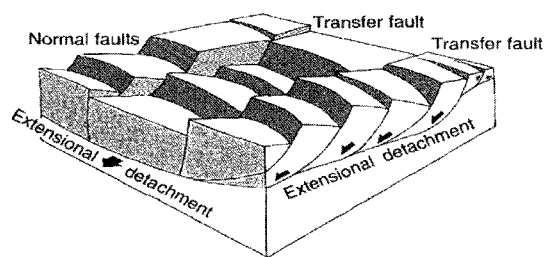


図5. Transfer fault (tear fault) を伴う正断層の概念図 (Flinch and Casas, 1996による)。新潟平野の場合、こうしてできた正断層群がその後の短縮変形により、反転した動きを示し、その上の厚い堆積層に褶曲を形成させている。

Figure 1-8: Illustration schématique de la zone épiscopale de 2007 : un héritage tectonique de failles normales et d'une zone de détachement en profondeur accompagné de failles verticales de transfert (Flinch and Casas, 1996) [<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>]

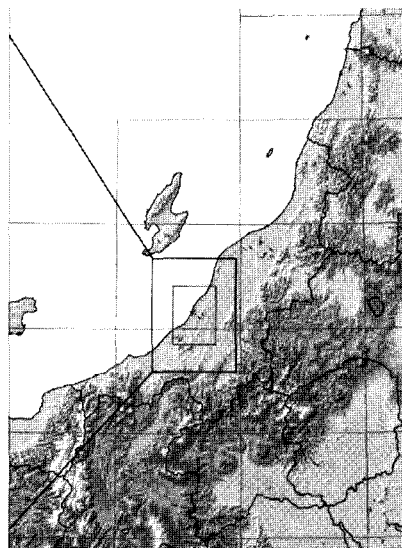
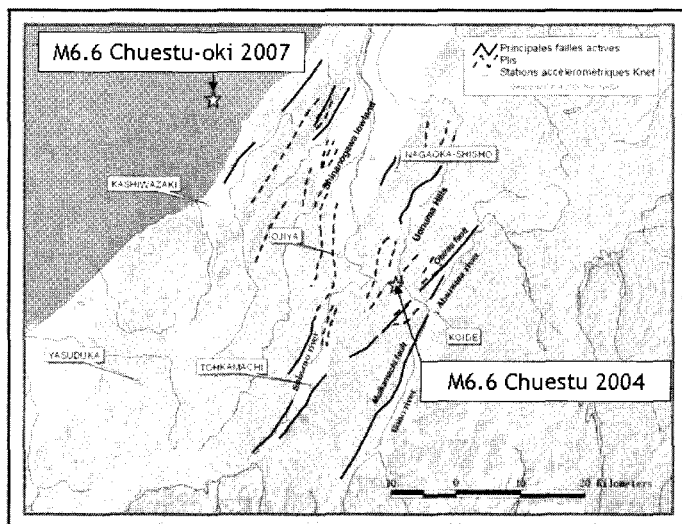


Figure 1-7. Carte interprétative des structures actives de la région du séisme du 23 octobre 2004 et du séisme de Chuestu-Oki du 16 juillet 2007, établie à partir d'une analyse morphologique des structures et des cartes de failles au 1:25 000ème [Source : Rapport BERSSIN 2004].

1.1.4 Les failles actives

Nous avons recherché sur le terrain sans succès la trace potentielle de la faille activée lors du séisme de Chuetsu-Oki. En dépit de sa forte magnitude, ce séisme, tout comme son prédécesseur de même taille en 2004, n'a pas laissé de traces très visibles à la surface. La complexité du système de faille activé par ce séisme fera l'objet d'études complémentaires, notamment du fait des prochaines campagnes de reconnaissance géophysique entreprises par TEPCO, l'exploitant de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa. L'étude des failles actives non associées aux plans de subduction du Japon a pris toute son importance depuis le séisme de Kobe en 1995 [Figure 1-8]. Aujourd'hui, certains auteurs, proposent l'existence d'une zone nommée la « Niigata-Kobe tectonic zone », qui accommoderait la déformation à l'arrière des zones de subduction (Tada et al., 1997; Sagiya et al., 2000) et qui permettrait de mieux expliquer les données géodésiques enregistrées par le réseau GPS installé sur le territoire japonais depuis 1995. Les failles actives qui accommodent la déformation intra-plaques (non associé à une frontière de plaques bien identifiée) sont

souvent complexes : leur géométrie en profondeur n'est pas bien connue. Leur fonctionnement peut éventuellement être caractérisé par l'étude des paléo-séismes, mais le plus souvent le seul indicateur disponible est le déplacement d'horizons géologiques, interprété à partir d'études géophysiques. Il est à noter que pour un bon nombre de failles actives identifiées dans la base de données japonaise, les taux de glissement estimés varient entre 0,1 et 1 mm/an, soit des vitesses supérieures mais proches des valeurs estimées pour les failles les plus rapides en France. La majorité des segments de failles répertoriés ne sont pas associés à des événements historiques connus et inversement, certains séismes historiques ne sont pas encore associés à un segment de faille bien identifié. A ce jour 98 failles ont été suffisamment caractérisées pour être incluses dans les calculs de l'aléa sismique du Japon. Les résultats de ce travail sont disponibles sur internet (<http://www.aist.go.jp/RIODB/activefault/>). La Figure 1-9 montre un exemple de fiche pour la faille active la plus proche de l'épicentre.

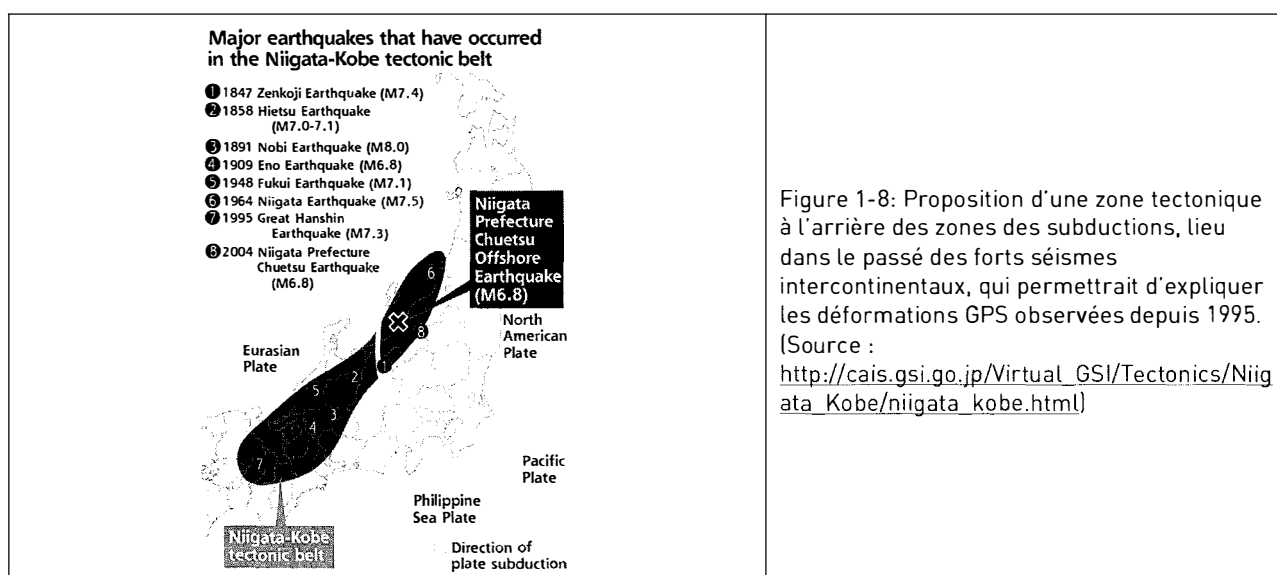


Figure 1-8: Proposition d'une zone tectonique à l'arrière des zones des subductions, lieu dans le passé des forts séismes intercontinentaux, qui permettrait d'expliquer les déformations GPS observées depuis 1995. [Source : http://cais.gsi.go.jp/Virtual_GSI/Tectonics/Niigata_Kobe/niigata_kobe.html]

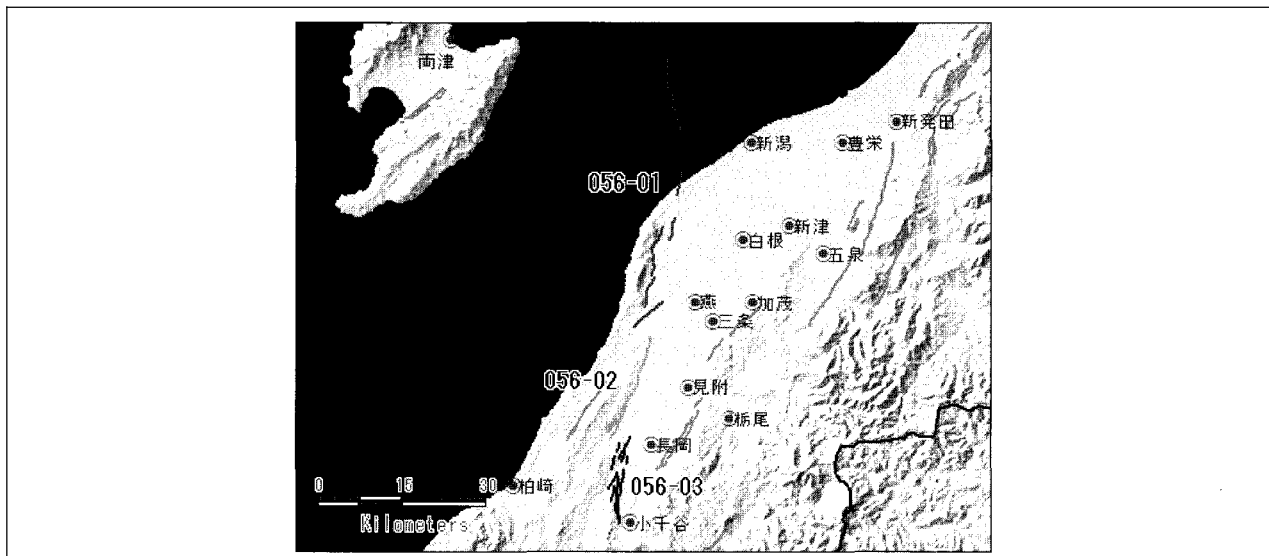


Figure 1-9: Tracé des failles actives qui limitent le bassin sédimentaire de Nagaoka à l'ouest. Les segments de Yahiko, Torigoe et Katagai sont identifiés par la couleur rouge, verte et bleue respectivement. Le tableau indique les paramètres qui ont été déterminés pour chaque segment tels que la géométrie, la cinématique, le taux de glissement et la probabilité d'occurrence pour les prochaines 30 années. Il faut noter que des paléoséismes ont été identifiés seulement sur le segment de Torigoe.

1.1.5 Le choc principal et les répliques du séisme de Chuetsu-oki

Les paramètres représentatifs du choc principal sont les suivants :

Choc principal : 16 Juillet 2007, 10h13m (JST) 37d33.4mN, 138d36.5mE, Profondeur=17km
 Mjma=6.8 (jma=Japan Metrological Agency) Mo=9.30^{e19}Nm (Mw=6.6), profondeur=8km
 Freesia(NIED)

Réplique la plus forte : 16 juillet 2007, 15h37m(JST) 37d30.2mN, 138d38.6mE, profondeur=23km
 Mjma=5.8 Mo=3.26^{e17}Nm(Mw=5.6), profondeur=11km

Deux géométries possibles pour le plan de faille ont été proposées : elles sont indiquées par le mécanisme au foyer sur la

Figure 1-10 :

- Plan 1 : orientation = N215°, pendage = 49°NO, orientation du glissement = 80°;
- Plan 2 : orientation = N49°, pendage = 42°SE, orientation du glissement = 80°.

La localisation des répliques ne permet pas de départager les deux hypothèses. En effet, une des particularités de ce séisme est que le choc principal a été suivi d'un très faible nombre de répliques (Figure 1-11). La chronique des répliques (Figure 1-12) fait apparaître après deux heures un plan à pendage NO ; ensuite c'est un plan avec un pendage SE qui se matérialise, avec notamment la plus forte réplique.

Suzuki et ses collègues ont retravaillé sur les logs soniques et proposent une géométrie complexe de trois failles (Figure 1-13). Cette géométrie est basée sur des investigations effectuées par TEPCO. D'autres auteurs proposent de connecter ces failles en mer au système de failles à terre (

Figure 1-14). Cependant, Suzuki et ses collègues estiment cette hypothèse très improbable, étant donnée la grande distance qui sépare la zone du séisme de 2007 et la trace en surface de la faille de Torigoe (Figure 1-9). A la date du 10 octobre 2007 la géométrie du plan de faille activé lors du séisme de 2007 n'est pas encore bien contrainte. Comme l'indique la Figure 1-16, il est fort probable que la complexité des plans de failles activés lors des séismes de 2007 soit similaire à ceux mis en mouvement lors de l'événement de 2004, étant donnée l'héritage tectonique de cette région.

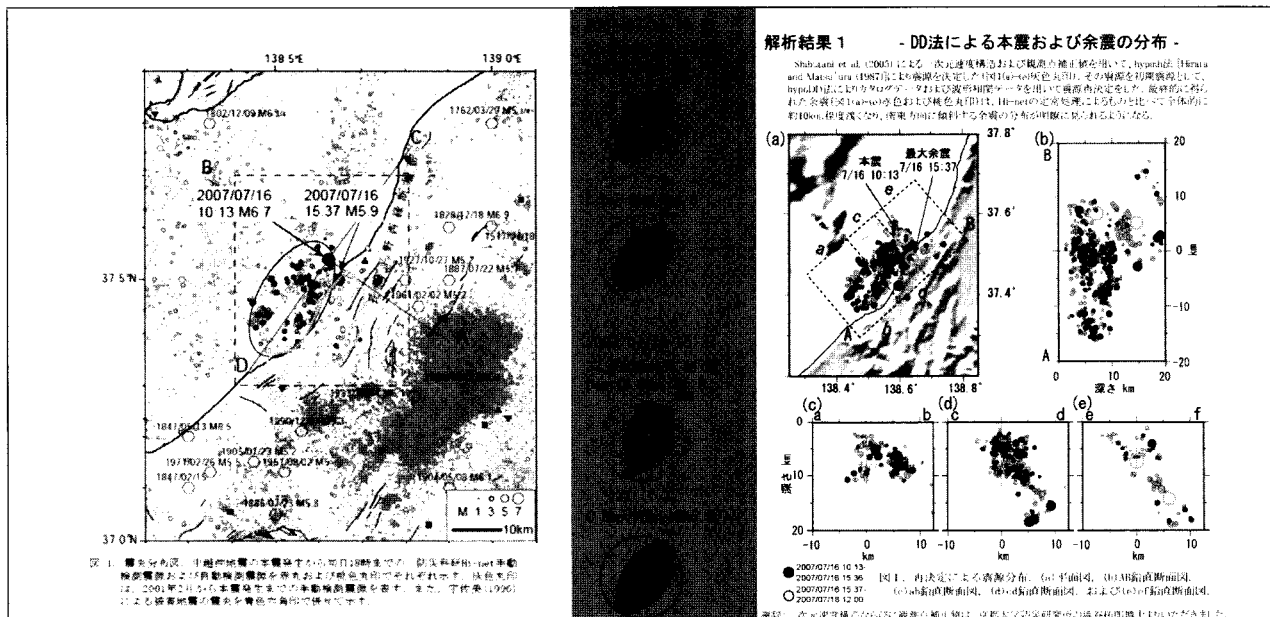


Figure 1-10: Localisation du choc principal et des répliques (localisées automatiquement et manuellement par Hinet-points rouges et roses). Les cercles gris sont les épicentres des séismes déterminés manuellement depuis février 2001. Les cercles bleus indiquent la localisation des séismes historiques (Usami, 1996). Le cercle vert indique l'épicentre du séisme de 2004 [Chuetsu]. Les traces noires représentent les failles actives. Tracé approximatif de la zone de dommage (vert) cartographié par l'AFPS sur le terrain et comparaison avec la zone des répliques (tracé rouge) et la localisation épicentrale du choc principal. Les mécanismes aux foyers du choc principal et de la réplique la plus forte (les ronds au centre) montrent que les failles responsables de ces séismes sont des failles inverses soumises à une compression NW-SE (rond jaune= déterminé à partir des ondes P-wave et rond noir= déterminé à partir du centroïde des moments). A droite : répliques en carte et en coupe.

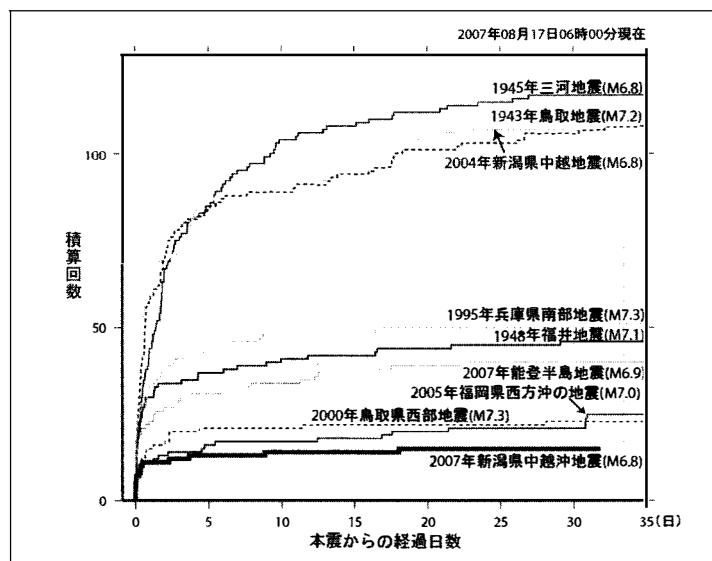


Figure 1-11 Nombre cumulé de répliques (M < 4) pour différents séismes crustaux du Japon. Abscisse en jour, ordonnée en nombre. Rouge [2007 Chuetsu-oki] cyan [2004 Chuetsu]. (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_c_huetu-oki/chuetsu-oki-saigai.pdf).

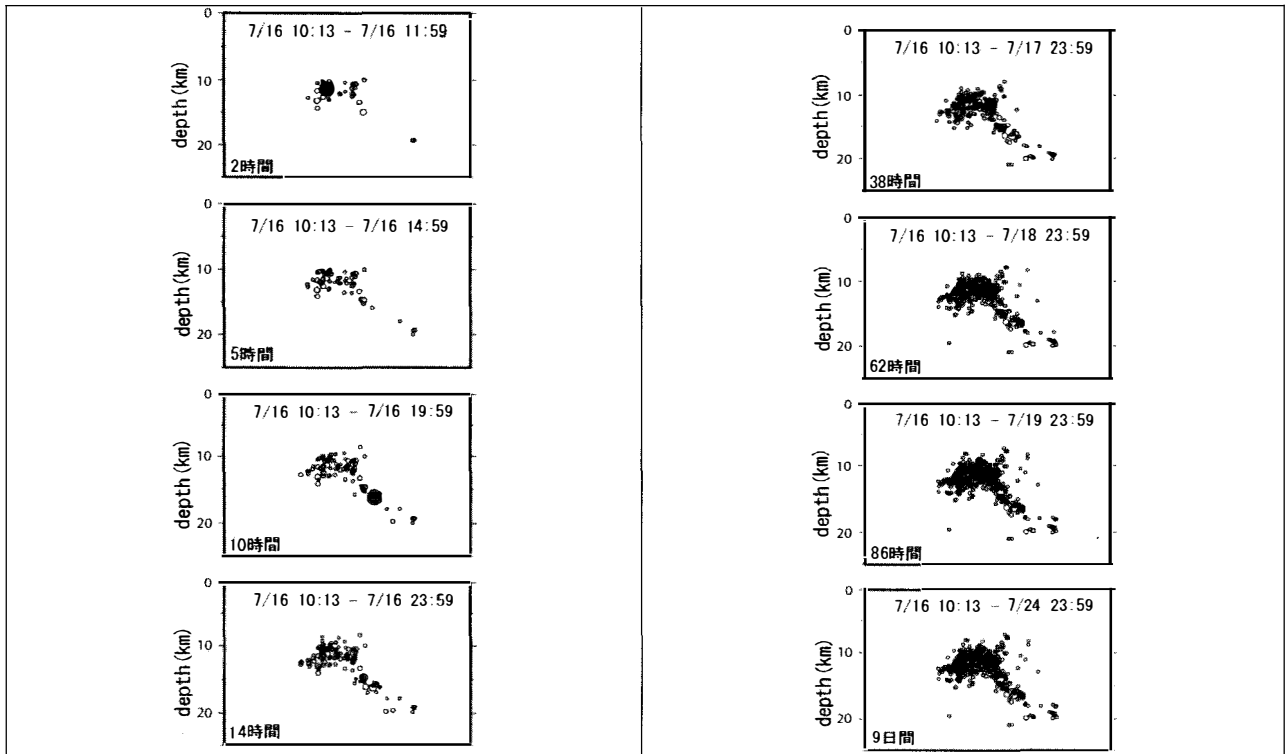


Figure 1-12 : Chronique des répliques pour 2, 5, 10, 14, 38, 62, 86 heures et 9 jours. Le choc principal est indiqué par le cercle rouge dans le premier caisson, la réplique la plus forte est indiquée par le cercle magenta dans le troisième caisson.

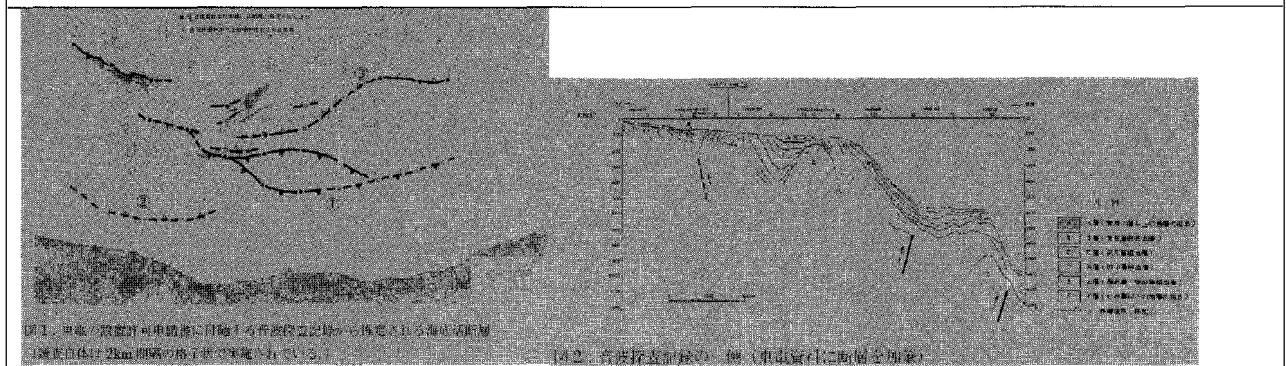


Figure 1-13 Linéaments au large de la ville de Kashiwazaki. Caisson du haut (en plan, le NORD est vers le haut à droite) : tracé des trois segments de faille; Caisson du bas : section le long d'un profil perpendiculaire à la côte sur laquelle trois segments rouges sont indiqués comme sources possibles du séisme de 2007. (<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/niigata070716/katsudansou.pdf>)

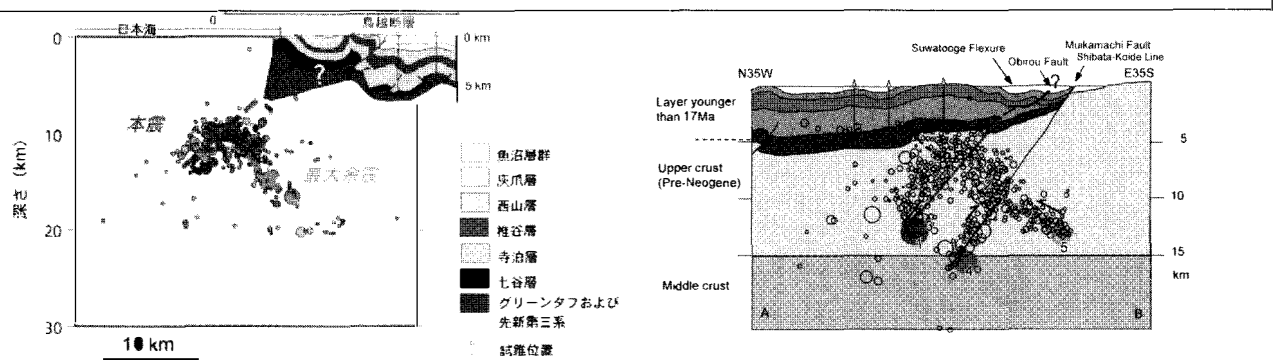


Figure 1-14. Coupe E-O montrant la géométrie proposée pour les segments de failles activés lors du séisme du 16 juillet 2007 (source : <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>) qui rejoignent la trace (rouge) de la faille de Torigoe à l'est. A droite : géométrie des failles proposées pour le séisme du 23 octobre 2004 situé à 30 km à l'est de l'épicentre de 2007 (Hirata et al., 2005).

1.1.6 Mouvements forts et spécificité du séisme de 2007

Le réseau accélérométrique national japonais, K-net, a enregistré cet événement sur 390 stations (Figure 1-15), dont 20 stations sont localisées à moins de 50 km de l'épicentre (Figure 1-18).

L'accélération maximale enregistrée est de 812 cm/s². La variabilité des séries temporelles et des spectres de réponse correspondants est illustrée pour les 4 stations les plus proches (Figure 1-17 et Figure 1-18)). La durée moyenne pour ce séisme est de 10-15 secondes. On peut remarquer le contenu fréquentiel très particulier de la station NIG018, interprété comme la manifestation d'un phénomène de mobilité cyclique des sols au droit de la station (Figure 1-20). Cette Figure montre aussi que l'axe principal du mouvement particulière est perpendiculaire à la direction NE-SO de propagation de la rupture.

1.1.6.1 Mairie de Kashiwazaki

Deux stations d'observation sont installées à côté de la mairie de Kashiwazaki (Figure 1-21) : la station K-NET(NIG018) et une station du réseau local qui appartient au gouvernement local.

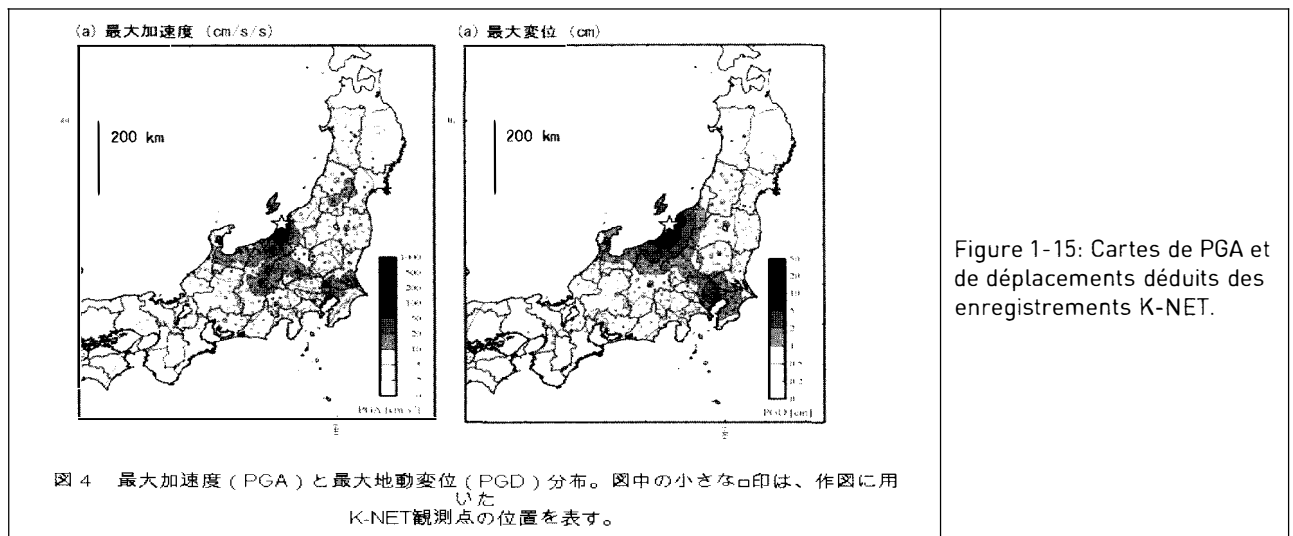
(http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/K-NET_Kashiwazaki.pdf).

Les enregistrements K-NET sont disponibles sur le site web du NIED. Les Figure 1-22 et Figure 1-23 montrent que l'installation de la station K-NET NIG018 n'a pas subi de basculement malgré le mouvement latéral qui a re-ouvert une fissure préexistante. En effet, les stations sismologiques sont bien ancrées à 1 m de profondeur (Figure 1-23). La comparaison des spectres de réponse à NIG018 pour les séismes de 2004 et 2007 montre une augmentation de la période prédominante pour le mouvement le plus fort : 2.2 s (0.45 Hz) pour le séisme de 2007 et 1,5 s (0.67 Hz) pour celui de 2004 (Figure 1-24). Cette diminution de fréquence peut refléter le niveau de déformation plus important associé au séisme de 2007 qui aura conduit à des non linéarités de sol plus élevées.

1.1.6.2 Station Izumozaki JMA

La station de Izumozaki JMA se trouve au NE de Kashiwazaki, à l'est de l'épicentre, et donc presque en face de la partie la plus au nord de la source sismique (Figure 1-25). L'enregistrement de Kashiwazaki montre un contenu fréquentiel relativement plus basse fréquence caractérisé par un plus faible nombre de pics par rapport à Izumozaki (Figure 1-25).

Les données de la station d'Izumozaki sont disponibles sur le site web suivant : (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/data.html).



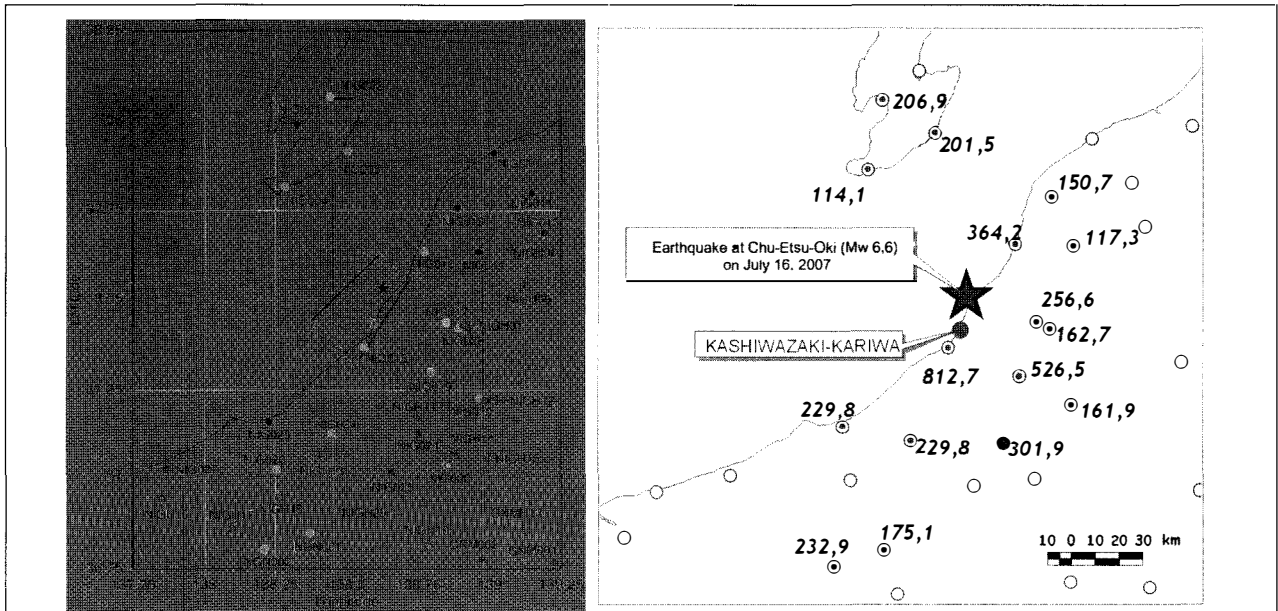


Figure 1-16: Stations K-net proche de l'épicentre qui ont enregistrées le mouvement du séisme de Niigata (cercles Rouge: $V_{s30} < 180$ m/s; Vert: $180 < V_{s30} < 360$; Bleu: $360 < V_{s30} < 760$). Les cercles blancs sont les stations Kik-Net. Les deux géométries pour le plan de rupture sont montrées. [Source : www.eeri.org/lfe/pdf/japan_niigata_chuetsu_oki_prelim_0912.pdf]. A droite : Carte des accélérations maximales enregistrées lors du séisme du 16 juillet 2007 proche de l'épicentre.

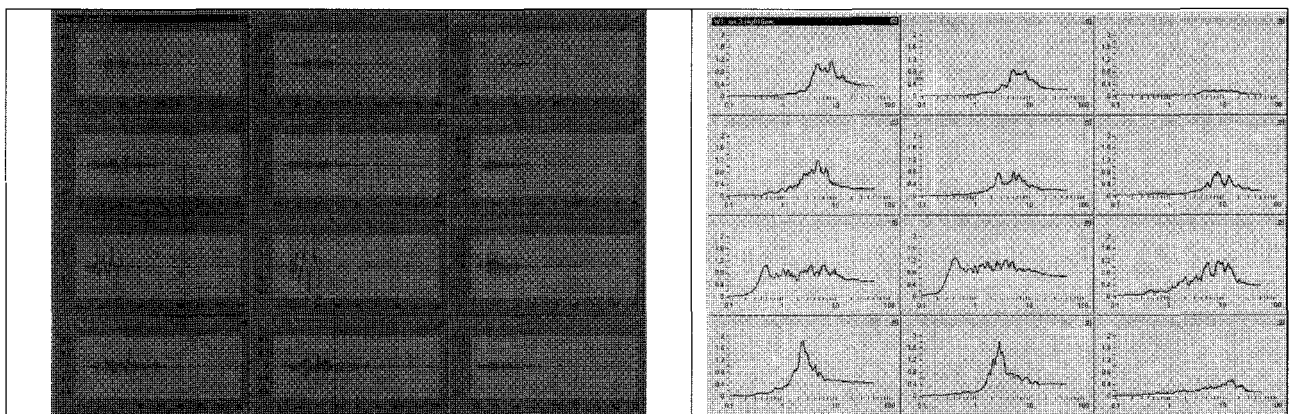
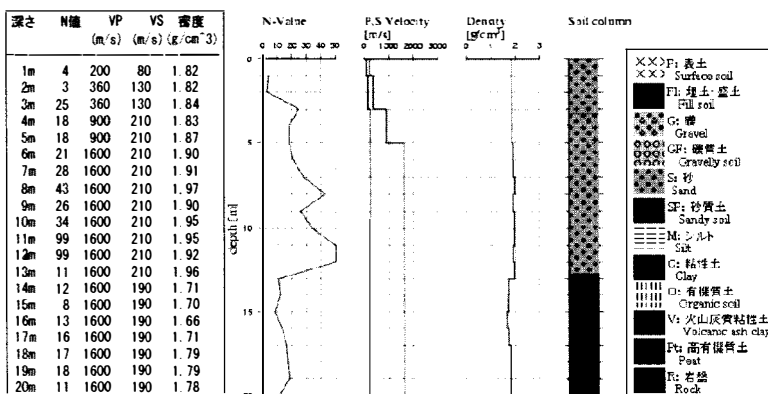


Figure 1-17: Exemple de séries temporelles (secondes) en accélération (%g) pour des stations proche de la source. Du haut vers le bas: NIG016, NIG017, NIG018, NIG019. De gauche à droite: composante EO, NS, et Z.

Figure 1-18: Réponses spectrales en accélération [5% amortissement, abscisse en Hz ordonnée en %g]. Du haut vers le bas: NIG016, NIG017, NIG018, NIG019. De gauche à droite: composante EO, NS, et Z.

[Source : www.eeri.org/lfe/pdf/japan_niigata_chuetsu_oki_prelim_0912.pdf]

観測点地盤条件



表層約13mは砂であり、その下部は粘性土である。特に、表層3mないし5mは軟弱であることが分かる。

Figure 1-19 : Caractéristiques du sol (0 à 20 m) sous la station NIG018 (K-NET)

現地調査 (柏崎)

防災科学技術研究所 K-NET
NIG018 (柏崎) 観測点
(柏崎市市民会館敷地内)

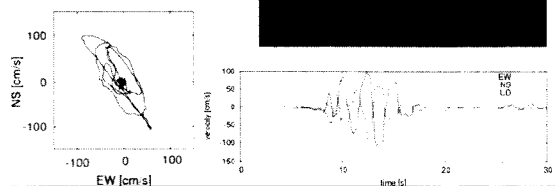
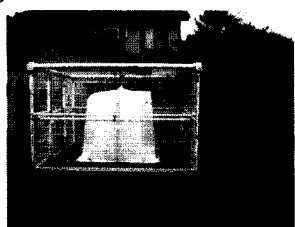
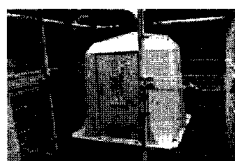
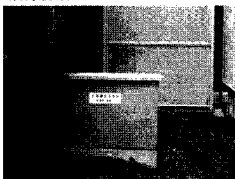


Figure 1-20 : La station a NIG 018 (K-NET) et graphe de la vitesse particulaire dans un plan horizontal déduit des enregistrements en vitesse².

設置位置



K-NET 柏崎 (NIG018) 震度 6強
NS: 667. EW: 514. UD: 369
3成分合成が 813 cm/s/s



自治体震度計: 柏崎市中央町 震度 6強
NS: 472.1. EW: 637.8. UD: 322.4
3成分合成が 793.5 cm/s/s.



Figure 1-21 : Stations sismologiques installées à côté de la mairie de Kashiwazaki. Photo du haut : K-NET et du bas : station du gouvernement local utilisé pour le calcul de l'intensité JMA. La somme vectorielle des trois composantes est de 813 et 793.5 cm/s² respectivement.

² <http://www.jiban.or.jp/organi/bu/somubu/19niigatachuetsu/3goto.pdf>



Figure 1-22 : Intérieur de la station K-NET. Le sable autour de la station semble humide et compacté, 1 mm entre la base et le sable. Aucun basculement de la station n'a été enregistré.

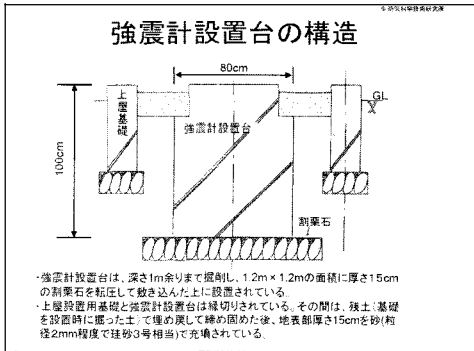


Figure 1-23 : La base de la station K-NET est isolée de la base de la cabane et une couche de sable de 15 cm couvre la surface.

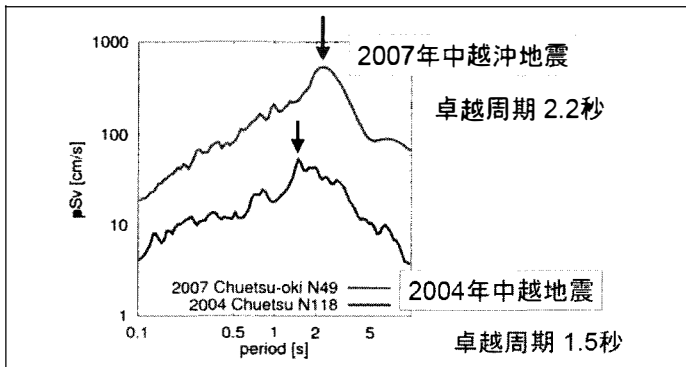


Figure 1-24 : Comparaison des spectres de réponse horizontale en pseudo-vitesse, à la station NIG018, pour les séismes de 2004 (Chuetsu, bleu) et de 2007 (Chuetsu-Oki, rouge).

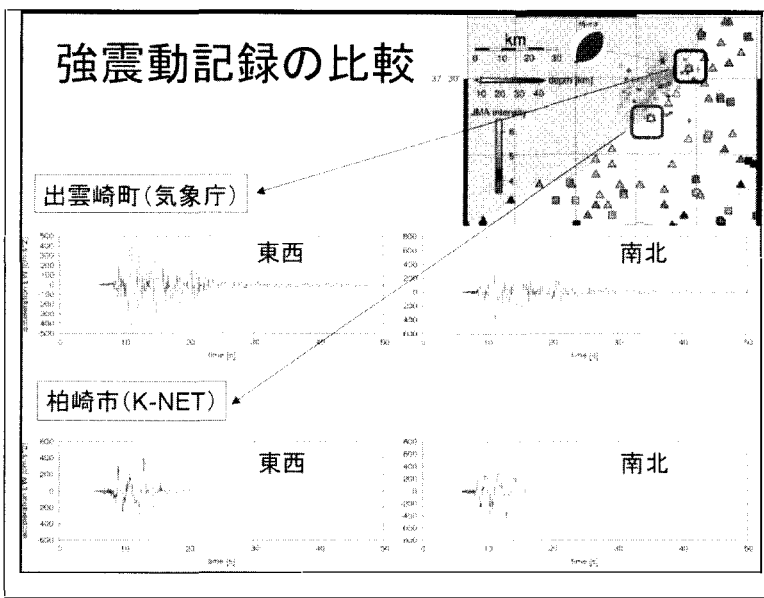


Figure 1-25 : Comparaison des accélérations enregistrées à Izumozaki JMA station (haut) et Kashiwazaki K-NET station (bas). Gauche et droite sont les composantes horizontale EO et NS respectivement³.

³ <http://www.jiban.or.jp/organi/bu/somubu/19niigatachuetsu/3goto.pdf>

1.2 Modélisation

1.2.1 Source sismique

Les résultats préliminaires de différents chercheurs japonais qui ont essayé d'ajuster leurs modèles aux observations sismologiques en testant différentes hypothèses géométriques, sont présentés ici. Il faut tout de même garder à l'esprit que la couverture azimutale des stations d'observation ne permet pas de localiser de manière précise l'hypocentre des séismes en mer. La Figure 1-2-1 montre l'inversion du glissement à partir de données télé sismiques avec une hypothèse d'un plan à pendage vers le SE. L'inversion en supposant un pendage vers le NO est tout aussi satisfaisante. De plus elle est en meilleur accord avec la répartition des répliques et avec l'inversion à partir des mouvements forts enregistrés par K-NET et KiK-net. Yagi⁴ a aussi préféré un pendage NO pour ses modélisations. Dans l'hypothèse d'un pendage NO, d'anciennes failles normales, créées lors de la phase d'extension, seraient aujourd'hui réactivées en failles inverses. Ceci n'exclut pas la possibilité d'une réactivation de failles conjuguées. Pour aller dans ce sens, le NIED⁵, "National research Institute for Earth science and Disaster prevention" a pris le parti de considérer les deux hypothèses et a déduit une carte de déplacement sur le plan de failles pour les deux géométries à partir d'enregistrements en champ proche. Les deux solutions montrent des déplacements importants dans la partie SO du plan de faille modélisé (Figure 1-2-2).

Dr. Nozu, « Port and Airport Research Institute », propose une interprétation des données sismologiques par l'approche des fonctions de Green empiriques (Figure 1-2-3). Il arrive aussi à la conclusion qu'il faut une aspérité importante dans la partie SO du plan de faille modélisé. Cette aspérité est nécessaire pour reproduire le contenu haute fréquence du signal observé en champ proche. Prof. Irikura propose une simulation des mouvements forts, inspirée du modèle de Nozu, qui permet de reproduire le « killer pulse », observé sur les enregistrements de la centrale nucléaire⁶. Prof. Kamae (Kyoto Univ.) a simulé les mouvements forts en utilisant la réplique principale comme une fonction de Green empirique (Figure 1-2-4, Figure 1-2-5, Figure 1-2-6). La Figure 1-2-7 montre un exemple de comparaison entre les simulations et les observations enregistrées à la base du réacteur No.1 de la centrale de Kashiwazaki.

Les dimensions de la zone de rupture pour les deux plans possibles sont de l'ordre de 30 km de long et 22 km de large dans le sens du pendage. L'hypocentre se situe dans la partie nord du plan de rupture. Le plan de rupture atteint une profondeur de 1 km, pour le plan avec un pendage NO et de 3 km pour celui avec un pendage vers le SE. Le glissement maximal a été estimé à 3.5 m. Les deux modèles nécessitent une aspérité plus petite dans la partie SO du plan de rupture. Pour les deux pendages, la rupture s'est développée vers le sud-ouest de l'épicentre, de manière unilatérale.

Ceci est conforme à la répartition des dommages observés sur le terrain, qui montre une forte asymétrie par rapport à l'épicentre, en intégrant les données relatives à l'occupation des sols. Les niveaux de dommages aux maisons sont classés en trois catégories: vert, jaune et rouge, pour les dommages les plus forts. Au Sud, les maisons classées « rouges » dépassent Oomigawa, situé à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de l'épicentre. Vers le Nord, aucune maison "rouge" n'a été identifiée au NE d'Izumozaki, un village qui se trouve à environ 3 km de l'épicentre (Figure 1-2-8).

⁴ Tsukuba Univ : http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/2007niigata/

⁵ <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>

⁶ <http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishinpic/taishinpic003/siryo3-2-3.pdf>

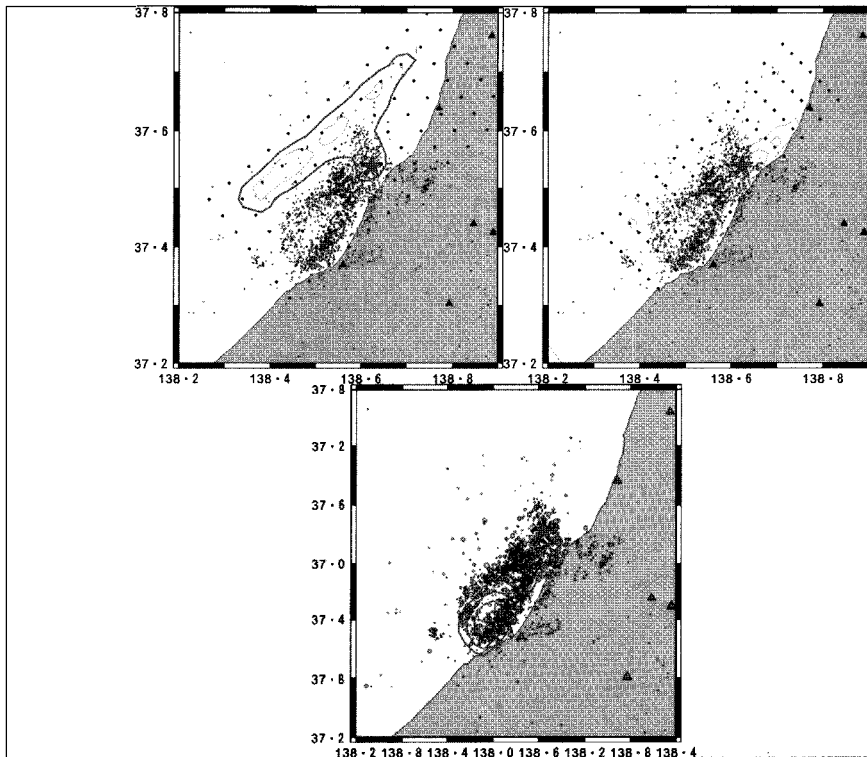


Figure1-2-1: Comparaison de la répartition des répliques et des contours de déplacement déduits des inversions à l'aide de données télé-sismiques (a et b) et des données de mouvement fort © [Yamanaka]⁷.

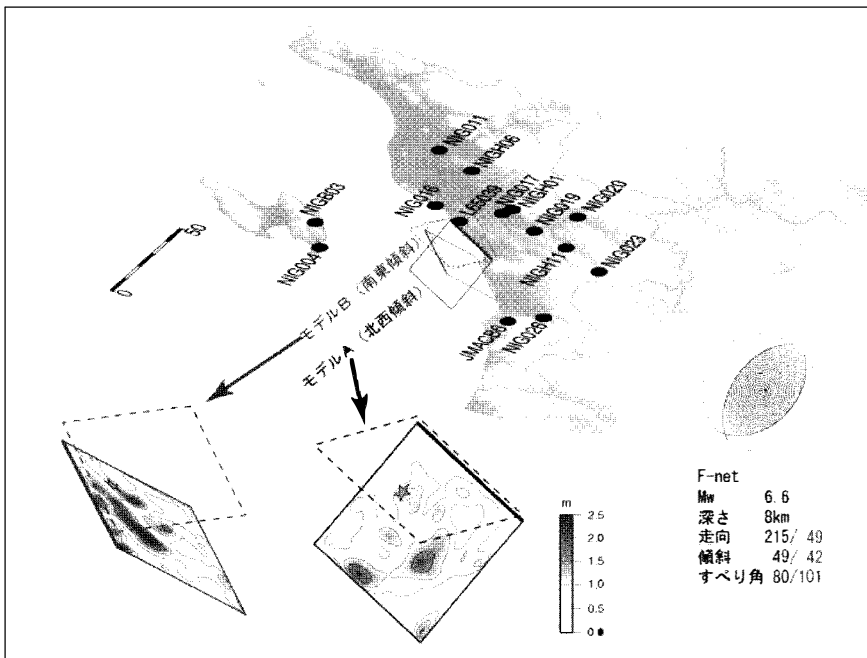


Figure1-2-2: Déplacements sur le plan de faille déduits de la modélisation des données sismologiques en champ proche (K-NET, KiK-net, F-net et JMA et locale). Les deux hypothèses géométriques sont considérées et sont en accord avec les observations.

⁷ http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2007/NGY2a.html

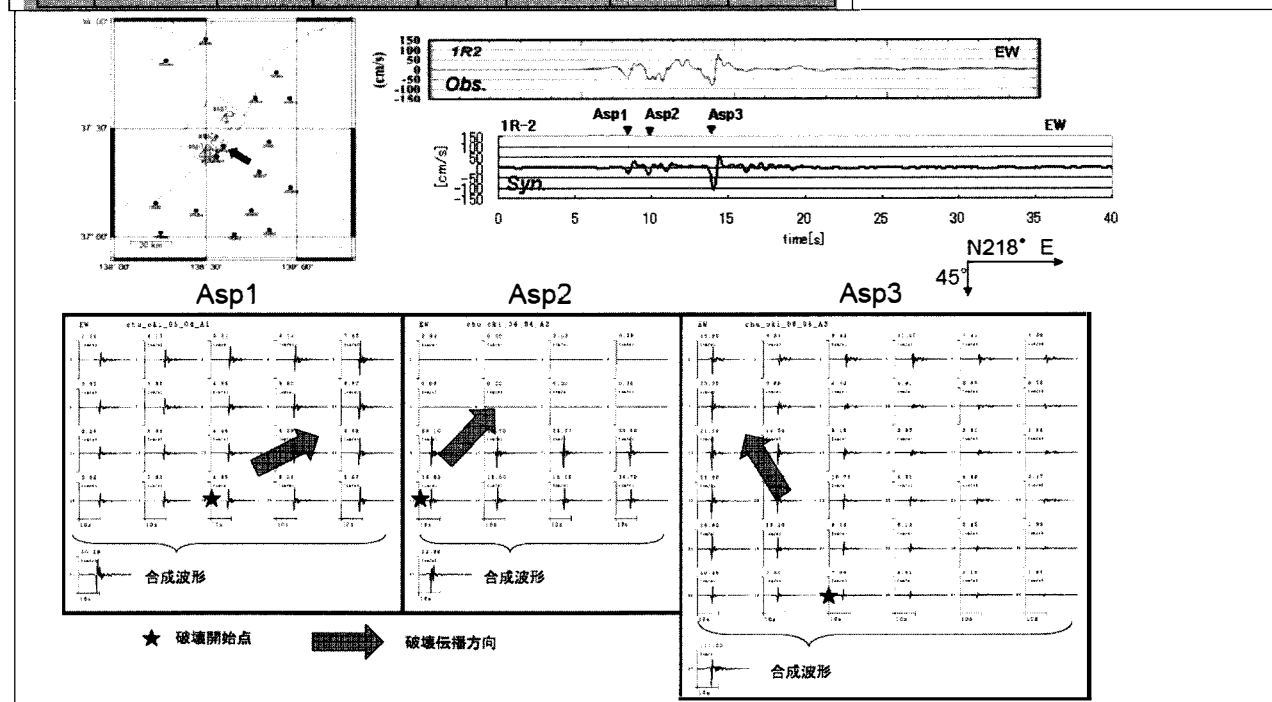
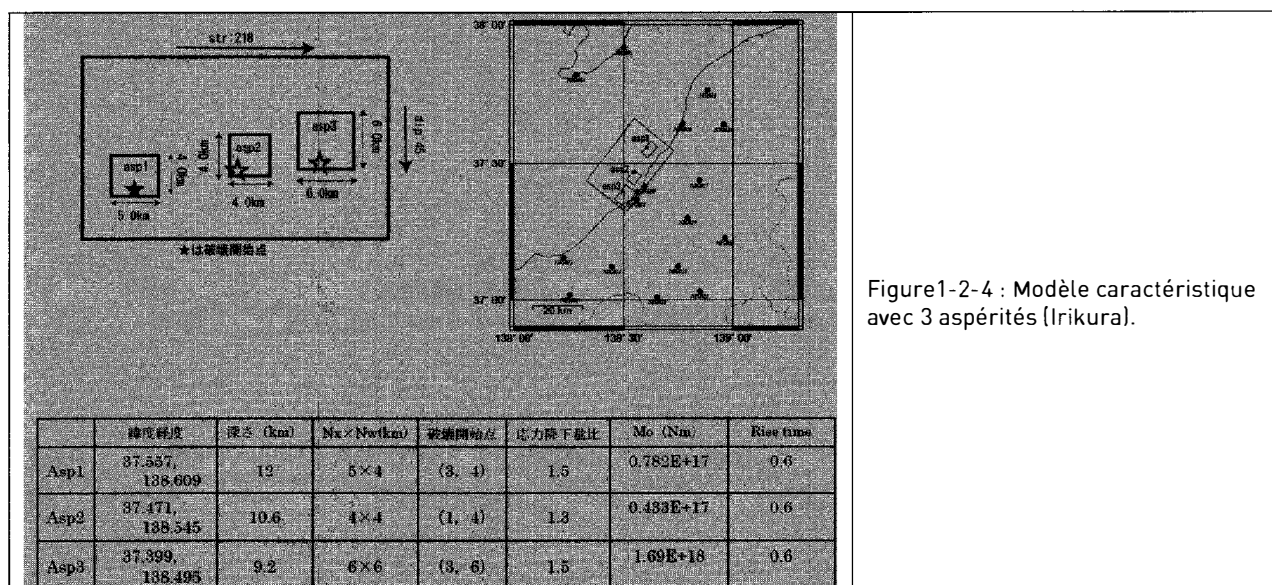
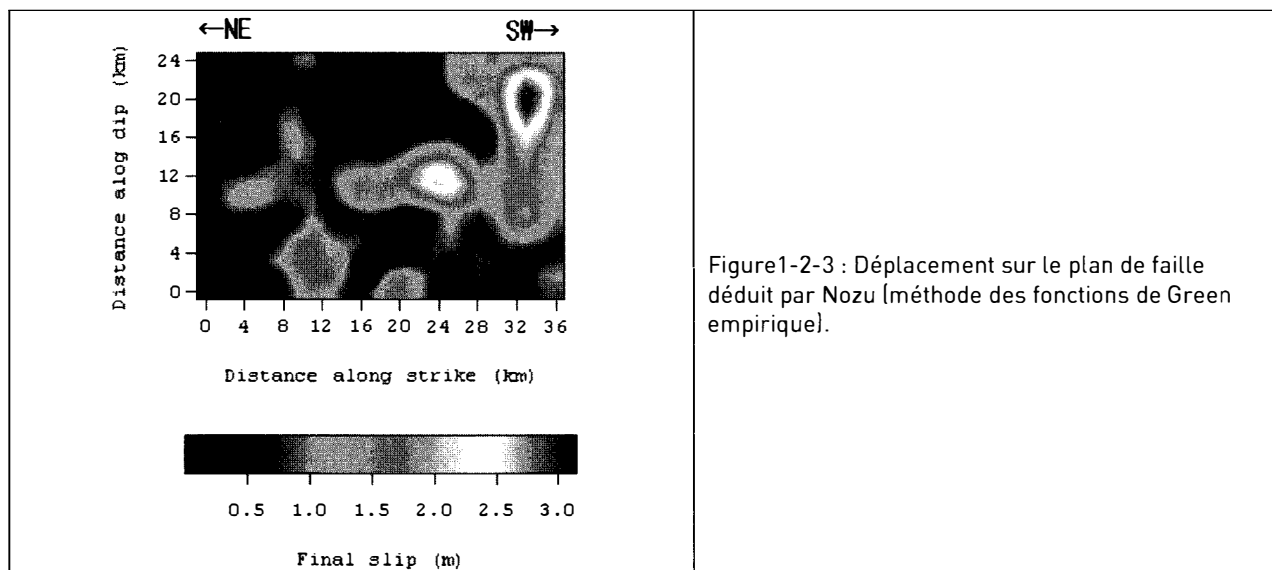


Figure 1-2-5 : Comparaison entre observations et simulations numériques avec le modèle de la Figure 1-2-4. Les panneaux du bas indiquent la direction de rupture vue depuis la centrale nucléaire.

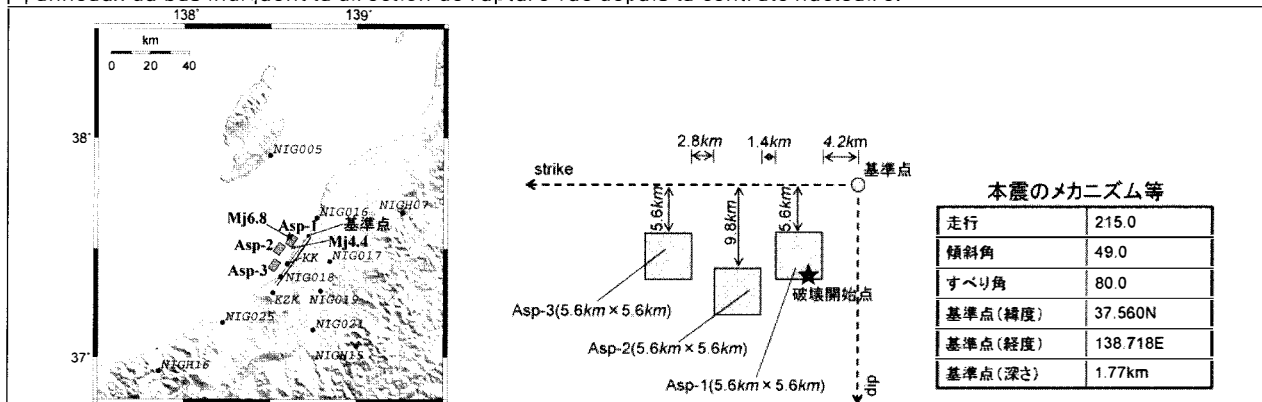


Figure 1-2-6 : La carte montre la position de l'épicentre et de la réplique utilisée comme fonction de Green empirique (Prof. Kamae). Les rectangles bleus indiquent la position des aspérités. Les points bleus sont les points d'observations utilisés dans les modélisations. KK représente la position de la centrale nucléaire. La ligne bleue est la trace de la faille projetée à la surface avec le point d'origine noir au nord-est. Les panneaux du bas indiquent la taille et la localisation des aspérités. La table décrit les paramètres géométriques du point d'origine et du plan de faille.

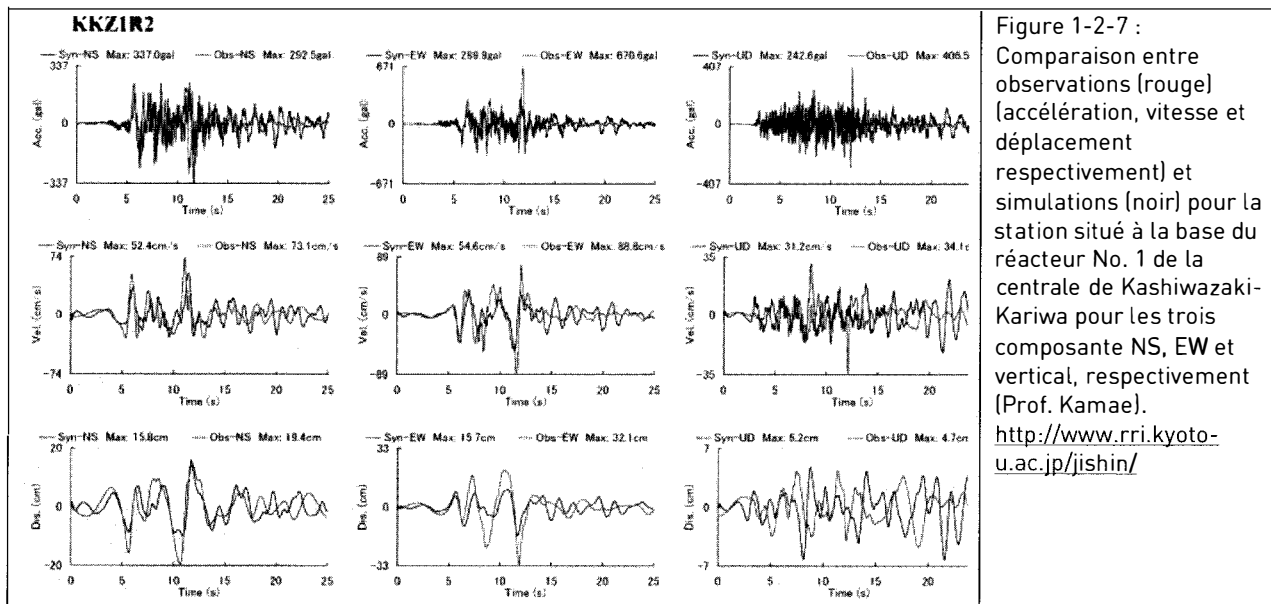


Figure 1-2-7 : Comparaison entre observations (rouge) (accélération, vitesse et déplacement respectivement) et simulations (noir) pour la station situé à la base du réacteur No. 1 de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa pour les trois composante NS, EW et vertical, respectivement (Prof. Kamae). <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/>

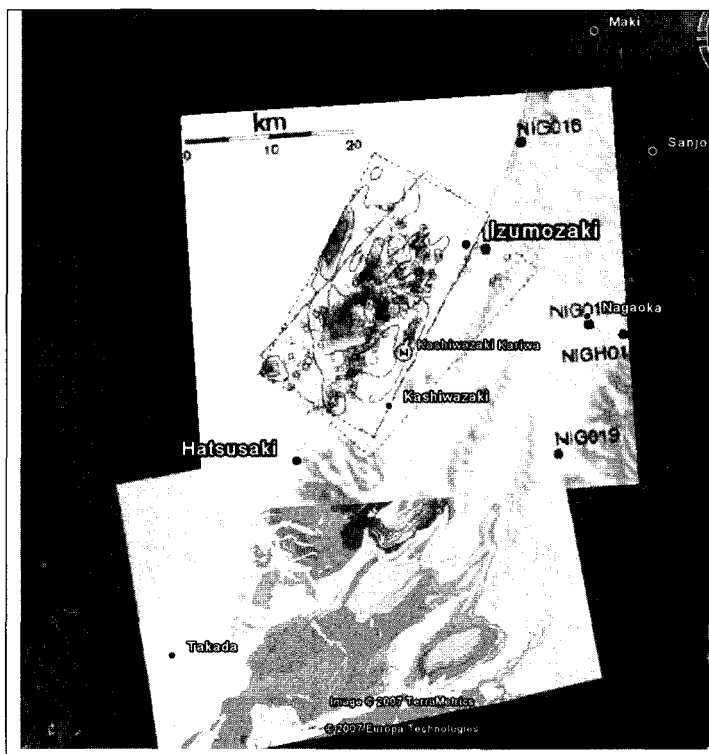


Figure 1-2-8 : Cartographie du déplacement sur le plan de faille NO déduit des enregistrements en champ proche. Les points bleus indiquent les répliques. Les rectangles bleu (plan NO) et rouge (SE) représentent les deux hypothèses géométriques pour le plan de rupture. [Source : NRI ESDP, 2007]. Les villes d'Izumozaki au nord et de Hatusaki au sud, délimitent la zone des maisons taguées « rouges » repérées sur le terrain par l'AFPS.

1.2.2 Données GPS, SAR et marégrammes

Le « Geographical Research Institute » a essayé d'ajuster les observations GPS en utilisant deux plans de faille avec un pendage NO. Les données géodésiques GPS semblent être plus cohérentes avec une géométrie de plan NO (Figure 1-2-9 et Figure 1-2-10). Cependant, nous avons constaté sur le terrain qu'une station GPS a subi un basculement et une autre un tassement lié à des mouvements superficiels des sols. Les données SAR montrent des résultats très intéressants (Figure 1-2-11), qui soulignent la complexité des déformations co-sismique induites par le séisme de Chuetsu-oki. Plusieurs marégrammes existent⁸, cependant les observations les moins ambiguës et les plus proches de la faille indiquent toutes du soulèvement, ce qui ne permet pas de contraindre le pendage de la faille (Figure 1-2-12).

⁸ http://iisee.kenken.go.jp/special/fujii_Niigata_HP/tsunami.html

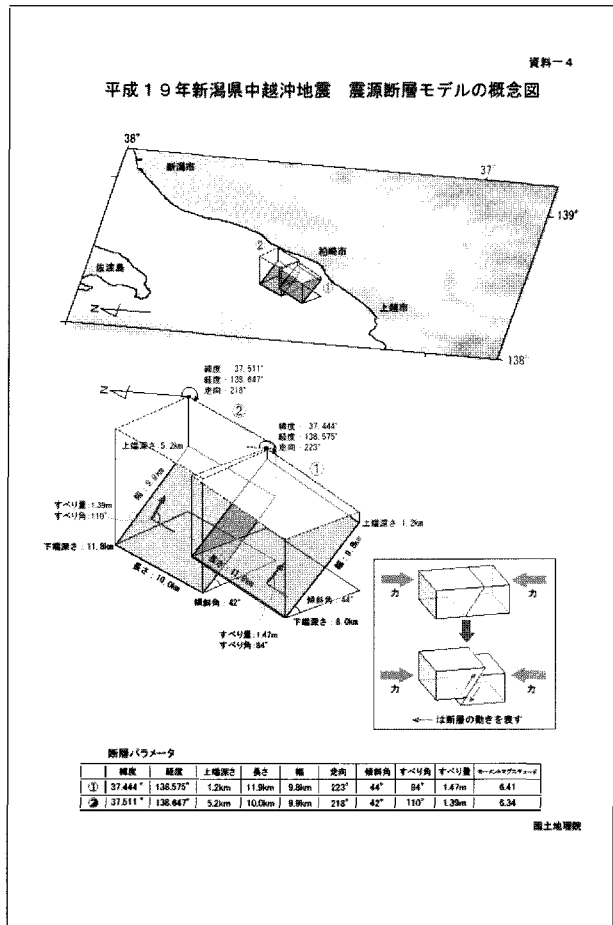


Figure 1-2-9 : Géométrie des failles déduites de l'ajustement de données GPS (Geographical Research Institute)

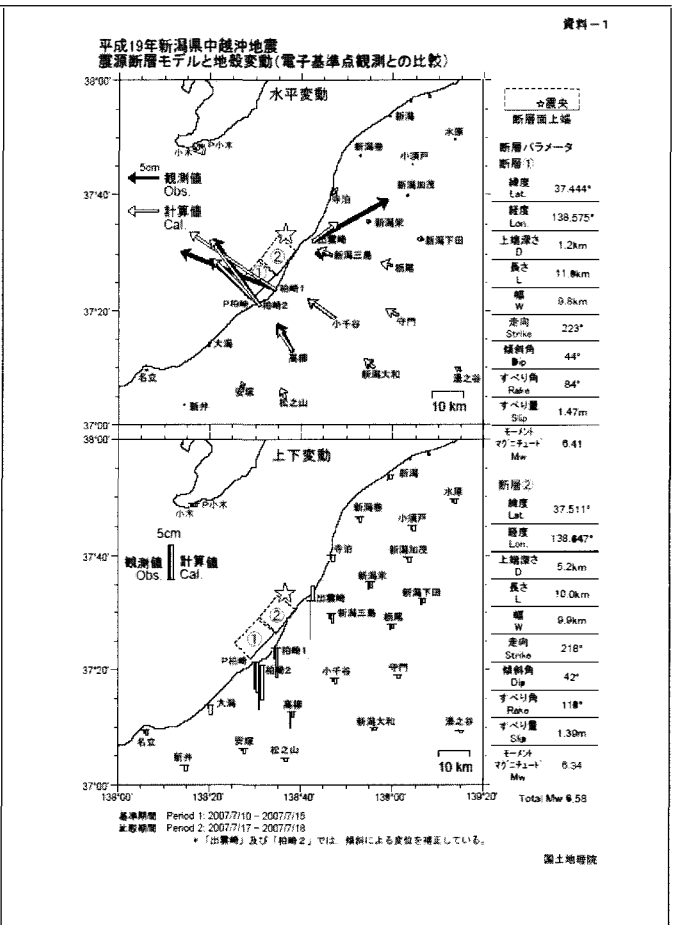


Figure 1-2-10 : Comparaison entre observations GPS (noir) et simulations (blancs) déduites de modèles de dislocation (haut: déplacement horizontal ; bas : déplacement vertical). GRI. Remarque: les stations d' Izumozaki et Kashiwazaki2 ont subi des effets induits (tassement et glissement) qui auraient été corrigés dans cette inversion.

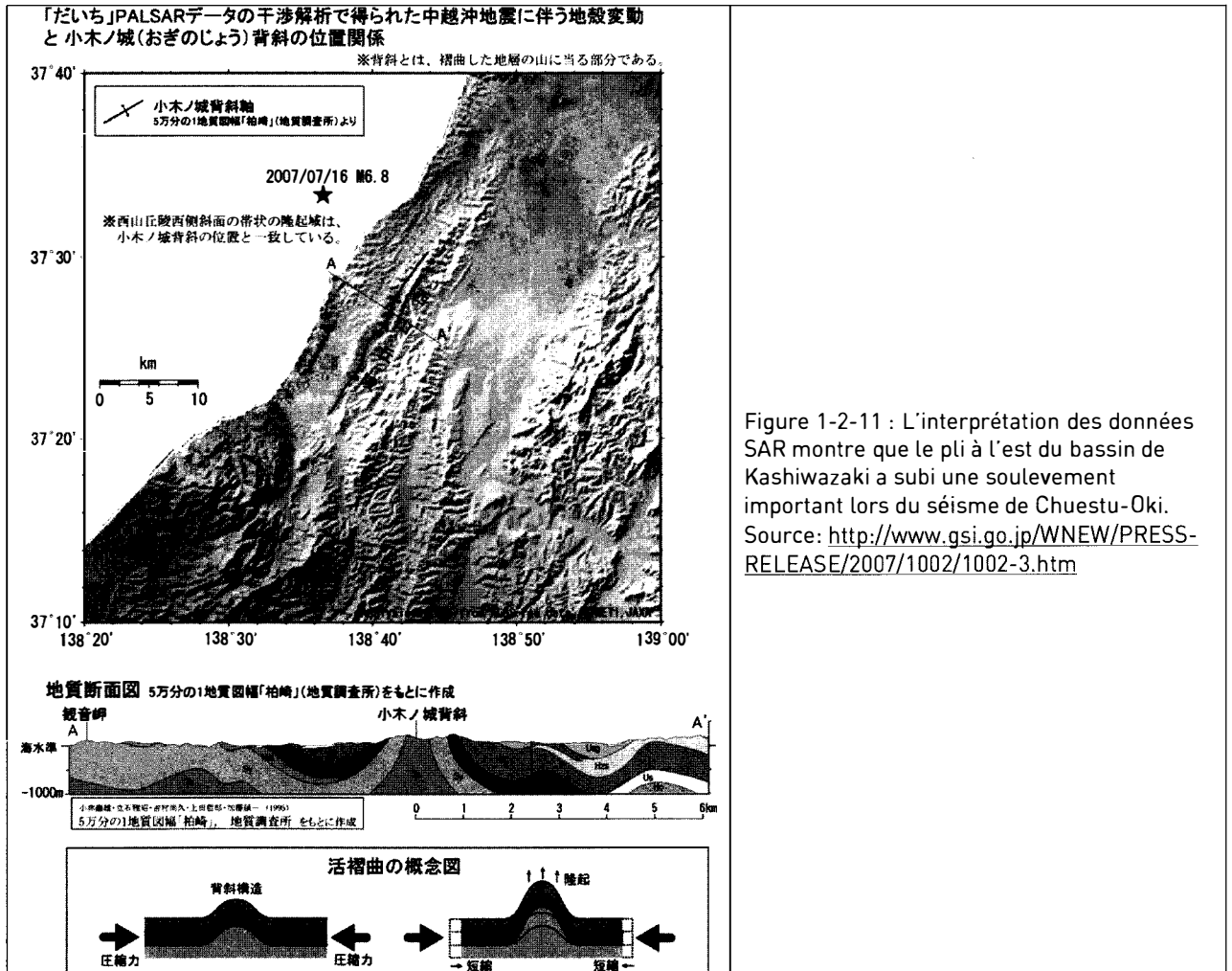


Figure 1-2-11 : L'interprétation des données SAR montre que le pli à l'est du bassin de Kashiwazaki a subi une soulèvement important lors du séisme de Chuetsu-Oki.
Source: <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/1002/1002-3.htm>

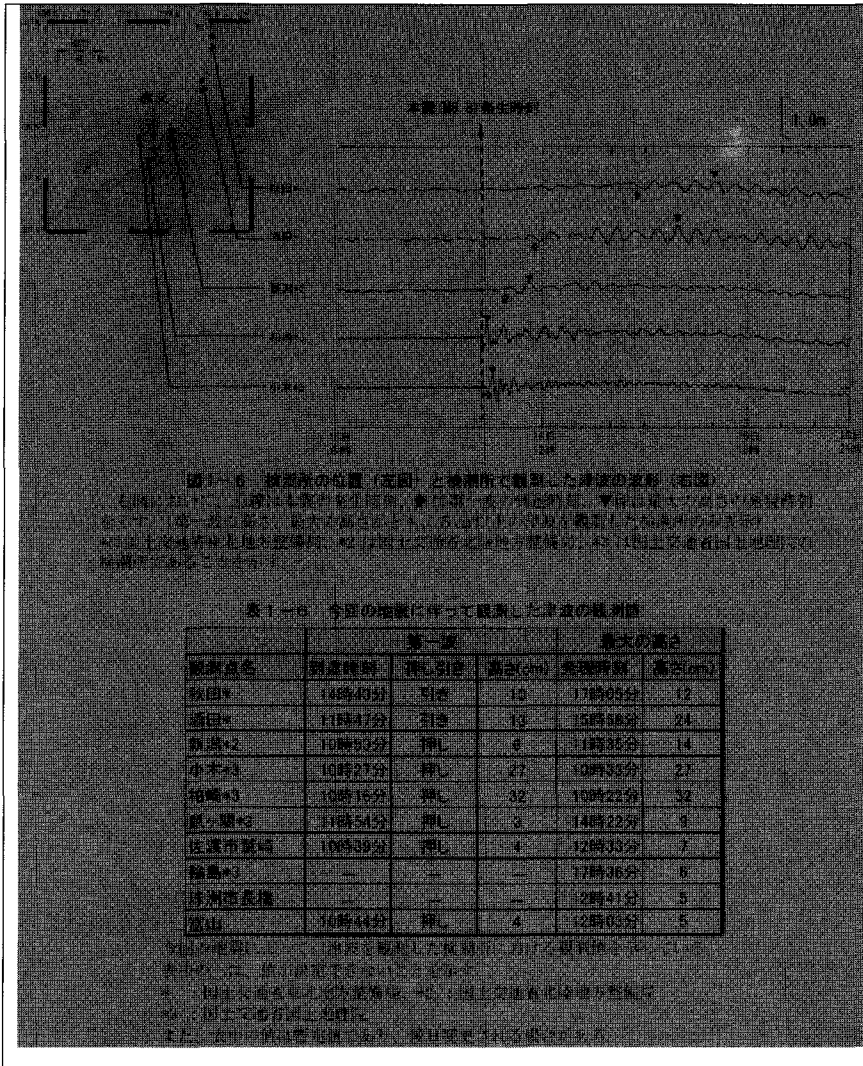


Figure 1-2-12 : Marégrammes. Caisson du haut: première vague (flèche bleue) et amplitude maximal (flèche rouge) du tsunami observé après le séisme de 2007. Caisson du bas : valeurs numériques des observations: nom de station, temps d'arrivée de la première vague, sens de la première vague, hauteur, temps et amplitude de la vague maximale. A l'exception d'Akita et Sakata, les deux stations plus au nord, qui indiquent un premier mouvement négatif, les autres stations ont enregistré un mouvement positif ou très peu impulsif.

1.2.3 Comparaison aux équations de prédiction du mouvement sismique

La Figure 1-2-13 montre que les PGA et PGV observées lors du séisme de 2007 sont cohérents avec la relation d'atténuation de Kanno et al. (2006), déduite à partir des données japonaises ; les prédictions de la relation de Abrahamson and Silva (2007) par contre semble sous-estimer le mouvement

(cf: www.eeri.org/lfe/pdf/japan_niigata_chuetsu_oki_prelim_0912.pdf).

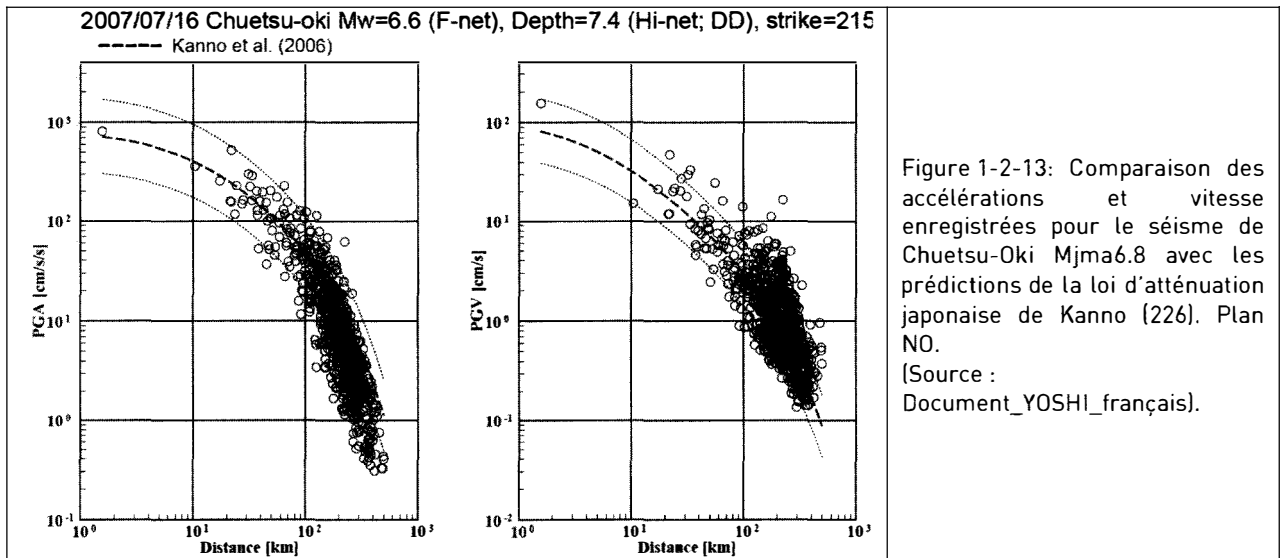


Figure 1-2-13: Comparaison des accélérations et vitesses enregistrées pour le séisme de Chuetsu-Okii Mw6.8 avec les prédictions de la loi d'atténuation japonaise de Kanno (226). Plan NO.
 (Source : Document_YOSHI_français).

1.2.4 Mouvement des pierres tombales

Le Japon dispose aujourd'hui d'un réseau riche en stations accélérométriques mis en place suite au séisme de Kobe. Ce réseau dense (réseau K-net en particulier) permet de disposer à la fois d'un grand nombre de signaux naturels et d'une bonne caractérisation du mouvement propre à chaque séisme.

Ceci n'était pas le cas dans le passé, c'est pourquoi un grand nombre de travaux a été réalisé pour caractériser le mouvement sismique au moyen des éléments disponibles sur le terrain. Dans ces conditions, beaucoup d'auteurs ont analysé le mouvement des pierres tombales japonaises du fait de leur forme simple (qui permet de relier leur mouvement : glissement et renversement Figure 1-2-14, à des paramètres du mouvement sismiques tels que vitesse et accélération). Un autre intérêt est qu'elles se trouvent en nombre important sur le terrain.

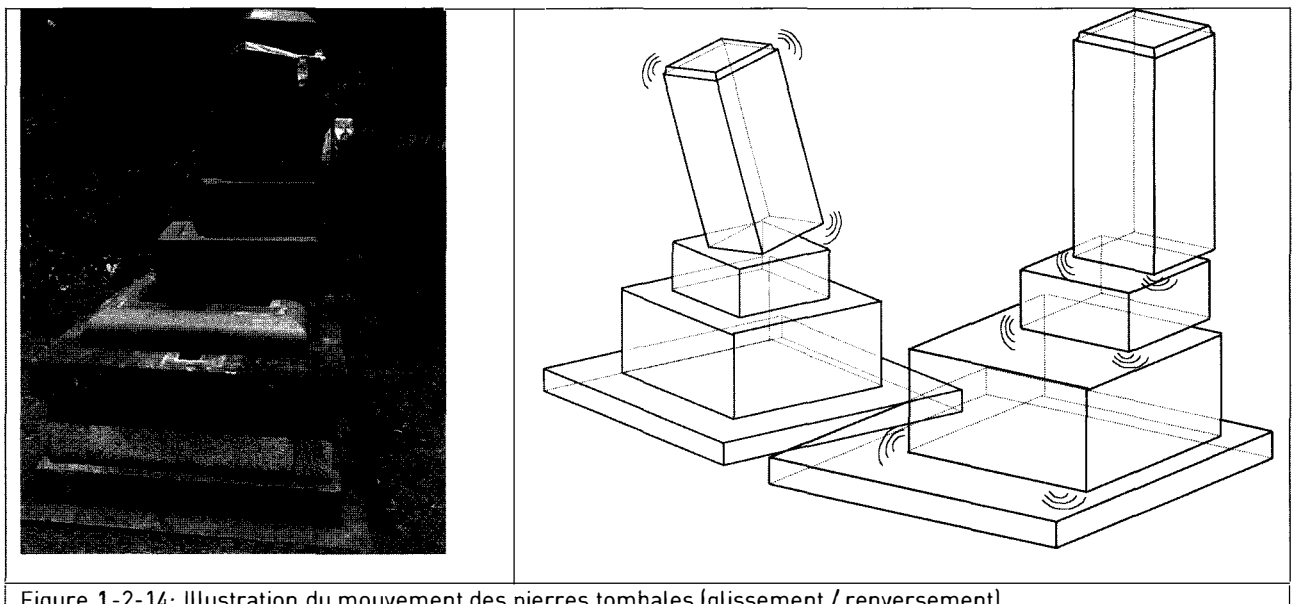


Figure 1-2-14: Illustration du mouvement des pierres tombales (glissement / renversement)

1.2.4.1 Méthodes simplifiées retenues

On retiendra dans l'analyse suivante la méthode proposée par Newmark pour évaluer la distance de glissement d'un bloc rigide en séisme et la méthode proposée par Ishiyama pour évaluer le renversement. Ces méthodes ne sont pas décrites en détail ici, seuls les critères résultants sont donnés, à savoir :

Evaluation de la distance maximale de glissement (formule de Newmark (2001) ajustée

par) :

$$D_{MAX} = K_{nmk} \frac{V_{SOL}^2}{2 \cdot \mu \cdot g} \left(1 - \frac{\mu}{A_{SOL}} \right)$$

où :

μ est le coefficient de frottement

A_{SOL} est l'accélération maximale au sol (en g)

V_{SOL} est la vitesse maximale au sol (en m/s)

K_{nmk} est un coefficient d'ajustement empirique proposé par Choi

Evaluation du risque de renversement (formule d'Ishiyama (1989)) :

$$V_{SOL} > \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot k \cdot \sqrt{g \cdot r}$$

où :

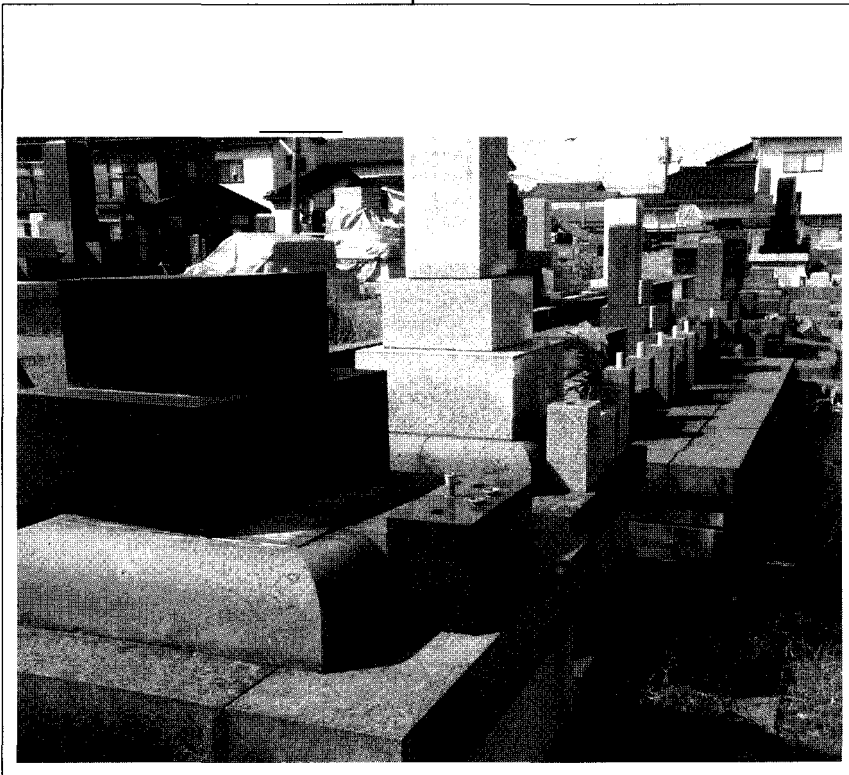
λ est l'élanement de l'objet (rapport hauteur sur largeur)

r est la distance entre le centre de gravité de l'objet et le point de basculement

k est un coefficient empirique défini par Ishiyama, fixé à 0.4.

1.2.4.2 Le glissement

Nous allons chercher ici à confronter la méthode de Newmark aux observations, en exploitant les mouvements de pierres tombales observées dans un cimetière de la ville de Kashiwazaki (Figure 1-2-15) et en comparant les résultats obtenus aux mouvements enregistrés par la station K-Net NIG018 située à proximité.



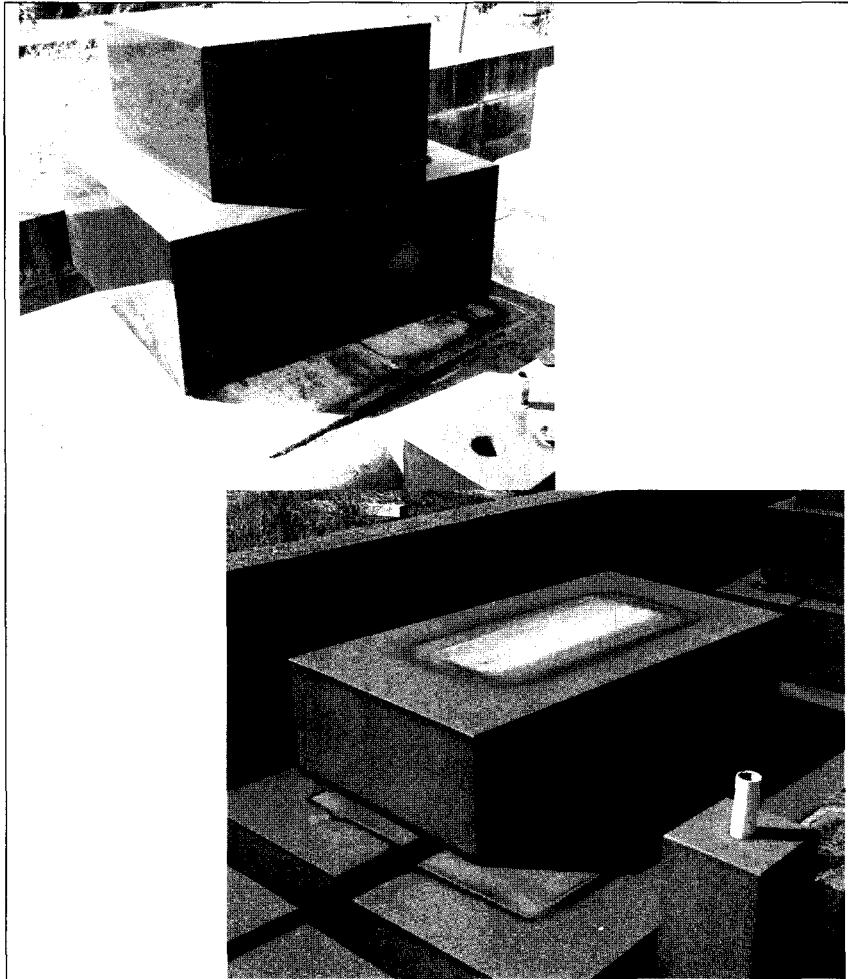


Figure 1-2-15 : Glissement des pierres tombales observé dans un cimetière de Kashiwazaki

Sur cet alignement de pierres tombales, on observe un mouvement plutôt homogène (environ 12 cm dans une direction et 3 cm dans l'autre), orienté Est-Ouest.

A partir des valeurs de déplacement mesurées et en appliquant la formule de Newmark, il est possible d'évaluer l'accélération et la vitesse maximale du sol. Pour cela, il est nécessaire de faire certaines hypothèses complémentaires sur les paramètres inconnus de la formule de Newmark, à savoir le coefficient de frottement et le rapport A/V (relation nécessaire pour réduire la formule à une inconnue). Dans ces conditions, une sensibilité des résultats aux données d'entrée est réalisée. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 1.

Direction 1	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	
Déplacement observé (m)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
Rapport A/V postulé (s ⁻¹)	10	10	10	7	15	
Coefficient de frottement postulé	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	Moyenne
Vitesse maximale résultante (m/s)	0.81	0.70	0.91	0.82	0.81	0.8
Accélération maximale résultante (m/s²)	8.1	7.0	9.1	5.8	12.1	8.4
Direction 2	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	
Déplacement observé (m)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
Rapport A/V postulé (s ⁻¹)	10	10	10	7	15	
Coefficient de frottement postulé	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	Moyenne
Vitesse maximale résultante (m/s)	0.48	0.42	0.54	0.49	0.48	0.5
Accélération maximale résultante (m/s²)	4.8	4.2	5.4	3.4	7.1	5.0

Tableau 1: Evaluation des accélérations et vitesses maximales du sol à partir des distances de glissement observées sur les pierres tombales.

D'après les résultats précédents et compte tenu des incertitudes sur certains des paramètres de la formule de Newmark (coefficient de frottement en particulier), il est possible de proposer un encadrement des paramètres d'accélération et de vitesse maximale du sol :

Direction 1

$$0.6 \text{ g} < A_{\text{SOL}} < 1.2 \text{ g} \quad \text{moyenne } 0.8 \text{ g}$$

$$0.7 \text{ m/s} < V_{\text{SOL}} < 0.9 \text{ m/s} \quad \text{moyenne } 0.8 \text{ m/s}$$

Direction 2

$$0.35 \text{ g} < A_{\text{SOL}} < 0.7 \text{ g} \quad \text{moyenne } 0.5 \text{ g}$$

$$0.4 \text{ m/s} < V_{\text{SOL}} < 0.5 \text{ m/s} \quad \text{moyenne } 0.5 \text{ m/s}$$

On peut remarquer que la gamme d'incertitude sur la valeur de la vitesse maximale du sol est plus faible que celle relative à l'accélération (du fait de l'hypothèse qu'il est nécessaire de faire sur la valeur du rapport A/V).

On peut alors comparer les évaluations précédentes aux valeurs des paramètres enregistrés par la station NIG018, présentés dans le Tableau 2

		Station Kashiwazaki NIG018 (2007)		
		EW	NS	UD
Amax	m/s?	5.2	6.5	3.7
Vmax	m/s	0.82	1.2	0.26
Dmax	m	0.52	0.6	0.11
A/V	s ⁻¹	6.3	5.6	14.2
Durée	s	6.4	6.5	7.6
Iarias	m/s	2.9	4.6	1.2
CAV	m/s	9.3	11.7	7.3

Tableau 2: Caractéristiques du mouvement sismique enregistré par la station NIG018 (à proximité du cimetière)

On peut constater que l'accélération enregistrée est cohérente avec la fourchette proposée plus haut (en très bon accord si on exclut le cas 5 qui faisait l'hypothèse d'une valeur de A/V nettement supérieure à la valeur enregistrée par la station). La vitesse enregistrée (0.8 à 1.2 m/s) est quant à elle supérieure à la fourchette proposée plus haut mais l'ordre de grandeur évalué reste cependant correct.

1.2.4.3 Le basculement

Nous allons chercher maintenant à confronter la méthode proposée par Ishiyama aux observations en exploitant les mouvements de pierres tombales observées dans le même cimetière (Tableau 3).

Elancement () :	2.5	3	2.2
Coefficient k :	0.4	0.4	0.4
Largeur (m) :	0.3	0.2	0.4
Hauteur (m) :	0.75	0.6	0.88
Rayon de basculement r (m) :	0.40	0.32	0.48
Vsol >	0.37	0.27	0.46

Tableau 3: Evaluation de la vitesse maximale du sol par application de la formule d'Ishiyama

On peut constater que la vitesse du sol nécessaire pour renverser les pierres tombales doit être supérieure à une valeur comprise entre 0.3 et 0.5 m/s alors que les vitesses enregistrées par la station de Kashiwazaki (0.8 à 1.2 m/s) sont nettement supérieures à ces valeurs. Ceci peut laisser penser que l'analyse du basculement des pierres tombales est plus intéressante dans des gammes de mouvement sismiques d'amplitude modéré alors qu'à contrario l'analyse du glissement semble plus adaptée aux mouvements forts tels qu'enregistrés à l'occasion de cet événement. On pourrait alors être surpris de ne pas observer de basculement généralisé sur la

photo de la figure 1-2-15. Cependant, il faut garder à l'esprit que la présente analyse ne reflète pas la variabilité de la réponse réelle des pierres tombales qui peut être sensible à des paramètres considérés du second ordre en première approche (comme l'horizontalité du plan support en particulier). Par ailleurs, il est évidemment possible que certaines pierres aient pu être remises en place depuis l'événement.

1.2.4.4 Conclusions

Nous avons pu confirmer ici que l'analyse du mouvement des pierres tombales au moyen de formules simples permet de fournir une bonne estimation des paramètres d'accélération et de vitesse maximale du sol.

On a pu constater en particulier que l'analyse des distances de glissement est très pertinente dans le cas de mouvements forts tels que ceux enregistrés dans la zone épacentrale alors que l'analyse du renversement des pierres tombales (qui présentent des élancements significatifs) semble plutôt pertinente dans le cas de mouvements sismiques d'amplitudes modérées.

En perspective, il serait probablement très intéressant d'approfondir ce type d'analyse en mettant en œuvre des méthodes probabilistes afin d'exploiter les données de manière statistique (pourcentage de pierres tombales renversées, distances de glissement moyennes et écarts-type associés ...) et caractériser ainsi le mouvement sismique en associant alors des intervalles de confiance aux valeurs ainsi déterminées.

1.3 Mouvements enregistrés à Kashiwazaki-Kariwa

1.3.1 Contexte géotechnique

Le site nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa est situé en bordure de la plaine de Kashiwasaki, longue de 10 km et large de 5 km environ. Cette plaine correspond à un affaissement local de la série Néogène, probablement d'origine tectonique (failles de transfert ?). En effet, on retrouve au Nord (Formation de Shiiya) et au Sud (Formation de Yoneyama) des niveaux plus anciens en position plus haute. Les formations quaternaires (Cf. Figure 1-6 et Figure 1-8) débutent par une terrasse moyenne et se poursuivent par un cortège alluvial (grave, sable, limons argile) et des formations littorales (cordon et dune), notamment sous la ville de Kashiwasaki et la centrale de Kashiwazaki-Kariwa.

Les coupes géotechniques (Figure 1-3-1) ont individualisé différents niveaux de résistance mécanique croissante (NSPT < 5 ; NSPT = 5 – 10 ; NSPT = 10 – 20) au sein des formations alluviales surmontant la terrasse moyenne. Chacun de ces horizons peut atteindre 30 m. L'ensemble représentant une épaisseur fréquemment supérieure à 30 m et pouvant dépasser 70 m (pont de l'autoroute sur la rivière Saibashi). Les mesures de Vs disponibles au droit de la station NIG018, (mairie de Kashiwasaki) indiquent 3 m de sable avec Vs=115 m/s puis 10 m de sable avec Vs=210 m/s et enfin 7 m d'argile avec Vs=190 m/s.

La terrasse moyenne, dont le toit varie entre +25 et -60 m d'altitude, est caractérisée par une résistance NSPT = 20 – 50 ou 40 – 70. Au droit de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa, les Vs mesurés dans cette formation (Yasuda) sont de l'ordre de 300 m/s (160 à 390 m/s). Les formations molassiques néogène sont caractérisées par un NSPT > 70 et de vitesses Vs comprises entre 500 et 700 m/s pour la formation Nishiyama et entre 650 et 870 m/s pour la formation Shiiya.

1.3.2 Classification des sites (EC8)

Compte tenu des profils de Vs disponibles (Figure 1-3-2), le paramètre Vs30 pour le site de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa est estimé ici à :

330 m/s pour l'unité 1 ;

310 m/s pour les unités 4 et 6 ;

270 m/s pour l'unité 5.

Sur la base du paramètre Vs30, le site de la centrale de Kariwa est de type C (EC8). Compte tenu de l'épaisseur de formations Néogène avec Vs < 800 m/s, la description s'apparente plus à un site B (EC8) : « plusieurs dizaines de mètres de sable très dense ou d'argile très raide avec une augmentation progressive des propriétés mécaniques » (Vs entre 500 et 870 m/s).

1.3.3 Enregistrements des mouvements forts

TEPCO a très rapidement rendu public les pics d'accélération enregistrées à la base des réacteurs ainsi que les valeurs retenues pour le dimensionnement⁹. Ensuite, les séries temporelles et les accélérations spectrales ont été publiées sur leur site web¹⁰. Les accélérations (PGA) mesurées en champ libre sur le site ont atteint des niveaux très élevés (>1 g). En effet, bien que les sept unités de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa soient localisées à environ 17 km de l'épicentre déterminé par JMA, le plan de faille, avec un pendage NO pourrait lui se situer à l'aplomb du site. La distance à la faille serait alors inférieure à 5 km. La Figure 1-3-3 montre une photo aérienne de la centrale. La centrale s'inscrit dans une zone

⁹ http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu07_j/images/070719a.pdf

¹⁰ http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu07_j/images/070730c.pdf

de 4.2 km². Deux réseaux sismologiques ont été installés sur le site de la centrale, dont un récent suite au séisme de Niigata-Ken Chuetsu de 2004. Seuls les enregistrements du nouveau système (33 stations) ont été préservés, ces 33 enregistrements proviennent de stations installées à l'intérieur des bâtiments réacteurs et des bâtiments turbines (27) et d'un réseau installé à la surface libre à l'entrée du site (« Service Hall » sur la Figure 1-3-3). Les enregistrements de l'ancien système (66 stations), dont deux réseaux en forage et la plupart des stations installées à l'intérieur des bâtiments réacteurs ont été perdus, mis à part les valeurs maximales d'accélération. En effet, les mouvements sismiques du réseau le plus ancien n'ont pas pu être transmis automatiquement à cause d'un dysfonctionnement dans la procédure d'enregistrement et dans le système de réécriture qui a fait que les répliques ont effacé les enregistrements du choc principal.

Les accélérations maximales enregistrées à la base des bâtiments réacteurs sont présentées dans le Tableau 4 et ceux des réseaux en forage des Unités 1 et 5 sont présentées Figure 1-3-4 et Figure 1-3-5. Les composantes « NS » et « EO » des sismomètres sont orientées parallèlement aux murs des bâtiments réacteurs. Les observations montrent une grande variabilité dans les mouvements sismiques pour les composantes EO avec des valeurs de PGA qui varient d'un facteur deux entre les unités. Les composantes NS par contre, montrent des valeurs plus similaires entre elles. La variabilité importante du mouvement du sol enregistrée dans les différentes unités montre l'intérêt d'installer plusieurs réseaux sismologiques sur les grands sites, afin de déterminer de manière fiable les mouvements sismiques qui ont affectés les différentes structures. A la station du "Service Hall" (voir Figure 1-3-3), l'accélération maximale horizontale mesurée à la surface est inférieure à celle mesurée à 250 m de profondeur ! Par contre, la composante verticale (UD) est plus importante près de la surface (Figure 1-3-4). L'accélération horizontale mesurée dans les réseaux verticaux des unités 1 et 5 est montrée dans la Figure 1-3-5. Dans ce cas, les accélérations ont été plus amplifiées dans le bâtiment turbine que dans les bâtiments réacteurs. Il ne semble pas y avoir de tendance dans les variations du PGA avec la profondeur.

Unité	NS	EW	Vertical
K-1	311	680	408
K-2	304	606	282
K-3	308	384	311
K-4	310	492	337
K-5	277	442	205
K-6	271	322	488
K-7	267	356	355

Tableau 4 : PGA en gal enregistré à la base de chaque unité de la centrale nucléaire de Kashiwazaki Kariwa (source: TEPCO, 2007).

Les accélérations observées sur le site de Kashiwazaki-Kariwa et dans les ouvrages varient entre 388 et 867 cm/sec² sur une distance de 1.7 km. Une différence de 50 % des valeurs de l'accélération mesurée au niveau des radiers de deux bâtiments réacteurs a priori identiques et séparés de seulement 200 m a été enregistrée. La Figure 1-3-6 permet de quantifier l'ensemble de ces observations à partir des enregistrements disponibles à la base de chaque réacteur : une variabilité très importante est observée (de l'ordre de 50%) sur toute la gamme des fréquences.

Ces données sont donc riches d'enseignement et montrent que la variabilité du mouvement sismique à proximité immédiate d'une faille est une réalité. Il convient notamment de garder à

l'esprit que la dimension du plan de rupture dans le cas présent est probablement supérieure à la distance séparant le site de Kashiwazaki-Kariwa de ce plan de rupture. La réponse des structures peut aussi avoir contribué à cette variabilité des enregistrements dans le cas présent, notamment du fait des phénomènes d'interaction sol-structure sur des structures profondément enterrées et de la variabilité des caractéristiques de sol et de son comportement potentiellement non linéaire au voisinage des ouvrages. Il paraît alors important de tenir compte de cette variabilité dans les pratiques d'ingénierie parasismique.

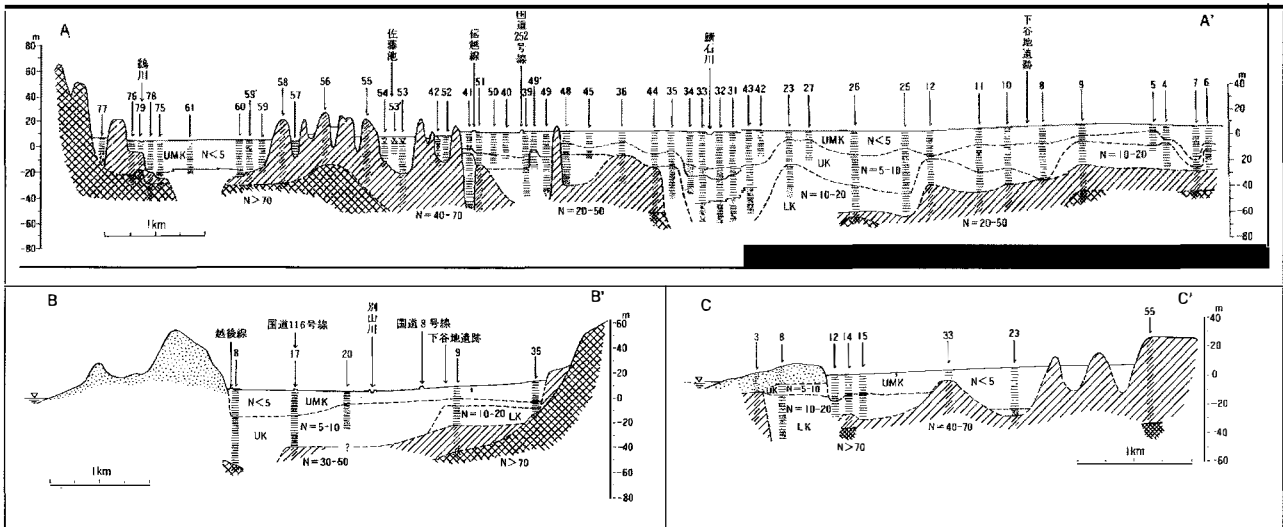


Figure 1-3-1 : Coupes géotechniques des formations superficielles [GTC1 en haut ; GTC2 en bas à droite ; GTC3 en bas à droite].

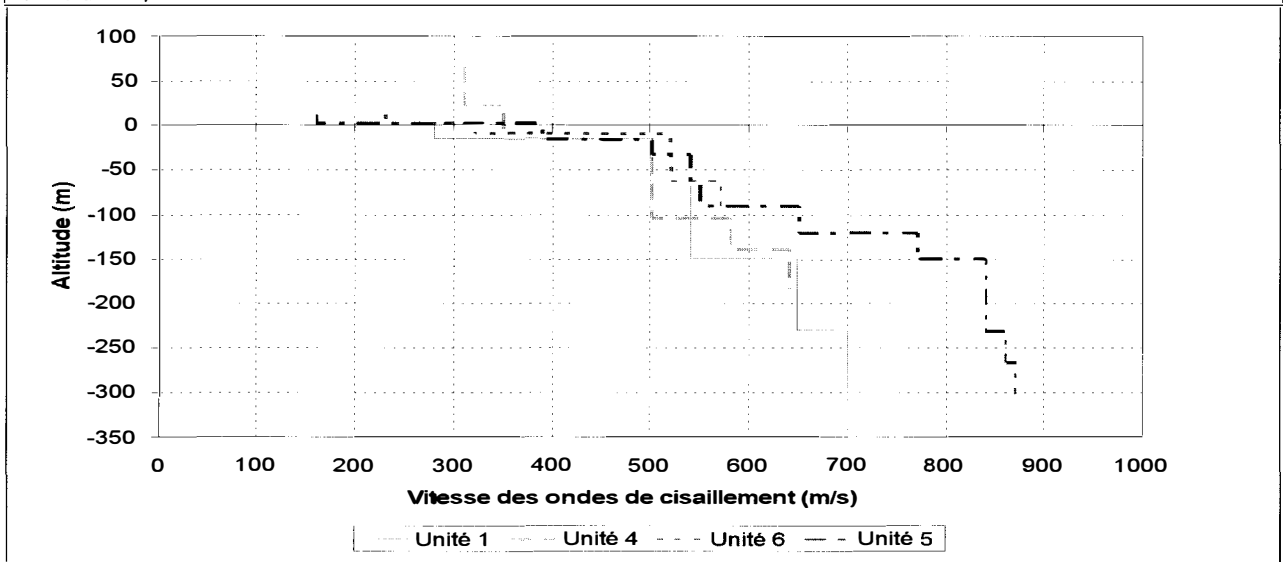


Figure 1-3-2 : Profils Vs sous la centrale de Kariwa.

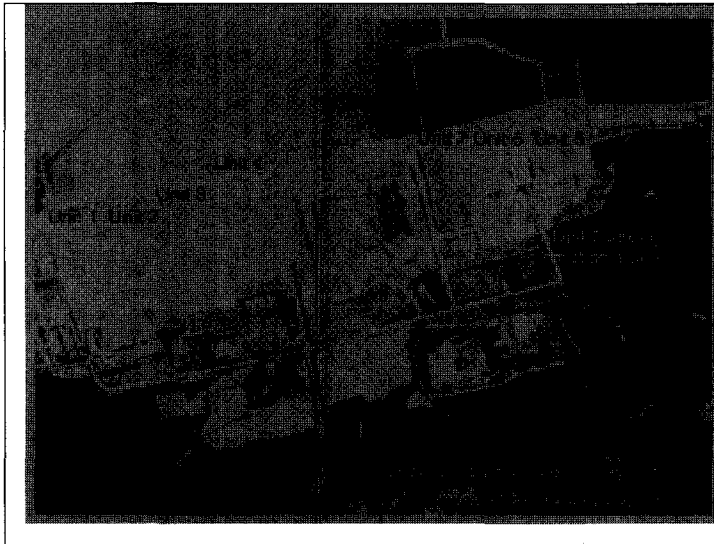


Figure 1-3-3 : Photographie aérienne de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant Area ([Japanese Geographical Survey Institute -GSI), 2007- Source : http://www.eeri.org/lfe/pdf/japan_niigata_chuetsu_oki_prelim_0912.pdf Fig 2.10).

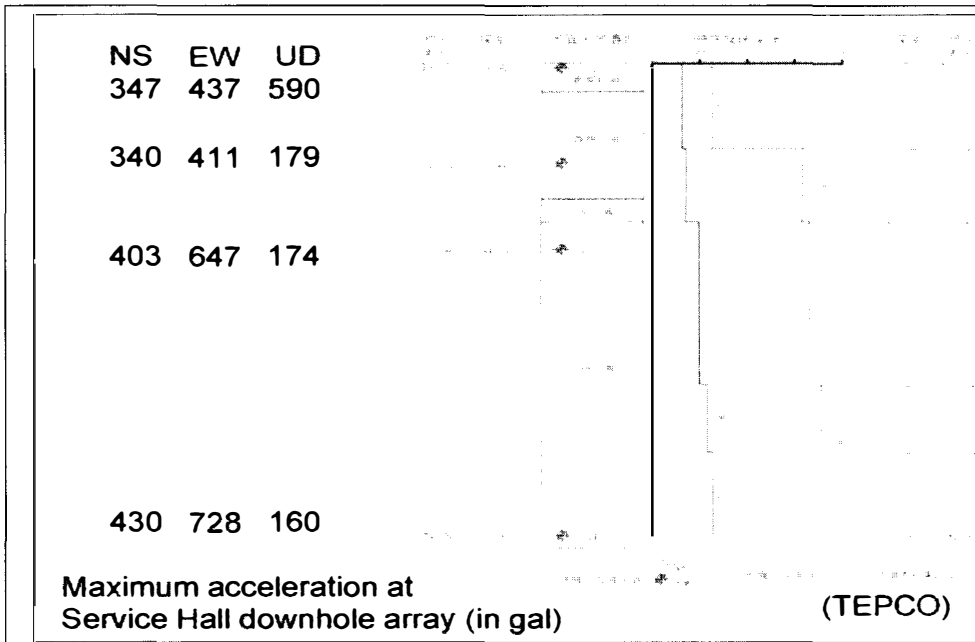


Figure1-3-4 : PGA observés à 2, 50, 99 et 250 m de profondeur sur les enregistrements du forage situé à l'entrée du centre nucléaire "Service Hall " sur la Figure 1-3-3 (source: TEPCO, 2007).

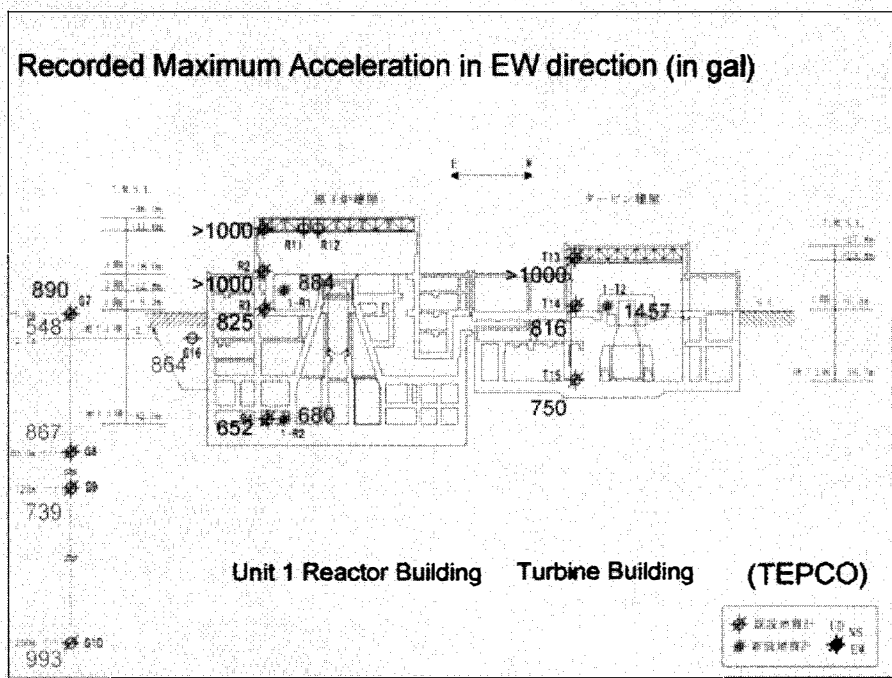


Fig. 2.12: Peak accelerations in and around Unit 1 (from TEPCO, 2007)

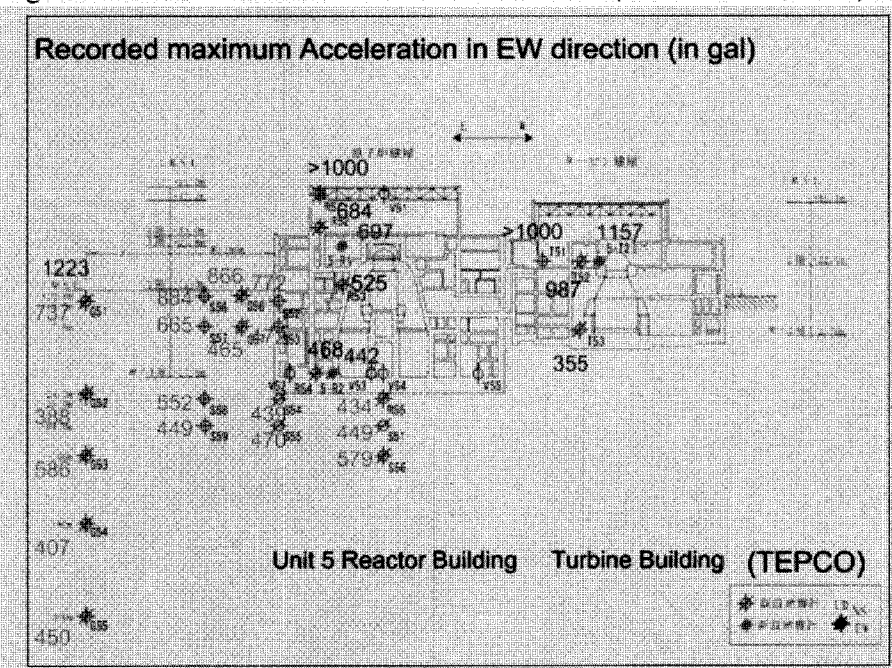


Fig. 2.13: Peak accelerations in and around Unit 5 (From TEPCO, 2007)

Figure 1-3-5 : PGA enregistrés dans les réacteurs de l'Unité 1 et 5 et dans les forages voisins¹¹.

¹¹ Source: http://www.eeri.org/lfe/pdf/japan_niigata_chuetsu_oki_prelim_0912.pdf

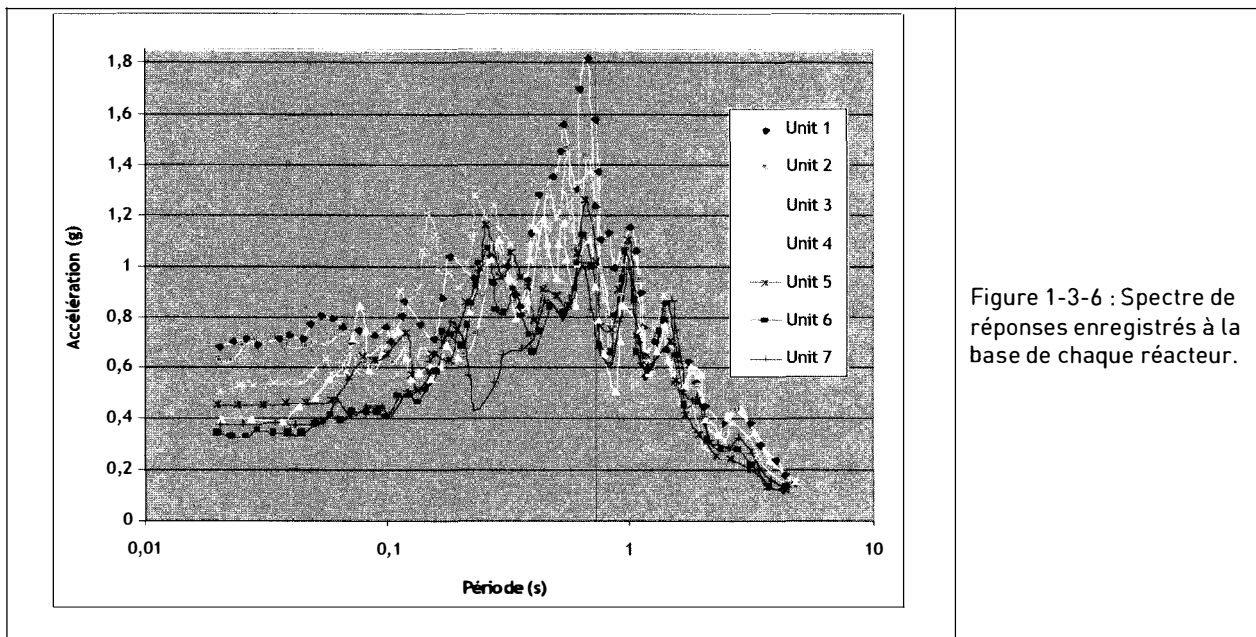


Figure 1-3-6 : Spectre de réponses enregistrés à la base de chaque réacteur.

1.3.4 Effets de Site dans la plaine de Kashiwazaki

1.3.4.1 Mesures de Bruit de Fond

Une simple vision des accélérographes enregistrés aux alentours de l'épicentre (Figure 1-3-7) montre clairement la présence d'un effet de site à la station NIG018. C'est pourquoi, du 20 au 22 juillet 2007, (quatre jours après le séisme Chuetsu Oki), le « Department of Architecture and Urban Design » de l'Université de Kyushu a réalisé 55 mesures de bruit de fond le long du bassin sédimentaire de Kashiwazaki, afin de trouver les fréquences de résonance du bassin. De plus, le bruit de fond a aussi été enregistré à cinq stations K-Net. La Figure 1-3-8 indique la position des enregistrements à l'intérieur du bassin.

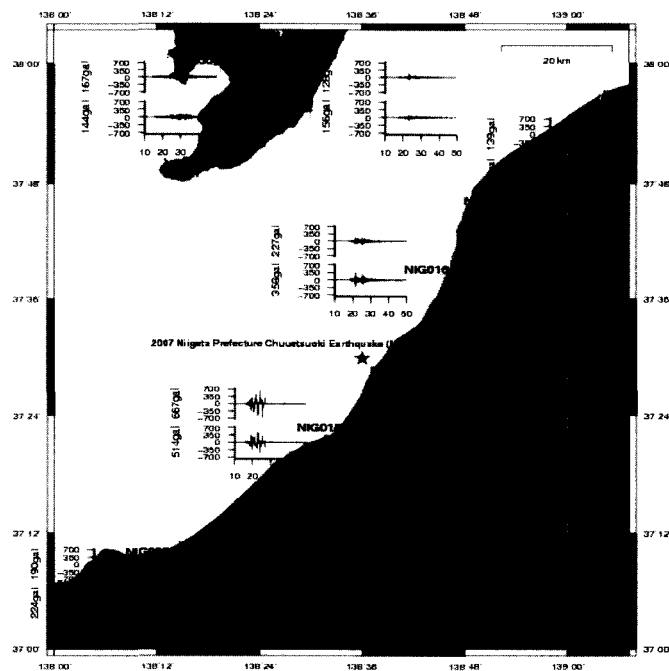


Figure 1-3-7 - Accélérographes enregistrés aux alentours de l'épicentre lors du séisme Chuetsu Oki de Niigata.

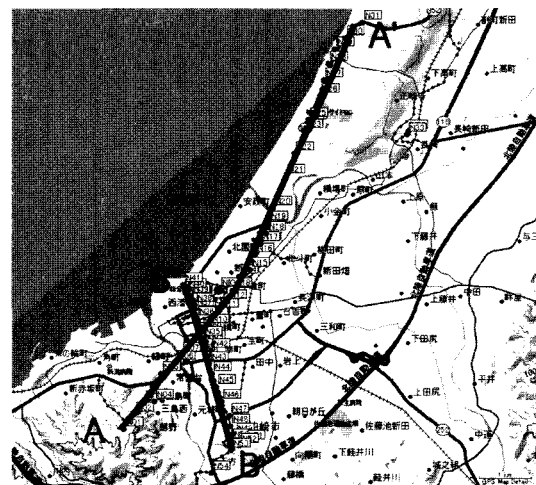


Figure 1-3-8 - Positions d'enregistrement du bruit de fond. Les lignes AA' et BB' seront utilisées par la suite afin de tracer le profil des fréquences de résonance et le profil de profondeur du rocher ingénieur.

Pour chaque point de mesure, le bruit de fond a été enregistré durant 15 minutes selon les trois composantes¹² avec des machines du type DATAMARK LS-8000WD (fréquence d'enregistrement 100 Hz). Les rapports spectraux Horizontal-sur-Vertical (noté H/V par la suite) (Nakamura, 1989) ont été calculés indépendamment dans les deux directions horizontales en utilisant une fenêtre de recouvrement de 50% sur des enregistrements de 163.84 secondes et ont été moyennés toutes les trois fenêtres de recouvrement. Au total, pour une position, 6 H/V ont été obtenus dans la direction NS et EW. Pour le site 06, ces mesures H/V ont été comparées et validées au guide du projet SESAME par Sylvette Bonnefoy (IRSN). La Figure 1-3-9 trace les fréquences de résonance obtenues le long des lignes AA' et BB'. Ces fréquences sont comprises entre 4 et 7 Hz dans le massif du Yoneyama (Sud de Kashiwasaki) et de l'ordre de 0,74 à 2 Hz à l'intérieur du bassin de Kashiwasaki, avec une moyenne d'approximativement 0,9 à 1 Hz.

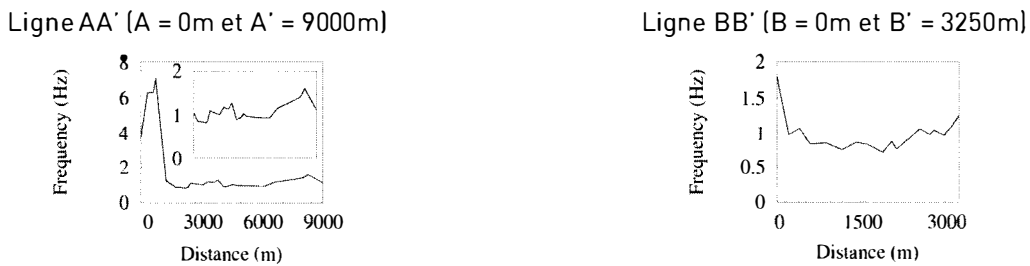


Figure 1-3-9 – Profil des fréquences de résonance le long des lignes AA' et BB' (Figure1-3-8).

1.3.4.2 Profondeur du « rocher » déduite de la fréquence de résonance

Les caractéristiques géotechniques au droit de la station NIG018 (Cf. Figure 1-19) ont été exploitées afin de traduire les fréquences de résonance en épaisseur de sédiment ou profondeur du « rocher ingénieur » (V_s d'environ 500 m/s) du bassin de Kashiwasaki. La connaissance de la géométrie du bassin de Kashiwasaki permettant ensuite de simuler les mouvements forts le long des lignes AA' et BB, en utilisant comme accélérogramme d'entrée, l'enregistrement situé à - 250 m sous la centrale nucléaire de Kashiwasaki-Kariwa (accélérogrammes transmis par le « Department of Architecture and Urban Design », Kyushu University).

Afin d'estimer la profondeur du « rocher » à la station NIG018 le ratio H/V mesuré a été comparé avec le ratio H/V théorique (i.e. calcul de l'ellipticité des particules du mode fondamental des ondes de Rayleigh, Satoh, 2001). Pour ce faire, l'épaisseur des argiles (Cf. Figure 1-3-1: Argile) a été ajustée (en gardant une vitesse des ondes de cisaillement constante) afin de superposer au mieux le pic fondamental et les creux fréquentiels entre ratio H/V observé et théorique (Figure 1-3-10). Pour NIG018, le rocher est estimé à - 54m/TN. L'accord entre la théorie et l'observation est satisfaisant, aussi bien pour le pic fondamental et les creux que pour les basses fréquences et les hautes fréquences.

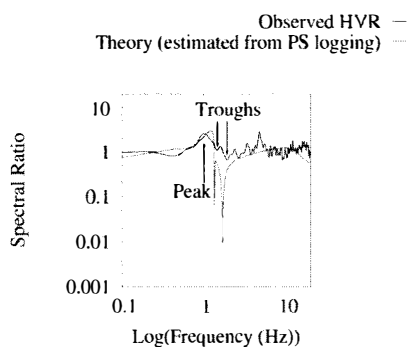


Figure 1-3-10 - Comparaison entre le ratio H/V observé et le ratio H/V théorique à la station NIG018.

¹² NS=Nord – Sud, EW = Est – Ouest, UD = Up – Down.

Afin d'estimer la profondeur du rocher le long des profils de mesures de bruit de fond, la colonne de sol « squelette NIG018 » a été allongée ou raccourcie proportionnellement à l'épaisseur des couches en gardant inchangée la vitesse des ondes S. La Figure 1-3-11 montre des exemples de comparaison en des points de mesure. La profondeur du « rocher ingénieur » est présentée en Figure 1-3-12.

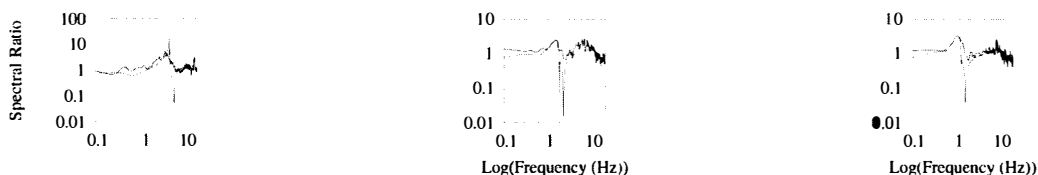


Figure 1-3-11 - Comparaison des ratios H/V observés (ligne pleine) avec les ratios H/V théoriques (ligne pointillé) en certains points de mesure.



Figure 1-3-12 - Profondeur du « rocher ingénieur » le long des lignes AA' et BB'.

Le long des profils de mesure, le rocher varie entre - 8 m/TN (massif de Yoneyama) et - 65 m/TN. Ces valeurs sont en bonne concordance avec les coupes géotechniques disponibles (Cf. Figure 1-3-1). Une analyse plus fine n'est pas possible compte tenu du décalage entre les deux coupes.

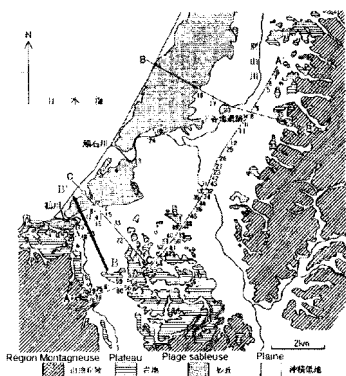
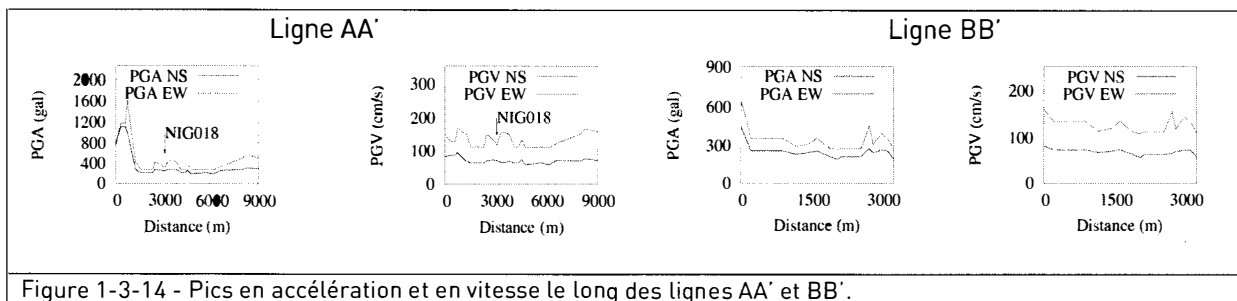


Figure 1-3-13 - Vue d'ensemble du bassin de Kashiwazaki. La ligne BB' en gras désigne la ligne de mesure effectuée par l'Université de Kyushu Coupe CC' = GTC3, Figure 1-3-1.

1.3.4.3 Simulation de mouvements forts

Une simulation de mouvements forts aux points de mesures des microvibrations a été effectuée avec le logiciel de dynamique linéaire équivalent : DYNEQ (Yoshida, 1995) en tenant compte des caractéristiques géométriques et mécaniques déterminées ci-dessus. Les résultats (pics en accélération et en vitesse) sont présentés le long des lignes AA' et BB' (Figure 1-3-14). Pour la station NIG018, les résultats sous-estiment le mouvement sismique : NS= 657 gal, EW= 492 gal enregistrés et NS= 270 gal, EW= 320 gal simulés. Cette sous-estimation pourrait être due soit aux lois de comportement, soit à la méthode linéaire équivalent puisque l'amortissement le long de la colonne de sol lors de la simulation était de l'ordre de 20%. Néanmoins, cette analyse est avant tout préliminaire, et nous noterons tout de même que les résultats simulés le long des lignes AA' et BB' sont cohérents avec les colonnes de sol déterminées.



1.3.4.4 Effet de la liquéfaction sur la fréquence de résonance du bassin

Les enregistrements du choc principal à la station NIG018 mettent en évidence un phénomène de pics basse fréquence attribué à de la mobilité cyclique. La Figure 1- 3-15 montre les accélérogrammes et les séismogrammes intégrés dans le domaine fréquentiel à partir accélérogrammes enregistrés à NIG018.

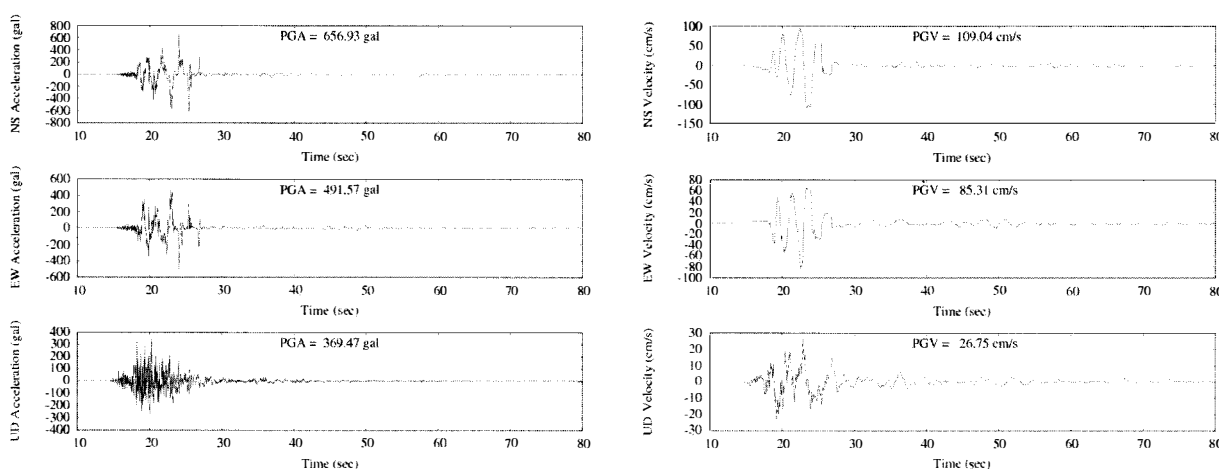
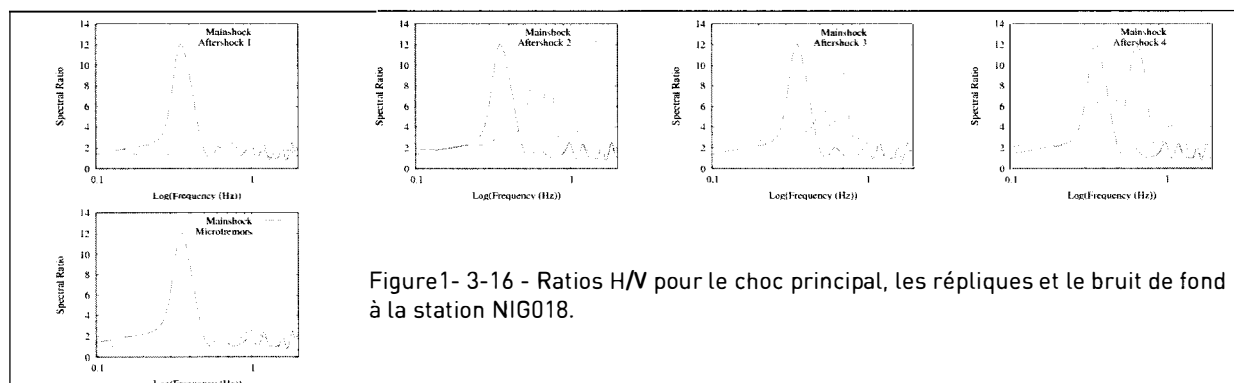


Figure 1- 3-15 - Accélérogrammes et séismogrammes enregistrés à la station NIG018 lors du séisme Chuetsu Oki de Niigata.

Ce site va donc nous permettre d’observer les effets de la liquéfaction sur la fréquence de résonance au droit de la station NIG018. Pour se faire, nous avons comparé les fréquences de résonance obtenues durant le passage des ondes coda après le choc principal et certaines répliques, avec la fréquence de résonance obtenue grâce au bruit de fond. La Figure1- 3-16 met en évidence le décalage vers les basses fréquences de la fréquence de résonance du bassin de Kashiwazaki lors du séisme Chuetsu Oki de Niigata.

En effet, la fréquence fondamentale calculée lors du choc principal est de l’ordre de 0.33 Hz alors que la fréquence calculée par micro-vibrations 4 jours après le séisme est d’environ 1Hz. De plus, lors des répliques, cette fréquence tend à revenir au niveau de la fréquence enregistrée lors des mesures de bruit de fond. Ce décalage vers les basses fréquences lors du séisme principal est essentiellement dû au comportement non-linéaire des couches de sable saturée en eau provoquant de la liquéfaction sous la station NIG018 et dans le bassin sédimentaire de Kashiwazaki.



1.3.4.4 Conclusion

Grâce aux mesures de bruit de fond effectuées par le 'Department of Architecture and Urban Design' de l'Université de Kyushu, nous avons calculé les fréquences de résonances du bassin sédimentaire de Kashiwazaki. Ces mesures nous ont permis de calculer la profondeur du rocher ingénieur et de simuler, de façon préliminaire, des mouvements forts le long du bassin. De plus, nous avons mis en évidence le comportement non-linéaire du bassin lors du choc principal. La fréquence fondamentale calculée lors du choc principal est de l'ordre de 0.33 Hz alors que la fréquence calculée par micro-vibrations 4 jours après le séisme est d'environ 1Hz. Ce décalage vers les basses fréquences est essentiellement dû au comportement non-linéaire des couches de sable saturée en eau provoquant de la liquéfaction sous la station NIG018 et dans le bassin sédimentaire de Kashiwazaki.

1.4 Les phénomènes induits par le séisme

Les principaux phénomènes induits par le séisme ont été la liquéfaction des sols et des instabilités de versants. L'extension géographique et les effets de ces phénomènes ont été très importants. En revanche, il n'y a pas eu de tsunami significatif : les marégrammes ont enregistré une faible variation du niveau marin (Cf. Figure 1-2-12).

1.4.1 Liquéfaction des sols

En 1964, le séisme de Niigata a été un révélateur des phénomènes de liquéfaction des sols avec la spectaculaire photo d'un groupe d'immeubles couchés. Cette fois encore, les phénomènes de liquéfactions ont été très nombreux, avec des manifestations variées, souvent de grande ampleur (Figure 1-4-1) :

- Volcans de boues et fissures émissives de sables ;
- Glissements latéraux (« lateral spreading »), voire oscillation du sol (« ground oscillation ») ;
- Tassements ;
- Soulèvement / flottaison de structures enterrées ;
- Modification du mouvement sismique.

Un inventaire systématique et une cartographie ont été rapidement réalisés¹³. Ces phénomènes sont survenus dans des formations alluviales ou littorales et dans certains remblais anthropiques (quais du port, remblais routiers, tranchées). A l'inverse, les rizières semblent avoir été relativement épargnées. La répartition géographique des phénomènes de liquéfaction est conditionnée par la nature du sous-sol. Ils se concentrent essentiellement dans une bande parallèle à la côte d'environ 5 km de large et 20 km de long (Figure 1-4-1) et sur une zone de 30 km de long et 7 km de large si l'on considère aussi des manifestations plus isolées. Cette extension reste inférieure au critère empirique d'AMBRASEYS (1988) qui indique que de la liquéfaction a pu être observée jusqu'à une distance épiscopentrale de 70 km pour un séisme superficiel (≤50 km de profondeur) de magnitude 6,6.

La comparaison de la sollicitation sismique (CSR) et de la résistance des sols (CRR) déduite des profils de Vs à la station NIG018, permet d'apprécier les conditions d'apparition du phénomène (Figure 1-4-2). Lorsqu'il peut être estimé (validité des abaques), le facteur de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction est de l'ordre de 0,2 à 0,7, par conséquent très inférieur à 1.

1.4.1.1 La plaine alluviale de la rivière Sabaishi

Plusieurs manifestations de phénomènes de liquéfaction se concentrent sur une étendue limitée de la plaine alluviale de la rivière Sabaishi (Figure 1-4-3).

Glissement latéral à proximité de l'incinérateur d'ordure

A l'Est de l'incinérateur d'ordure (Figure 1-4-4), la rivière Saibashi vient s'appuyer sur un cordon dunaire, exploité comme carrière de sable. La route passant à cet endroit a été spectaculairement endommagée par un grand glissement latéral d'environ 400 m de long et jusqu'à 50 de large. A l'Ouest, la limite de glissement est nette, créant un escarpement de 2 à 3 m de haut. Vers l'Est, le glissement s'amortit progressivement. En amont, la rupture traverse la formation dunaire (petits escarpements échelonnés et arbres inclinés). Quelques maisons, situées entre la route et la dune, sont considérées comme dangereuse (affiches jaunes ou rouges) à cause de la déstabilisation du talus dunaire, alors même qu'elles n'étaient pas ou peu endommagées par la secousse sismique.

¹³ http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200707_nigata/index.html

Le rôle d'une couche liquéfiée dans le développement de ce grand glissement était supposé compte tenu de l'absence de relief significatif, de l'organisation parallèle à la berge des désordres, de la nature du sous-sol et de la présence d'eau à faible profondeur. Cette hypothèse a été validée par l'existence de volcans de boue.

Glissement latéral de l'îlot de la rivière Sabaishi

A quelques centaines de mètres en aval, un îlot est formé par un bras abandonné de la rivière et son cours actuel. Il a été le siège de l'ouverture de très nombreuses fissures organisées, dont certaines ont donné lieu à l'éjection de sable (Figure 1-4-5). Ces figures caractéristiques d'un glissement latéral s'accompagnent de manifestations moins courantes comme des plissements indiquant des mouvements de convergence. Peut-être à cause d'une mise en oscillation du sol ?

Ces déplacements irréversibles concernent essentiellement une base de loisir avec des conséquences limitées. Néanmoins, une route franchit la rivière Sabaishi à la faveur de cet îlot. Des tassements sont visibles entre les deux ponts et leurs accès. Outre la secousse, ces ouvrages ont subi des déplacements imposés, parfois préjudiciables pour les équipements ou les réseaux liés.

La réparation d'une berge de la rivière était en cours lors de nos observations.

Quartier de Matsunami

Le quartier de Matsunami est situé entre les deux secteurs précédents. D'après des documents de 1912¹⁴, il est situé sur un ancien lit de la rivière Sabaishi (Figure 1-4-6). Trois semaines après le séisme, nous avons pu observer quelques fissures et volcans de boue dont les traces s'estompent pourtant assez rapidement. Une maison construite sur une de ces fissures est restée debout mais avec quelques dommages. Cependant, les multiples interventions sur les réseaux enterrés, le stockage de pièces et les adductions d'eau provisoire sont les indices les plus probants de la sévérité de la liquéfaction sur ce quartier.

1.4.1.2 La plaine et le littoral de Kashiwazaki

Des phénomènes de tassements ont été généralisés dans la plaine de Kashiwazaki (Figure 1-4-1, Figure 1-4-7). Leur amplitude a pu atteindre jusqu'à 80 cm entre des bâtiments supposés fondés sur pieux (hôpital, mairies de Kashiwasaki et de Kariwa, Centrale de Kashiwazaki-Kariwa, Centre commercial Plant 5, etc.) et leur périphérie.

A l'hôpital de Kashiwazaki (Figure 1-4-1-3, Figure 1-4-8), l'éjection de boue était encore visible sur certains murs. Les tassements induits par la liquéfaction sont à l'origine de la rupture de conduites entre le bâtiment principal et une annexe technique, principal dommage déclaré par le responsable rencontré (Cf. chapitre 2).

Dans les zones planes les déplacements verticaux différentiels ont particulièrement affecté les conduites d'eau et de gaz. Trois semaines après le séisme, les équipes d'intervention sur le réseau de gaz étaient très nombreuses et très occupées.

Des équipes de reconnaissances post-sismiques¹⁵ ont observé au sein du centre ville de Kashiwazaki des figures de liquéfaction indiquant soit une extension, soit une compression. Cette distinction peut s'expliquer par une oscillation du sol liquéfié (voir la mobilité cyclique sur les enregistrements du séisme) ou par un glissement latéral profond. D'autant que la cartographie de ces indices semble cohérente avec l'existence de faibles dénivellations.

¹⁴ <http://www.jiban.or.jp/organi/bu/somubu/19niigatachuetsu/2.konagai.pdf>

¹⁵ DPRI de l'Université de Kyoto, Prof. Konogai de l'Université de Tokyo, EERI & GEER,

1.4.1.3 La plaine littorale au Nord de Kannon Misaki

Au Nord de Kariwa, la morphologie littorale correspond à des falaises. Néanmoins, au Nord de Kannon Misaki, existe une étroite plaine littorale. Elle est empruntée par la route et occupée par une urbanisation limitée, dédiée à la pêche et au tourisme balnéaire.

A la plus courte distance épacentrale, environ 3,5 km (Figure 1-4-14, Figure 1-4-9, Figure 1-4-10), correspond la limite Nord des bâtiments inspectés et endommagés que nous avons observés. Pour ceux situés entre la mer et la route, la classe rouge résulte de phénomènes de liquéfaction. A l'arrière d'un mur de soutènement en béton, les matériaux remblayés se sont liquéfiés, provoquant des tassements (jusqu'à 30 cm pour la dalle du cheminement piéton) et des ruptures du sol. En pied de l'ouvrage, un volcan de sable d'environ 3 m de diamètre restait visible.

A Kannon Misaki (Figure 1-4-5, Figure 1-4-10), un glissement latéral s'est produit au niveau du cordon littoral. Il concerne la plage, la route et quelques maisons. Une protection littorale en béton soutenant la chaussée a éprouvé un déplacement pluri-décimétrique et de la rotation.

1.4.1.4 Autres manifestations

Des phénomènes de liquéfaction, et des désordres géotechniques plus spécifiques aux ouvrages portuaires et routiers sont développés dans le chapitre réseaux de transport. Il s'agit de :

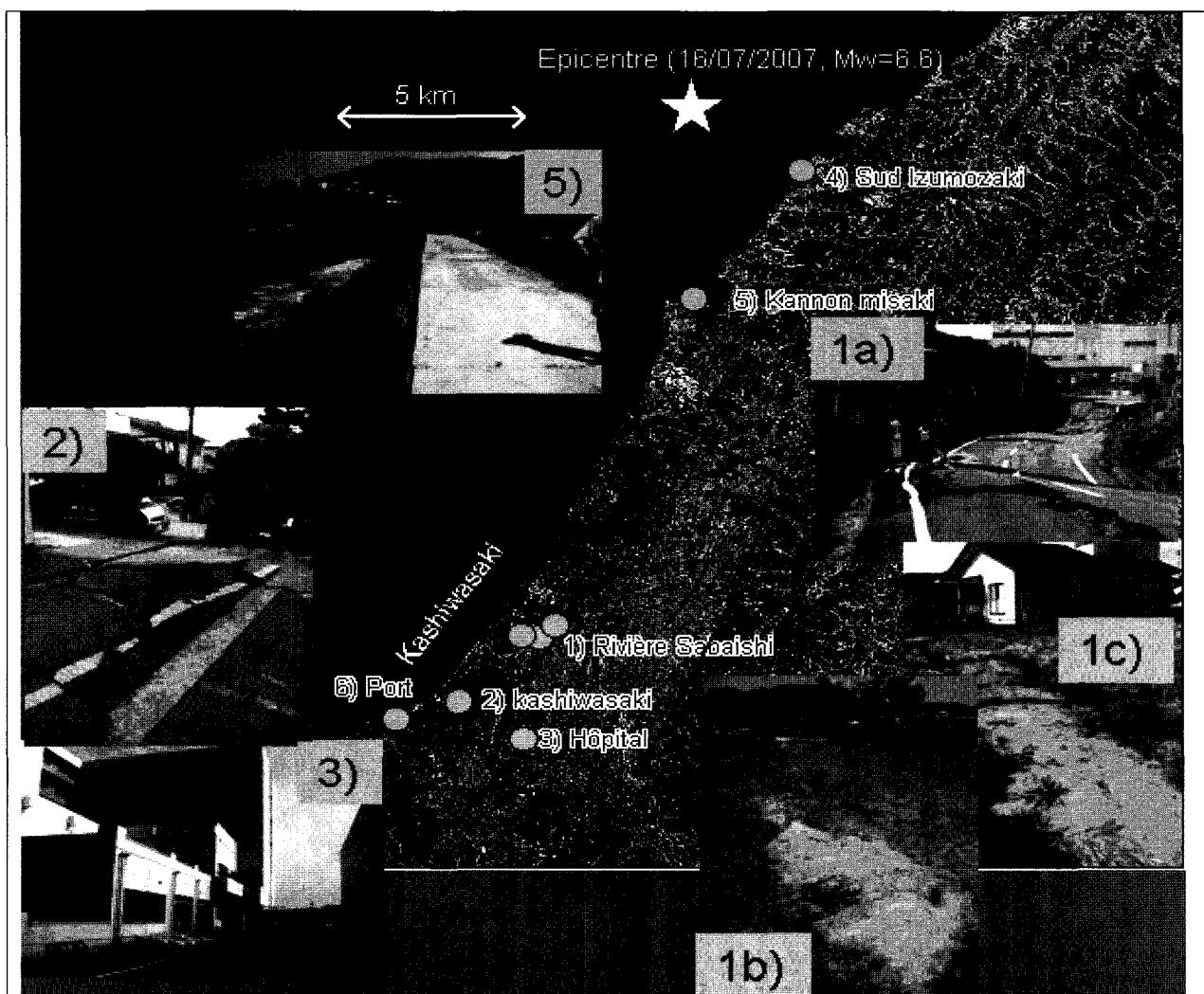
- La liquéfaction de remblais au niveau des quais ou de routes, induisant des déplacements permanents verticaux et horizontaux ;
- Tassements au droit de tranchées de réseaux sous chaussée ;
- Soulèvement de structures enterrées (chambres de vannes, regards) par flottabilité au sein du sol liquéfié.

1.4.1.5 Conclusion sur la liquéfaction des sols

Les phénomènes de liquéfaction ont été très nombreux avec des manifestations variées. Naturellement, ces phénomènes se sont largement produits dans les zones les plus aménagées : la plaine et le littoral.

La liquéfaction a donc eu un impact souvent important sur les conduites d'eau et de gaz, sur les routes et parkings, ainsi que sur les structures portuaires.

Concernant les habitations, l'impact réel est plus difficile à déterminer. Beaucoup de bâtiments supposés fondés sur pieux ce sont correctement comportés vis-à-vis de la liquéfaction. Ils sont restés en place alors que le sol aux alentours subissait un tassement éventuellement important. C'est le cas de l'hôpital de Kashiwazaki (« 600 pieux à 30 m de profondeur ») avec un tassement localement estimé à 80 cm. Alors, malgré l'adoption de connexions souples ou de joints à grande extension, l'ampleur des déplacements irréversibles a parfois conduit à la perte de fonctions vitales. Il n'est pas exclu, au moins partiellement, que des effondrements de bâtiments fondés superficiellement soient imputables aux déplacements induits par la liquéfaction. Les désordres induits par la liquéfaction sont d'ailleurs un facteur déterminant de la classification en « jaune » ou « rouge » plutôt que « vert » des maisons inspectées.



Trait bleu et rond foncé : extension approximative des phénomènes de liquéfaction.
 Crédit fond cartographique, LANDSAT

Figure 1-4-1: Quelques exemples de phénomènes de liquéfaction lors du séisme de Chuetsu-oki.

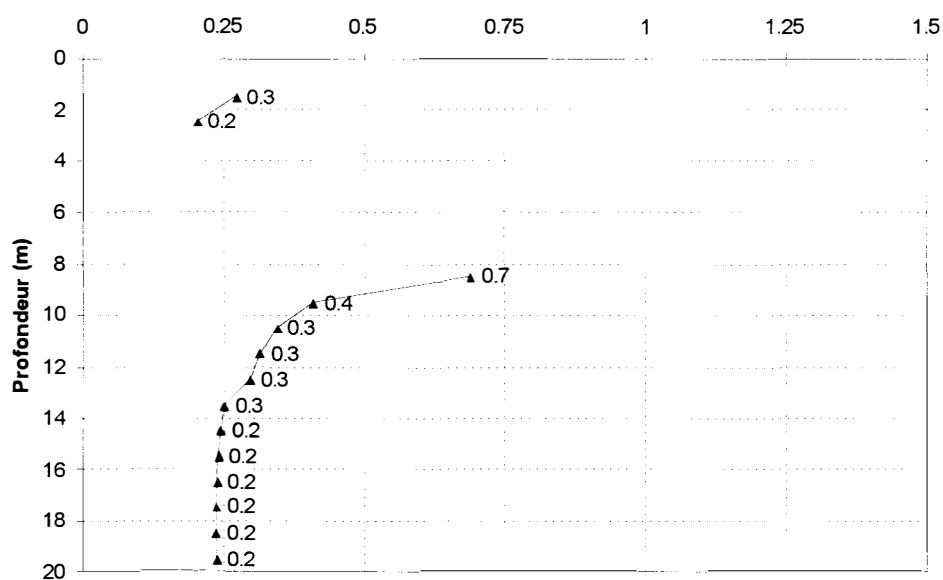
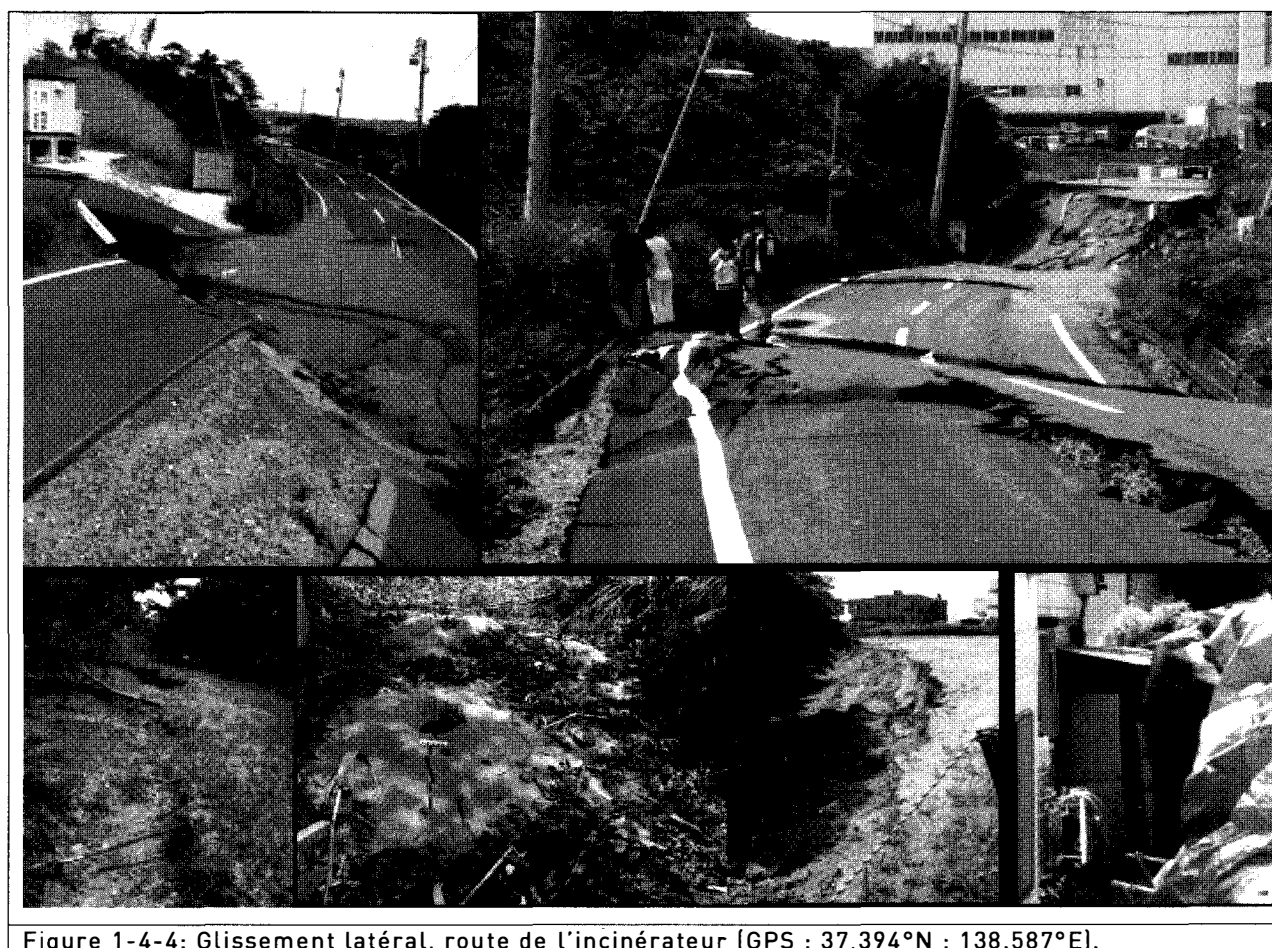
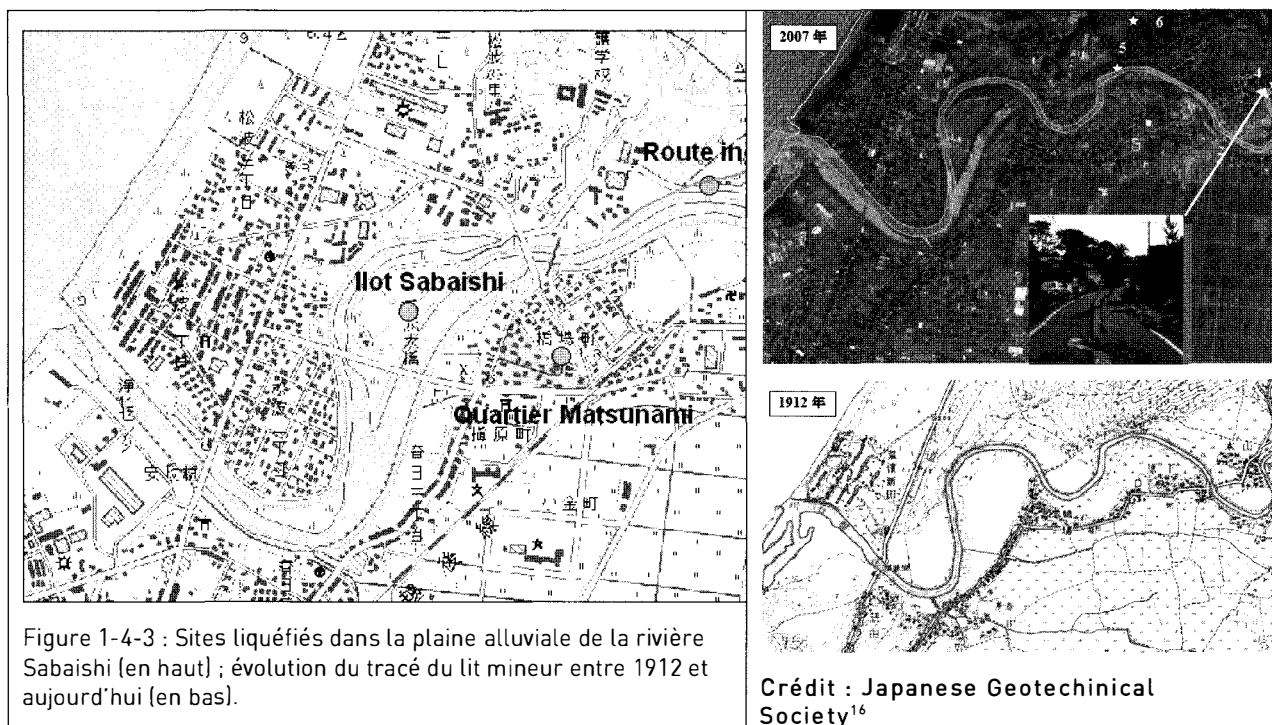


Figure 1-4-2: Facteur de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction, estimé à partir des valeurs de Vs, au droit de la station NIG018 pour le séisme de Chuetsu-oki (magnitude 6.6; PGA 7 m/s², nappe à 1 m).



¹⁶ <http://www.jiban.or.jp/organi/bu/somubu/19niigatachuetsu/2.konagai.pdf>



Figure 1-4-5: Glissement latéral, îlot Sabaishi (GPS : 37,390°N ; 138,576°E).

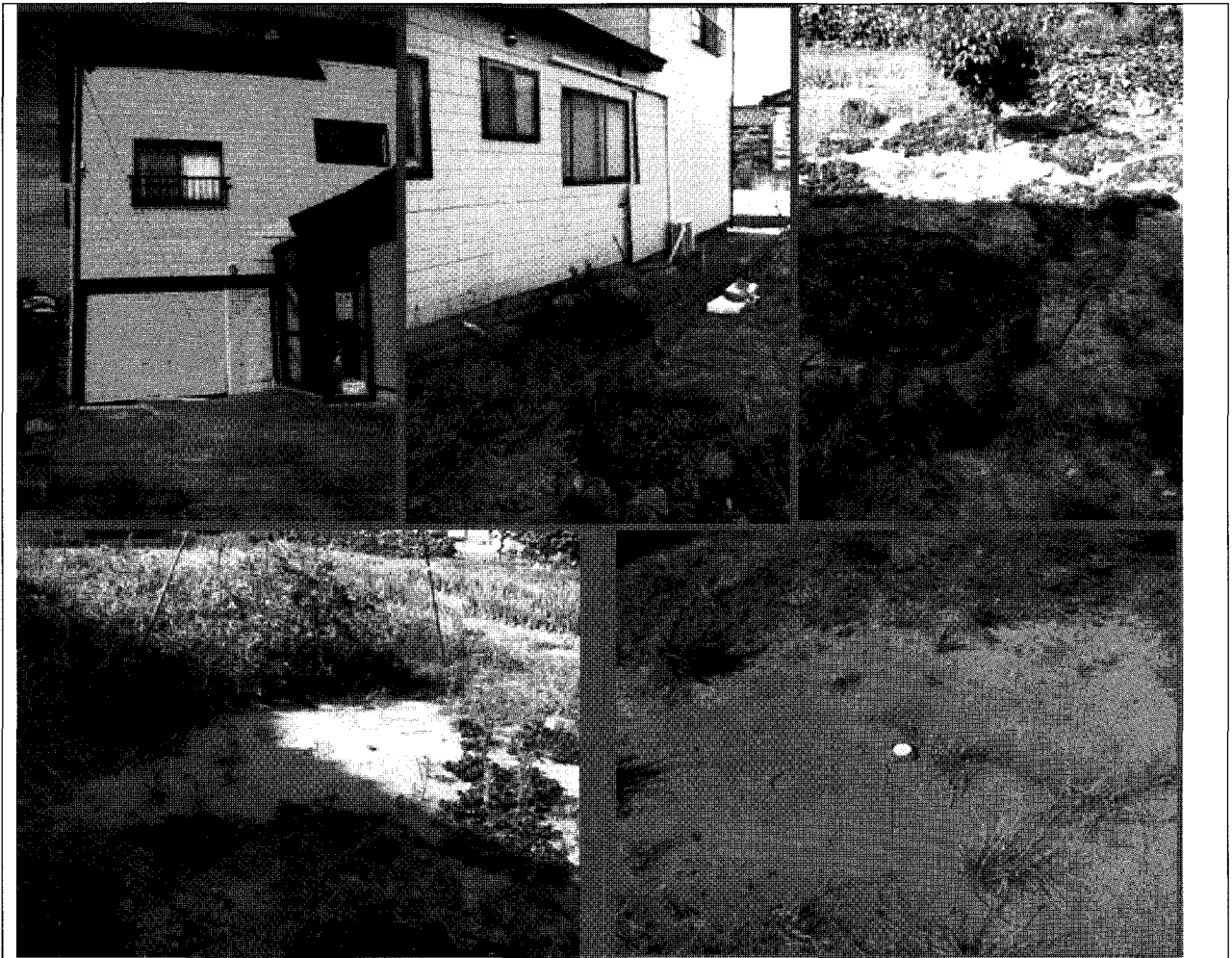


Figure 1-4-6: Quartier Matsunami (GPS : 37,390°N ; 138.581°E).

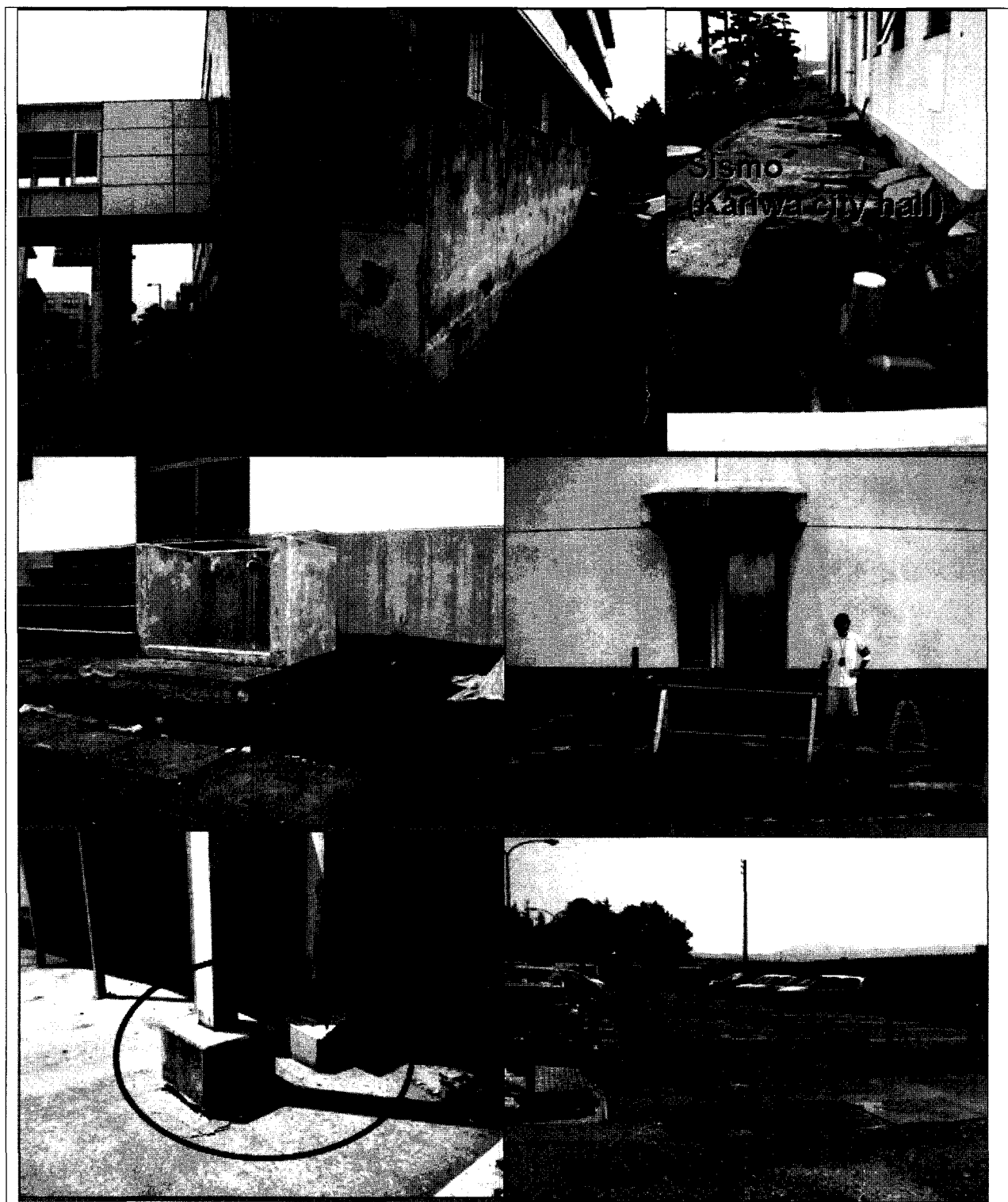


Figure 1-4-7: Phénomènes de tassement dans la plaine de Kashiwasaki.



Figure 1-4-8: Liquéfaction à l'hôpital de Kashiwasaki (GPS : 37,362°N ; 138.578°E).

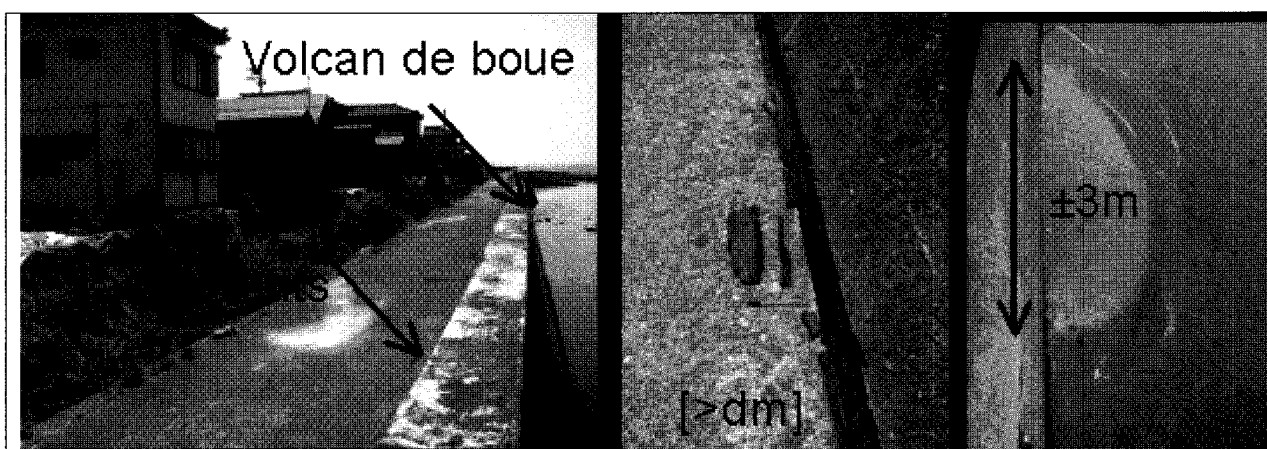


Figure 1-4-9: Au Sud d'Izumozaki (GPS : 37,521°N ; 138.658°E)



Figure 1-4-10: Kannon Misaki (GPS : 37,485°N ; 138,622°E)

1.4.2 Instabilités de versants

La région de Niigata est connue pour être très exposée aux instabilités de versants. Cette susceptibilité résulte d'une part de reliefs récents, assez vigoureux, en dépit d'altitudes modestes et d'autre part de formations lithologiques largement altérées dans un climat où la pluviométrie est importante (presque 1800 mm/an à Niigata). Les déclencheurs de ces instabilités sont doubles : des précipitations importantes, par exemple aux passages de typhons et évidemment les séismes.

Cette exposition aux mouvements de terrain a déjà été éprouvée par le passé, en particulier, lors du séisme de 2004. La carte géomorphologique du NIED¹⁷ fournit une illustration de la densité des événements (Figure 1-4-11) et de leur ampleur potentielle ; de même que le nombre de travaux scientifiques et de publications sur le sujet (revue Landslides¹⁸). Enfin, l'acuité du problème est également soulignée par la fréquence des parades géotechniques visibles sur de nombreux versants, avec parfois des pratiques originales.

Le séisme de Chuetsu-oki, a déclenché un grand nombre d'instabilités. Un inventaire systématique et une cartographie semblent avoir été rapidement réalisés¹⁹. Les instabilités recensées s'inscrivent dans une bande parallèle à la côte d'environ 10 km de large et 40 km de long (Figure 1-4-12). Quelques sites sont retenus pour illustrer ce sujet. Les types de phénomènes observés sont essentiellement:

- Des glissements plans sur de fortes pentes ;
- Des glissements circulaires pouvant être profonds et d'assez grande ampleur comme l'illustre l'interprétation géomorphologique (Carte NEID) ;
- Des phénomènes mixtes ;

Très localement des phénomènes d'éboulement ou de chutes de blocs. Ceci s'expliquant par le contexte géologique.

1.4.2.1 Glissements de Kannon Misaki (route littorale n°352)

Le Cap Kannon Misaki a été affecté par plus d'une dizaine de mouvements de terrain sur une portion de côte d'environ 1 km (Figure 1-4-12- n°1 ; Figure 1-4-13). En particulier, cinq phénomènes se sont déclenchés en amont de la route littorale, dont trois sont venus l'obstruer dans un premier temps. La pente moyenne du versant est supérieure à 45°. Il s'agit de glissements plans, superficiels (1 à quelques mètres d'épaisseur). Leur largeur maximale est de l'ordre de 15 à 20 m et jusqu'à 35 m pour l'événement le plus important. L'extension est très supérieure, comprise entre 60 et 100 m. La propagation, éventuellement freinée par des dispositifs d'écrans a été essentiellement stoppée, puis déviée par la route littorale.

Géologiquement, il s'agit de « sandstone » et « mudstone » (formation de Shiiya, Sy) d'âge miocène. Les matériaux glissés sont plutôt altérés et peu résistants. Le volume de chaque glissement reste limité (quelques milliers de m³).

A l'aval de la route, des instabilités se sont produites ou amorcées. Leur évolution régressive est une menace supplémentaire très sérieuse. D'ailleurs, la comparaison des premières photos avec nos observations semble indiquer une évolution de l'instabilité.

Plusieurs parades avaient été mises en place pour sécuriser la route dans ce versant :

- Au début de la descente, un parement de béton projeté a été fissuré avec localement du décollement ;

¹⁷ http://lweb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/jisuberi_mini_Eng/jisuberi_top.html

¹⁸ <http://www.springerlink.com/content/110832/>

¹⁹ http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200707_nigata/index.html

- Divers soutènements, notamment des éléments béton préfabriqués, remplis de gros galets, se sont bien comportés sans être véritablement sollicités, la masse de terrain passant au-dessus ;
- Un grillage épinglé a été un écran efficace vis-à-vis d'une petite coulée de matériaux.
- Des « quadrillages béton » ou « free frames » sont encore en place en pieds du versant, et l'on n'observe pas de débris béton dans les matériaux déplacés. Cette protection semble donc avoir bien fonctionné mais ne devait pas se trouver en tête du versant.
- Des écrans pare-blocs sont visibles dans le versant. Dans la trajectoire des masses glissées les plus importantes, ils ont été inopérants. En revanche, une protection a pu arrêter un glissement plus limité.

Trois semaines après le séisme, la route restait fermée. Les interventions sur ce site semblent se réduire aux barrières interdisant l'accès, à une protection sommaire vis-à-vis d'une éventuelle coulée de boue et à l'aménage d'une sondeuse. Ce constat s'explique probablement par une hiérarchisation des interventions sur les axes plus prioritaires (route 8 à Senbon par exemple) et aussi par la complexité de la solution tenant compte des menaces en amont et en aval.

Les glissements plans sur de fortes pentes forment la grande majorité des phénomènes co-sismiques recensés. La cicatrice de terrain nu qu'ils laissent parmi la végétation verdoyante a été observée à de nombreuses reprises le long des routes, celle du littoral (Figure 1-4-14) comme à l'intérieur.

Ce type de phénomène est très comparable aux glissements / coulées sur fortes pentes qui se produisent en Guadeloupe et Martinique (MOMPELAT, 1994). Ces purges souvent superficielles sont caractérisées par :

- Un déclenchement soudain (pas ou peu de précurseur) et une vitesse de déplacement très rapide.
- Une propagation importante, souvent très supérieure à l'extension latérale.
- La rupture, emprunte généralement une discontinuité pré-existante comme la base d'un horizon d'altération ou une fracturation. La profondeur de rupture maximale est de l'ordre de 1 à quelques mètres.
- La masse de terrain déplacée ne s'arrête généralement, jusqu'en pied de versant, plus rarement à la faveur d'un replat intermédiaire si le volume de matériaux est limité. Durant leur propagation, les matériaux déplacés sont largement remaniés, ce type de phénomène peut évoluer en coulée de boue.

1.4.2.2 Glissement de Senbon (route n°8)

Le glissement de Senbon a emporté la route n°8 reliant Nagaoka à Kashiwaki (Figure 1-4-12-n°2 ; Figure 1-4-15). Il s'agit d'un versant identifié comme instable sur la carte géomorphologique :

Environ 600 m de long et une superficie affectée par les glissements de 16 ha ;

70 m de dénivelé et une pente moyenne de l'ordre de 15°.

Les terrains sont constitués par des formations sablo-limoneuses et sablo graveleuses, d'âge pléistocène inférieur (Formation de Uonuma, Usg).

Les dimensions de la zone de glissement co-sismique sont appréciées grâce aux cartes géomorphologiques et photo aériennes (Crédit KOKUSAI KOGYO CO., LTD19) :

- Une longueur de l'ordre de 120 m entre la zone d'arrachement et le bourrelet de pied, ayant partiellement obstrué la rivière ;

- Largeur maximale d'environ 100 m ;
- Une superficie évaluée à 1 ha ;

Il s'agit d'un glissement circulaire, dont la surface de rupture s'approfondit en pied (peut-être 10 m). Le volume glissé est estimé entre 50 000 et 100 000 m³, avant foisonnement. Le déplacement moyen est d'une quinzaine de mètre environ, notamment pour la route. Malgré son ampleur et les déplacements spectaculaires, il ne s'agit selon la carte géomorphologique, que d'une petite partie d'une zone d'instabilité potentielle.

Compte tenu de la nature des terrains et de la présence d'une rivière en pied de versant, une initiation du glissement par un phénomène de liquéfaction n'est pas à exclure.

Cet événement a détruit la route n°8 sur environ 60 m. Pourtant 8 jour après le séisme, la circulation était rétablie, certes en alternance sur une voie. Lors de notre passage, 3 semaines après, le séisme, le traitement du versant instable est bien avancé, nous donnant à voir un spectaculaire chantier en matière d'organisation, d'efficacité et même de propreté : de très nombreux intervenants sur des tâches différentes, avec des contraintes de délais, de sécurité, tout en assurant la circulation.

En amont de la route, l'ensemble des masses glissées a été purgé. Un réseau de drainage, au moins superficiel, est mis en place, ainsi qu'un grillage ancré, associé à une solution de végétalisation (terre projetée). En aval de la route, Des masses glissées ont été conservées, provisoirement butées par des sacs remplis de terre. Un système d'alerte (extensomètre) a été mis en place, au moins pour la durée du chantier.

1.4.2.3 Gare d'Oomigawa (Figure 1-4-12 - n°3)

Le glissement de la gare d'Oomigawa (Figure 1-4-12- n°3 ; Figure 1-4-16) s'est produit au sein de falaises escarpées (environ 45° de pente moyenne), hautes d'environ 50 m. Les terrains sont constitués par des conglomérats volcaniques (Yt) et des argilites (Ym) de la formation de Yoneyama, d'âge pliocène. Les dimensions du glissement principal sont les suivantes :

- Largeur maximale d'environ 70 m ;
- Extension de l'ordre de 100 m, dont une propagation supérieure à 40 m.
- Un volume d'environ 30 000 m³ (avant foisonnement).

A quelques dizaines de mètres, une station sismologique, située au pied du viaduc de la route n°8, a enregistré une accélération maximale de 0,66 g. Il s'agit d'un glissement plan vraisemblablement développé sur un plan de faille (pendage estimé à 60°). Ce phénomène a obstrué la ligne ferroviaire Shin-Etsu. 3 semaines après, le séisme, le déblaiement est pratiquement achevé. Une masse instable menaçant le chantier est surveillée par des extensomètres plus ou moins rudimentaires.

Plusieurs cicatrices de purges, de plus faibles ampleurs, sont visibles sur cette portion du littoral. L'acuité du problème de la stabilité des versants est illustrée par les nombreuses parades, disposées le long de la voie ferrée ou des routes. Elles se sont généralement bien comportées.

1.4.2.4 Autres phénomènes

Des phénomènes de chutes de blocs et d'éboulement ont été observés le long du littoral, à l'Ouest d'Oomigawa (Figure 1-4-12, n°4, Figure 1-4-17). L'effondrement du toit d'une galerie a également été signalé et visité.

Sur une distance de moins d'1 km, le littoral au Nord de Hatsusaki, (Figure 1-4-12, n°5, Figure 1-4-18) est affecté par de nombreux glissements, dont certains - de grande ampleur - apparaissent assez profonds. Une riveraine décrit des phénomènes se déclenchant en cascade,

en direction de l'Ouest, et descendant rapidement.

1.4.2.5 Conclusion sur les instabilités de versant

Les mouvements de terrains ont été très nombreux, majoritairement dans leur forme la plus superficielle. Les grands glissements circulaires, plus profonds et de plus grande ampleur que l'on peut attendre dans cette région semblent proportionnellement moins nombreux.

Les phénomènes ont heureusement concerné le plus souvent des versants naturels sans enjeux. Néanmoins, dans la classification des maisons inspectées (vert / jaune / rouge) des instabilités de versant ont parfois été un facteur déterminant. Enfin, les glissements de terrain sont la cause de l'interruption de trois voies de communications principales (Figure 1-4-12, n°1, 2 et 3) :

- La route littorale, au Nord de Kariwa, à plusieurs endroits ;
- La route 8 reliant Nagaoka à Kashiwazaki à hauteur de Senbon.
- La voie ferrée Shin-Etsu qui suit le littoral au Sud de Kashiwazaki à la gare d'Oomigawa.

Parmi les leçons à retenir de cette mission post-sismique, on peut souligner :

- Un inventaire a priori exhaustif des instabilités a pu être réalisé, probablement par voie aérienne. Probablement associée à des inspections de terrain, cette connaissance étendue et rapide a aidé la prise de décision sur la stratégie et hiérarchie d'intervention (Senbon versus Kannon Misaki). Cette réponse, relève de la préparation à la gestion de crise. Elle nécessite une organisation préalable et l'identification de ressources.

- Lors de nos déplacements sur le terrain, la présence et la fréquence de bâches bleues étaient un révélateur de problèmes. Au-delà de son utilisation pour l'étanchéité des bâtiments, il était réconfortant de voir l'emploi très fréquent de bâches bleues sur des talus instables. L'intérêt de limiter les infiltrations dans des massifs déstabilisés était donc compris et traduit opérationnellement : matériels et équipes disponibles.

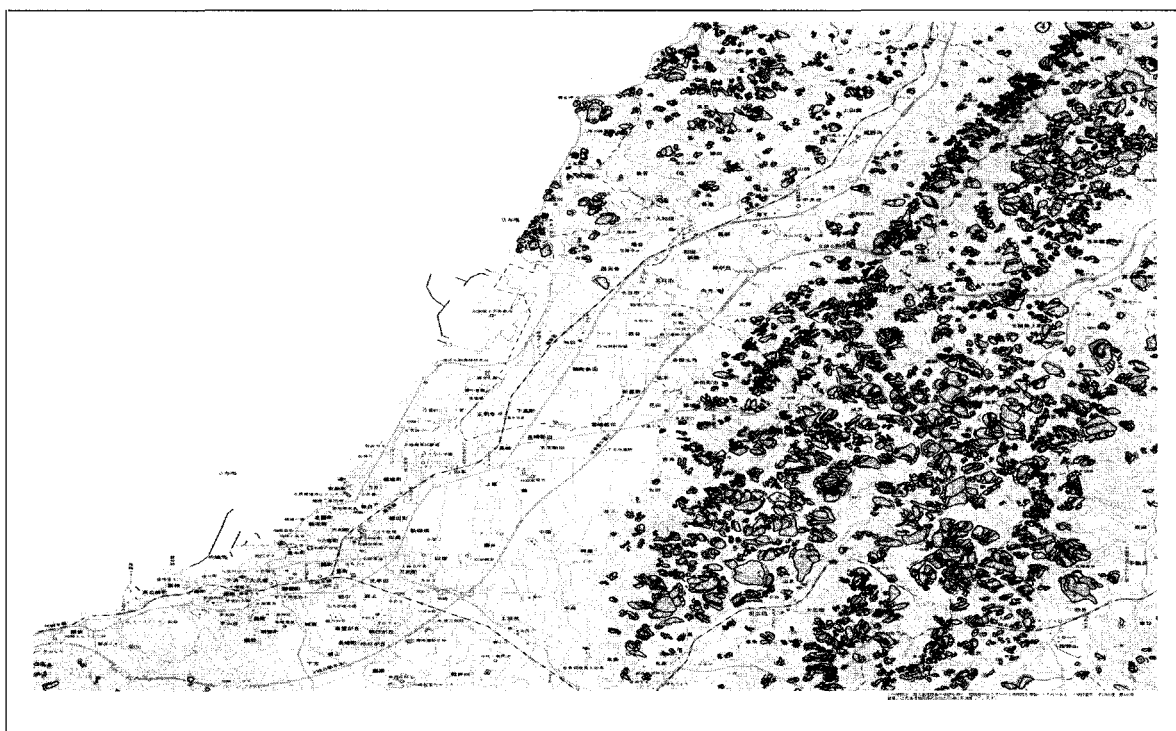
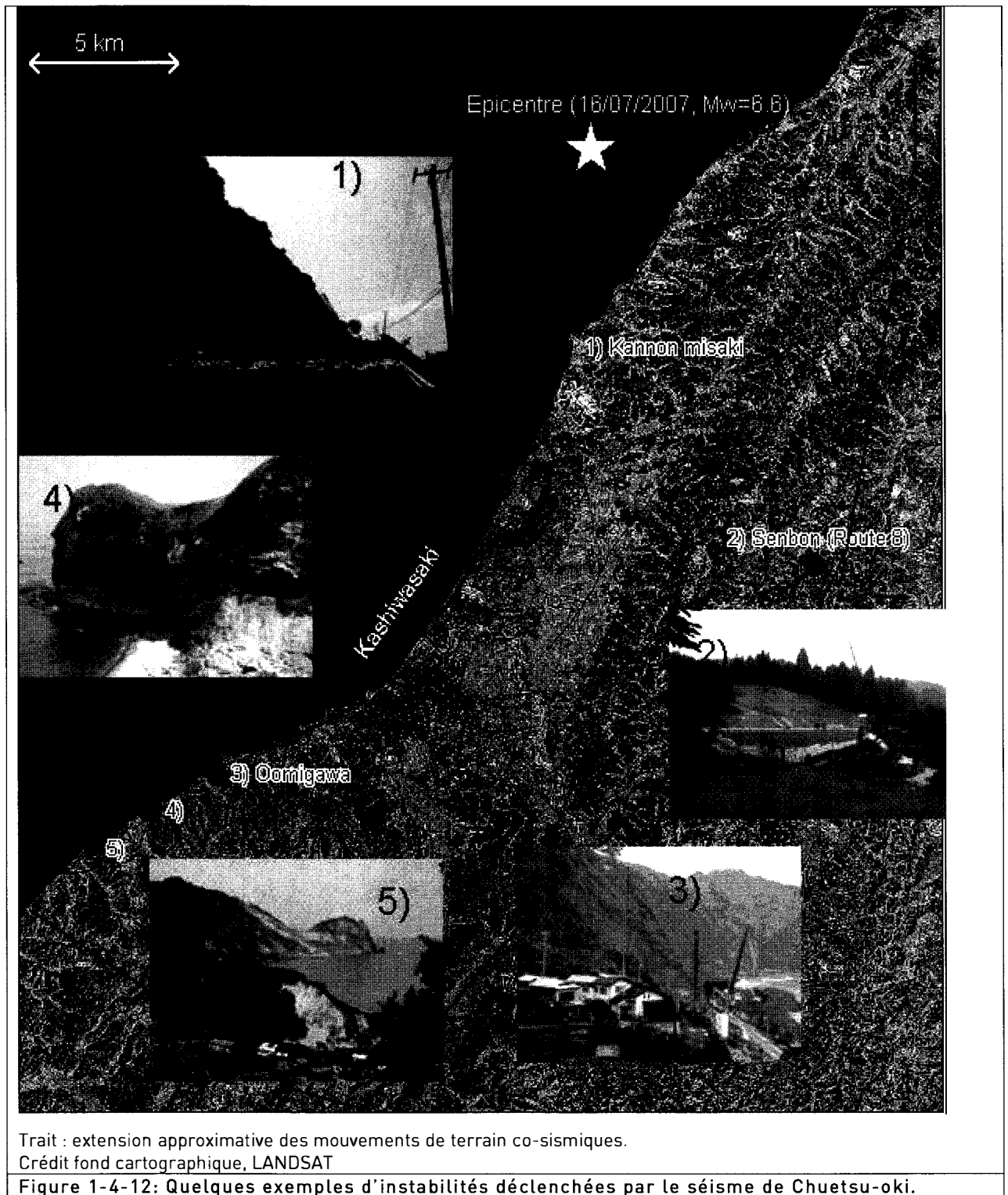
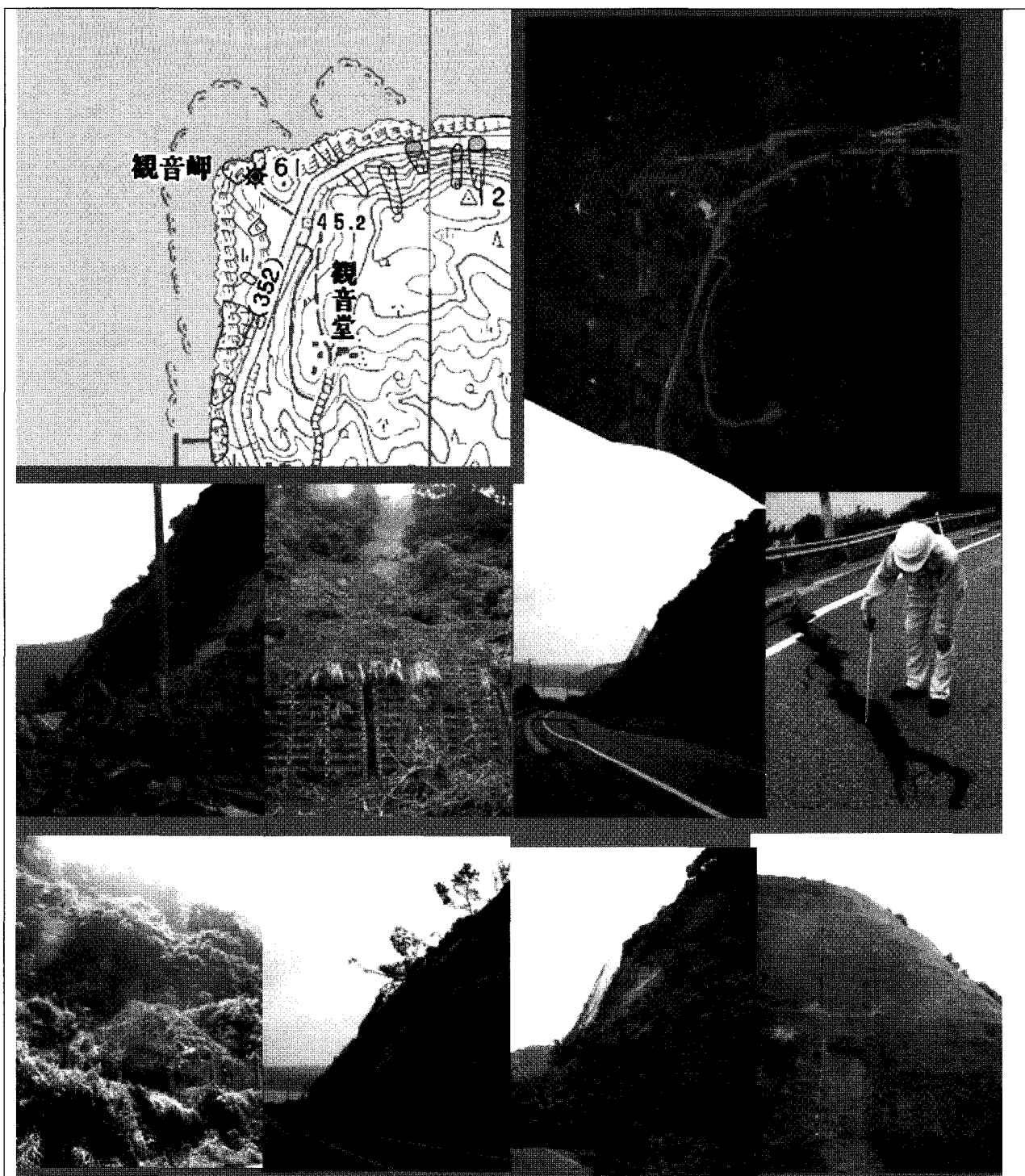


Figure 1-4-11 : Extrait de la carte géomorphologique du National Institute for Earth science and Disaster prevention (NIED)



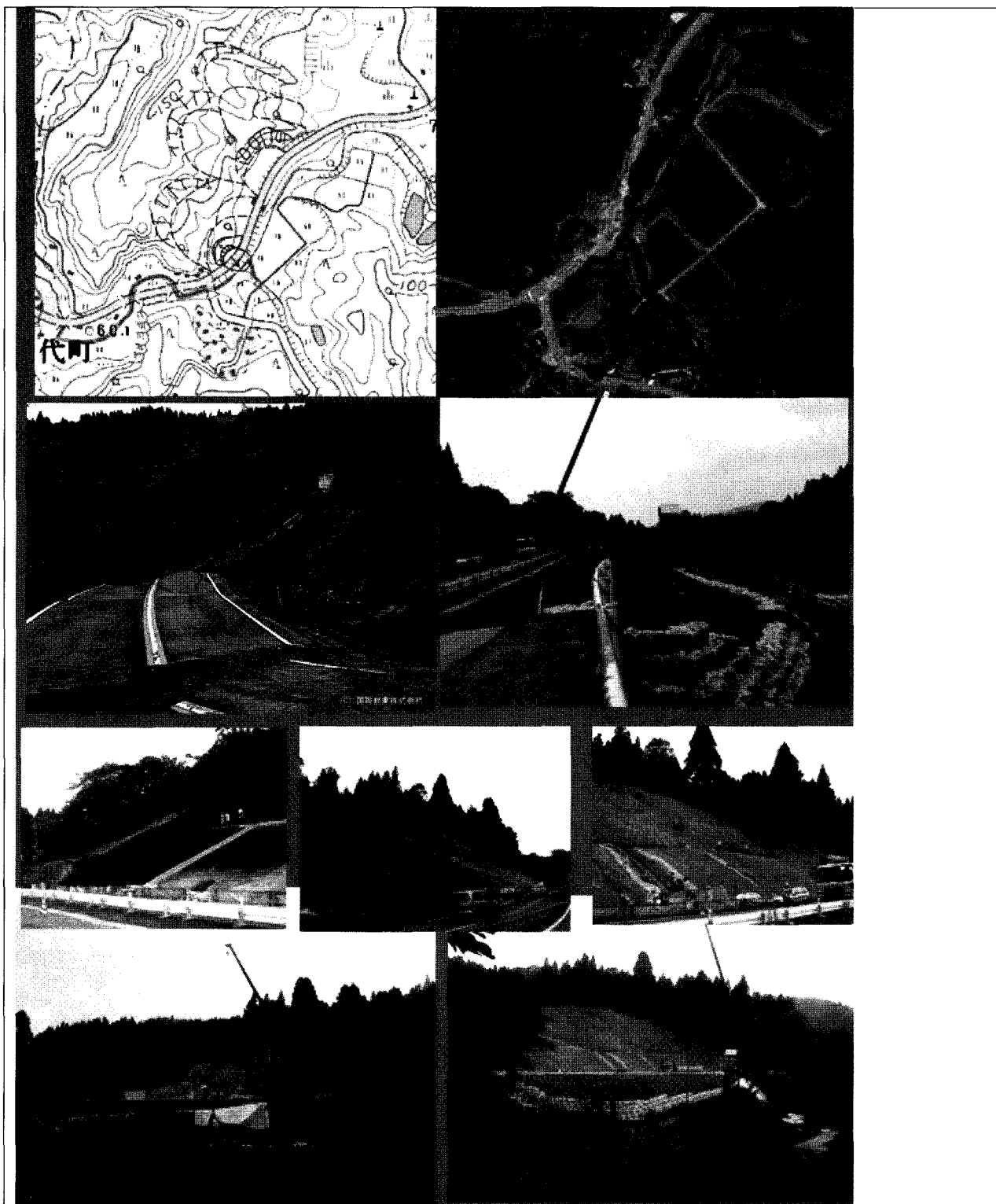


Crédit photo. aérienne et interprétation géomorphologique : KOKUSAI KOGYO CO.,LTD.

Figure 1-4-13 : Kannon Misaki [GPS : 37,485°N ; 138,622°E]

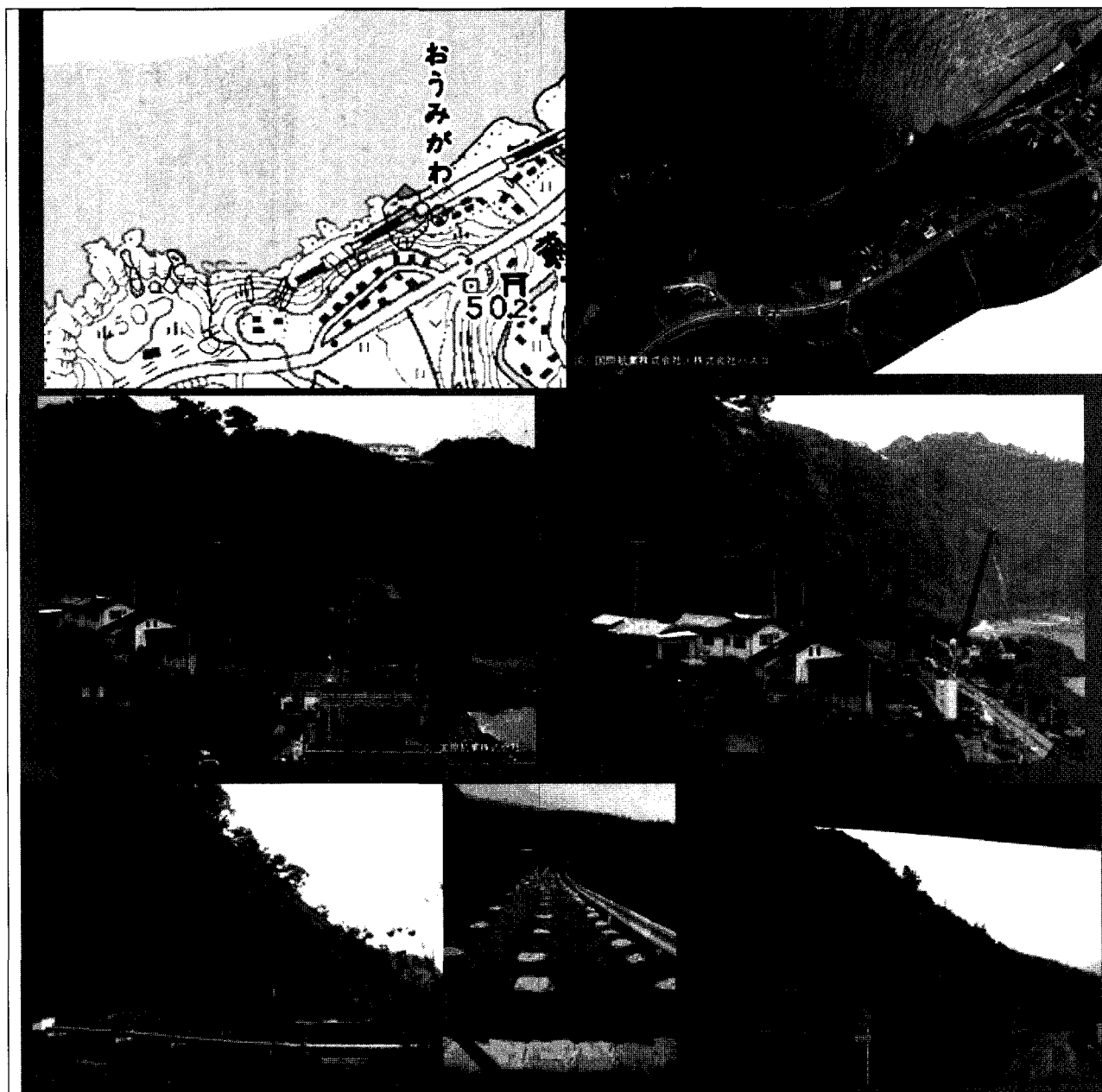


Figure 1-4-14 : Exemples de glissements superficiels sur fortes pentes, le long du littoral, au Nord de Kashiwazaki.



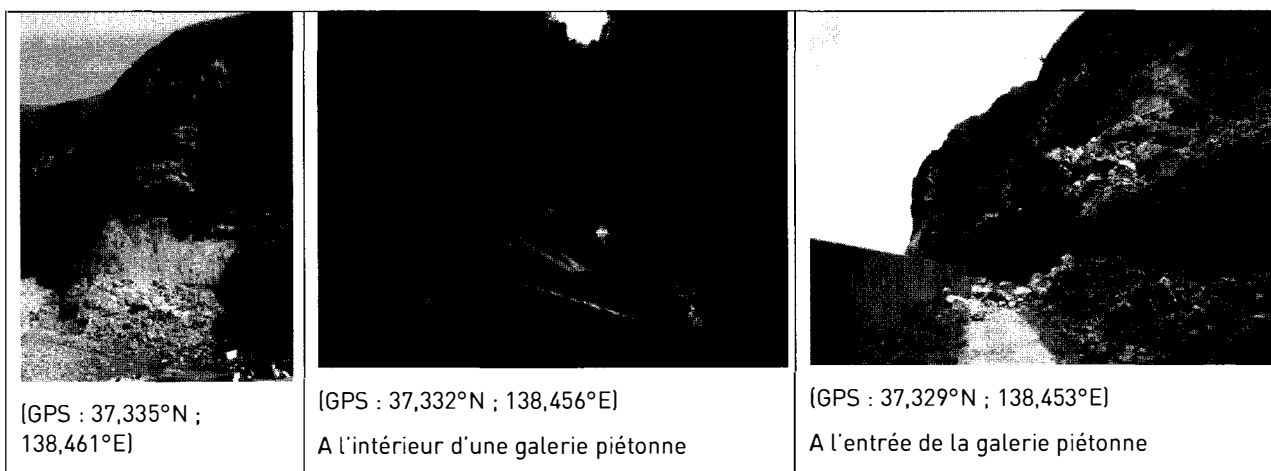
Crédit photo. aérienne et interprétation géomorphologique : KOKUSAI KOGYO CO.,LTD.

Figure 1-4-15 : Senbon, Route n°8 (GPS : 37,414°N ; 138,713°E).



Crédit photo. aérienne et interprétation géomorphologique : KOKUSAI KOGYO CO.,LTD.

Figure 1-4-16 : Gare d'Oomigawa (GPS : 37,346°N ; 138,485°E).



[GPS : 37,335°N ; 138,461°E]

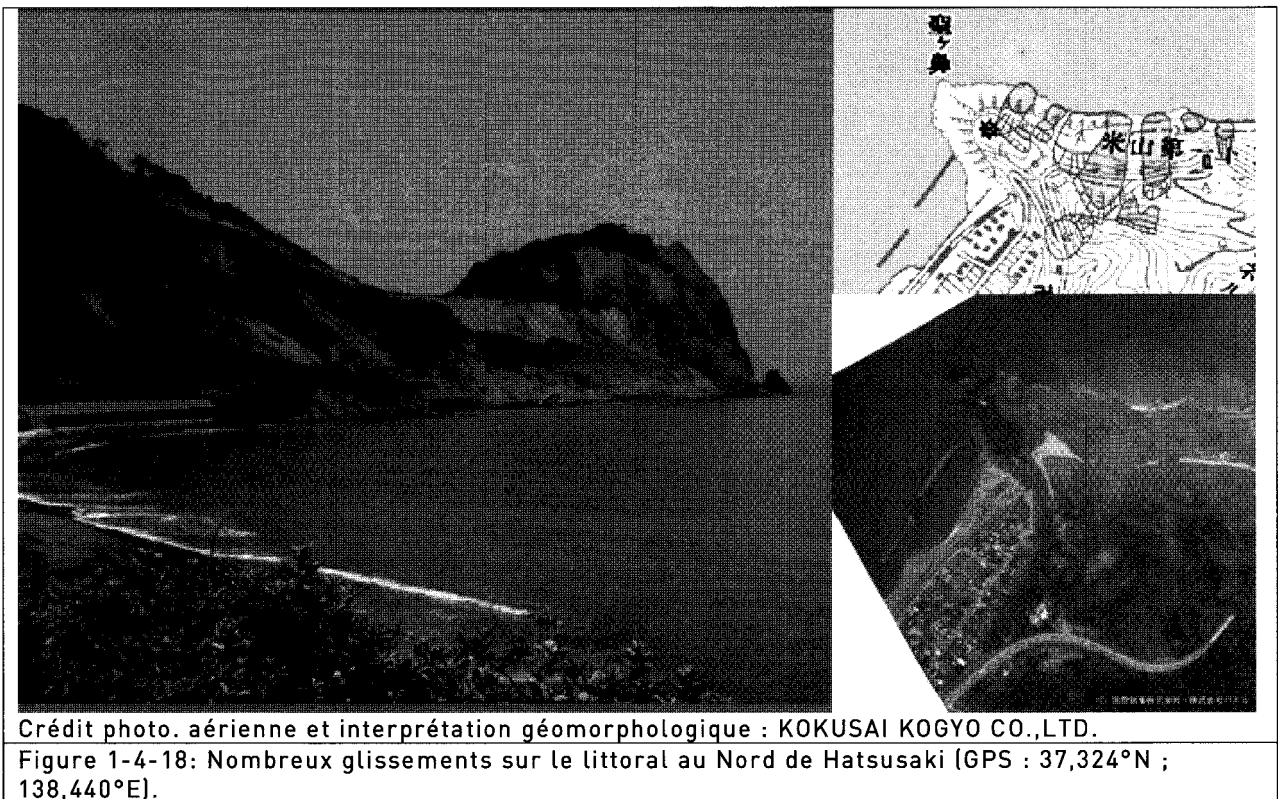
[GPS : 37,332°N ; 138,456°E]

A l'intérieur d'une galerie piétonne

[GPS : 37,329°N ; 138,453°E]

A l'entrée de la galerie piétonne

Figure 1-4-17: Phénomènes d'éboulements sur le littoral au Nord-Est de Hatsusaki.



Remerciements

L'Association Française du Génie Parasismique tient à remercier le « Department of Architecture and Urban Design » de l'Université de Kyushu et plus particulièrement le Professeur Hiroshi KAWASE pour avoir partagé les données de mesures de microvibrations effectuées quatre jours après le séisme, ainsi que les accélérogrammes situés à -250 mètres au droit de la centrale nucléaire. Nous tenons à remercier par la même occasion, Seckin CITAK, Saruul DORJPALAM et Baoyinto BAOYINTO pour le bon déroulement des opérations.

Les auteurs remercient aussi tous les chercheurs et tous les organismes qui mettent à disposition leurs données et leurs résultats sur leur site web.

Références

- Abrahamson, N.A., and Silva, W.J., (2007). Abrahamson & Silva NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters: PEER Report 200x/xx, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, July 9, 2007, Draft Version 2, 378p.http://peer.berkeley.edu/pdf/AbraSil_2007_v2.pdf
- AMBRASEYS N.N. (1988). Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, n°17, pp.1-105.
- KAGEYAMA K., KANEYKO N., HARAGUCHI Y. (1992) Geological maps of oil and gas field of Japan, 13. Central part of Niigata prefecture 1 :100 000. Geological survey of Japan.
- KATO H., YAMAZAKI H. (1979) Tectonic map series, 5. neotectonic map of Shin – Etsu District in Japan 1 :200 000. Geological survey of Japan.
- KOBAYASHI I., TATEISHI M., YOSHIMURA T., UEDA T., KATO H. (1995a). Geology of the Kashiwasaki District. With Geological map of Japan 1 :50 000. Geological survey of Japan, 102 p. (in japanese with english abstract 4 p.).

Rapport de Mission AFPS – Séisme de Chuetsu-Oki 16 juillet 2007

- KOBAYASHI I., TATEISHI M., UEMURA T. (1995b). Geology of the Izumozaki District. With Geological map of Japan 1 :50 000. Geological survey of Japan, 91 p. (in japanese with english abstract 4 p.).
- Kanno T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima (2006). A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bull. Seism. Soc. Am., 96, pp. 879 -897.
- Hirata, N. et al. Fault system of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake and its aftershocks, to Landslides, 2005
- MOMPELAT P. (1994). Unités cartographiques et évaluation de l'aléa mouvements de terrain en Guadeloupe (Antilles françaises). Thèse de doctorat de l'université Paris 6. N°94-09. 337 pages.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR RTRI 30, 25-33.
- NRI ESDP (2007) Source Process of the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake Derived from Near-fault Strong Motion Data,
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>
- Power, M., B. Chiou, N. Abrahamson, and C. Roblee (2006). The next generation of ground motion attenuation models (NGA) project: An overview. Proc. Eighth National Conf., Earthquake Engineering, Paper No. 22.
- Satoh T., Kawase H., Tomotaka Iwata, Sadanori Higashi, Toshiaki Sato, Kojiro Irikura, and Huey-Chu Huang: S-Wave Velocity Structure of the Taichung Basin, Taiwan, Estimated from Array and Single-Station Records of Microtremors. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 91, no. 5, pp. 1267-1282, October 2001.
- TEPCO (2007). Report on analysis of observed records at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant during the Niigata-Chuetsu-Oki earthquake 2007.
- USGS, (2007). U.S. Geological Survey, Earthquake Hazards Program,
http://neic.usgs.gov/neis/eq_dep http://www.eeri.org/lfe/japan_sea.html
- Yoshida, N and Suetomi, I. (1995). DYNEQ A computer program for DYNAMIC response analysis of level ground by EQUIVALENT linear method Version 3.25 (September, 2004) Revised from Original version (May 1995).
- Newmark, 2001. Newmark's Formula for Estimating Sliding Displacement of an Unanchored Body Subjected to Earthquake Excitation SMiRT 1 Paper # 1987 (2001)
- Ishiyama, 1998. Criteria for overturning of rigid bodies by sinusoidal and earthquake excitations. 8^{ème} Conférence Mondiale de Génie Parasismique (1984)
- Sites internet:
- <http://www.eqecat.com/resources/NiigataChuetsu07.pdf>
- http://peer.berkeley.edu/news/2007/0727_Field_Observation_1_ppt.pdf
- <http://geo.dpri.kyoto-u.ac.jp/research/2007Niigata-Chuetsu-Oki/2007-Niigata-Chuetsu-oki-v11.pdf>
- http://seismic.cv.titech.ac.jp/common/PDF/index/niigata_chuetsu-oki/main_report_e.pdf
- <http://www.isc.niigata-u.ac.jp/~globalstrategy/IkarashiGISCenter/e/GISinfo/GISInformationofChuetsu-OkiEarthquake1.pdf>
- (http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/niigata070716/report/horikawa/index01_070724.html)
- http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_07_16_chuetu-oki/chuetsu-oki-saigai.pdf
- <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>
- Projet SESAME (Site EffectS assessment using AMBIent Excitations). <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/>

Chapitre 2

Chuestu-Oki, 2007.

Un séisme de M6.6 à faible profondeur sur la côté ouest du Japon : Comportements des réseaux, installations industrielles et équipements

Ce chapitre est structuré en quatre sous-chapitres.

- La première partie de ce chapitre décrit les constatations effectuées sur les réseaux de transport et les ouvrages d'art, affectés globalement par les mouvements de sols induits par le séisme présentés au chapitre 1 (tassements, liquéfaction, glissement),
- La deuxième partie présente les observations effectuées pendant la mission sur les installations industrielles,
- La troisième partie est consacrée aux informations concernant la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa, exploitée par TEPCO,
- La quatrième partie est dédiée au comportement des réseaux et équipements.

Ont participé à l'écriture de cette partie du rapport AFPS Chuestu-Oki 2007 : Laurent Foucher, Sandrine Lermite, Jean François Sidaner et Emmanuel Viallet. Le montage de ce chapitre a été effectué par Sandrine Lermite.

2. Réseaux, installations industrielles et équipements

2.1 Réseaux de transport

2.1.1 Zone portuaire de Kashiwazaki

Le port de Kashiwazaki comprend un port de pêche, ainsi que du transport de passager et de fret. Son importance est régionale à nationale.

Le cumul des quais représente une distance de 2 km, tandis que le plus long quai mesure 400 m. Les conséquences du séisme sur la zone portuaire sont imputables aux phénomènes de liquéfaction des sols et des remblais (Figure 2.1). Plusieurs quais du port de pêche de Kashiwazaki ont subi des déplacements verticaux et horizontaux pluri-décimétriques (Figure 2.2) : tassement des plates-formes (jusqu'à 50 cm observés), basculement des parois ancrées, tassements autour du terminal passager. Ce type de dégâts est classique pour de telles structures. Il avait déjà été constaté, avec une toute autre ampleur lors du séisme de Kobe (1995). Il ne semble pas qu'un retour d'expérience ait pu jouer dans le cas de ce port avec des structures probablement antérieures à 1995 et avec une importance stratégique limitée.

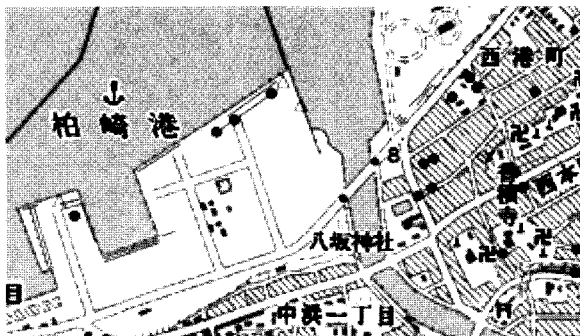


Figure 2.1 : Localisation des désordres du port de Pêche de Kashiwazaki, Imputables à la liquéfaction des sols (Crédit KOKUSAI KOGYO CO.,LTD)
http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200707_nigata/index.html

Légende : Trait vert : zone de rupture ; Point bleu : volcan de sable.

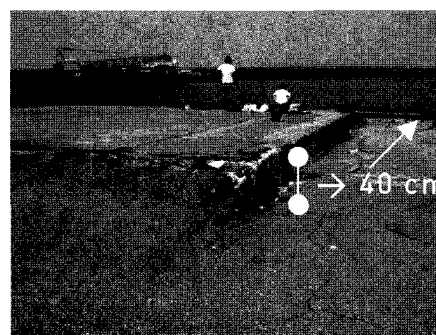
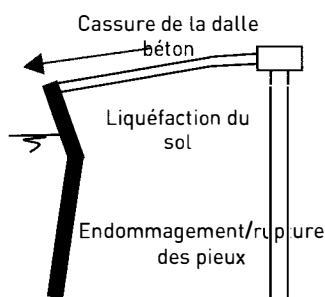
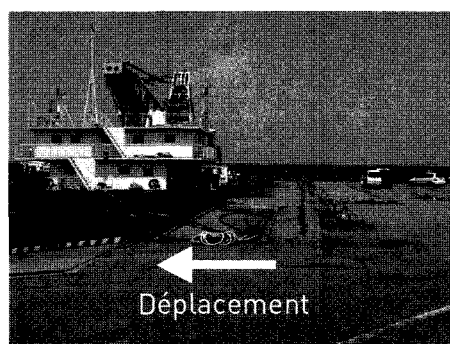


Figure 2.2 : Affaissement et déversement vers la mer du radier du port de Pêche de Kashiwazaki

Malgré les déformations constatées, le fonctionnement du port a été maintenu dans sa globalité. Le port a notamment permis l'acheminement des premiers secours, puis du ravitaillement, ainsi que l'établissement d'un camp de base pour l'armée.

2.1.2 Réseaux ferrés

Le réseau ferré a été fortement exposé aux effets induits : glissements de terrain pour le tracé littoral de la ligne, au Sud de Kashiwazaki et liquéfaction pour les parties empruntant la plaine de Kashiwazaki. Les conséquences ont été spectaculaires comme l'obstruction de voie, en particulier en gare d'Oomigawa (ligne JR Shin-Etsu) ou plus diffuses avec des désalignements horizontaux et verticaux des rails (tassements des remblais, liquéfaction des sols, effet des ondes de surface). Une locomotive de la ligne Echigo a même déraillé (basculement) en gare de Kashiwazaki alors qu'elle s'apprêtait à quitter la gare.

L'étendue des zones impactées est présentée par la Figure 2.3. La ligne du Shinkansen, plus éloignée de la zone épiscopentrale n'a pas été affectée.

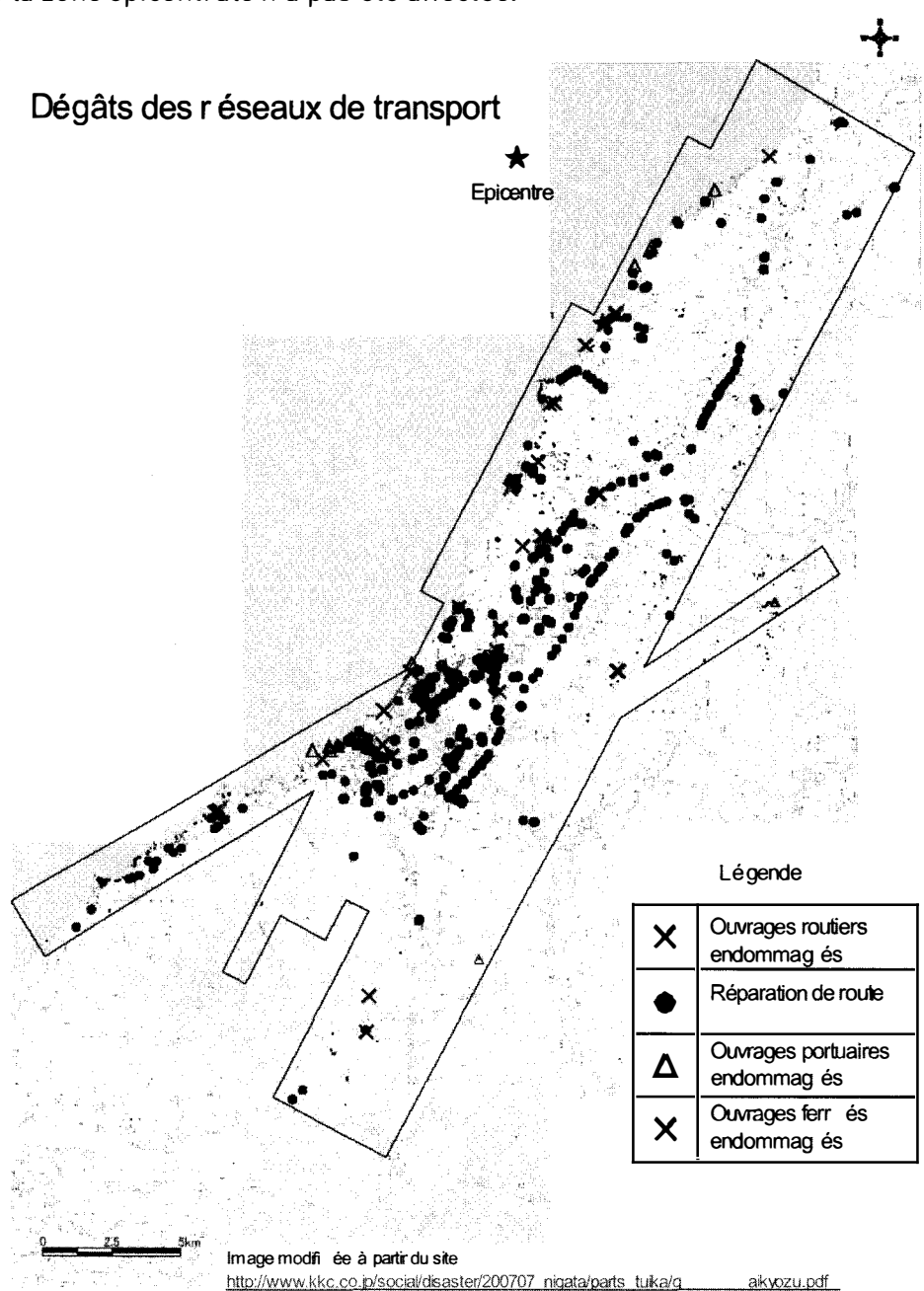


Figure 2.3 : Impacts du séisme de Chuetsu-Oki sur les réseaux de transport de la région de Kashiwazaki [Crédit : KOKUSAI KOGYO CO.,LTD]

La faible redondance intrinsèque au réseau ferré a entraîné l'interruption totale des moyens ferroviaires sur un certain nombre de tronçons. Il a cependant pu être constaté l'efficacité des équipes japonaises sur le terrain : trois semaines après le séisme, le déblaiement de la voie ferrée JR Shin-Etsu line, suite au glissement de terrain près d'Oomigawa, sur plusieurs dizaines de mètres, était bien avancé (Figure 2.4).

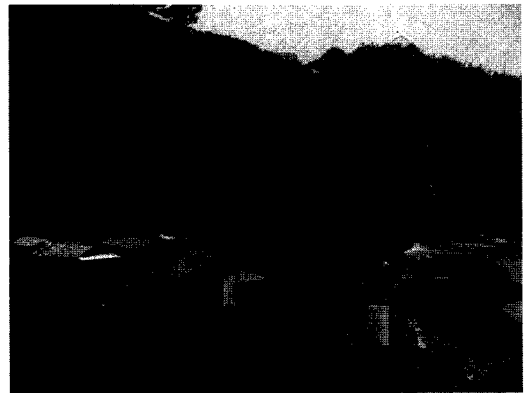


Figure 2.4 : Etat des travaux le 5 août 2007 après le glissement de terrain (JR Shin-Etsu line)

2.1.3 Réseaux routiers

Le réseau routier a été fortement exposé à la secousse sismique (vis-à-vis des ponts et tunnels) et plus largement aux effets induits. Ainsi les glissements de terrain sont la cause de l'interruption de deux voies de communications principales :

- La route littorale (n°352), au Nord de Kariwa, à plusieurs endroits;
- La route 8 reliant Nagaoka à Kashiwazaki à hauteur de Senbon.

Des phénomènes de liquéfaction et des désordres géotechniques ont également impacté le réseau routier à plusieurs titres :

- Glissement horizontal coupant la route à l'Est de l'incinérateur de Kashiwazaki (Figure 2.5.a) ;
- Glissement de terrain (Figure 2.5.b),
- Très nombreuses déformations (tassement, voir rupture, Figure 2.5.c) des remblais ou massifs d'accès aux ouvrages ;
- Tassements au droit de tranchées de réseaux sous chaussée, à cause de la mise en œuvre de matériaux insuffisamment compactés et/ou liquéfiés;
- Soulèvement de structures enterrées (chambres de vannes, regards, etc.) par flottabilité au sein du sol liquéfié (Figure 2.5.d).

Ces effets ont affecté le réseau routier en de très nombreux points, sans toutefois aller jusqu'à la coupure complète et durable de la route.

De plus les effets de la liquéfaction sur les réseaux d'eau et de gaz ont nécessité l'ouverture de nombreuses fouilles pour intervenir sur des fuites ou ruptures. Enfin, l'effondrement de certaines constructions a pu partiellement obstruer les voies de circulation (Figure 2.5.e).

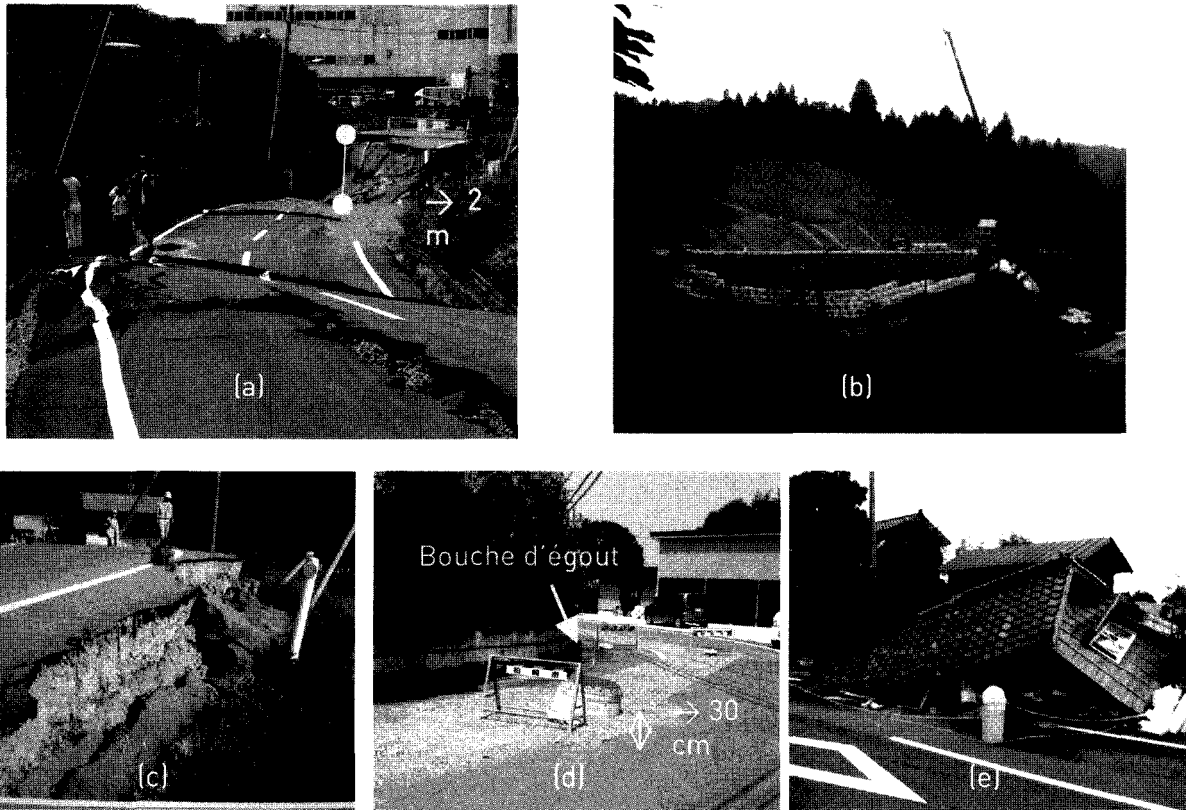


Figure 2.5 : Dégâts des réseaux routiers

(a) Glissement ayant détruit la route près de l'incinérateur (b) Glissement de terrain sur la route 8 (route coupée sur presque 100 m) (c) Glissement d'un remblai routier (d) Remontée de bouche d'égout (e) effondrement d'une habitation sur une partie de la route

Il a pu être fréquemment constaté le tassement des remblais, autour des ouvrages d'art notamment (Figure 2.6). Afin de permettre le rétablissement rapide du réseau routier, ces tassements étaient provisoirement comblés par la mise en place d'un béton bitumineux.

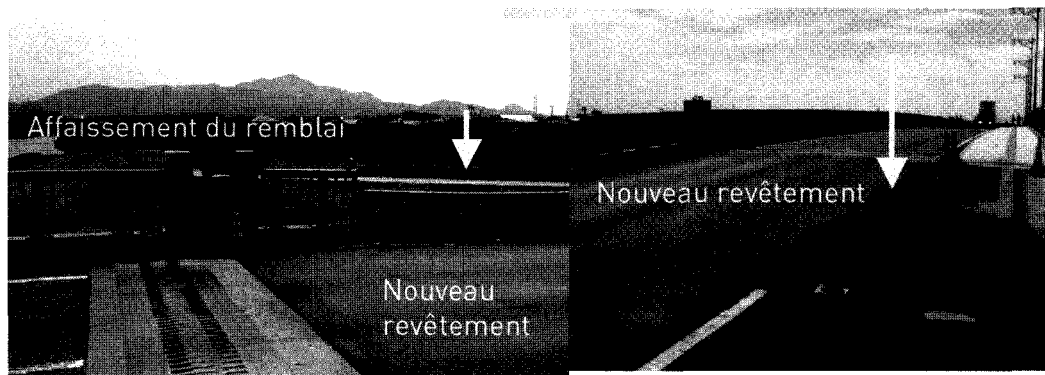


Figure 2.6 : Travaux de réfection des accès de pont

Bien qu'un grand nombre des axes ait déjà été remis en état lors de notre mission, un certain nombre de blocages localisés subsistait trois semaines après le séisme (exemple Figure 2.7). Cependant, en raison de la redondance des axes routiers, le trafic n'a pas été trop pénalisé par les dommages du réseau routier. Une véritable stratégie de hiérarchisation des axes à rouvrir, a été mise en place (tenant compte de l'importance des axes de communication et de l'ampleur des impacts). A noter que les navigateurs GPS des voitures signalaient les routes impraticables en raison du séisme.



Figure 2.7 : Ex. de réfection des routes

2.1.4 Les ponts

Les divers ponts, quant à eux, se sont particulièrement bien comportés, et ce indépendamment de leur taille et de leur type de fabrication (pas de dommages constatés au niveau des tabliers et des piles de pont). La Figure 2.8 présente l'exemple du pont Yoneyama, pont en structure métallique de 1956 de 227 m de long et de 43m de hauteur.



Figure 2.8 : Yoneyama bridge

Les principaux dégâts, concernant les ouvrages d'art, se sont localisés au niveau des rampes d'accès :

- affaissements importants des accotements, jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres,
- déplacements des culées,
- écrasement des joints néoprène...

Ces dégâts témoignent des déformations importantes subies par les ouvrages. Les trottoirs, barrières et équipements (dont tuyauteries) ont été soumis à des déplacements différentiels importants, conduisant à leur endommagement, comme l'illustre la Figure 2.9.



Figure 2.9 : Pont près du port de pêche de Kashiwazaki

Le retour d'expérience du séisme de Kobe a conduit à la mise en place de dispositifs anti-échappement au niveau des tabliers.. Ces mesures préventives, visibles à de multiples reprises, ont démontré leur efficacité.

Les ponts ayant subi le plus de dommages sont le Toyota bridge et Nagomi bridge (Figure 2.10):

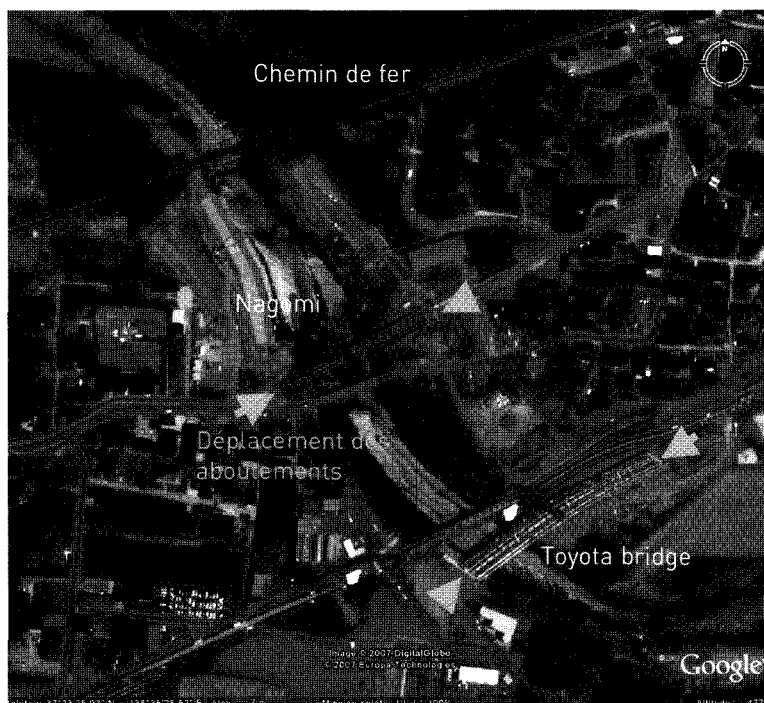


Figure 2.10 : Localisation des ponts Toyota et Nagomi à l'aide de Google Earth

Le pont Toyota est un pont courbe, comportant trois travées. D'une longueur de 160 m de long et de 12 m de large, le tablier repose sur des appuis élastomères frettés de 70 cm x 70 cm x 25 cm. Le mouvement du tablier (de près de 20 cm selon la direction indiquée dans la figure précédente) ainsi que l'affaissement des remblais des rampes d'accès (et le déplacement des culées) ont conduit à une déformation bidirectionnelle importante des élastomères, à l'écrasement du système de butée et à la fermeture (et écrasement) des joints parasismiques (Figure 2.11).

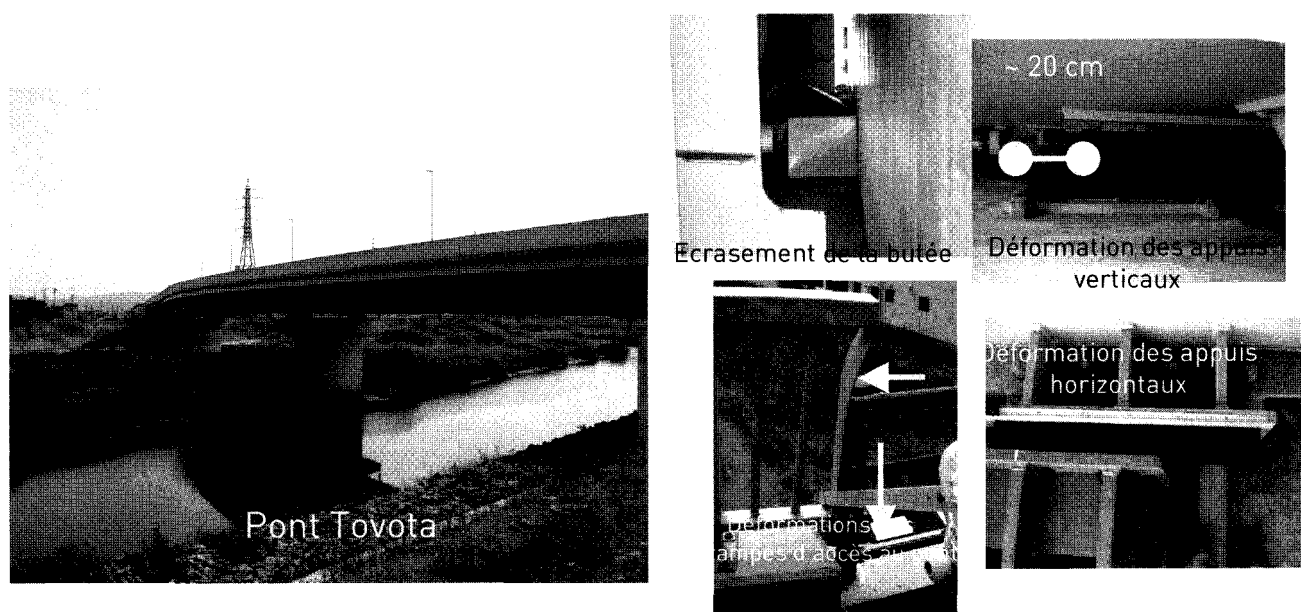


Figure 2.11 : Dégâts constatés sur le pont Toyota

Le pont de Nagomi, pont de 100 m de long et 10 m de large a subi un certain nombre de dégâts similaires au pont Toyota. Les photos ci-dessous illustrent la déformation des appuis dans la direction du séisme. On peut remarquer que les travaux de réaménagement des rampes d'accès avaient déjà été effectués lors de notre visite, ne rendant plus visible l'écrasement des joints parasismiques (Figure 2.12).

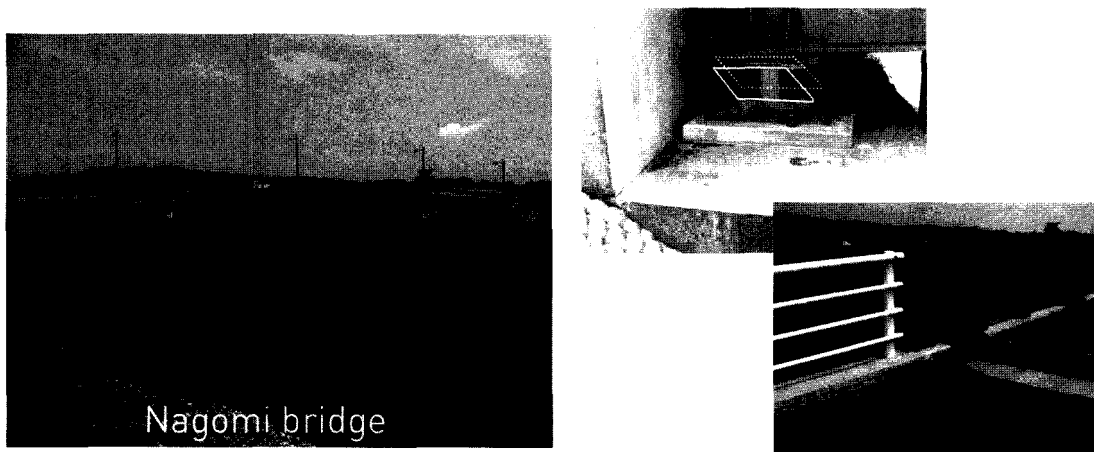


Figure 2.12 : Dégâts constatés sur le pont Nagomi

2.2 Installations industrielles

Nous avons observé l'impact du séisme sur certaines installations industrielles de la ville de Kashiwazaki, notamment pour le traitement de déchets, le stockage et la distribution d'énergie, la fabrication de béton et de bitume, une industrie de fabrication mécanique, ainsi que sur certaines installations supports et en particulier des pylônes électriques, des pylônes de télécommunication, un stockage d'oxygène...

Certaines de ces installations correspondraient, en France, à des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) ; il n'a cependant pas été possible de déterminer la catégorie éventuelle des installations observées par référence aux critères applicables en France (ICPE relevant d'une procédure de déclaration ou d'autorisation). On rappelle que le référentiel applicable en France en termes de dimensionnement parasismique est différent selon le type des installations industrielles concernées, les installations classées dans la catégorie « autorisation avec servitudes As » relevant du risque spécial.

La sûreté de ce dernier type d'installation peut être garantie par l'utilisation d'un concept de défense en profondeur, basé sur la prévention des accidents par une bonne conception et une bonne construction, sur la limitation de l'étendue des accidents et sur la limitation de leurs conséquences. Compte tenu des différences réglementaires entre la France et le Japon et du mode d'observation de ces installations (essentiellement à partir de la route), cette grille de lecture n'était pas adaptée aux contraintes de planning de la mission. Nous nous sommes donc intéressés à la tenue des équipements industriels mis en œuvre dans ces installations et à la robustesse des dispositions constructives utilisées.

La particularité constructive des installations observées en dehors des bâtiments et des réservoirs en béton (station d'épuration, centrale à béton) est qu'elles sont majoritairement aériennes, utilisent une part importante de composants métalliques, et comportent des réseaux aériens et enterrés.

2.2.1 Traitement de déchets

2.2.1.1 Equipements de l'incinérateur

L'incinérateur illustre la grande variabilité des dégâts observés. Il est situé dans une zone où des mouvements de sols très importants (liquéfaction et glissement de terrain) ont été observés à moins de 300 mètres.

L'incinérateur comporte un bâtiment principal, une cheminée de rejet et des bâtiments de préparation. Il est inclus dans le périmètre plus large d'une station de collecte et de tri de déchets.

Le jour de notre visite, l'intérieur du bâtiment n'était pas accessible : les dégâts observés sont donc les dégâts externes.

La mission a observé des dégâts sur la cheminée du bâtiment de l'unité incinération (présentés au chapitre 3), un glissement de réservoir métallique extérieur et pas de dégât visible sur un bâtiment réservé au dosage de produits ni sur ses équipements (ouvrage visiblement récent). Le déplacement du réservoir externe semble être lié à une corrosion avancée de l'ensemble de ses ancrages, le mouvement différentiel entre ce réservoir et le sol ayant été accompagné de plus d'une rupture de tuyauterie sur ce réservoir.

Le bâtiment de l'unité de dosage ne comporte pas de dégâts apparents, et semble avoir fait l'objet de la mise en œuvre de certaines dispositions de conception (présence de dispositifs anti-envol, rétentions en béton armé...), même s'il est possible d'observer ponctuellement que les traversées de plancher de certaines tuyauteries sont rigides.



Figure 2.13 : Glissement de terrain à proximité de l'incinérateur illustrant les mouvements de sol.

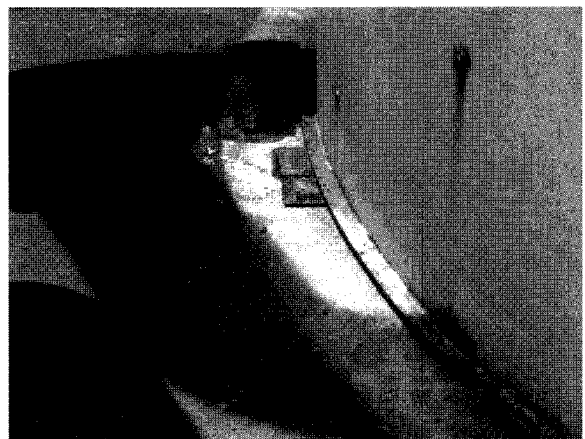
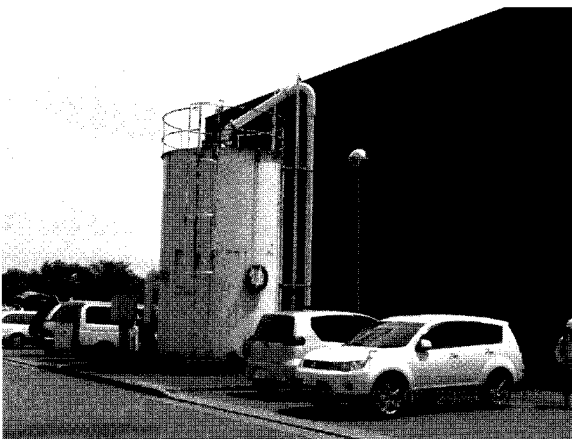


Figure 2.14: Glissement du réservoir métallique extérieur.
La bande blanche sur la photo ci-dessus illustre l'amplitude du déplacement.



Figure 2.15 : La cause principale du glissement est la corrosion des ancrages.



Figure 2.16 : Rupture de tuyauterie sur le réservoir (mouvement différentiel).

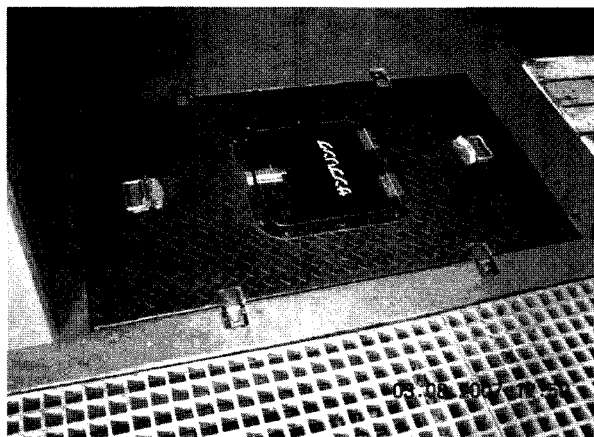


Figure 2.17: Unité de dosage.
Dispositif anti-envol sur une trappe.



Figure 2.18: Unité de dosage.
Très bon état général des équipements et des rétentions.

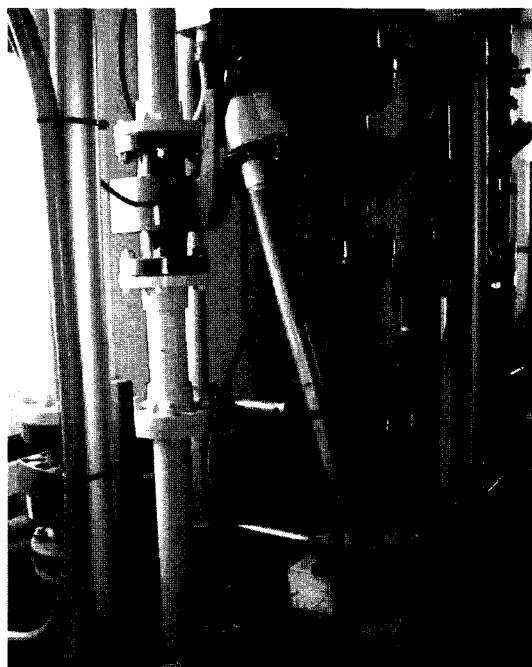


Figure 2.19: Unité de dosage.
Déplacement d'une pompe, par manque de serrage d'un support.

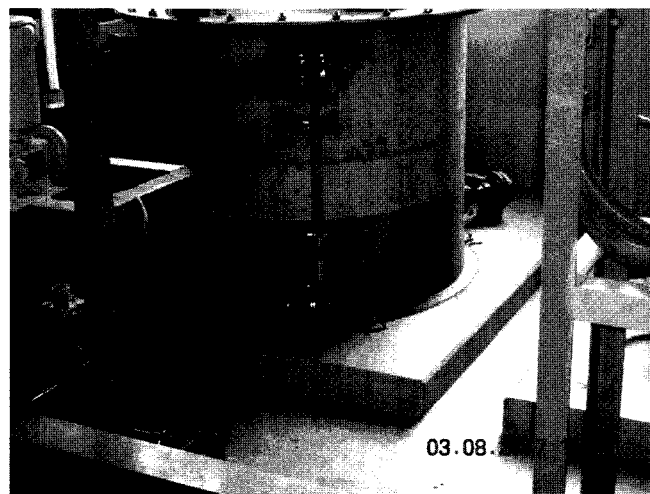


Figure 2.20: Unité de dosage.
Bon état des rétentions et des ancrages des réservoirs

2.2.1.2 Station d'épuration

La station d'épuration est composée de deux réservoirs en béton (un récent et un plus ancien), d'un réseau aérien de tuyauterie, de réservoirs métalliques et d'équipements auxiliaires. Elle est située à l'embouchure d'un petit fleuve, à proximité de la mer, dans une zone où des dégâts ont été observés sur l'habitat traditionnel et où le glissement d'un pont a été observé (à 500 mètres environ).

Cette installation montre des dégâts mineurs sur le réservoir en béton armé « ancien » (rupture d'une tuyauterie, perte d'une plaque de calorifuge), bien que l'on observe des traces de mouvements de sol notables (tassement, espacement entre le sol et la fondation).

Le réseau de tuyauteries aériennes supportées par des poteaux a subi des mouvements différentiels qui ont été correctement accommodés par les soufflets de dilatation, bien que l'on observe des tassements de sol à l'endroit des poteaux, et de petites déformations de leur structure (perte de verticalité). Le réservoir métallique comporte deux zones de flambage important, au bas d'une partie courante et en haut, à l'opposé, du fait d'une structure rapportée massive. Les équipements annexes, cyclones, pompes... ancrés sur des dalles, n'ont pas subi d'endommagement. Les réseaux, ancrages et équipements métalliques étaient dans un état d'entretien général très bon, sans trace de corrosion notable. Des tassements de sol sont visibles autour de la station d'épuration.

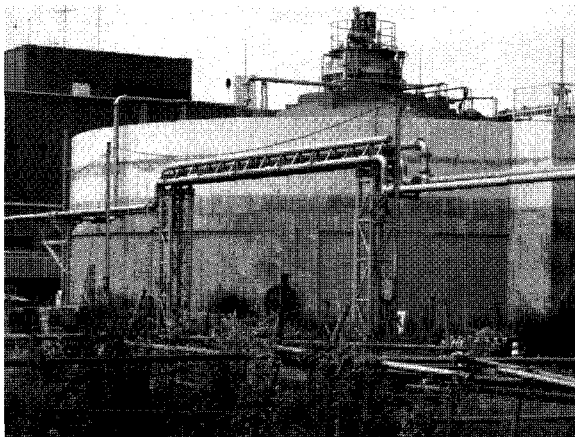


Figure 2.21: Fût en béton armé (réservoir récent)

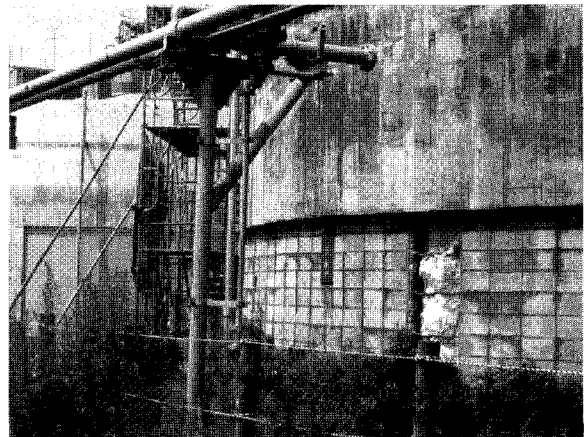


Figure 2.22 : Réservoir « ancien », perte de calorifuge.

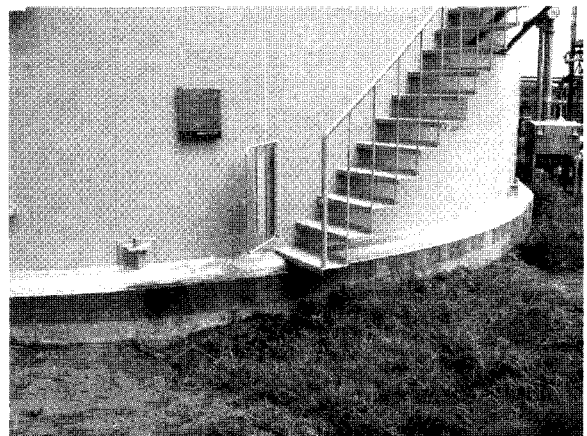


Figure 2.23: Mouvement et tassement de sol autour des fûts en béton et du réservoir métallique

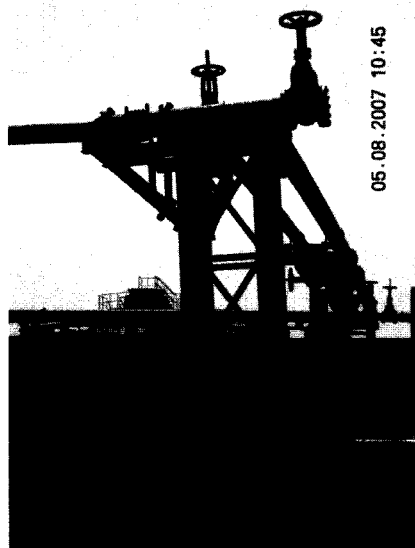


Figure 2.24 : Accommodation du réseau de tuyauteries aériennes, déformations au niveau des soufflets

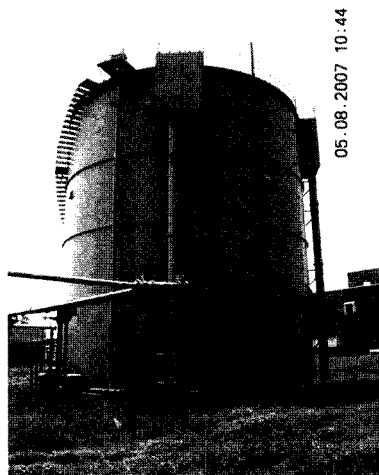


Figure 2.25 : Réservoir aérien métallique

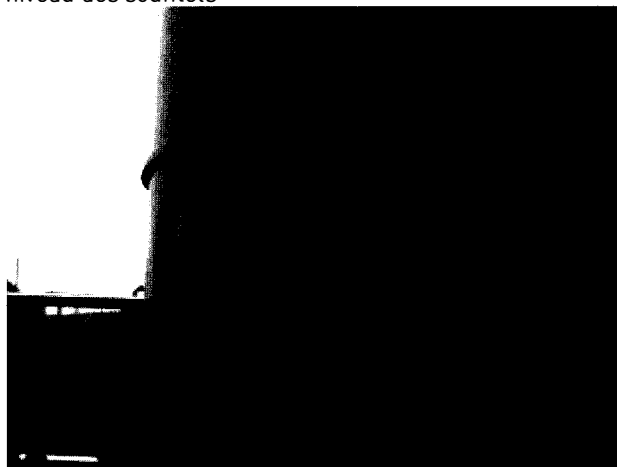


Figure 2.26 : Zone de flambage.

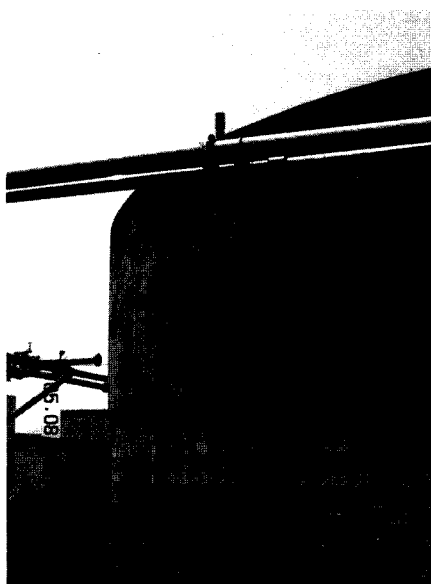


Figure 2.27 : Rupture de tuyauterie. Mouvement différentiel.

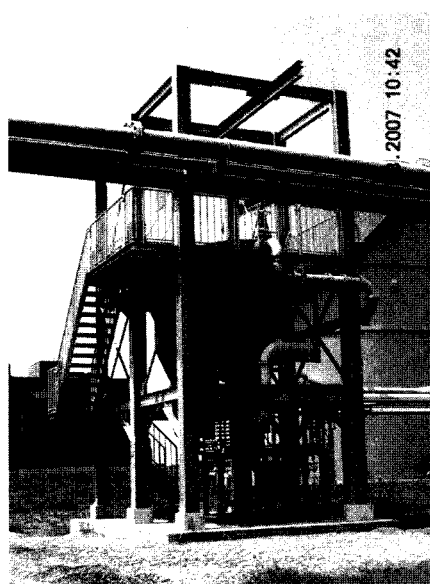


Figure 2.28 : Bonne tenue des cyclones. Bons ancrages, bons supportages, socle béton.

2.2.1.3 Centre de tri des déchets

Un centre de tri de déchets solides jouxte la station d'épuration. Ce bâtiment fermé lors de notre visite, montre l'importance des tassements de sol dans la zone. Le bâtiment, par lui-même, comporte peu de dégâts apparents.



Figures 2.29 : Mouvements de sol autour des bâtiments

2.2.2 Stockage et distribution d'énergie

2.2.2.1 Stockage de gaz

Nous avons observé, d'une part, une sphère de gaz située à proximité de la gare de voyageurs de Kashiwazaki (les mouvements sismiques ont conduit, à la gare, au renversement de wagons) et un couple de sphères en périphérie de la ville. Des endommagements très mineurs ont été notés sur les stockages de gaz, en particulier, quelques petites fissurations des enduits des socles en béton et des indices de mouvement au niveau des tirants, montrant qu'ils ont joué leur rôle et qu'ils étaient correctement dimensionnés.

Il est toutefois intéressant de noter pour les deux sphères à l'extérieur de la ville, la présence singulière d'une passerelle supportée par un pilier dans l'axe des deux sphères, sur des dalles différentes, avec des traces de mouvements notables au niveau du socle du pilier.



Figure 2.30 : Zone gare
Rupture de bordure. Perte de l'enduit sur le socle



Figure 2.31 : Zone gare.
Frottement au niveau des tirants.



Figure 2.32 : Périphérie de la ville
Passerelle entre deux sphères



Figure 2.33 : Périphérie de la ville.
Mouvement du pilier de la passerelle.

2.2.2.2 Station service

Les stations-service observées sont équipées d'une rétention épaisse (pour l'ensemble de la station), qui traverse un déshuileur (réseau enterré), une zone de dépotage dans des cuves enterrées, des évènements de cuves déportés, une zone de distribution. La liaison entre les cuves enterrées et la zone de distribution de carburant se fait par l'intermédiaire d'un réseau enterré. Nous avons observé un nombre très limité de stations-service endommagées, par rapport au nombre de stations-service restées opérationnelles dans la zone affectée.



Figure 2.34 : Recherche d'une fuite du réseau enterré de distribution de carburant.

Toutefois, l'exemple ci-dessus montre la rupture d'une canalisation de distribution de carburant, située sous la dalle de rétention dimensionnée pour recevoir des camions, et sans accès direct. Dans ce cas de figure, la localisation de la rupture génère des travaux importants. Cette difficulté d'intervention après séisme montre l'intérêt de conserver un accès à ces tuyauteries.

2.2.2.3 Centrale à bitume, centrale à béton

La centrale à bitume est à proximité immédiate de la zone du port comportant des tassements de sol importants (20 cm environ). Les installations composées de réservoirs métalliques calorifugés, sur rétention et de réseaux de canalisation aériens, n'ont pas subi d'endommagement notable, malgré une corrosion avancée de certains ancrages.

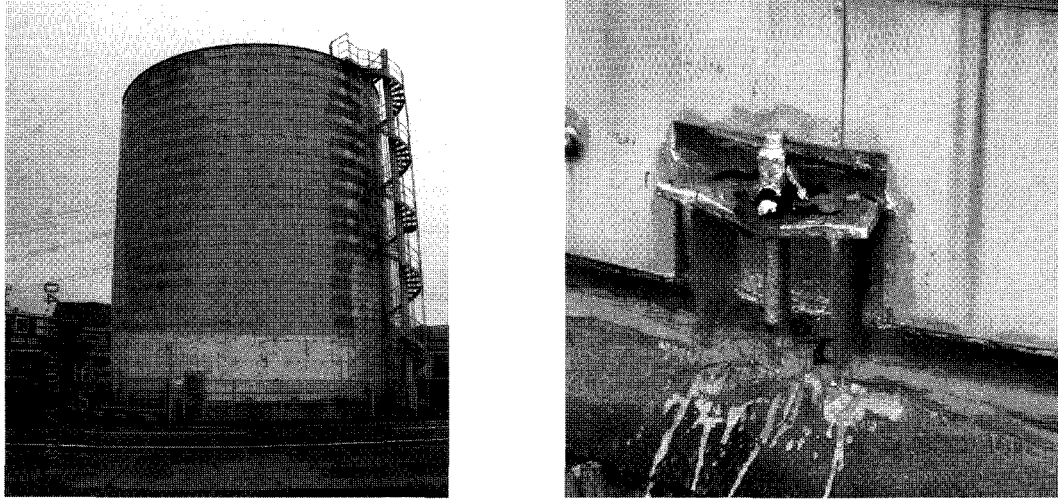


Figure 2.35: Réservoir et ancrage de la centrale à bitume.

La centrale à béton est située à proximité des quais, utilisés par la marine pour accoster.



Figure 2.36: Le fût de la centrale à béton -et ses équipements-, ne comportent pas de trace d'endommagement.

2.2.2.4 Usine de fabrication mécanique

Cette usine observée à partir de la route, est composée de hangars métalliques comportant des structures internes de contreventement importantes, des équipements externes (pompes, équipements sous pression, réservoirs) et de réseaux aériens métalliques relativement corrodés. Elle est composée majoritairement de matériels anciens et de quelques équipements très récents.

La presse japonaise faisait part pour cette usine de renversement de machines mal ancrées. L'usine a été remise en service par l'industriel, quelques jours après le séisme.



Figure 2.37: Réseau aérien corrodé, mais souple

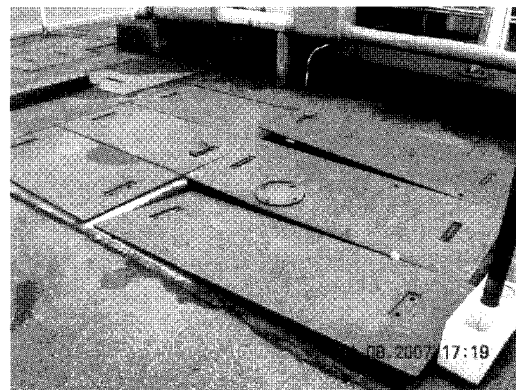


Figure 2.38: Pas de dispositifs anti-envol sur les trappes

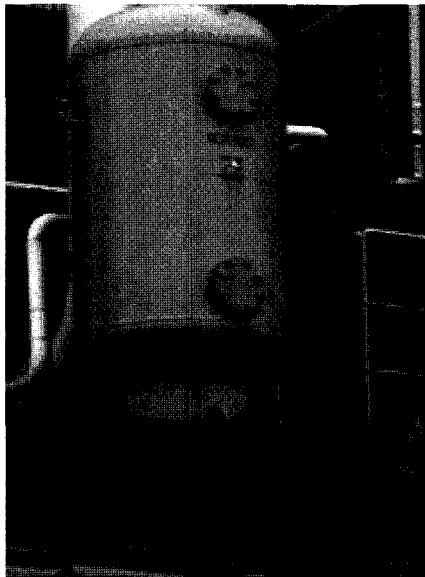


Figure 2.39: Equipement fixé par deux boulons

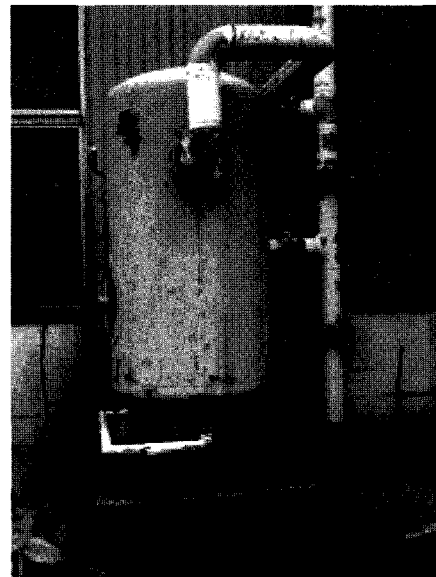


Figure 2.40: Equipement sous pression corrodé.

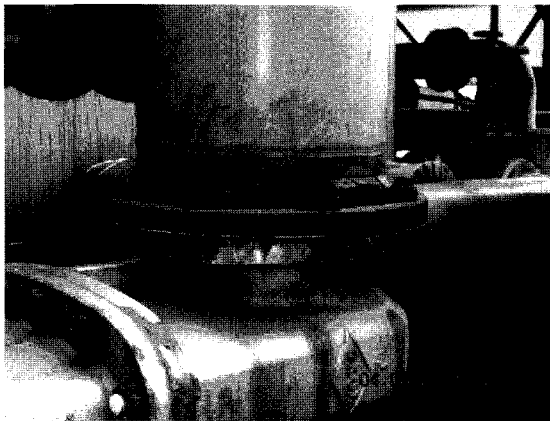


Figure 2.41: Tuyauteries corrodées, sous leur calorifuge.

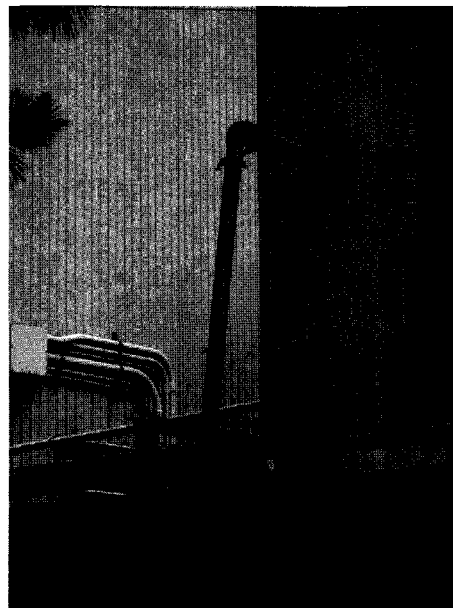


Figure 2.42: Tuyauterie, liaison vissée, non supportées, non ancrée

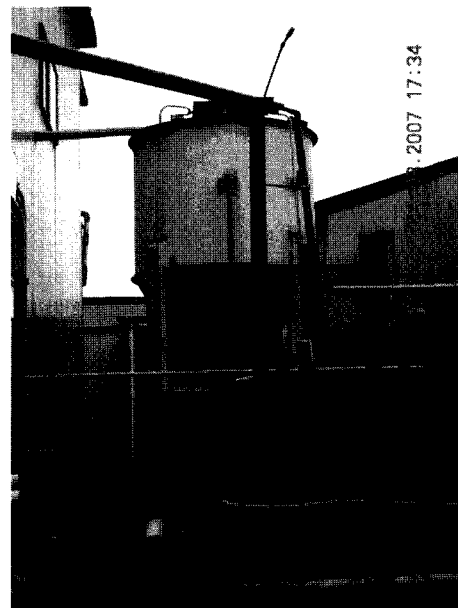


Figure 2.43: Equipement à proximité d'une benne

Ce mauvais exemple de conception, de construction et d'exploitation, sur des structures métalliques corrodées, non entretenues, montre que la chance peut être le dernier paramètre utile. Toutefois il reste recommandé de ne pas compter sur ce dernier facteur si l'on souhaite maîtriser les risques ... Il est à noter que cette industrie ne met pas en œuvre de quantités importantes de produits inflammables ou explosifs et ne semble pas disposer de tuyauterie à haute énergie.

Ces observations montrent que dans une certaine limite les structures métalliques souples accommodent les déformations ou sont rapidement réparables.

2.2.2.5 Equipements de l'hôpital

Une partie des utilités de l'hôpital de Kashiwazaki est située en sous-sol du bâtiment principal et une autre partie est située dans un bâtiment annexe relié au bâtiment principal par une galerie de liaison. Les deux bâtiments sont sur des fondations différentes.

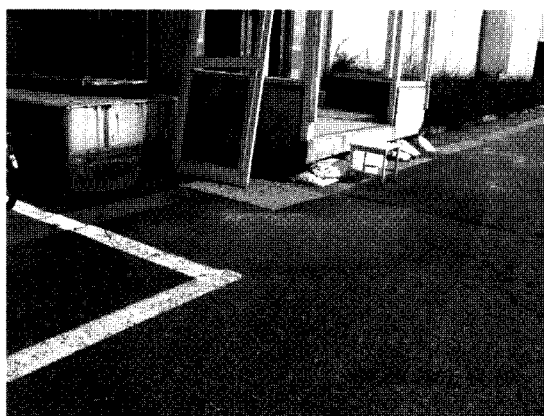


Figure 2.44 : Tassement du sol au niveau du bâtiment des utilités

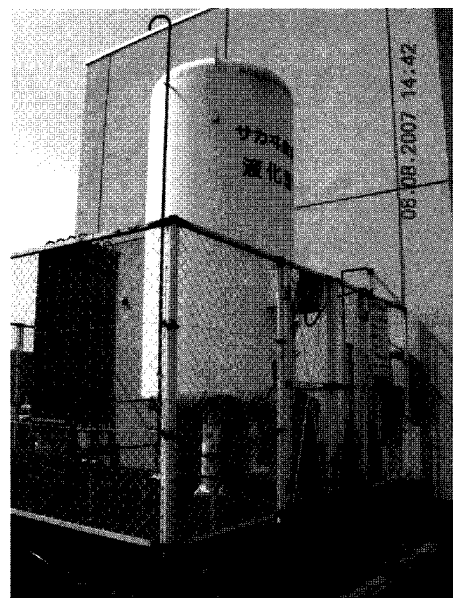
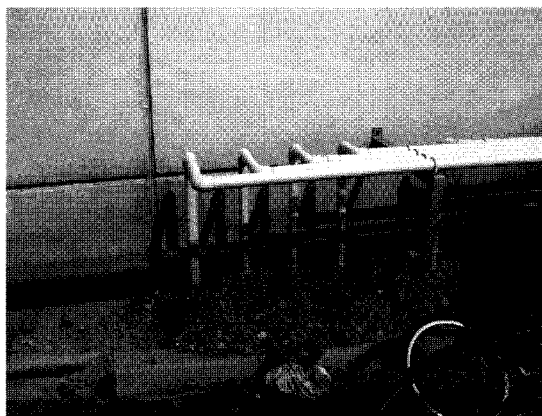


Figure 2.45 : Stockage d'oxygène, sur dalle solidaire du bâtiment annexe.

Figure 2.46 Dégât des eaux sur les installations en cave de l'hôpital.

Des tassements de sols importants sont visibles autour du bâtiment principal de l'hôpital et du bâtiment annexe (50 cm environ). Ces deux bâtiments semblent correctement fondés et les équipements intérieurs correctement entretenus. Les équipements n'ont pas subi de dégâts directement du fait de la sollicitation sismique. Par contre le mouvement différentiel entre les deux bâtiments a conduit à une rupture d'une tuyauterie d'eau dans la galerie de liaison entre les deux bâtiments et a provoqué une inondation de la cave du bâtiment principal, rendant indisponible une partie des utilités de l'hôpital, et notamment la fonction climatisation.

2.2.2.6 Pylône de télécommunication



Figure 2.47 : Pylônes du relais de communication



Figure 2.48 : Ouvrages annexes du relais de communication

Pylônes de télécommunication, avec des déformations mineures au niveau des ancrages.

2.2.3 Conclusions

Le respect de dispositions constructives (installation sur dalle avec des fondations adaptées, mise en place de dispositifs d'accommodation de déformation, bonne conception des ancrages et des supportages, bon état général...) démontre son efficacité.

Ces observations illustrent la robustesse globale des réseaux aériens de tuyauteries, pompes, vannes, équipements sous pression et une résistance moindre des grands réservoirs métalliques.

Les endommagements observés étaient généralement dus à des mouvements différentiels (notamment du fait de couplage direct entre le sol, des planchers ou des voiles et des tuyauteries, ou le mouvement entre deux bâtiments ou deux équipements lourds), des mouvements de sol (sensibilité des réseaux enterrés) ainsi qu'à des pertes d'ancrage ou de supportage d'équipement du fait de leur corrosion.

En complément des dispositions de conception et de construction, l'entretien des installations est un paramètre important pour leur bon comportement sous séisme.

Au-delà du risque propre à ces installations, leur réparabilité est un paramètre à prendre en compte dès la conception.

2.3 Centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa

La mission AFPS a rencontré TEPCO, l'exploitant de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa au cours d'une présentation à l'ambassade de France le 2 août 2007. La mission n'a pas visité le site de la centrale. Des photographies sont cependant disponibles sur le site internet de TEPCO et ont été commentées lors de cette rencontre.

Ce n'est pas la première fois qu'une centrale nucléaire est directement affectée par un séisme significatif au Japon, le séisme de Noto-Hanto du 25 Mars 2007 de magnitude JMA 6.9 ayant impacté les installations de la centrale nucléaire de Shika. Cependant l'impact du séisme de Chu Etsu Oki sur la centrale de Kashiwazaki-Kariwa est plus significatif et les conséquences indirectes de l'événement semblent beaucoup plus importantes.

La centrale affectée comporte 7 réacteurs pour une puissance totale de 8212 MW électrique. Les réacteurs 1 à 5 sont des réacteurs à eau bouillante (BWR) de 1100 MW entrés en service entre 1984 et 1994. Les réacteurs 6 et 7 sont des modèles plus récents de même technologie (ABWR) de 1360 MW entrés en service en 1996 et 1997. Les réacteurs sont installés en bord de mer et sont disposés selon la direction nord sud dans l'ordre suivant : 5, 6, 7, 4, 3, 2, 1. Ils sont significativement enterrés sous le niveau de la plateforme, sur plus de 60 % de la hauteur des bâtiments. Au moment du séisme, les réacteurs 3, 4, 7 étaient en fonctionnement, le réacteur n° 2 était en cours de redémarrage et les réacteurs 1, 5, 6 étaient en arrêt pour rechargement.

L'épicentre du séisme est situé à une dizaine de kilomètres au nord-ouest de la centrale : la rupture sismique s'est propagée vers le sud, au-delà de la centrale, qui peut donc être considérée en champ proche par rapport à celle-ci. La centrale est équipée de nombreux accéléromètres dans les bâtiments principaux et en champ libre. Les accéléromètres installés à l'intérieur des bâtiments réacteurs ont bien restitué le mouvement enregistré lors du choc principal. Par contre, ceux installés en champ libre, -d'ancienne génération- ont vu leurs données enregistrées effacées lors de l'enregistrement automatique des répliques qui ont suivi le choc principal. L'information relative au choc principal est donc perdue pour ces appareils. Les accélérations maximales enregistrées par l'instrumentation sismique varient entre 0,45 g et 0,70 g au niveau des radiers des blocs réacteurs : la valeur enregistrée pour le réacteur n° 1 est ainsi de 0,68g.

Ces valeurs peuvent être comparées aux valeurs retenues à la conception des installations. Les spectres S1 et S2 pris en compte dans la réglementation nucléaire japonaise pour caractériser l'aléa sismique sont calés respectivement à 0,30 et 0,45 g, au niveau du rocher pour le site. Selon la documentation de TEPCO, ces spectres de dimensionnement ont été déterminés en considérant différentes sources sismiques possibles, dont un séisme de magnitude 6,7 à 12 km, un séisme de magnitude 7,0 à 20 km et un séisme de magnitude 6,5 survenant directement sous le site pour le niveau S2. Ces événements de référence sont donc très similaires à l'événement sismique du 16 juillet 2007. Ces événements de référence étaient cependant présentés comme des événements majorants, dont l'occurrence éventuelle restait très peu probable. Par ailleurs, les niveaux d'accélération mesurés sont élevés : les différentes valeurs citées ne sont a priori pas directement comparables, le processus de dimensionnement intégrant la modification du mouvement sismique jusqu'au niveau de fondation réel des ouvrages et les phénomènes d'interaction sol-structure sur des ouvrages profondément enterrés. Néanmoins, TEPCO considère que les valeurs mesurées sont effectivement supérieures aux valeurs attendues au niveau des radiers des bâtiments principaux. Il est important de ne pas conclure trop rapidement quant au dimensionnement de la centrale nucléaire. En effet, les valeurs d'accélération obtenues sur site ne peuvent pas être directement comparées aux spectres de dimensionnement des structures, puisque l'analyse sismique prend en compte différents cas de charges (spectral et statique équivalent) ainsi qu'une analyse de l'interaction sol-structure. De plus, les actions sismiques ne sont pas

obligatoirement déterminantes pour le dimensionnement des installations. Une étude approfondie serait nécessaire pour statuer.

Les différents réacteurs sont équipés de dispositifs d'arrêt automatique sur détection sismique, calés sur une accélération de 0,10 g. Ces dispositifs ont correctement fonctionné, et leur déclenchement a effectivement permis l'arrêt automatique des réacteurs.

Les différents éléments constitutifs de la centrale sont dimensionnés pour des niveaux sismiques croissants, en fonction de leur importance en termes de sûreté des installations. Pour l'ensemble des éléments, un niveau sismique minimal est pris en compte, a minima égal à celui considéré pour les ouvrages usuels dans la réglementation parasismique japonaise (0,20 g). Les désordres ont donc impacté à des degrés divers les différents éléments.

Lors de la mission, l'exploitant procédait au recensement des anomalies causées par le séisme sur l'ensemble du site industriel. Au 2 août, 63 anomalies potentiellement significatives en termes de sûreté nucléaire avaient été recensées sur l'ensemble du site sur un total de l'ordre de 1000 anomalies pour l'ensemble du site. A mi-septembre, on peut noter que le nombre total des anomalies recensées par TEPCO est de 2641.

Les incidents concernant la sûreté des installations les plus médiatisés ont été les suivants :

- A la suite du tremblement de terre, un incendie s'est déclaré sur un transformateur électrique sur la plateforme de la tranche 3 à l'extérieur des bâtiments. Il s'agit du premier cas connu d'incendie dans une centrale nucléaire résultant d'un tremblement de terre. Ce transformateur est non classé au titre de la sûreté des installations, dans la mesure où il n'est pas indispensable pour ramener et maintenir le réacteur dans un état sûr. Le mur coupe-feu prévu à la conception initiale a permis d'éviter la propagation de l'incendie aux autres équipements voisins. Néanmoins, le système d'extinction incendie de l'ensemble de la centrale a été endommagé par des mouvements de sol. L'incendie a été maîtrisé à 12h02, soit près de 2h après le départ du feu, après mobilisation et intervention des pompiers de Kashiwazaki.
- Une présence d'eau a été constatée le 16 juillet vers 12h50 sur la tranche 6, dans une « zone non surveillée » au sens de la radioprotection des travailleurs. Le marquage radioactif de cette eau n'a été détecté que 5h30 plus tard (à 18h20). Cette eau proviendrait d'un débordement de la piscine d'entreposage de combustibles usés du fait de l'effet de vague classique résultant du mouvement sismique, dans la zone surveillée du bâtiment. Son transfert possible vers la zone non surveillée par une traversée non étanche après séisme n'avait pas été prévu. Cette anomalie a entraîné un rejet d'activité en mer de 0,09 MBq via les systèmes de collecte des eaux par les puisards dans l'installation.
- Plusieurs centaines de fûts entreposés dans le bâtiment d'entreposage des déchets solides se sont renversés et certains ont perdu leur couvercle. Ces fûts contenaient des déchets de faible activité, tels que les résidus de l'incinération de gants ou de masques portés par les opérateurs pour rentrer en zone contrôlée. Des traces de radioactivité ont été mesurées sur le sol de l'entreposage.
- Des traces de radioactivité (iodes, chrome 51, cobalt 60) ont été détectés dans le filtre du système de ventilation du réacteur 7 : ces traces ont conduit TEPCO à considérer un rejet gazeux non maîtrisé de l'ordre de quelques centaines de MBq dans l'atmosphère. L'origine de ces rejets est liée à un retard dans la mise à l'arrêt des systèmes d'élimination des vapeurs au sol de la turbine (système spécifique des réacteurs à eau bouillante).

Lors de l'évènement, les sources électriques externes n'ont pas été perdues, les diesels de secours n'ont pas été sollicités. La conservation des sources électriques externes facilite la conduite pour ramener et maintenir les installations dans un état sûr, d'autant que le séisme est une source de défaillance de cause commune importante. Les dispositifs de sauvegarde propres à chaque réacteur n'ont par ailleurs pas été sollicités, l'intégrité du circuit principal

ayant été conservée. TEPCO a constaté que ces différents dispositifs –testés quelques jours après l'événement- étaient restés fonctionnels.

TEPCO a indiqué que des signaux électriques intempestifs ont perturbé temporairement le contrôle commande équipé de relais électriques, sans conséquence car le système d'arrêt automatique a immédiatement déclenché sur détection de séisme pour les tranches en fonctionnement ou en cours de redémarrage. Les systèmes de protection et de régulation ont correctement fonctionné à l'issue de la secousse.

TEPCO a indiqué qu'à ce stade des investigations, les matériels devant garantir la protection du réacteur, le refroidissement et le confinement des matières nucléaires classées importantes pour la sûreté et qualifiées pour le séisme n'ont pas été perturbés par des matériels proches non classés de sûreté et donc non qualifiés pour fonctionner après un séisme.

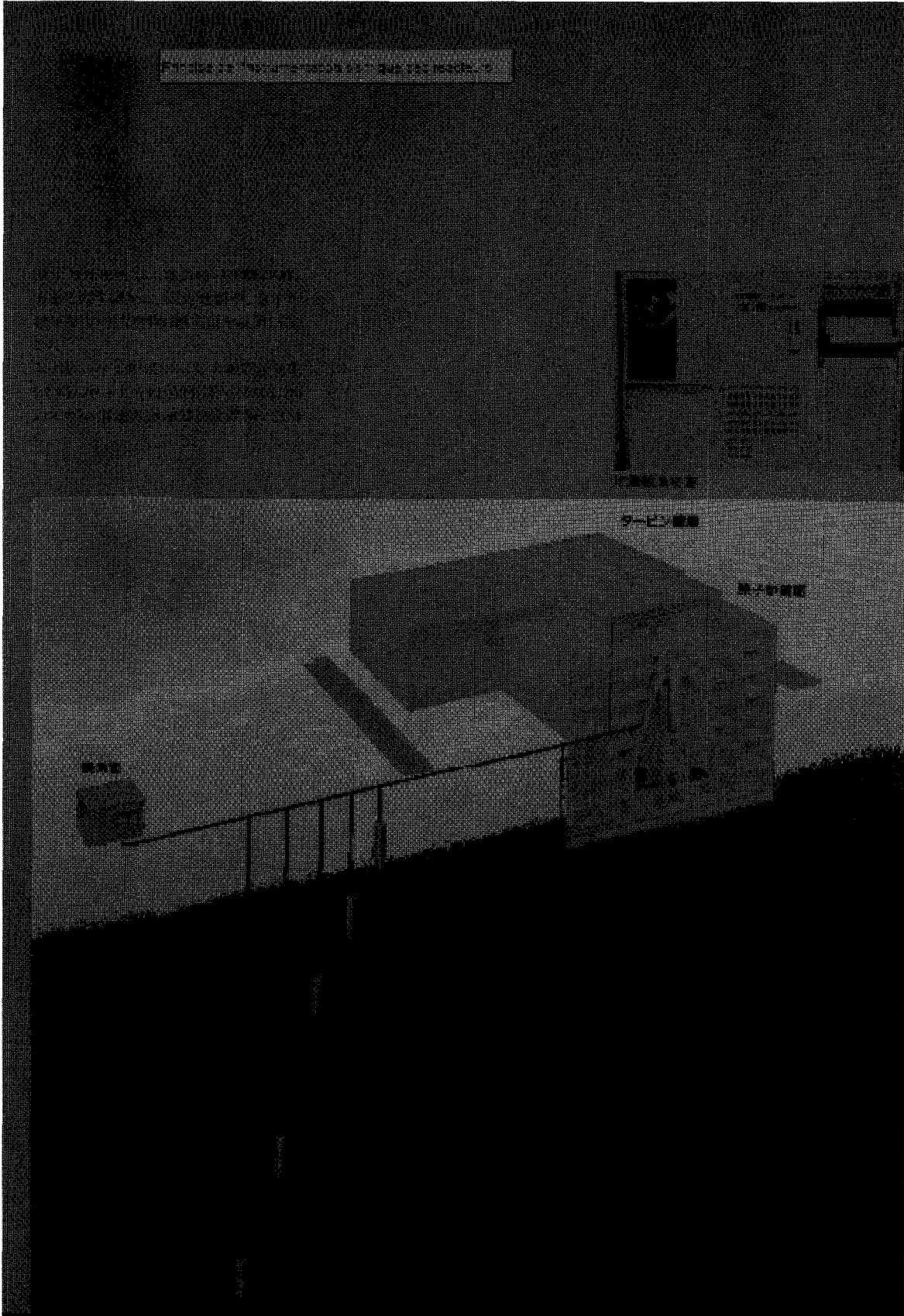
Un certain nombre d'anomalies recensées concerne cependant des fixations d'équipements ou de structures secondaires, et des engins de manutention. Seule une analyse détaillée permettra de différencier pour ces anomalies ce qui résulte de l'absence effective de risques dans ce cas de figure de ce qui résulte de l'événementiel. Les collecteurs principaux des systèmes de ventilation ont été affectés par des désalignements des gaines de ventilation. La rupture des réseaux d'eau incendie externe –du fait des tassements et mouvements qui ont affecté les terrains superficiels constituant les plateformes comme sur l'ensemble de la zone- a conduit à une entrée d'eau significative dans un des bâtiments, par une des galeries techniques reliant chaque îlot nucléaire avec l'extérieur. Ces tassements superficiels ont largement affecté les voies de circulation et les ouvrages extérieurs. L'inspection après séisme des cuvettes de rétention des capacités de stockage d'hydrocarbure présentes sur le site a montré des dommages sur ces rétentions en béton armé, conduisant à une pollution locale des sols.



Figure 2.49 : Affichage à l'extérieur du centre d'information de TEPCO, description des incidents.

Au titre du retour d'expérience immédiat de l'événement, TEPCO considère que ses principales difficultés sur le site ont concerné la gestion de la situation créée par le séisme, du fait de la perte des réseaux de lutte contre l'incendie, de la difficulté à acquérir une vision de l'état de la situation et de communiquer sur cette situation. Dans le traitement de ces difficultés, l'importance des éléments non classés au titre de la sûreté nucléaire avait été sous-estimée (disponibilité du bâtiment administratif, des moyens de télécommunication, organisation de l'inspection post-sismique). La perte de disponibilité des équipements du bâtiment administratif a conduit à la coupure des liaisons directes avec la préfecture de Niigata. Par ailleurs l'importance économique de la perte actuelle de production conduit TEPCO à réfléchir sur le niveau global de protection parasismique de son outil de production.

L'impact médiatique des rejets intempestifs –qui sont considérés comme marginaux en termes de conséquences environnementales- a été prépondérant. Ceci a largement occulté le bon fonctionnement global pour cet événement sismique des dispositions de prévention



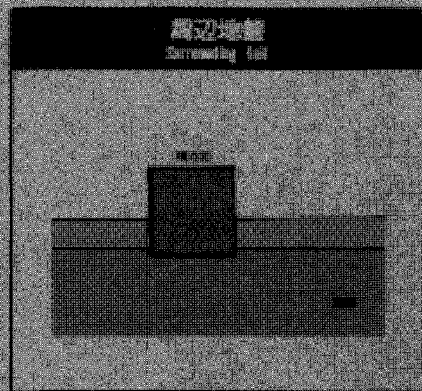
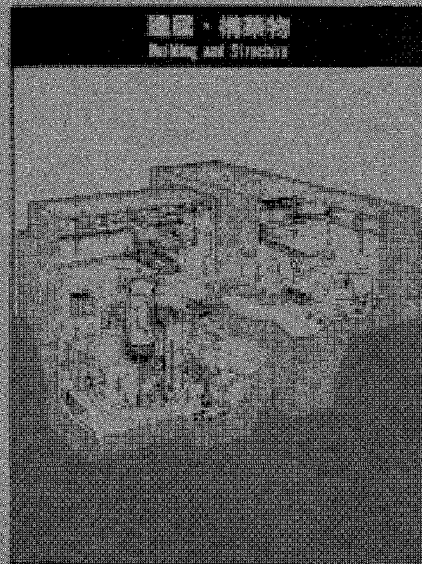
KASHIWAZAKI KARIWA NUCLEAR POWER STATION

設計用地震力の算定

Seismic Force Design of Structures

本所に核発電物の設計を行うためには、地震時の構造物に作用する地震力の算定が必要となります。

高層建物の耐震設計では、構造物と共に周辺地盤もモデル化し、基礎地盤面に集中入力地震動を作用させ、時々刻々変化する構造物の応答を求め、その応答的解析を行っています。これにより得られた地震力を、動的地震力として考慮し取扱う。また、一般構造物で用いている地震力の規格に相当する静的地震力も考慮し、いずれの地震力に対しても、施設の耐震による安全余裕があるように設計を行っています。



地震・周辺地盤を作用モデルの作成

地震調査

地震のモデル化

地震動の解析

地震動のモデル化

2.4 Réseaux et équipements

En complément des paragraphes précédents, l'objet de ce chapitre est de tirer les enseignements de l'examen du comportement des réseaux et équipements courants, relevant du risque normal vis à vis de la réglementation courante en France.

En préambule, il faut préciser qu'il n'a pas été possible de pénétrer significativement à l'intérieur de bâtiments (établissements de catégories 2, 3 ou 4) ce qui n'a pas permis d'analyser en détail le comportement des réseaux et équipements, intégrant les effets induits par la réponse des structures porteuses. Les paragraphes qui suivent synthétisent les observations résultant de l'analyse du comportement des réseaux et équipements extérieurs aux bâtiments.

2.4.1 Cas des appareils de climatisation

Les appareils de climatisation ont une utilisation quasi-généralisée dans tous les types de construction (habitations, écoles, bureaux ...). Cela permet donc de disposer d'un retour d'expérience potentiellement très riche.

La principale cause de dommages observés correspond à des mouvements différentiels affectant les appareils localisés au rez-de-chaussée des bâtiments. Ces appareils sont alors fondés sur le sol qui, compte tenu de ses caractéristiques dans la région de Kashiwazaki (comme illustré dans le chapitre précédent) a subi des déformations irréversibles importantes et a ainsi conduit à des mouvements différentiels souvent inacceptables pour les liaisons de ces équipements au bâtiment (cf. figure 2.50).



Figure 2.50 : Dommage observé sur les climatiseurs extérieurs en rez-de-chaussée [effet des mouvements différentiels]

On peut constater sur la figure précédente que les mouvements différentiels ont été trop importants ce qui a conduit à l'endommagement des liaisons de l'appareil au bâtiment auquel il est connecté.

2.4.2 Cas des tuyauteries

Dans le cas des tuyauteries, on a pu constater que la principale cause de dommage correspond là encore à des mouvements différentiels d'ancrages, induits notamment par des mouvements relatifs sol / structure. Ce type de dommage, illustré par les Figure 2.51 et 2.52, est un dommage très fréquemment constaté sur ce type d'équipement, cf. [AFPS-CT18].

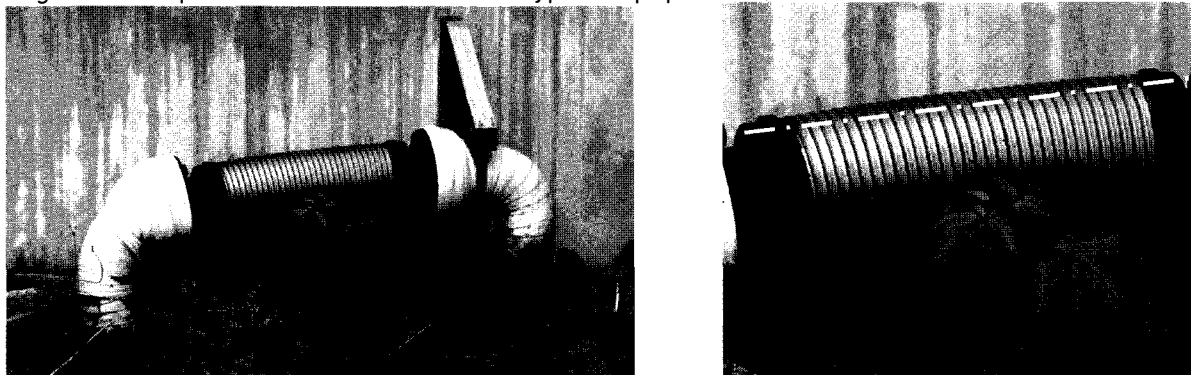


Figure 2.51 : Illustration des mouvements relatifs d'ancrages imposés aux réseaux de tuyauteries du fait des mouvements différentiels sol / structure



Figure 2.52 : Dommages constatés sur des supports de tuyauterie induits par des mouvements différentiels sol / structure et illustration d'une faiblesse de conception (pas de flexibilité) et de maintenance (forte corrosion)

On constate sur la Figure 2.51 que la flexibilité de la tuyauterie lui a permis d'encaisser les mouvements différentiels qui lui ont été imposés alors que les dommages observés sur le réseau de tuyauterie de la 2.52 résultent à la fois d'une faiblesse de conception (absence totale de flexibilité) et d'un défaut de maintenance (caractérisé par une corrosion importante).

2.4.3 Cas des réseaux électriques et postes de transformation

Dans le cas des réseaux électriques qui sont installés en aérien pour la plupart, on a pu observer un comportement d'ensemble plutôt très positif (à l'exception de rares contre-

exemples). Ce comportement globalement très positif, comme illustré sur la Figure 2.53, résulte d'une part d'une moindre sensibilité des réseaux aériens aux mouvements de sol et d'autre part d'une conception et d'une maintenance qui apparaissent comme étant de bonne qualité.

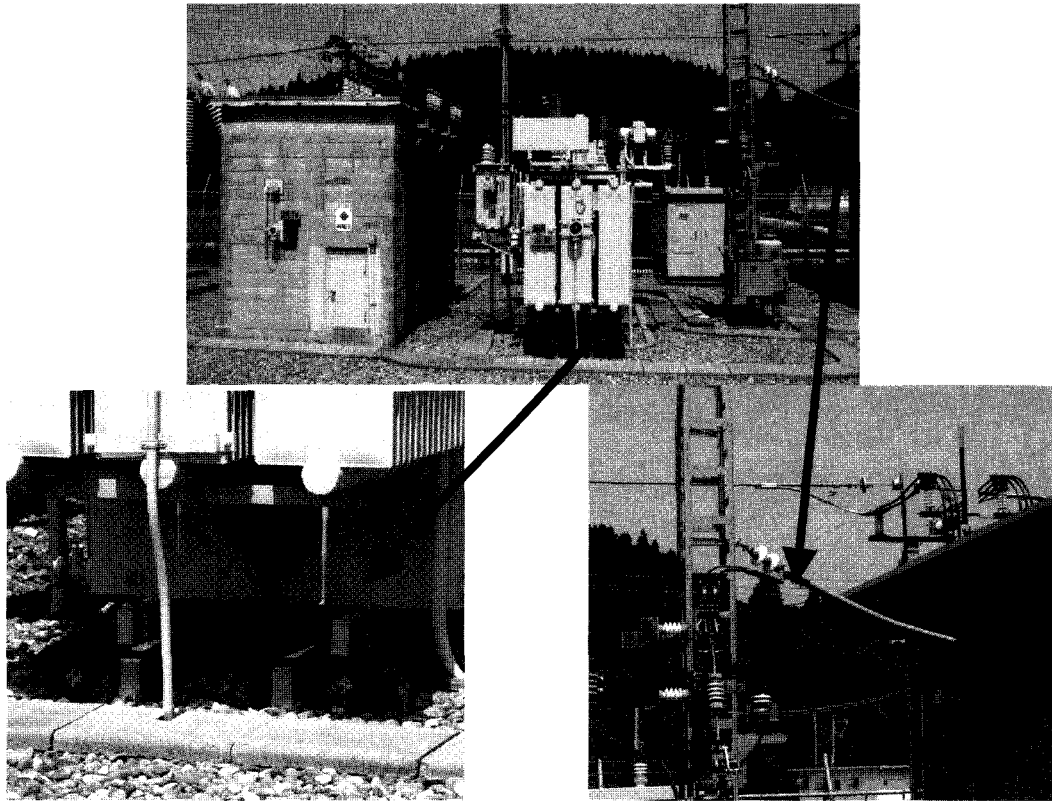


Figure 2.53 : Illustration du comportement globalement très positif des réseaux électriques

La Figure 2.54 illustre un type d'endommagement observé sur certaines lignes aériennes, généralement du fait d'une charge importante et dissymétrique qui est caractéristique des lignes électriques au Japon.

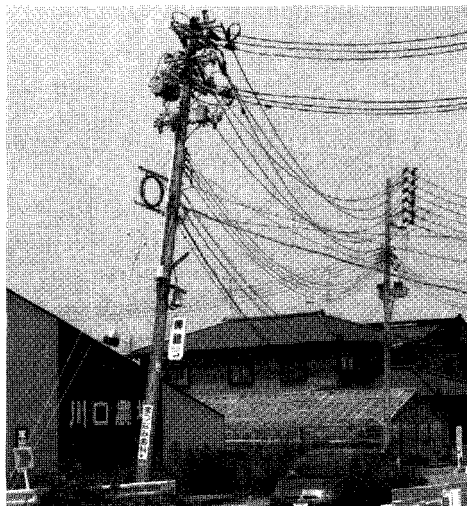


Figure 2.54 : Pylône électrique en équilibre peu stable du fait d'un arrangement des lignes à la fois lourd et dissymétrique

2.4.4 Cas des réseaux enterrés

Le mode d'endommagement prépondérant des réseaux enterrés est le mouvement de sol lié au glissement de terrain, à la liquéfaction, ou aux déplacements différentiels.

Les réseaux enterrés en milieu urbains se caractérisent par leur variété et leur densité, la ville de Kashiwazaki comporte des réseaux d'eau, de gaz, d'égout, d'eau pluviale, d'incendie (le réseau électrique et de télécommunication étant visiblement aériens). Ces réseaux, sont structurés autour de filaires de transport, qui sont complétés en ville par un réseau très dense de distribution, de diamètre décroissant jusqu'au client final.

Les matériaux utilisés sont dépendants de la nature du réseau et de l'époque de sa mise en place (béton, métal, polymère). Ces réseaux sont donc variés et hétérogènes.

De par sa grande variété, une analyse fine des modes de dommages des réseaux est difficile même s'il semble y avoir une prépondérance de cisaillements, arrachements et de déboîtements (du fait de différence de rigidité et de capacité de déplacement différente entre composants de géométrie différente).

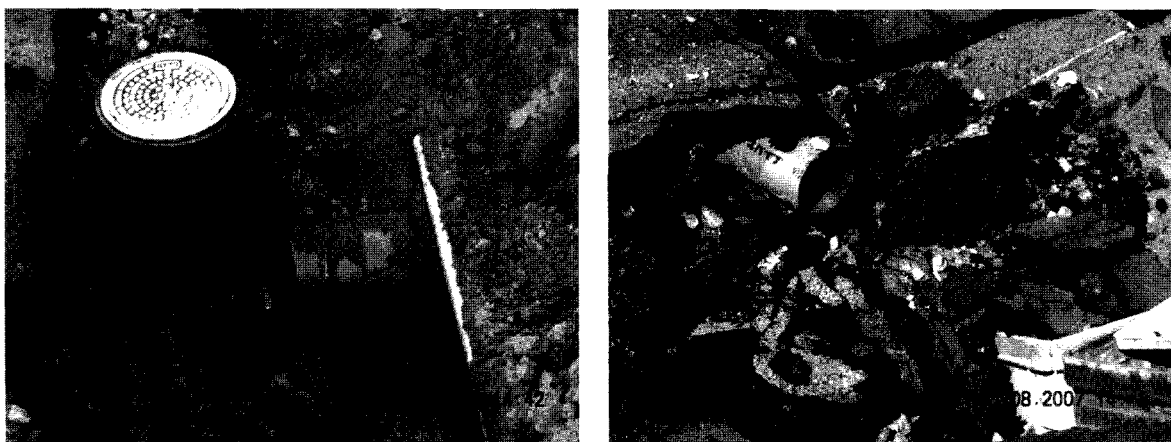


Figure 2.55 : Cisaillement et déboîtement d'un réseau d'eau pluviale d'habitation

Une quantification de la même nature que celle réalisée pour l'habitat n'est pas aisée car les points observables étaient les chantiers en cours. Leur nombre dépend des priorités de remise en service et de la capacité industrielle de réparation. On note toutefois une homogénéité spatiale entre les dégâts sur le bâti traditionnel et la densité des chantiers sur les réseaux.

A noter, le nombre très important de chantiers en cours (plusieurs centaines). Les industriels ont su mobiliser en peu de temps un nombre très important de personnel. Ils sont en mesure de gérer un nombre très important de chantiers dans une zone sinistrée, en assurant la logistique de chaque chantier (pièce de rechange, matériel d'intervention, coordination et logistique pour les équipes d'intervention). Ce point reflète l'existence d'une organisation post-crise particulièrement élaborée et efficace de la part de ces industriels.

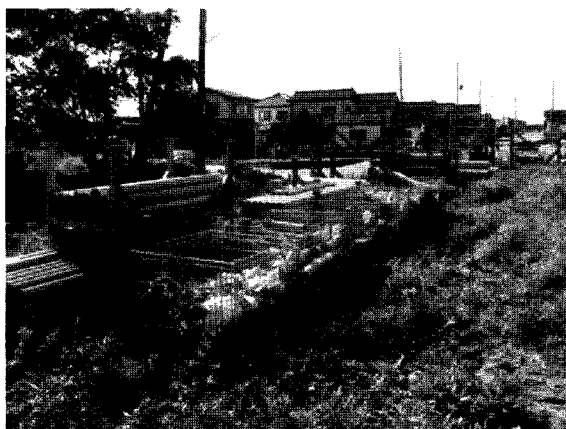


Figure 2.56 : Stock de pièces de rechange, positionné en zone d'intervention.

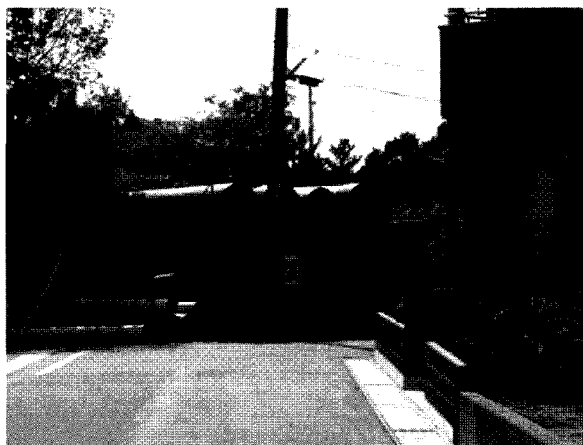


Figure 2.57 : Chantier urbain

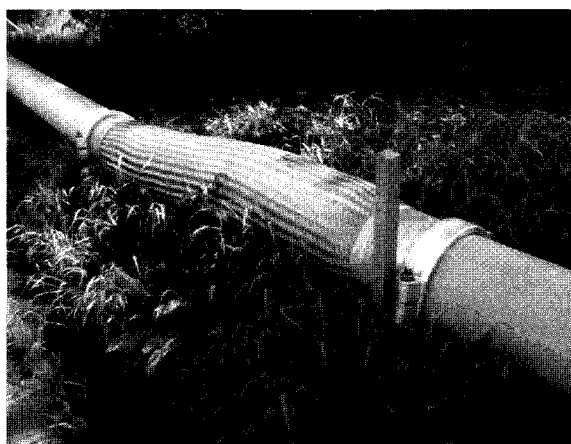


Figure 2.58 : Restauration temporaire de service.

La priorité des interventions était orientée sur la restauration de service.

En complément de ces restaurations, les mouvements de sols sur une telle étendue sont générateurs d'une perte de fiabilité plus globale des réseaux. Passée la phase de remise en service immédiate, les industriels auront à réaliser des travaux complémentaires de remise en conformité.

2.4.5 Conclusions

Les dommages subis par les équipements courants (relevant du risque normal) qui ont pu être examinés (équipements extérieurs, faute d'observation à l'intérieur des bâtiments) ont pour origine principale les mouvements de sol importants qui se sont traduits par des déplacements relatifs sol / structure et ont alors endommagé soit les ancrages des équipements, soit leurs organes de liaisons.

Par ailleurs, un grand nombre d'équipements ont pu subir des dommages du fait d'un manque (voire d'une absence) de maintenance (corrosion très importante dans un nombre important de cas). A contrario, la quasi-totalité des équipements qui se trouvaient dans un bon état de maintenance n'ont subi aucun dégât.

En conclusion, on peut constater que les types de défauts observés ici sont des défauts que l'on peut qualifier de génériques et qui sont transposables au cas d'équipements similaires en France.

Cependant, ces défauts sont généralement très simples à corriger, à la conception ou dans le cadre d'un plan de maintenance (introduction de liaisons flexibles, prévention / lutte contre la corrosion). Dans ce contexte, il faut noter que des visites sur site telles que celles proposées

dans [AFPS-CT28] constituent un moyen très efficace pour se prémunir de ce type de fragilité sismique.

2.4.6 Références bibliographiques associées aux équipements

- | | | | |
|-------------|---|------|--------------|
| [AFPS-CT18] | Analyse du retour d'expérience post-sismique sur les équipements | | |
| | Cahier Technique AFPS | n°18 | mars 2000 |
| [AFPS-CT28] | Guide méthodologique pour la conception, l'installation et le diagnostic des équipements en zone sismique | | |
| | Cahier Technique AFPS | n°28 | juillet 2007 |

Chapitre 3

Chuestu-Oki, 2007

Un séisme de M6.6 à faible profondeur sur la côte ouest du Japon : Comportements des constructions et ouvrages

Ce chapitre est structuré en deux sous-chapitres principaux.

- Le premier décrit les constatations et les analyses effectuées sur les maisons d'habitation individuelles en bois, qui constituent la plus grande partie du parc résidentiel.
- Le deuxième présente les observations effectuées pendant la mission sur les structures plus importantes.

Ont participé à l'écriture de cette partie du rapport AFPS Chuestu-Oki 2007 : Eric Fournely, Sandrine Lermite, Ghislaine Vherriest, et Emmanuel Viallet. Le montage de ce chapitre a été effectué par Eric Fournely

3. Structures

3.1 Modalités de travail

Les zones visitées par l'équipe structure sont présentées sur la carte ci-dessous. Elles concernent des sites touchés par le séisme du 16 juillet 2007 sur la commune de Kashiwazaki ou ses environs. Sur l'ensemble de la zone sinistrée visitée (représentée en rouge sur la Figure 3.1), seul le secteur correspondant aux zones urbanisées situées à proximité du centre de la commune de Kaschiwazaki (secteur en bleu sur la figure) a fait l'objet d'un examen détaillé exposé au sein du présent chapitre.

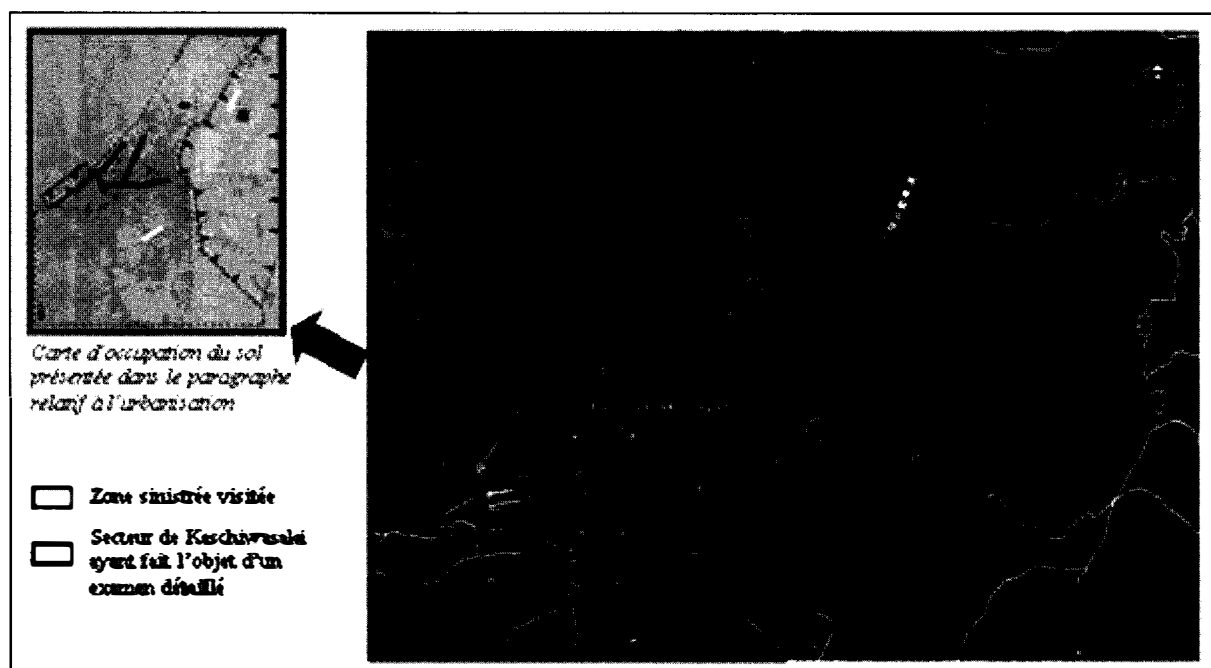


Figure 3.1 : Localisation des zones visitées par l'équipe structure sur le territoire sinistré

Lors de ces observations de terrain, l'équipe structure s'est aussi bien concentrée sur le bâti courant que sur les structures métalliques et les structures en béton armé.

Au delà de l'analyse individuelle des constructions, le groupe a également travaillé sur une vision d'ensemble de la vulnérabilité du territoire et les enseignements tirés du séisme de Niigata en 2004 (voir chapitre 5).

Afin de présenter au mieux la raison de la présence de la mission, malgré la barrière de la langue, et pour faciliter l'accès de l'équipe à l'intérieur des bâtiments, une fiche de prise de contact a été préalablement rédigée en japonais avec l'aide de l'ambassade de France (Figure 3.2). Présentée aux propriétaires (ou gestionnaires) de bâtiments avant même la prise de photo, elle fut d'une aide précieuse.

<p>我々はフランスの耐震専門家グループです。2007年7月16日の 中越沖地震の影響を調査するために参りました。我々の目的は、この度 の地震を調査して、フランスの構造物の耐震性向上に反映することです。 科学的報告書を作成するために、建築物の内外の写真を撮らせて頂きたく 存じます。</p> <p>このような時期に、ご迷惑をおかけしますことは十分に承知しており ますが、何卒ご協力とご支援をお願い申し上げます。</p> <p>皆様のご復旧とをふりよりお祈り申し上げます。</p> <p>フランス耐震技術専門家グループ AFPS</p> <p>Jean François Sidaner 調査部長 中越沖地震対策委員会委員 AFPS Philippe Sabourault 林業工場の専門家 中越沖地震対策 Eric Fourmely 中越沖地震対策委員 建築士 Emmanuel Viallet 中越沖地震対策委員 建築士 Sandrine Lemille 中越沖地震対策委員 建築士 Laurent Foucher 中越沖地震対策委員 建築士 Dona Scotti 中越沖地震対策委員 建築士 Olivier Monge 中越沖地震対策委員 建築士 Ghislaine Verhiest 中越沖地震対策委員 建築士 Florent De Martin 中越沖地震対策委員 建築士 Yoshimitsu Fukushima 中越沖地震対策委員 建築士 Mikaru Matsuki 中越沖地震対策委員 建築士</p>	<p>Bonjour,</p> <p>Nous sommes un groupe d'experts français venus observer les conséquences du séisme de juillet 2007 Notre objectif est de tirer des leçons du comportement des constructions afin d'améliorer la résistance des bâtiments en France. Pour rédiger notre rapport scientifique, nous avons besoin de photos de l'extérieur et de l'intérieur des constructions. Merci pour votre compréhension et de votre aide Nous sommes conscients de vous perturber dans un moment déjà assez difficile. Soyez assurés de notre soutien moral. Nous vous adressons nos encouragements pour l'avenir</p> <p>Sincèrement L'équipe d'experts français</p> <table border="0"> <tr> <td>Jean François Sidaner :</td> <td>Chef de mission, AFPS, AREVA France</td> </tr> <tr> <td>Philippe Sabourault :</td> <td>Spécialiste risque sismique, Ministère Français de l'Ecologie</td> </tr> <tr> <td>Eric Fourmely :</td> <td>Spécialiste structure, Université de Clermont-Ferrand</td> </tr> <tr> <td>Emmanuel Viallet :</td> <td>Spécialiste structure et équipement, Electricité de France</td> </tr> <tr> <td>Sandrine Lemille :</td> <td>Spécialiste structure, Commissariat Energie Atomique</td> </tr> <tr> <td>Laurent Foucher :</td> <td>Spécialiste structure et équipement, Institut de Rado protection et de Sécurité nucléaire, IRSN</td> </tr> <tr> <td>Dona Scotti :</td> <td>Spécialiste aléa sismique, IRSN</td> </tr> <tr> <td>Olivier Monge :</td> <td>Spécialiste mouvements de terrain-liquéfaction, Bureau d'études privé GEOTER</td> </tr> <tr> <td>Ghislaine Verhiest :</td> <td>Spécialiste structure, Bureau d'études public du Ministère Français l'équipement CETE Méditerranée</td> </tr> <tr> <td>Florent De Martin :</td> <td>Spécialiste aléa sismique, établissement public BRGM</td> </tr> <tr> <td>Yoshimitsu Fukushima :</td> <td>Spécialiste aléa sismique</td> </tr> <tr> <td>Mikaru Matsuki :</td> <td>Ambassade de France au Japon</td> </tr> </table>	Jean François Sidaner :	Chef de mission, AFPS, AREVA France	Philippe Sabourault :	Spécialiste risque sismique, Ministère Français de l'Ecologie	Eric Fourmely :	Spécialiste structure, Université de Clermont-Ferrand	Emmanuel Viallet :	Spécialiste structure et équipement, Electricité de France	Sandrine Lemille :	Spécialiste structure, Commissariat Energie Atomique	Laurent Foucher :	Spécialiste structure et équipement, Institut de Rado protection et de Sécurité nucléaire, IRSN	Dona Scotti :	Spécialiste aléa sismique, IRSN	Olivier Monge :	Spécialiste mouvements de terrain-liquéfaction, Bureau d'études privé GEOTER	Ghislaine Verhiest :	Spécialiste structure, Bureau d'études public du Ministère Français l'équipement CETE Méditerranée	Florent De Martin :	Spécialiste aléa sismique, établissement public BRGM	Yoshimitsu Fukushima :	Spécialiste aléa sismique	Mikaru Matsuki :	Ambassade de France au Japon
Jean François Sidaner :	Chef de mission, AFPS, AREVA France																								
Philippe Sabourault :	Spécialiste risque sismique, Ministère Français de l'Ecologie																								
Eric Fourmely :	Spécialiste structure, Université de Clermont-Ferrand																								
Emmanuel Viallet :	Spécialiste structure et équipement, Electricité de France																								
Sandrine Lemille :	Spécialiste structure, Commissariat Energie Atomique																								
Laurent Foucher :	Spécialiste structure et équipement, Institut de Rado protection et de Sécurité nucléaire, IRSN																								
Dona Scotti :	Spécialiste aléa sismique, IRSN																								
Olivier Monge :	Spécialiste mouvements de terrain-liquéfaction, Bureau d'études privé GEOTER																								
Ghislaine Verhiest :	Spécialiste structure, Bureau d'études public du Ministère Français l'équipement CETE Méditerranée																								
Florent De Martin :	Spécialiste aléa sismique, établissement public BRGM																								
Yoshimitsu Fukushima :	Spécialiste aléa sismique																								
Mikaru Matsuki :	Ambassade de France au Japon																								

Figure 3.2 : Fiche de présentation de la démarche aux personnes rencontrées
(Versions japonaise et française)

Concernant le choix des constructions observées, le groupe s'est attaché à examiner l'ensemble des types (constructifs et fonctionnels) d'ouvrages présents sur le territoire, et à s'attarder à la fois sur des structures endommagées et sur celles ne présentant pas de dommages apparents. Des chantiers, riches en enseignement concernant l'intégration des événements passés dans les pratiques de construction, ont également été visités.

L'espace urbanisé a enfin été considéré dans son ensemble en appréhendant les différents zones de construction homogène (en terme d'ancienneté des constructions, de typologie de structure et de fonctionnalité), la répartition des dommages sur le territoire bâti et les interactions entre enjeux.

Les enseignements tirés des observations de l'équipe structure sont présentés dans les paragraphes suivants et dans le chapitre 5. Les structures ont été scindées en deux catégories, le bâti courant (maisons individuelles annexes, petits collectifs temples...) et les ouvrages plus importants (bâtiments de R+2 à R+14).

3.2 Bâti courant

3.2.1 Urbanisation

3.2.1.1 Description de l'urbanisation

La commune de Kashiwazaki est une ville de taille moyenne située en bord de mer sur la côte Nord-Ouest du Japon, dans une zone globalement rurale de la préfecture de Niigata. Comme bien souvent observé sur des communes côtières, son urbanisation ancienne semble avoir pris naissance sur les secteurs côtiers. Elle se développe actuellement majoritairement vers le Nord et vers l'Est.

La Figure 3.3 illustre l'implantation des différentes zones d'urbanisme sur Kashiwazaki. Du point de vue de l'occupation du sol, on distingue :

- deux zones d'activités ; l'une à l'entrée Nord-Est de la commune et l'autre sur l'axe Sud Est permettant de rejoindre l'hôpital principal de la commune depuis le centre ville ;
- des zones d'habitat individuel (R et R+1 essentiellement) en tissu urbain dense dans le centre ville ancien et de plus en plus dispersé lorsque l'on s'éloigne vers le Nord et l'Est dans les zones d'urbanisation récente ;
- des secteurs d'habitat collectif vers le Nord et à l'Est de la commune à proximité du quartier de la gare ;
- des zones commerçantes le long des axes structurants du centre ville présentant des commerces et de l'artisanat en rez-de-chaussée des constructions ;
- une zone portuaire au Sud-Ouest de la commune ;
- une zone d'équipements publics (piscine, collège, gymnase...) le long et à proximité de la voie de communication longeant la côte,
- des zones industrielles (centrale nucléaire, incinérateur, stockage de GPL...) au Nord et au Nord-Est de la commune ;
- des zones agricoles.

Les deux cours d'eau (sud et nord) présents sur la commune ont eu une influence notable sur l'urbanisation, le centre ancien s'étant développé surtout autour du cours d'eau sud, et plus particulièrement en direction du nord. Il est à noter qu'au début du XX^{ème} siècle le tracé du cours d'eau nord a été modifié. Outre l'impact sur le développement du tissu urbain, les sols en place de l'ancien tracé présentent certainement des propriétés de sols meubles sédimentaires sujettes à effets de site (voir chapitre 1).

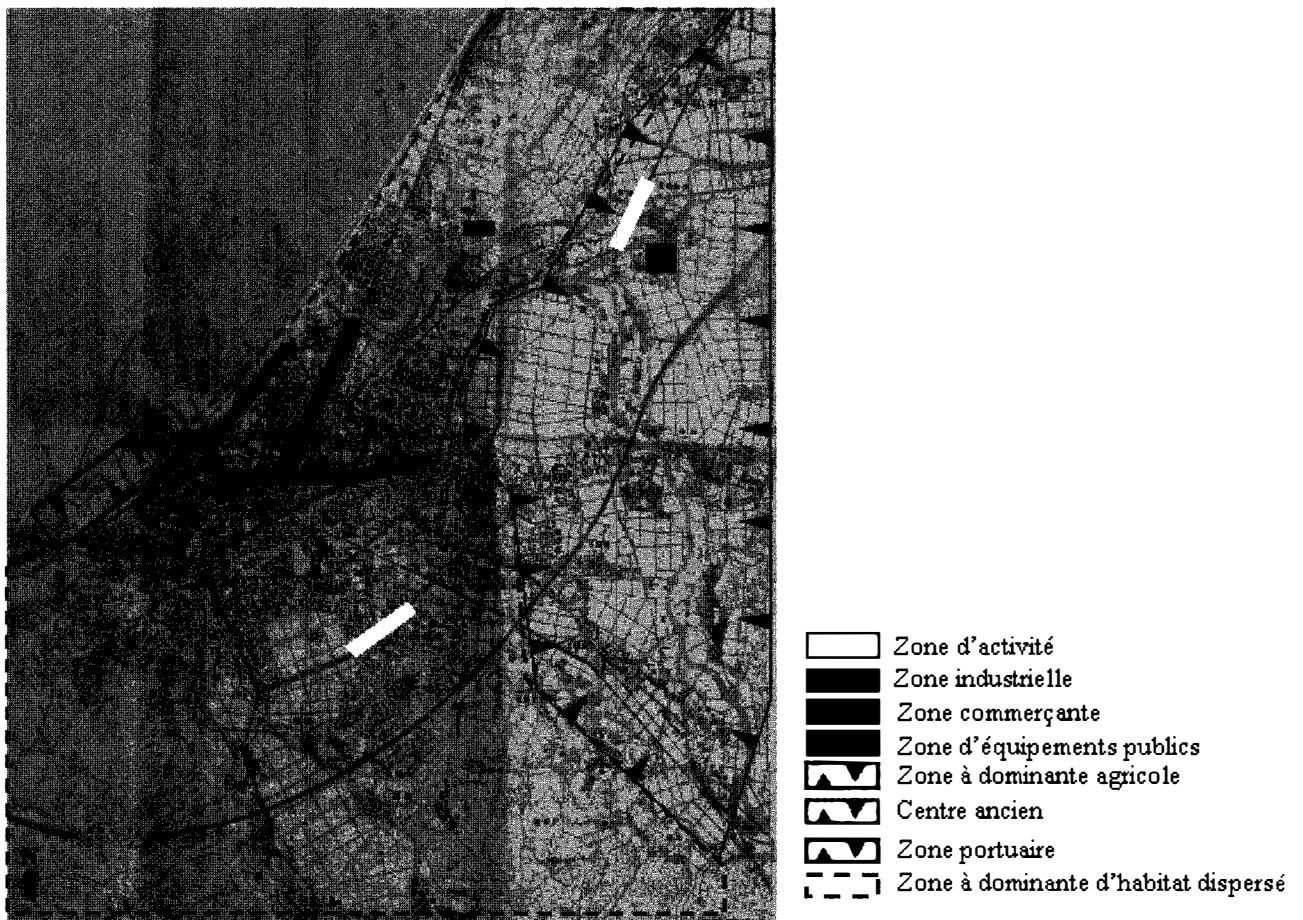


Figure 3.3 : Occupation du sol sur la commune de Kashiwazaki

Dans les zones d'activités, les constructions rencontrées présentent essentiellement des structures métalliques ou en béton armé. Les structures en béton armé sont prédominantes au sein des équipements publics. Enfin, si le bâti individuel ancien est caractérisé essentiellement par des structures bois, l'habitat récent et collectif laisse place à des structures en béton armé ou mixtes bois-béton armé. Il est à noter que les structures en maçonnerie sont quasiment inexistantes.

Du point de vue des infrastructures de transports, on peut noter le port et ses équipements, les voies ferrées et la gare ainsi que les voies de communication routières et les ponts associés (voir chapitre 2).

3.2.1.2 Prise en compte du risque sismique dans l'urbanisme

Du point de vue de la prise en compte du risque sismique dans l'urbanisation du territoire, il est à noter que, s'il existe un règlement relatif à l'occupation du sol, celui-ci est restreint au centre ville et se limite à des règles s'appuyant sur des critères architecturaux et fonctionnels concernant les bâtiments. Il n'existe pas sur la commune de zones d'interdiction de construire ou de zones associées à des règles de construction spécifiques au risque sismique.

On peut noter cependant une certaine anticipation des séismes dans l'occupation de sol, dans la mesure où des zones de mise à l'abri des populations, des sites d'hébergement temporaire et des lieux stockage de décombres (voir chapitre 4) ont été pré-identifiés par la commune et ont été mobilisés efficacement suite au séisme du 16 juillet 2007.

Il existe des règles de construction parasismique au Japon depuis plusieurs décennies. Cependant, selon la mairie de Kashiwazaki interrogée à ce sujet, le contrôle de l'application de ces règles est limité et peu efficace. Ce contrôle est à la charge des mairies, mais elles auraient à l'avenir la possibilité de le sous-traiter à des organismes privés habilités. Dans les faits, l'application des règles de construction parasismique semble disparate, surtout en zone rurale et en fonction de l'usage et de la date de construction des bâtiments. Leur application paraît nettement plus satisfaisante pour les ouvrages spécifiques (stratégiques ou sensibles) tels que les hôpitaux ou encore les écoles, mais assez inégale pour les constructions à usage d'habitation individuelle. Les observations de terrain suscitent également quelques interrogations sur la prise en compte de ces règles dans les établissements industriels anciens (voir chapitre 2).

Les dégâts subis par les constructions témoignent également d'une faible intégration des particularités géotechniques locales (effets de site et effets induits tels que la liquéfaction) dans les projets courants, à l'exception du bâti récent et plus particulièrement des établissements recevant du public. La plupart des ouvrages de faible hauteur ne possédait pas de fondations les protégeant contre les mouvements des terrains superficiels. Les observations de terrain montrent enfin les problèmes classiques des effets indirects inter-enjeux à savoir : bâtiment/bâtiment, bâtiment/voie de circulation, dans un contexte de déplacements sismiques importants.

Sur la commune de Kashiwazaki, l'urbanisme résultant de l'évolution historique de la ville ne peut donc être qualifié de parasismique. L'urbanisation relativement ancienne de cette commune peut expliquer ce constat. Par ailleurs, le faible taux de renouvellement urbain limite la visibilité d'une évolution possible vers un urbanisme parasismique même si quelques bonnes pratiques sont mises en évidence. Le cas de cette commune ne peut cependant pas être extrapolé à l'ensemble du Japon. Sur ce point, l'analyse de terrain, menée par l'équipe structure, concernant le retour d'expérience d'un séisme récent - Niigata Ken Chetsu en 2004 - montre une évolution positive des aménageurs locaux vers un urbanisme parasismique (voir chapitre 5).

Typologie du bâti courant

3.2.1.3 Typologie des maisons individuelles

Caractéristiques architecturales

Le résidentiel courant au Japon et plus particulièrement dans Kashiwazaki et sa région est composé de maisons individuelles sur deux ou trois niveaux. Pour une maison à trois niveaux, le rez-de-chaussée correspond très souvent à un étage de garages et locaux techniques, avec une façade présentant de larges ouvertures pour les accès. Quand il n'existe pas de garage au rez-de-chaussée, une structure annexe placée, le plus souvent, à l'avant de la maison assure un abri pour un ou deux véhicules. Les façades sur la totalité de leur hauteur ou sur les « niveaux de vie » sont recouvertes d'un parement, qui peut être synthétique, métallique, ou bois... Cette typologie se décline de manières quelque peu différentes en milieu urbain et péri urbain ou rural. Les Figures 3.4 et 3.5 proposent une illustration de ce bâti courant. En campagne, les maisons sont en général sur deux niveaux, avec un bâtiment annexe faisant office de garage, atelier, serre... devant ou à côté de la maison principale. Les maisons présentent fréquemment plusieurs avancées. Les surfaces au sol en milieu urbain sont de 50 à 80 m² sur un niveau et demi à deux niveaux de vie, associés à des locaux annexes de 30 à 50 m². En milieu périurbain, la surface au sol des maisons varie de 50 à 120 m² sur deux niveaux de vie avec des locaux annexe de 50 à 80 m². Les toitures sont le plus souvent en tuiles en terre cuite lourdes, ouvragées, fixées sur la charpente par des fils en acier doux.

Caractéristiques structurales

Il est relativement difficile d'apprécier la nature de la structure qui compose les murs. Les parements cachent cette dernière. Les maisons d'habitation ont souvent un premier niveau maçonné ou en béton armé banché. Dans certains cas, il s'agit d'un soubassement (vide sanitaire) ou un demi-étage. Les fondations sont à priori superficielles. Les murs sont souvent en structure légère porteuse ou non. Pour les habitations récentes, on trouve majoritairement des ossatures bois triangulées avec parement non contreventant. Dans un certain nombre de cas, on trouve également des structures métalliques (trois portiques avec des poteaux tubulaires et traverses en I) et une ossature bois non contreventée avec parements extérieurs divers. Certaines structures associent acier et bois, traverses en acier en double U moisé et poteaux en bois par exemple. Les Figures 3.6 et 3.7 donnent des exemples de composition des murs des maisons anciennes, récentes et celle des annexes. Les vieilles maisons traditionnelles ont la même structure que celle des temples.

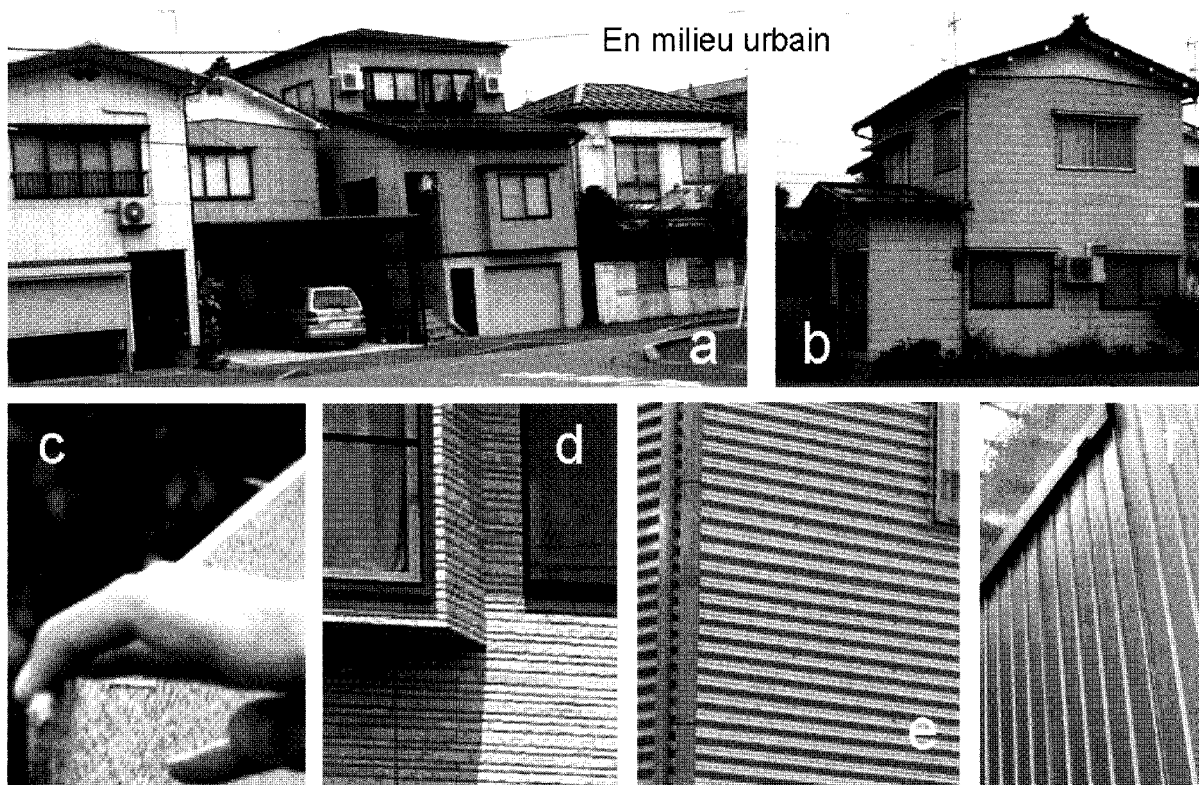


Figure 3.4 : Bâti courant en zone urbaine, configuration générale et parements
a), b) allures générales, c), d), e), f) détails de parements

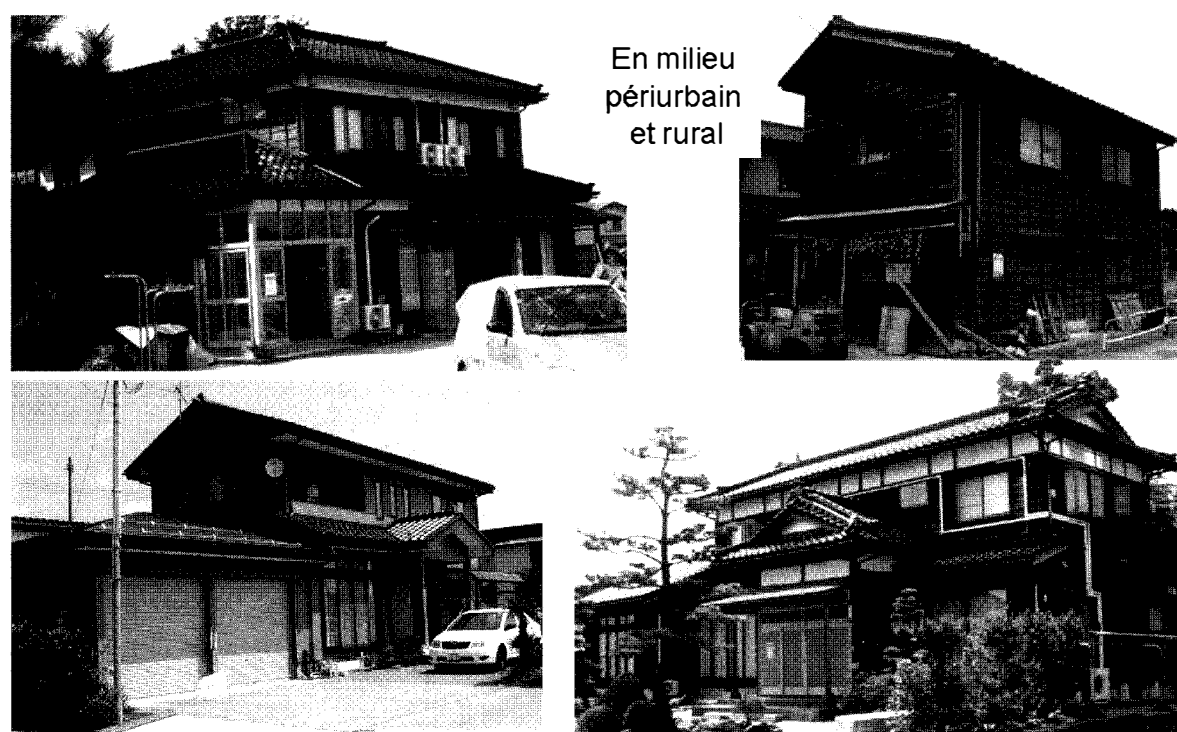


Figure 3.5 : Bâti courant en zone péri urbaine et rurale

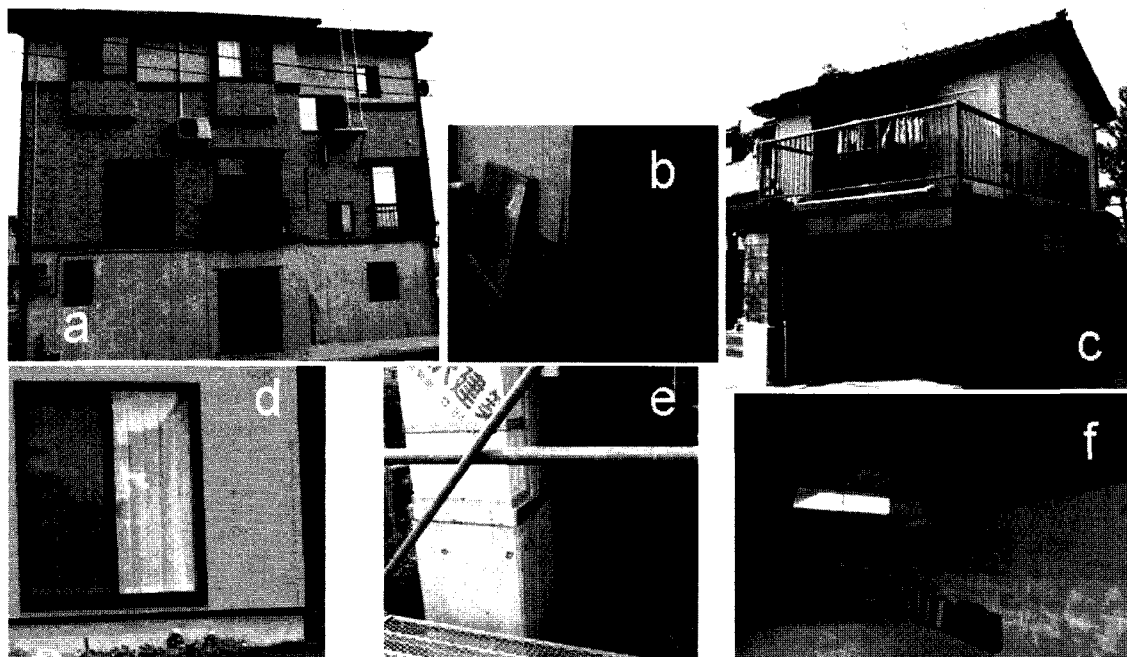


Figure 3.6 : Structures des murs des maisons d'habitation

- a) sous-sol BA, étage ossature bois
- b) ossature bois sur vide sanitaire maçonné
- c) ossature bois sur sous-sol maçonné
- d) ossature bois sur soubassement BA
- e) ossature acier avec soubassement BA et mur bois non porteurs
- f) ossature bois sur 1/2 étage maçonné

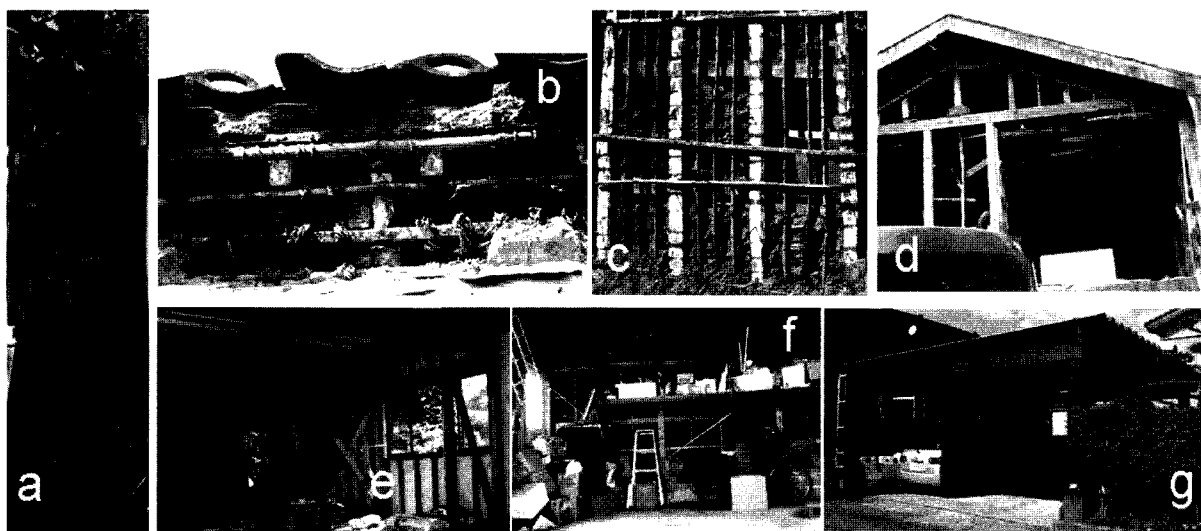


Figure 3.7 : Structures des murs de l'habitat ancien et des bâtiments annexes

- a), b), c) différents murs traditionnels avec une « armature » à base de bambou,
- d) structure d'une maison traditionnelle (Market street)
- e), f) g) différentes structures de bâtiments annexes (e) poteaux & triangulation bois traverses moisées en acier, f) bois triangulé, g) acier, structure de récupération)

3.2.1.4 Typologie des temples japonais

Les temples sont nombreux dans Kashiwazaki, comme partout au Japon. La Figure 3.8 présente des vues d'ensemble et de détails du grand temple du centre de Kashiwazaki et d'un petit temple en construction dans la banlieue Est. Les temples traditionnels sont en structure bois composées d'éléments verticaux, horizontaux stabilisés par des encastremements semi rigides réalisés par emboitements multiples de pièces bois à débit complexe et précis. Le contreventement est complété par le remplissage de certains pans de charpente par des murs en torchis « armé » avec des grilles à base de bambou. Parmi les temples construits ou reconstruits plus récemment (nombreux petits temples), on trouve des palées de stabilité malgré la tradition shintoïste qui les bannit. Ces palées sont cachées par des panneaux par la suite. Kashiwazaki possède également un grand temple en béton armé.



Figure 3.8 : Structure bois traditionnelles des temples et variante récente avec triangulation
a) grand temple traditionnel de Kashiwazaki, c) détails des murs latéraux non contreventés,
d) détails d'assemblages poteau-poutre traditionnels, b) Petit temple en construction,
e) détail du plancher et de ses supports, f) détails de la charpente,

3.2.1.5 Etat et entretien des structures et des liaisons

Malgré une apparence correcte des structures, le séisme a révélé des lacunes d'entretien soit par négligence, soit par ignorance. Sur la Figure 3.9-a, la structure métallique porteuse de l'auvent-terrace (malgré une protection initiale) s'est oxydée dans l'espace du « plenum » probablement mal ventilé et très humide. Pour les structures en bois, la secousse sismique a également mis en évidence des manques d'entretien ou des erreurs de protection des structures ou des leurs assemblages. La Figure 3.9-b montre l'exemple d'un bâtiment à ossature bois dont un pied de poteau (coté gauche) a souffert, avant le séisme, des effets d'une humidité excessive due à une malfaçon suite à un remblaiement en extérieur de parement. La création de cette zone humide a accéléré le pourrissement de la structure bois non apparente.

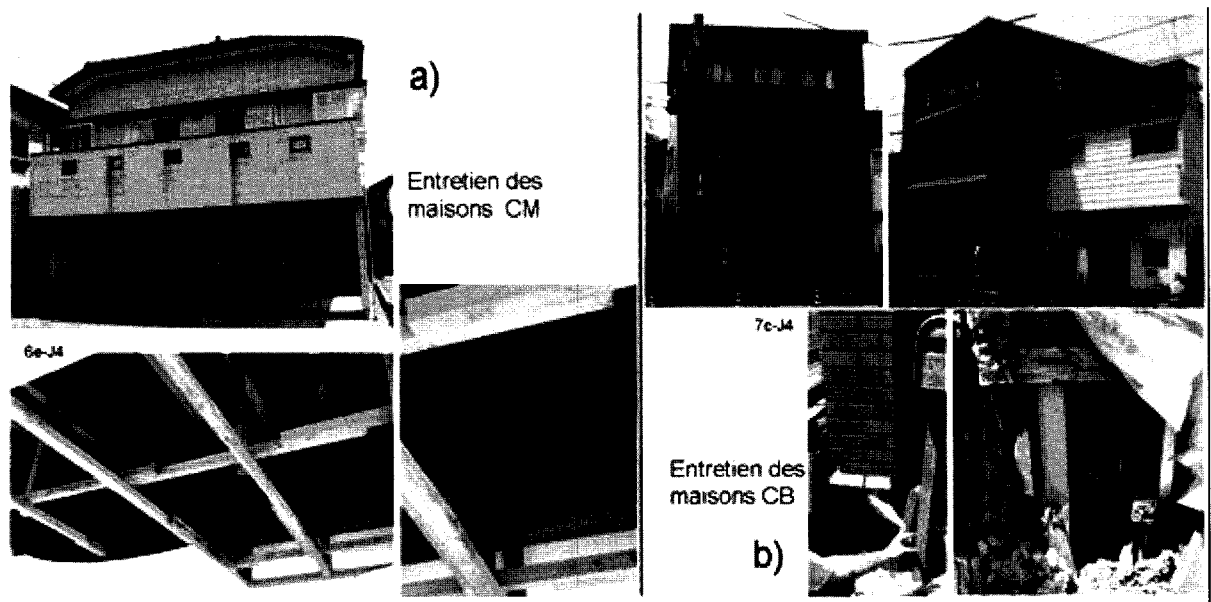


Figure 3.9 : Défauts d'entretien et [ou] de protection de maisons en acier ou en bois

3.2.1.6 Estimation des caractéristiques mécaniques du bâti courant

Les maisons individuelles observées dans la région de Kashiwazaki présentent des structures variées : structures en bois, structures en acier, structures mixtes. Les planchers sont le plus souvent des planchers légers. Les murs sont également légers et les toitures sont soit lourdes (tuiles en terre cuite) soit légères (bac acier...). Le nombre d'étages varie généralement entre 2 et 3 et dans le cas de maisons à trois étages, le rez-de-chaussée correspond souvent à un étage « rigide » en béton armé (si la façade avec portes de garage est correctement contreventée). A partir de ce constat, on peut établir une évaluation des bornes de variations des masses et rigidités de ces bâtiments afin de définir l'étendue du domaine de variations de fréquences ou périodes propres du premier mode vibration de ces structures. Pour les maisons de conception récente, le domaine de variation de la fréquence du premier mode peut être évalué entre 1 et 1,5 Hz pour une structure de deux étages. Pour les structures traditionnelles avec contreventement par remplissage, l'évaluation des caractéristiques physiques et mécaniques est plus délicate ; on peut cependant se baser sur une fréquence propre initialement du même ordre de grandeur, sensiblement plus faible (maison plus basse, rigidité un peu plus faible, densité des murs extérieurs un peu plus élevée). Par contre, cette rigidité décroît rapidement après un début d'endommagement du remplissage, donc une décroissance rapide de la fréquence propre ou une augmentation de la période propre.

3.2.2 Description et analyse des endommagements

3.2.2.1 Approche globale

Les niveaux d'endommagement ne sont pas tous facilement détectables. Les ruines complètes ou les affichages de décision de destruction (affiches rouges) sont elles beaucoup plus facilement identifiables. Les maisons individuelles alimentent très largement cette catégorie. Un grand nombre de maisons sont en bois et de nombreuses maisons en structure bois ont subi de lourds dommages. Dans ces maisons ont trouve essentiellement des constructions anciennes, traditionnelles telles que décrites précédemment, mais aussi des maisons avec des ossatures triangulées construites il y a quelques décennies. On trouve également des maisons beaucoup plus récentes.

Les dommages ont de nombreuses origines :

- Sols de fondation, fondations et défauts d'ancrage avec les fondations

Des sols de fondation se sont liquéfiés, notamment dans les zones à proximité des deux cours d'eau, zones largement urbanisées, Figures 3.10, 3.13c, (3.6b). Les fondations sont à priori superficielles. Les murs des vides sanitaires supportant la superstructure sont en maçonnerie de mauvaise qualité (insuffisance et qualité médiocre du mortier, absence d'armatures et chaînage, joints non croisés conduisant à des effets de sabre, joints mal remplis...) et ne présentent aucune résistance aux efforts horizontaux (Figure 3.10). Ils se sont parfois disloqués sous l'action sismique amplifiant ainsi les dommages à la superstructure. Cet ensemble fondation-soubassement maçonné n'a pas permis de limiter les tassements différentiels apparus sur nombre de sols mous sur la commune de Kashiwazaki. Les fondations associées à un réseau de murs de soubassement en béton armé se sont beaucoup mieux comportés.

Les constructions traditionnelles à ossature bois sont souvent faiblement ancrées aux fondations et soubassements qui les supportent. Ainsi des arrachements et glissements de la superstructure sont observés et ont pu être dans de nombreux cas à l'origine de l'effondrement total et partiel des bâtiments (Figure s3.14 b et c).

Le bois s'accommode mal des variations hygrométriques et de l'humidité ambiante permanente sans précaution particulière. Aussi, le manque d'entretien et des erreurs de construction, telles que la mise au contact direct de la superstructure en bois avec le sol, fragilisent la structure et sont à l'origine de dommages importants. La Figure 3.12 (cf. également Figure 3.9-b) illustre cet aspect. La dégradation importante des poteaux d'angle en bois par l'humidité au niveau du sol a fragilisé le bâtiment. Ce bâtiment a également subi d'une torsion d'ensemble d'axe vertical liée au percement de grande dimension effectué en façade du niveau bas, créant une dissymétrie de la rigidité du bâtiment.





b)

Figure 3.10 : Ruine des murs de soubassement, bâtiments annexes et maison individuelle



Figure 3.11 : Dommages dus à une toiture lourde et à un rez-de-chaussée insuffisamment contreventé

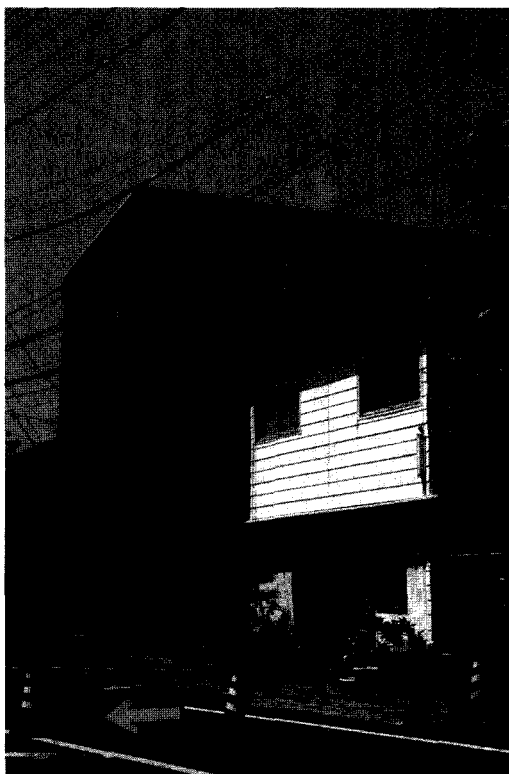


Figure 3.12 : Torsion d'un bâtiment en bois due à l'affaiblissement du niveau bas par une large ouverture et à la dégradation par l'humidité des poteaux d'angle en bois

- Excentricités structurales au rez-de-chaussée, rez-de-chaussée plus souples et moins résistants

La Figure 3.12 illustre l'influence d'une excentricité structurale engendrant des torsions significatives. Certains dommages sont liés à la différence sensible de rigidité entre le niveau bas et les niveaux supérieurs des bâtiments. Le niveau bas constitue alors un niveau souple dont les déformations importantes, plus élevées de celles des niveaux hauts, conduisent à un effondrement total ou partiel du dit « niveau souple », sans dislocation des étages supérieurs. Si ce type de dommage est rencontré sur des ouvrages ayant fait l'objet d'une mauvaise conception architecturale à l'origine, on le met également en évidence dans le cas de modification de structure non conçues pour accueillir une surélévation. Les Figures 3.11, 3.13 fournissent des exemples de ces étages souples. La Figure 3.15c donne un exemple pour un bâtiment plus conséquent. Une illustration particulière de ce type de défaut sur des extensions est donnée pour deux exemples spécifiques traités dans le prochain paragraphe.

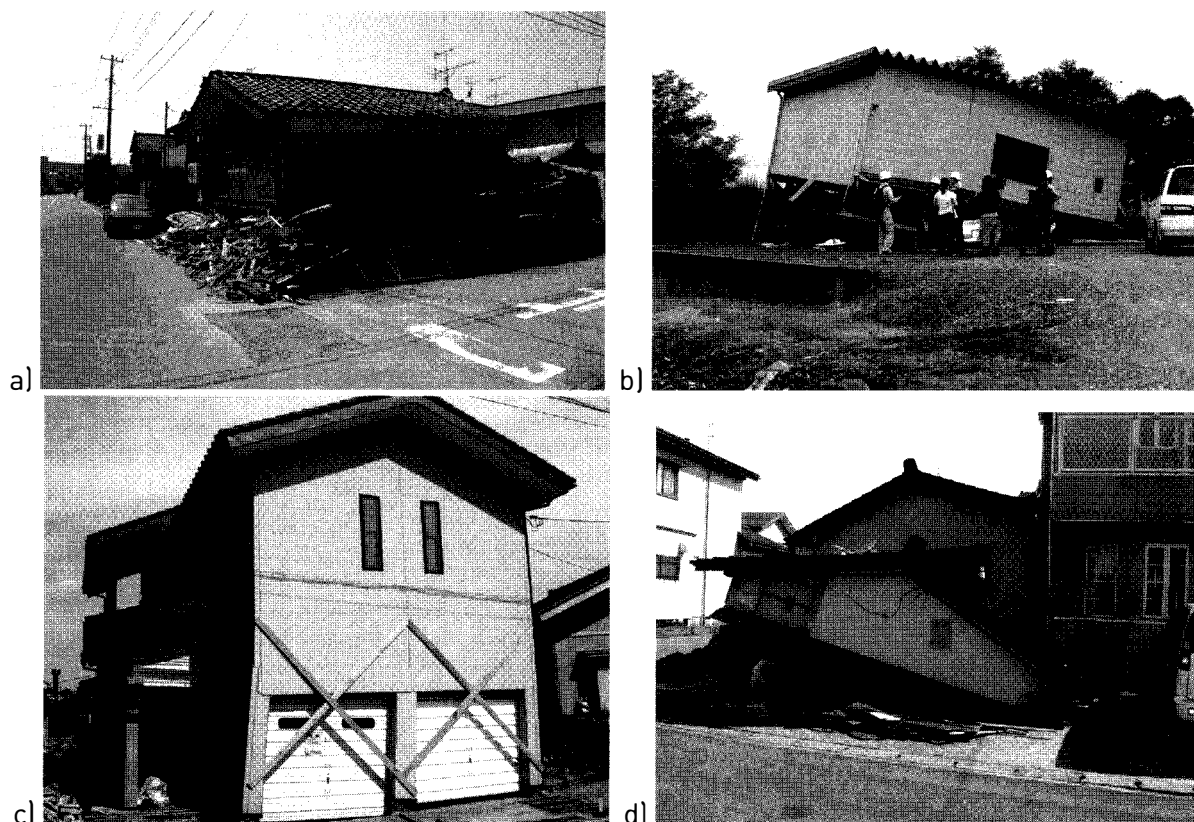


Figure 3.13 : Ruine du niveau souple

- Résistance insuffisante des contreventements

Les maisons traditionnelles sont contreventées par des panneaux d'argile armé d'une grille de bambous ou de bambous et de cordes végétales de faible résistance (Figures 3.7abc et 3.8c) et incapables de conférer au bâtiment le comportement d'un ensemble rigide. Aussi, bien des dommages observés témoignent d'un contreventement insuffisant pourtant essentiel à la résistance des constructions à ossature bois sous séisme (Figures 3.14 et 3.15). Les assemblages des éléments structuraux, de nature semi-rigide et de faible ductilité, semblent s'être détériorés ou s'être rompus dans certains cas lors des secousses et ont vraisemblablement contribué ainsi aux déformations importantes des ossatures, entraînant des dommages aux éléments structuraux, cf. Figure 3.8 d.

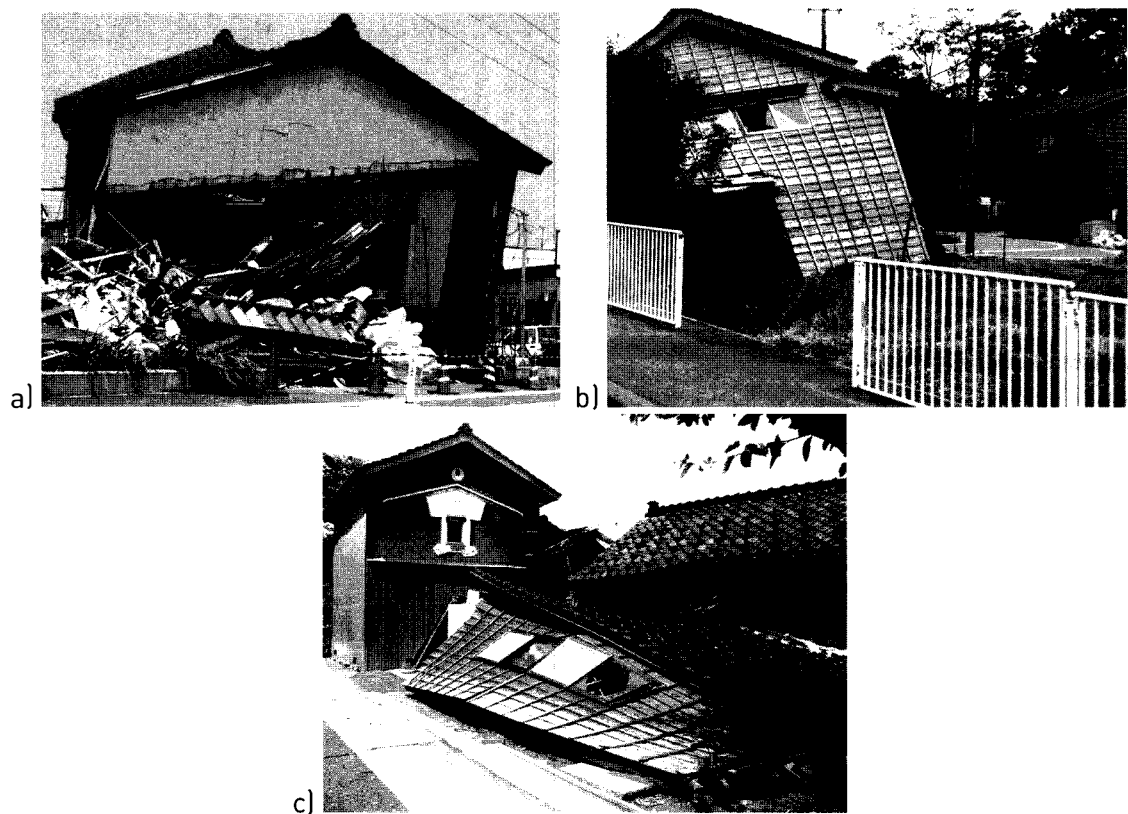


Figure 3.14 : Ruine de structures par manque de contreventement des constructions

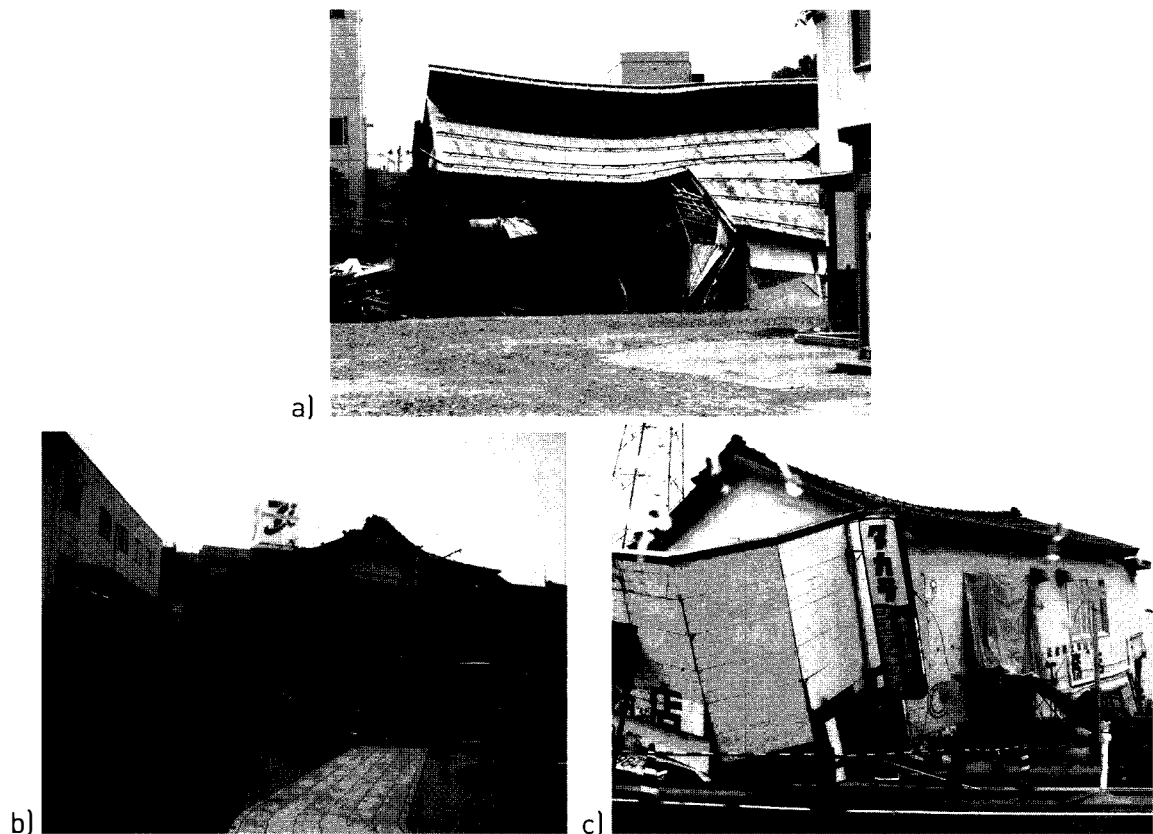


Figure 3.15 : Dommages liés au manque de contreventement pour des constructions plus importantes, atelier en centre ville, grand temple, bâtiment d'activités

Les oscillations horizontales ont entraîné sur certaines habitations l'éclatement des vitrages constitués de verre courant (Figure 3.16).



Figure 3.16 : Bris de vitre

Les constructions en bois présentent la plupart du temps des façades légères en bois couplées à l'ossature. Ce type de parement supporte mal des déformations différentielles. Aussi, les déplacements horizontaux ou verticaux des structures ont occasionné sur divers bâtiments des effondrements totaux ou partiels des façades légères (Figures 3.17).



Figures 3.17 : Dommages aux parements en bois des façades

- Toitures lourdes

De nombreuses toitures lourdes en tuile ont entraîné la ruine de la structure porteuse par effet de masse excessive, Figures 3.11, 3.13a et 3.14c. Des pans de toiture, chevrons, litage et tuiles se sont également décrochés, notamment sur des bâtiments annexes, Figure 3.18.



Figure 3.18 : Défaillance de la liaison entre un pan de toiture et la charpente

La masse conséquente des toitures lourdes conduit sous séisme à des déplacements importants de la partie supérieure de l'ossature auxquels le système flexible des éléments porteurs verticaux ne peut résister (Figure 3.19).



Figure 3.19 : Dommages liés au manque de contreventement et à la présence de toitures lourdes

- **Manque de fixation des tuiles lourdes au niveau de la couverture**

La couverture des habitations anciennes est constituée de tuiles lourdes en terre cuite fixées à la charpente en un point à l'aide de fils métalliques. Le manque de solidarisation de la couverture à la charpente a été dans de nombreux cas à l'origine de chutes de tuiles (Figures 3.20).



Figure 3.20 : Chutes de tuiles

3.2.2.2 Exemples d'analyse

Deux exemples de dommages importants à des constructions récentes en bois sont analysés plus précisément. Ces deux exemples correspondent à des extensions érigées devant une maison existante servant de garage au rez-de-chaussée et d'habitation à l'étage.

Exemple 1

Cette construction carrée d'environ 50 m² est implantée à proximité de la rivière nord de Kashiwazaki, à proximité de l'incinérateur ayant subi des dommages au niveau de sa cheminée. La Figure 3.21 précise la position de cette construction et la situe par rapport à d'autres maisons individuelles endommagées ou non. La construction est récente, elle correspond probablement à la transformation d'une zone de parking privé en rez-de-chaussée à fonction de garage et à un étage de pièces nouvelles, extension de la maison se situant à l'arrière. L'étage et la toiture ont bien résisté. Ses éléments structuraux sont restés en bon état et cette partie supérieure de la construction a conservé son intégrité.

- La couverture en tuile est enlevée au moment des photos. La toiture à quatre pans est traditionnelle avec de grosses poutre-entraits en bois rond, des potelets et traverses supports des chevrons. La charpente est recouverte de volige qui lui donne une rigidité des plans de toiture. Les poutres horizontales sont correctement ancrées les unes aux autres.
- Les murs de l'étage sont correctement contreventés. Les poteaux d'angles, Les lisses basses et hautes, et les montants de palées de stabilité présentent des sections suffisantes.
- Le plancher de l'étage intègre un diaphragme en contreplaqué recouvert d'une chape qui constitue un diaphragme horizontal rigide.

La Figure 3.22 illustre ces observations.

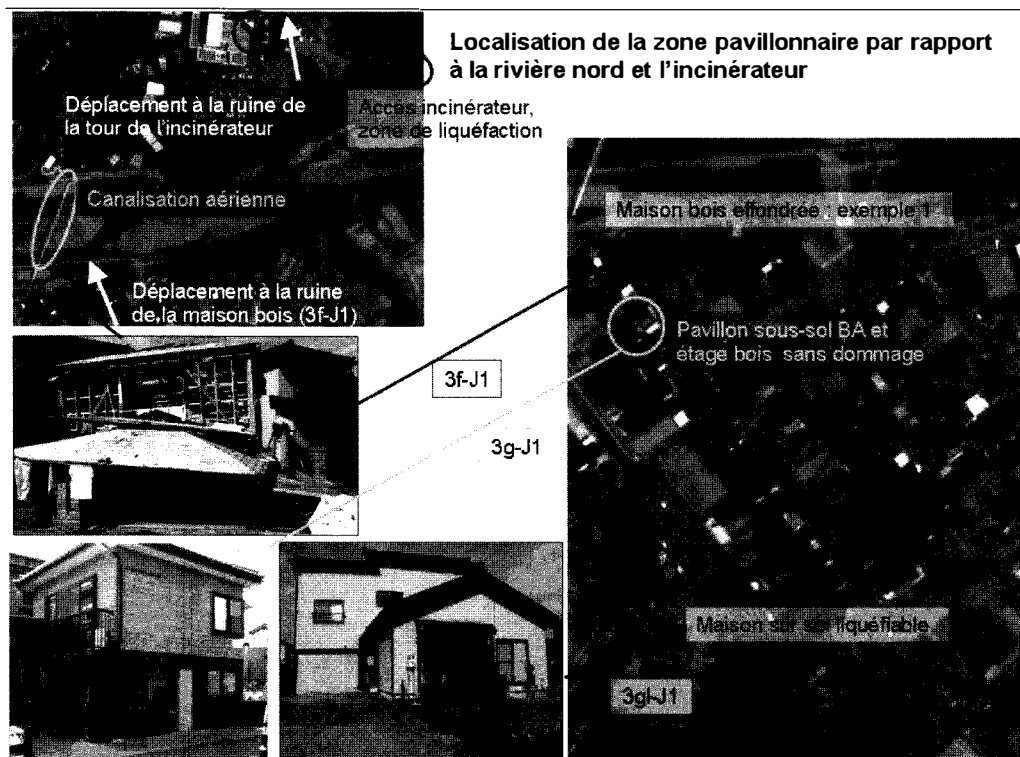


Figure 3.21 : Localisation de la construction (exemple 1) par rapport à la rivière nord et à l'incinérateur,

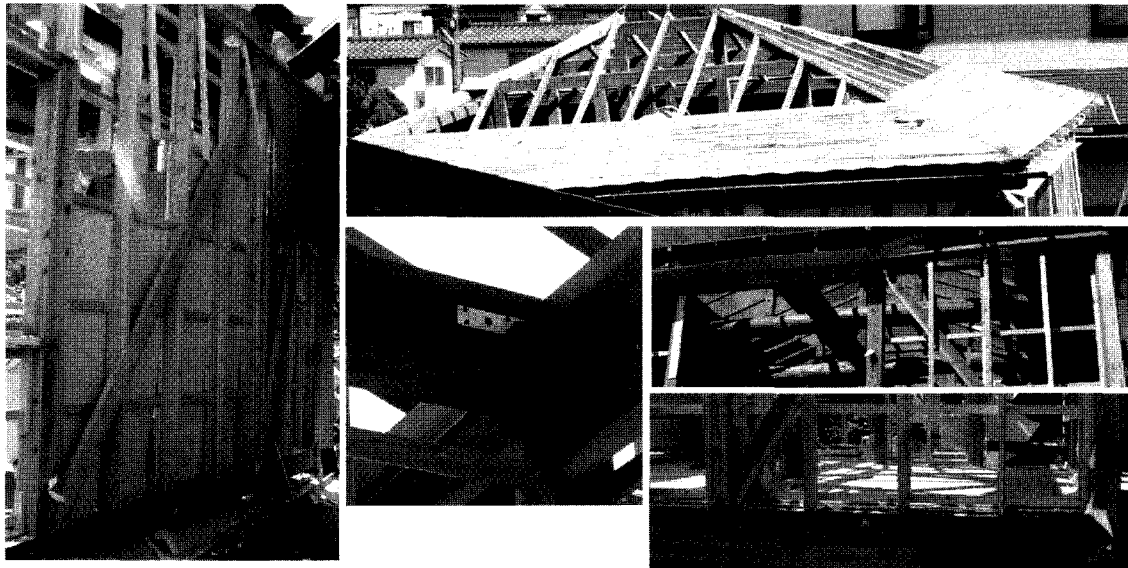


Figure 3.22 : Exemple 1, comportement de la charpente et de l'étage supérieur

La façade avant du rez-de-chaussée présente une grande transparence laissant le passage pour deux véhicules. Les murs des pignons au rez-de-chaussée se sont inclinés vers le nord-ouest. Ils se sont pour partie désolidarisés du plancher. Les soubassements ont résistés correctement. La structure du plancher intègre sous le contreplaqué, des poutres principales, des solives et des entretoises. Le plancher n'a pas montré d'insuffisance de résistance tant dans sa fonction de flexion que dans celle de diaphragme horizontal. La liaison entre les montants, les diagonales et la lisse basse des murs du rez-de-chaussée sont sous dimensionnés (deux clous sur des plats étroits et mince en acier). Malgré une construction récente, l'acier est corrodé. Certains montants ont changé de couleur, preuve qu'ils étaient exposés à l'humidité. C'est notamment les cas du montant avec l'assemblage le plus corrodé, cf. Figure 3.23. Le changement de couleur est visible jusqu'à son extrémité haute.

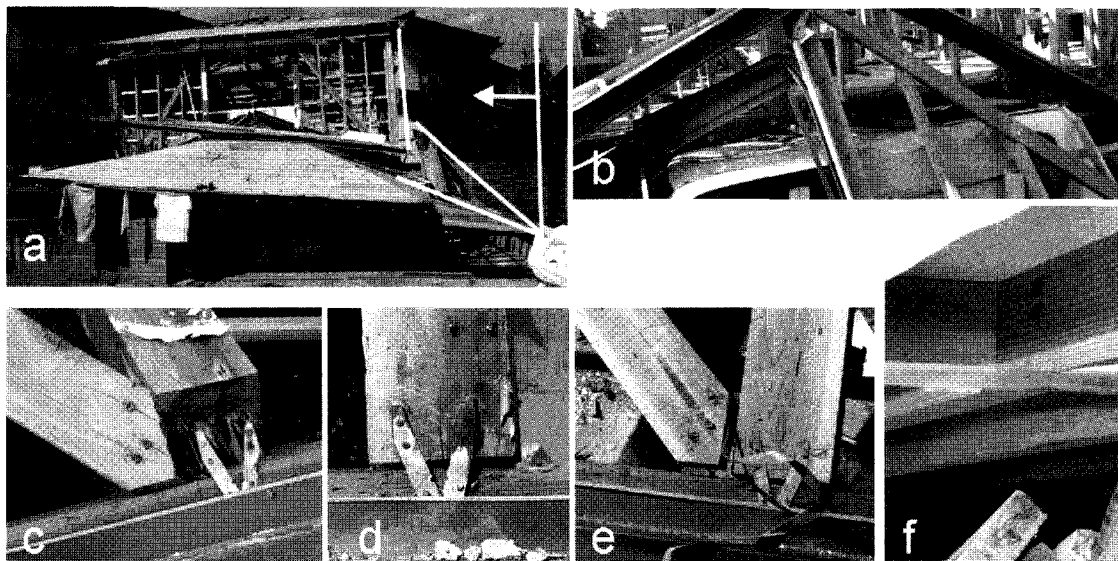


Figure 3.23 : Exemple 1, comportement de la structure du rez-de-chaussée,
 a) mouvement d'ensemble, b) dommage au mur sud,
 c) d) et e) dommages à la base du mur sud au droit des contreventements,
 f) vue de la sous-face du plancher bois avec platelage, poutres et solives

Exemple 2

L'extension (7x7 m²) de cette maison comprend au rez-de-chaussée une zone de garage et circulations et, au 1^{er} étage, plusieurs pièces surmontées d'une couverture à 2 pans avec toiture en tuiles. La « boîte » repose sur 7 poteaux et 3 murs d'échiffre pour la desserte de l'étage et la communication avec le rez-de-chaussée de la partie ancienne. La Figure 3.24 donne la position de cette maison par rapport au centre ville de Kashiwazaki.

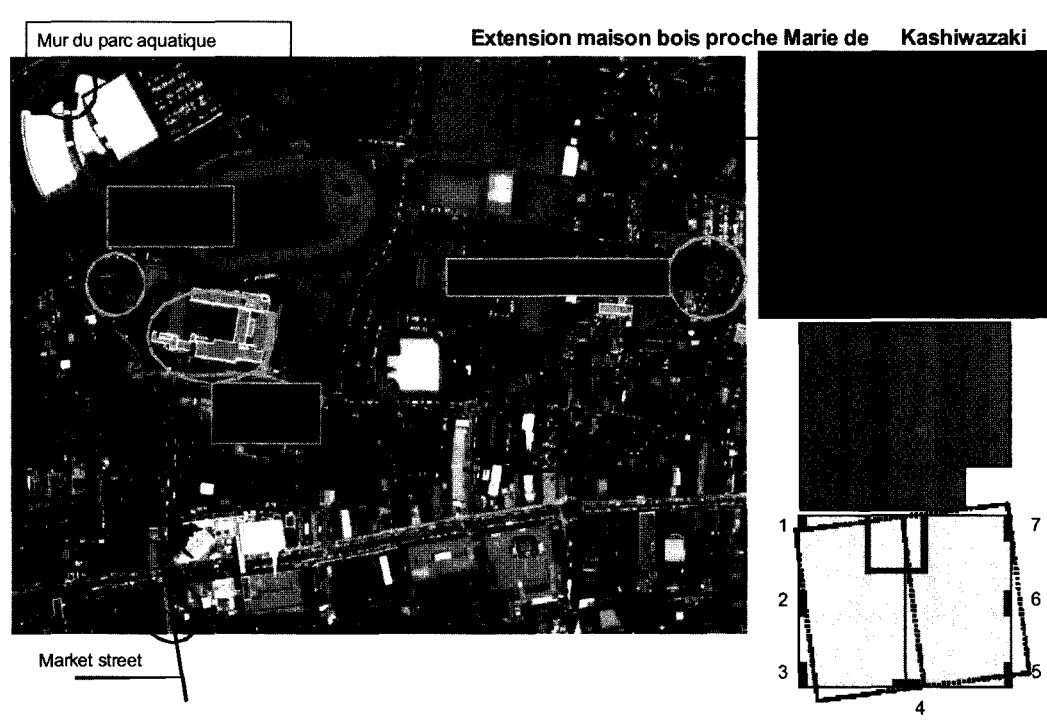


Figure 3.24 : Exemple 2, localisation de la construction par rapport à la Mairie de Kashiwazaki

Cette extension a atteint la ruine par torsion. Le rez-de-chaussée ne présente qu'un contreventement très insuffisant. Les murs autour de l'escalier sont excentrés par rapport au centre de gravité de l'extension. La rigidité de l'étage avec la charpente est nettement plus élevée que celle du rez-de-chaussée. Le poteau 1 est de section moitié par rapport aux 6 autres. Les poteaux sont constitués de deux montants de faible section ($\approx 50 \times 100 \text{ mm}^2$) et d'une diagonale d'une section double de celle des montants. Cette diagonale fait un angle par rapport à la verticale inférieur à 15° . La base du poteau 3 en angle s'est désolidarisée de la fondation. La Figure 3.25 présente les dommages aux poteaux de cette structure.

Le plancher bois présente une poutraison périphérique correctement dimensionnée et bien liaisonnée. Des renforts d'angle de plancher sont assemblés par tiges filetées. Les murs d'échiffre ont subi des déplacements importants dans la torsion de l'étage. Des liaisons avaient été mises en place entre la maison initiale et l'extension. Ces liaisons étaient réalisées par des poutres en bois assemblées sur la structure initiale par des sabots mécano-soudés mal réalisés et en mauvais état. La liaison poteau plancher est complétée par des aisseliers placés dans le sens des plus petites inerties des poteaux. La Figure 3.26 illustre ces observations.

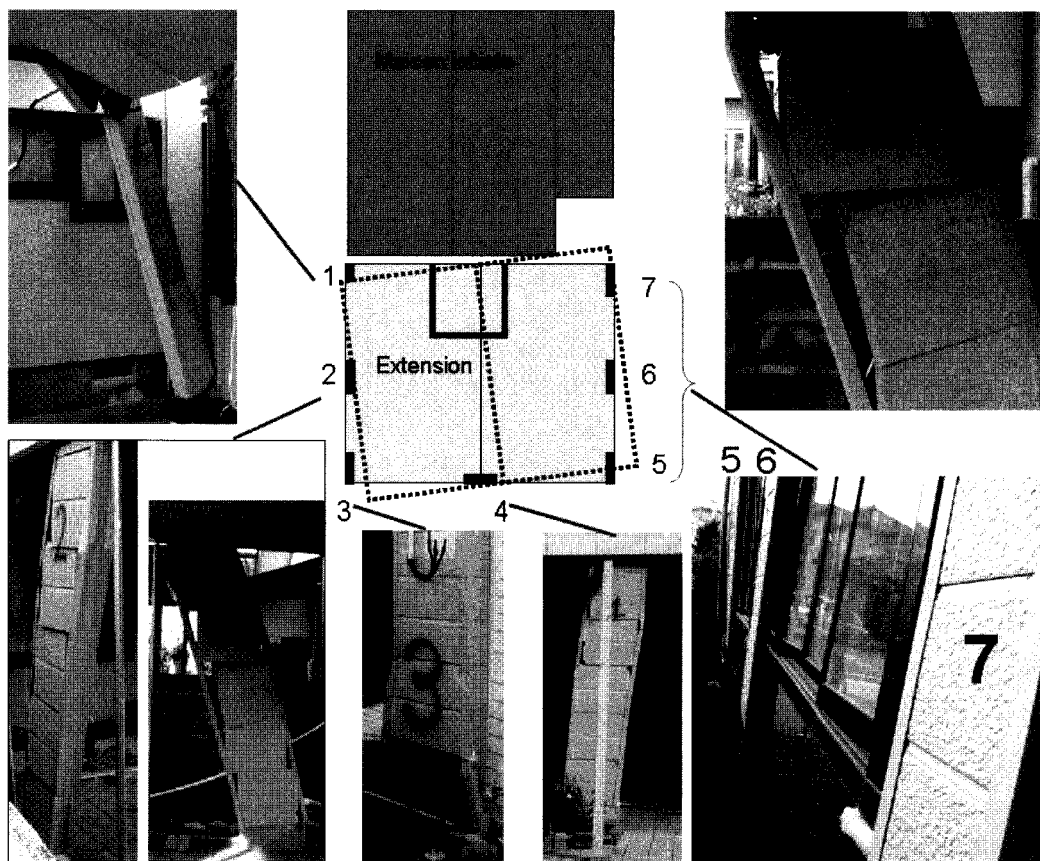


Figure 3.25 : Exemple 2, comportement des poteaux dans le mouvement de torsion de l'étage supérieur,

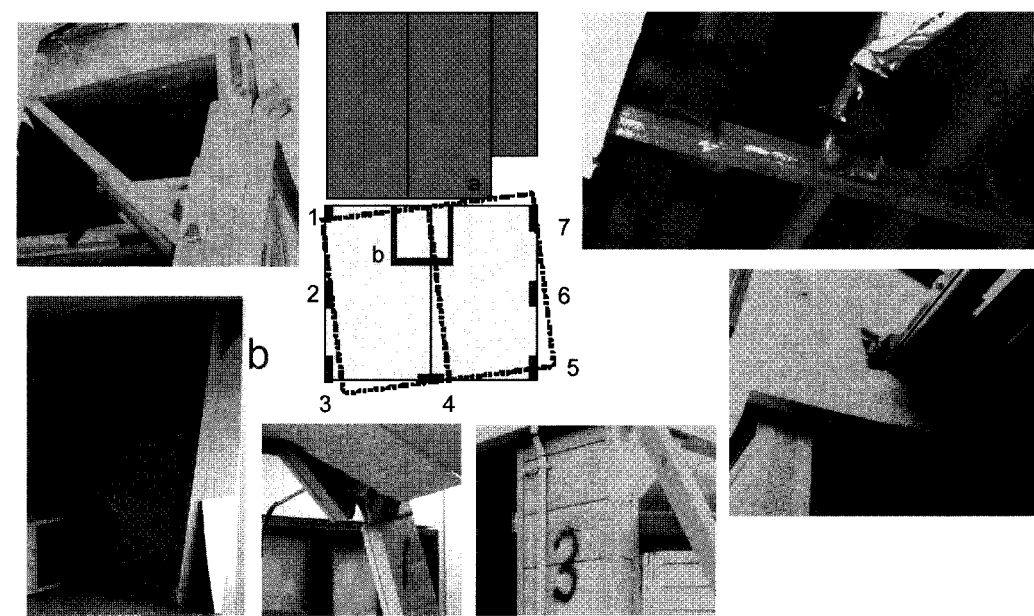


Figure 3.26 : Exemple 2, comportement des murs d'escalier de la liaison existant-extension

Une telle construction, pourtant récente, présente de trop nombreux défauts de conception et de réalisation pour être le résultat de l'intervention de professionnels. Une telle construction ne peut avoir reçu un avis favorable, même sur plan. La proximité de cette maison avec la Mairie laisse planer le doute sur le suivi de la conformité des MI aux règles parasismiques.

3.2.3 Etude des bâtiments en construction et application au contexte français

3.2.3.1 Structures existantes ayant bien résisté

Les photos présentées dans le paragraphe « typologies » du bâti courant donne un ensemble non exhaustif de structures ayant bien résistées à ce séisme, cf. Figures 3.4, 3.5, 3.6 (a, d, e, f), 3.7 (e, f, g), 3.8 (b, e, f). Comme dénominateur commun on peut citer : construction récente, entretien ou aspect correct, pans de mur pouvant contreventer correctement distribués. La Figure 3.27 donne des exemples de petits collectifs en structure légère a) et b) ou en béton armé c) qui ont également bien résisté, malgré des efforts d'entretien très variables.

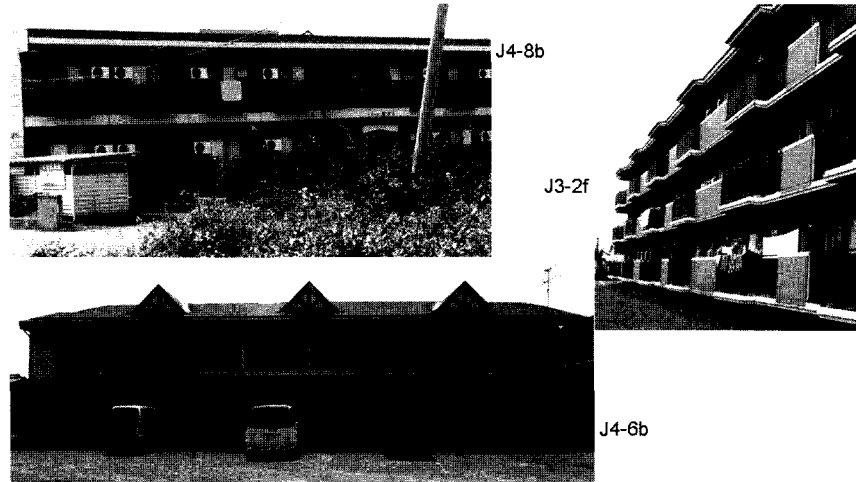


Figure 3.27 : Petits collectifs ayant bien résisté, a) R+1 à proximité du grand hôpital (sud-est de Kashiwazaki), b) R+1 à proximité de la rivière nord, c) R+2 nord-est de Kashiwazaki

Une analyse objective de ces structures non endommagées est difficile du fait de la faible lisibilité de la structure elle-même. Pour accéder à cette analyse, l'équipe « structures » a pu bénéficier de plusieurs maisons en construction dans la périphérie de Kashiwazaki. Plusieurs chantiers de maisons en bois ont servi de support à ces observations.

3.2.3.2 Chantier 1

Le premier chantier est la réalisation d'une extension sur deux niveaux en remplacement d'une extension à un niveau, cf. Figure 3.28.

Description :

Surface au sol $\approx 55 \text{ m}^2$ RDC + 1 étage complet + charpente traditionnelle.

Avancement des travaux :

Fondations réalisées, porteurs verticaux et horizontaux posés et assemblés, voligeage toiture réalisé.

Plancher non réalisé, couverture tuile non mise en place, contreventement des murs de façade et de refend provisoires par diagonales métalliques.

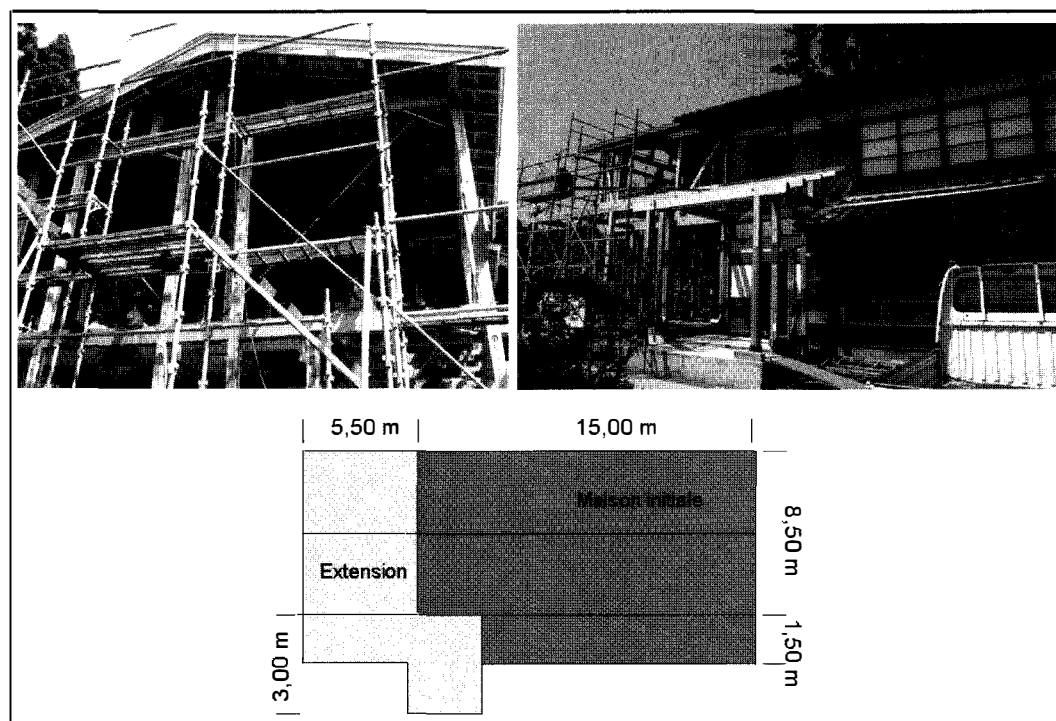


Figure 3.28 : Chantier 1, présentation globale

Les fondations et le plancher bas (Figure 3.29)

La partie visible de la fondation est constituée par un réseau de longrines en BA (largeur 12 cm), de dallages et de plots isolés sur un côté de l'extension. Le plancher du rez-de-chaussée est en bois traité. Ces bois font l'objet d'un marquage spécifique. Des poutres de 12 x 12 cm² sont ancrées par des tiges filetées solidaires des longrines. Les angles de plancher sont renforcés par diagonale bois. Un réseau de poutres maîtresses et de solives assure le support du platelage. Les poutres de ce réseau sont liaisonnées par assemblage par contact de type queue d'aronde. Les assemblages de continuité des poutres sur longrines sont également traditionnels avec des découpes à géométrie complexe et à usinage précis (le trait de contact a du être tracé sur la figure pour mieux donner une illustration de la forme de découpe).

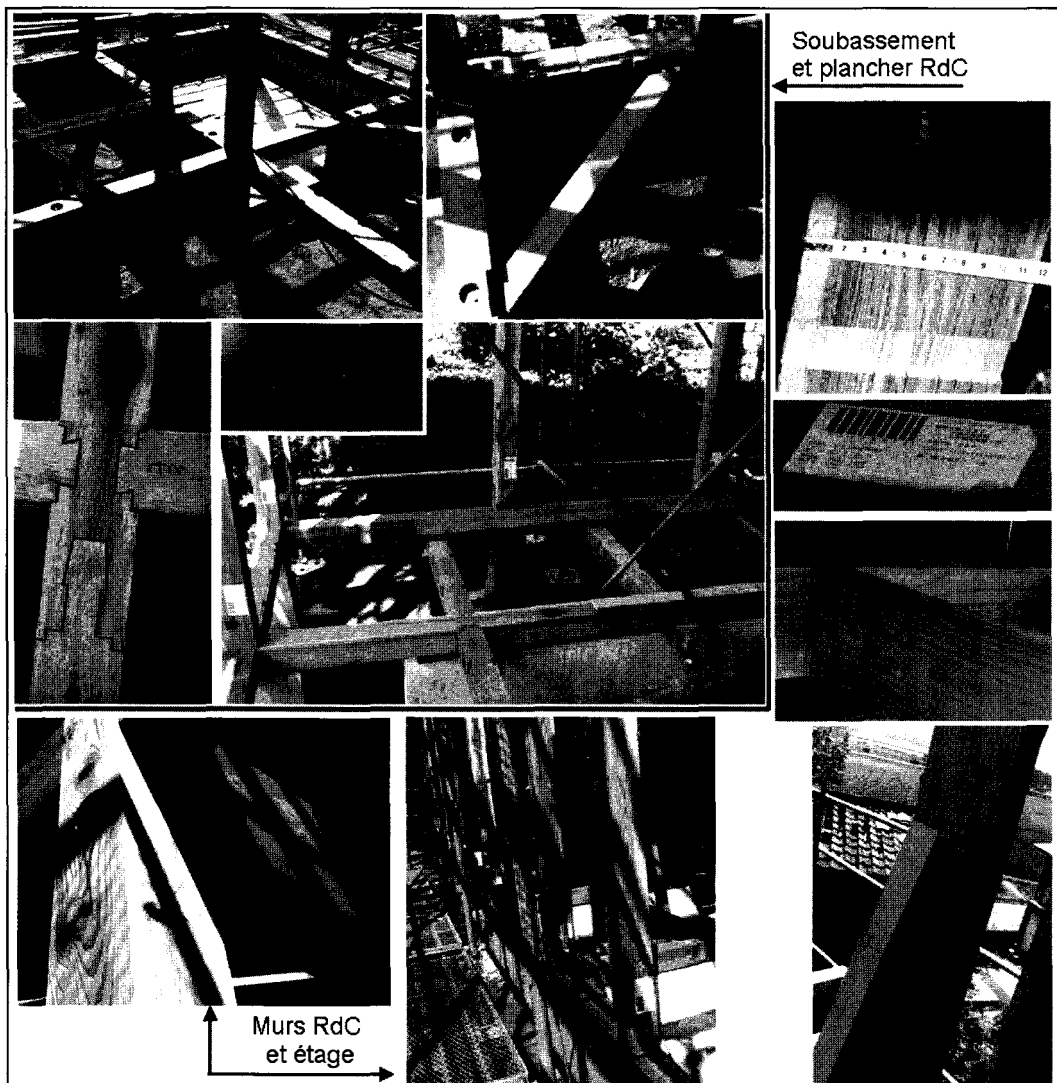


Figure 3.29 : Chantier 1, détails du plancher bas, des soubassements et des murs des différents niveaux

Les murs (Figures 3.29 et 3.30)

Les murs sont constitués de lisses basses, de montants ($12 \times 12 \text{ cm}^2$) continus sur une ou deux hauteurs d'étage, de poutres à hauteur du plancher de l'étage et également à hauteur des entrails. Le contreventement, en phase définitive, est assuré par des diagonales ($5 \times 12 \text{ cm}^2$) assemblées par clouage et fonctionnant essentiellement en compression. Ces diagonales sont stabilisées au flambement par les lisses verticales utilisées pour le maintien du panneau de bardage. Ces lisses sont fixées sur les poutres haute et basse d'étage par clouage. Une gorge est usinée dans ces poutres en atelier pour recevoir les lisses verticales. Ces lisses sont usinées sur chantier pour réaliser la découpe laissant le passage à la diagonale (coupe foraine de grande précision). Les montants et poutres sont réalisés avec des bois classés et marqués. Le montant tendu dans la fonction de contreventement est soit continu, soit ancré par l'intermédiaire d'une tige filetée en acier traité solidaire des longrines, d'un plat en acier galvanisé équipé d'un tube épais permettant de régler le serrage de la tige filetée. Le maintien en position des montants principalement comprimés est assuré par des « agrafes » ou « cavaliers » de grande dimension ($\approx 10 \text{ cm}$).

Le plancher de l'étage et la charpente (Figure 3.30)

La fonction cadre périphérique du diaphragme de plancher est assurée par les poutres périphériques. Dans les angles les efforts de traction dans ces poutres de rive sont transmis dans les poteaux par l'intermédiaires de tiges en acier traversant les poteaux; une au dessus de

la poutre l'autre au dessous. La structure d'angle est complétée par renforts diagonaux en acier. Un système de poutres maîtresses et de solive assure la fonction porteuse du platelage de plancher comme pour celui du rez-de-chaussée. La charpente est composée de poutres entrails, de potelets, de pannes et de chevrons sur les quels est cloué le voligeage.

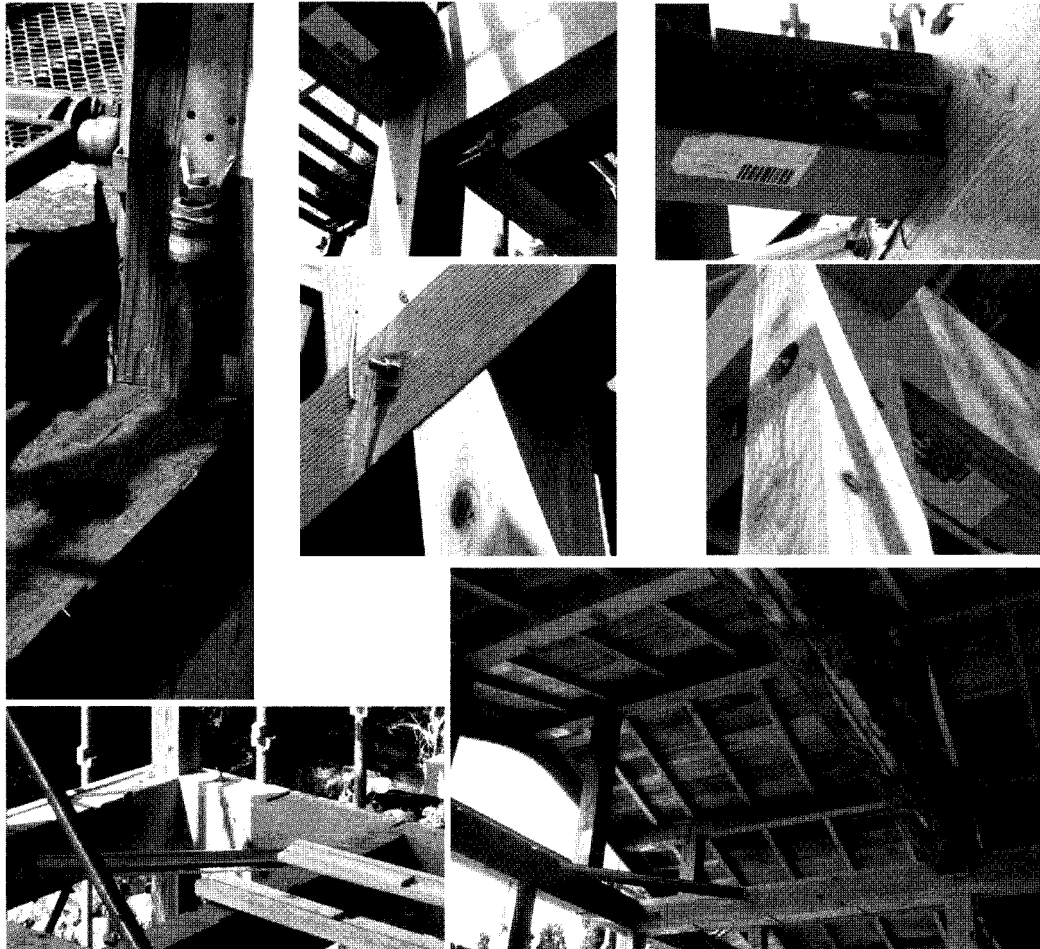


Figure 3.30 : Chantier 1, détails du plancher les assemblages et ancrages des murs planchers et charpente

3.2.3.3 Chantier 2

Le chantier 2 est une maison d'habitation isolée au nord de la mairie de Kariwa (Figure 3.31).

Description :

Surface au sol $\approx 65 \text{ m}^2$. RDC + 1 étage \approx complet + charpente.

Avancement des travaux :

Fondations réalisées – Porteurs verticaux, horizontaux et contreventements réalisés – Parement intérieur posé, isolation thermique mise en place – Parements extérieurs non posés – Plancher haut RDC réalisé, plancher bas en cours de réalisation – Charpente, voligeage toiture légère réalisés.

La structure bois est construite sur un vide sanitaire aéré. Les murs de ce vide sanitaires sont en béton armé comme pour le chantier 1. Le plancher bas du rez-de-chaussée est également en bois. Les poutres principales sont ancrées aux « longrines » par des tiges filetées. Le plancher est à double platelage avec isolation thermique.

L'isolation des murs périphériques est posée entre les poteaux et lisses verticales, en contact avec le panneau intérieur. Il reste ainsi un espace de ventilation entre l'isolant à porosité fermée et le parement extérieur. Le contreventement de façades est assuré par les panneaux composés de bois déroulé, cloués en face intérieure. Ces panneaux sont donc soumis à l'ambiance (température et humidité) de l'espace de vie. Le contreventement est complété par des palées de stabilité implantées dans les refends. Les Figures 3.32 et 3.33 illustrent ces différents points de choix constructifs retenus pour cette maison.



Figure 3.31 : Chantier 2, vue d'ensemble de la maison



Figure 3.32 : Chantier 2, détails des ancrages de la structure bois, des palées de stabilité intérieures et des panneaux travaillants périphérique posés en face intérieures des murs

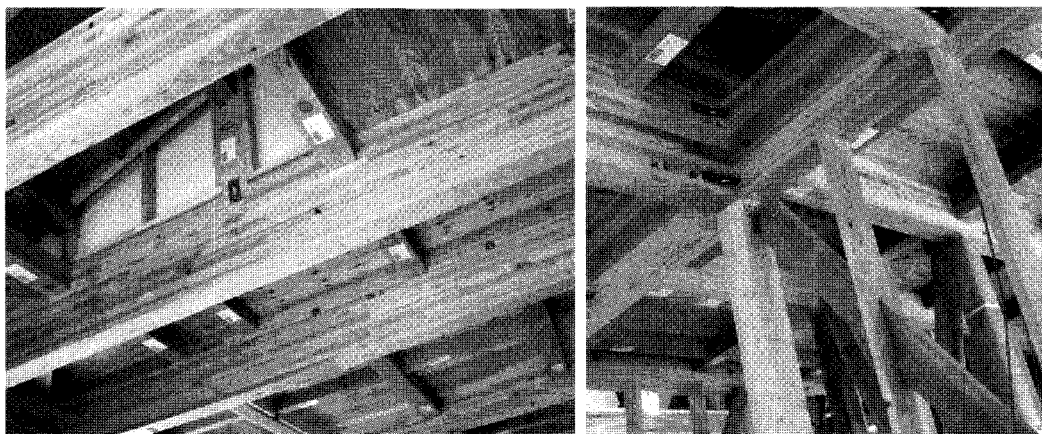


Figure 3.33 : Chantier 2, sous-face du plancher de l'étage et détails des assemblages des poutres et des diagonales de contreventement

Le plancher de l'étage est composé de poutres en lamellé-collé, de solives en bois massif et d'un platelage en contreplaqué. Les liaisons entre poutres, celles entre poutre et potelets de charpente ou entre diagonales et cadre font appel à des éléments complémentaires en acier traité. La Figure 3.33 propose quelques exemples de ces assemblages.

3.2.3.4 Chantier 3

Le chantier 3 est une maison d'habitation relativement grande, sur deux niveaux implanté au nord-est de Kashiwazaki.

Description :

Surface au sol $\approx 100 \text{ m}^2$. RDC + 1 étage complet + charpente.

Avancement des travaux :

Tout est réalisé, à l'exception des parements extérieurs et intérieurs. Une partie de l'aménagement intérieur est en cours de réalisation.

Comme pour les autres exemples, la structure bois s'appuie sur un système de « longrines » en béton armé assurant la fonction de murs d'un vide sanitaire aéré et le lien jusqu'aux fondations non accessibles à l'observation. Les deux planchers sont en bois, celui du rez-de-chaussée est réalisé en bois traité en usine puis sur site. Les poutres sont ancrées sur le réseau de longrines et également sur des poteaux bois. Les planchers sont isolés par des entrevous posés entre poutres et chevrons perpendiculaires qui supportent le platelage en contreplaqué cinq plis.

La structure porteuse des murs périphériques et intérieurs est constituée de poteaux, de poutre de lisses verticales et horizontales et de diagonales de contreventement. Ces contreventements sont essentiellement positionnés dans les angles du bâtiment et dans des refends. Les lisses verticales sont usinées pour recevoir les lisses horizontales et découpées pour laisser le passage des diagonales. Les diagonales sont ici placées avec leur grande inertie dans un plan vertical. Les murs périphériques sont plus épais que sur les deux exemples précédents. L'isolation est réalisée par un isolant thermique à porosité ouverte. Le parement extérieur est posé sur des lisses horizontales laissant un espace de ventilation entre le parement et un film poreux de protection de l'isolant.

Un plenum est laissé libre pour les différents circuits et sa ventilation sous le plancher de l'étage. Comme sur les deux chantiers précédemment présentés, le travail réalisé sur site est soigné et l'équipement forain de découpe se compose de matériel électrique et de matériel traditionnel.

La toiture est réalisée par des tuiles de conception plus récente que celles observées sur les

bâtiments endommagés visités pendant la mission. Les Figures 3.34, 3.35 et 3.36 illustrent ces différents partis constructifs.

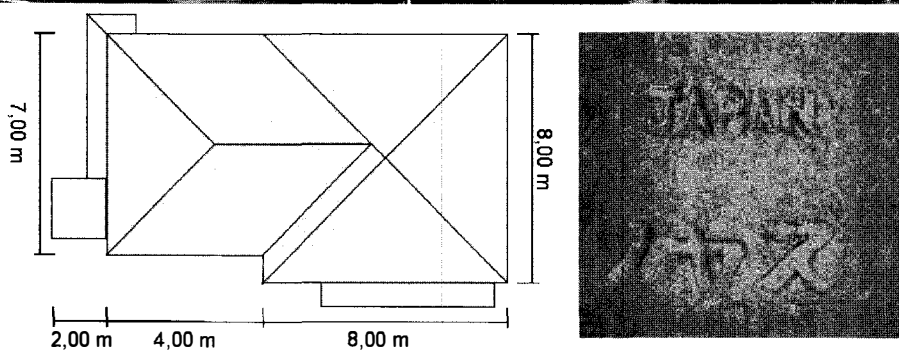


Figure 3.34 : Chantier 3, présentation globale de la maison et marque des tuiles récentes

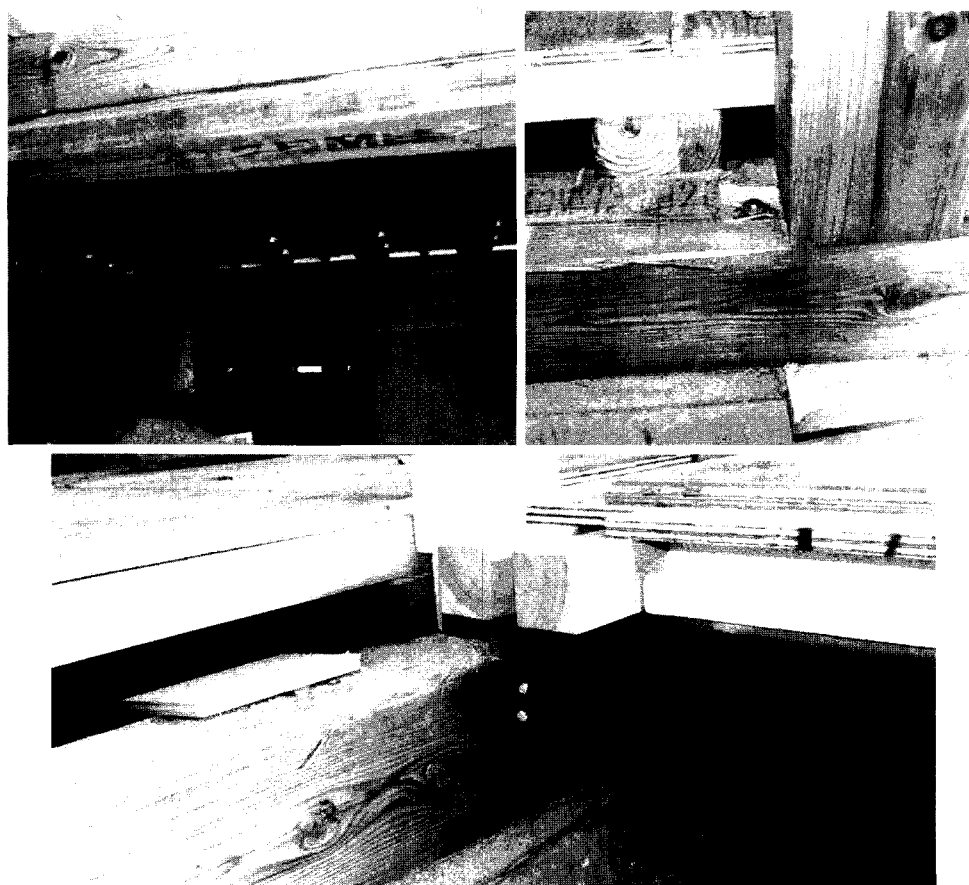


Figure 3.35 : Chantier 3, détails du plancher bas

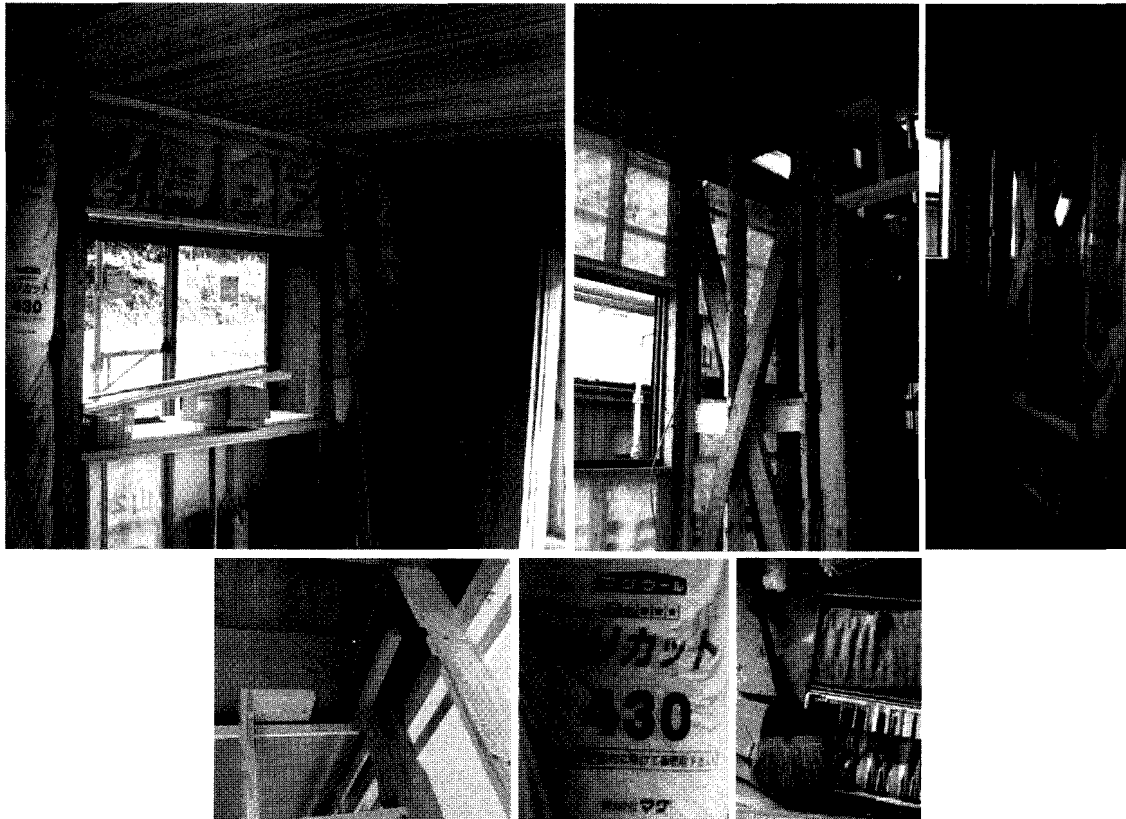


Figure 3.36 : Chantier 3, détails des murs et contreventements

3.2.3.5 Transcription dans le contexte français

Les observations conduites sur ces différents chantiers sont relatives à des techniques qui sont proches de celles utilisées en Europe. Les bois utilisés sont des résineux soit sous forme de lamellé-collé soit de bois massif ou de panneaux de contreplaqué. Une partie des assembleurs utilisés trouve des équivalents sur le marché européen. La phase usinage en usine des bois semble importante et les débits sur chantier sont conduits avec précision, avec une gamme d'outils complète et des équipes compétentes. La prise en compte de l'environnement chaud et humide est visible sur les compositions de murs et planchers et sur les dispositions constructives. La Figure 3.37 propose une comparaison des températures et humidités dans la région de Kashiwazaki et celles des Antilles. Cette figure présente également l'abaque permettant d'évaluer le taux d'humidité dans les bois à partir de ces conditions climatiques.

L'EN 1995-1.1 intègre l'effet de l'humidité dans le bois par le biais d'un coefficient de réduction de résistance K_{mod} . Ce coefficient dépend de la durée d'application de la charge et de la classe de service de l'ouvrage. La classe de service définit le degré d'exposition de la structure bois à des humidités et variations d'humidité. La classe 1 correspond à des structures intérieures protégées, la classe 2 à des structures n'atteignant une humidité du bois supérieure à 12% que quelque fois dans une année et pour la classe 3, l'humidité du bois atteint 20% pendant une durée significative dans l'année. Les valeurs de ce coefficient réducteur peuvent atteindre 0,5 pour le bois massif et le lamellé-collé en classe 3. Aucun panneau de particules n'est autorisé en structure pour cette classe 3. Seul le contreplaqué relevant de l'EN636-partie 3 est autorisé en classe de service 3. L'abaque de la Figure 3.33 associé aux relevés statistiques d'humidité et de températures de la région de Niigata et de la Martinique montre que les Antilles sont dans un environnement au moins aussi « agressif » que celui de la région de Niigata. Cette valeur de 20 % d'humidité dans le bois peut être atteinte sur les deux sites retenus.

Sur les chantiers de constructions visités pendant la mission, les contreventements des structures en bois étaient essentiellement réalisés par des diagonales en bois massif. Nous

n'avons observé qu'un seul exemple de contreventement par voile travaillant. Il faut noter que ces panneaux étaient en contreplaqué et qu'ils étaient placés à l'intérieur du volume isolé. Aucun panneau en particules n'a été observé. Ces constats et ces pratiques constructives sont cohérents avec le contexte réglementaire européen vis-à-vis des capacités de résistance des panneaux de particules dans les ambiances climatiques les plus sévères.

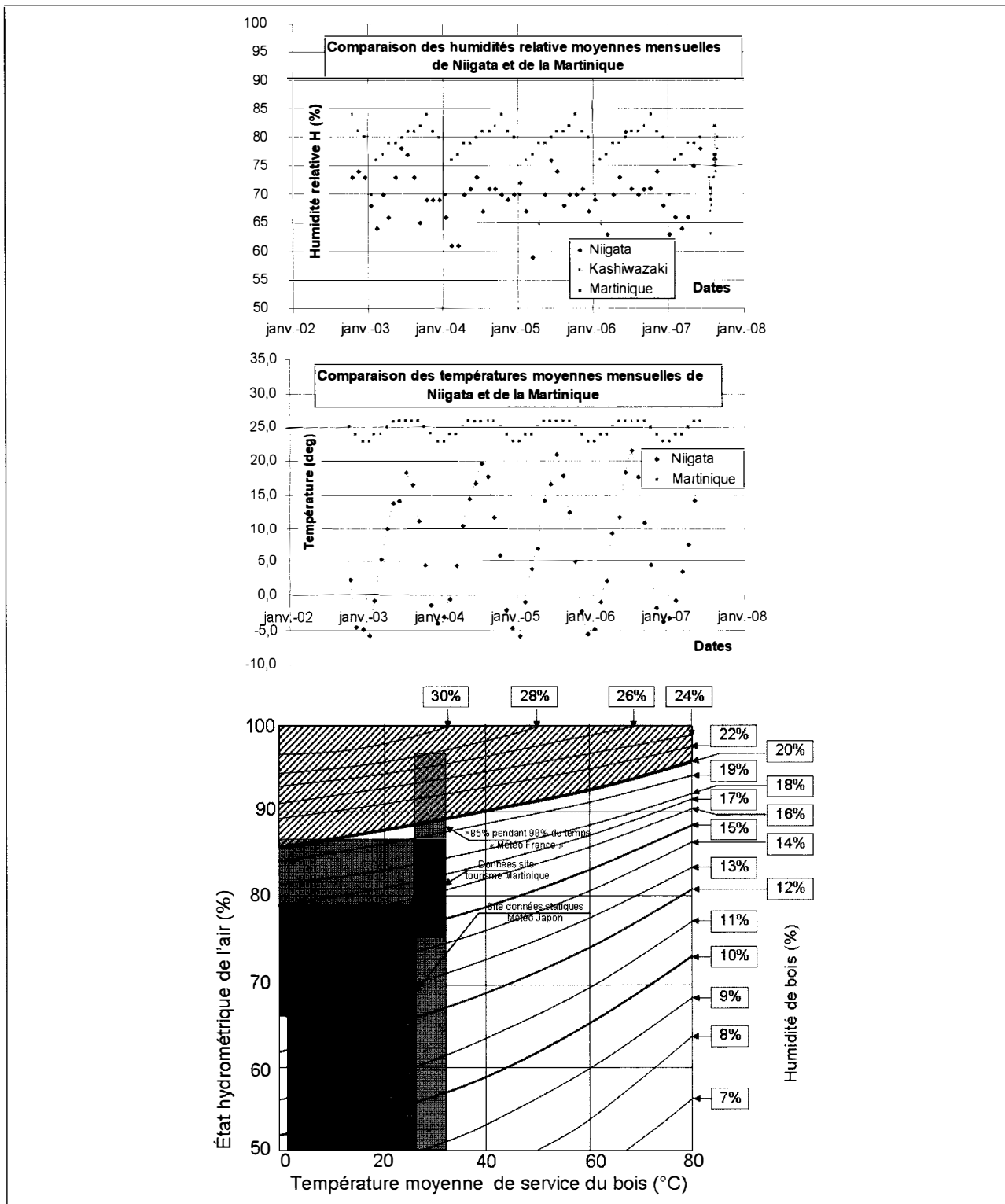


Figure 3.37 : Evolution des humidités et températures moyennes mensuelles sur Niigata et la Martinique, avec leurs conséquences sur l'humidité dans le bois soumis à ces conditions

Les ruines observées pour le bâti courant se déclinent en trois catégories :

- Les annexes anciennes et maisons traditionnelles (supérieures à 50 ans) constituent le pourcentage de ruine le plus élevé.
- Le bâti récent (10 à 20 ans) ; des problèmes ont été observés en cas de défaut d'entretien, de liquéfaction de sol, de défaut de soutènement à proximité des fondations et également en cas de soubassement maçonné mal conçu.
- Le bâti récent pour des extensions sans ingénierie, ni contrôle.

Dans le cas des maisons à structure légère, sur sous-bassement ou sous-sol en béton armé, sans transparence flagrante, peu de dégâts ou dommages significatifs ont pu être observés.

3.3 Ouvrages plus importants

Ce chapitre se présente en deux parties. Dans un premier temps, les dégâts observés lors de la mission post-sismique sont identifiés par type de typologies des bâtiments. Dans un second temps, une étude des spectres de réponse élastiques est menée pour identifier le niveau de sollicitation sismique subi par ces mêmes structures.

3.3.1 Dégâts structurels constatés

Trois typologies de bâtiments sont étudiées successivement :

- 1 Les bâtiments de grande hauteur (R+4 à R+14),
- 2 Les bâtiments de moyenne hauteur (R+2 à R+4),
- 3 Les spécificités des bâtiments en charpente métallique.

3.3.1.1 Bâtiments R+4 à R+14

Nous n'avons pu dénombrer que peu de grands bâtiments (mairie, hôtel près du port, quelques bureaux et parking près de Market Street, des écoles) dans la ville de Kashiwazaki. Les quelques dégâts mineurs constatés sur les structures en béton armé se sont généralement localisés au niveau des éléments non structuraux (Figure 3.39), où les dispositions retenues ne permettaient pas de compenser les grands déplacements caractéristiques de cet événement sismique.



Figure 3.38 : Bureaux près de Market Street

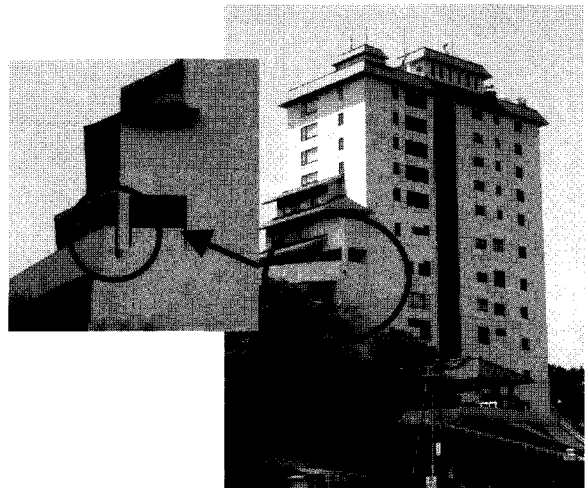


Figure 3.39 : Hôtel près du port de pêche

L'incinérateur en bordure de Kashiwazaki reste le dégât structural observé sur une structure béton armé le plus impressionnant lors de cette mission (Figure 3.40). Cet incinérateur est une structure classique, aperçue de nombreuses fois lors de notre voyage entre Tokyo et la région de Kashiwazaki. La rupture de la tour carrée, de près de 59 m de haut et de 4,6 m de large, s'est

localisée au niveau de la diminution de section d'acier longitudinal dans les voiles en béton armé (à une hauteur d'environ 17 m), entraînant la chute de plus de 6 m de la partie supérieure de l'édifice. La longueur de soudage des barres de renforcement (dans la zone de recouvrement) ne semble pas avoir été suffisante compte tenu de la sollicitation sismique. La tour semblant avoir été construite récemment, une étude devra être menée sur la conformité des zones de recouvrement avec les codes Japonais actuels.

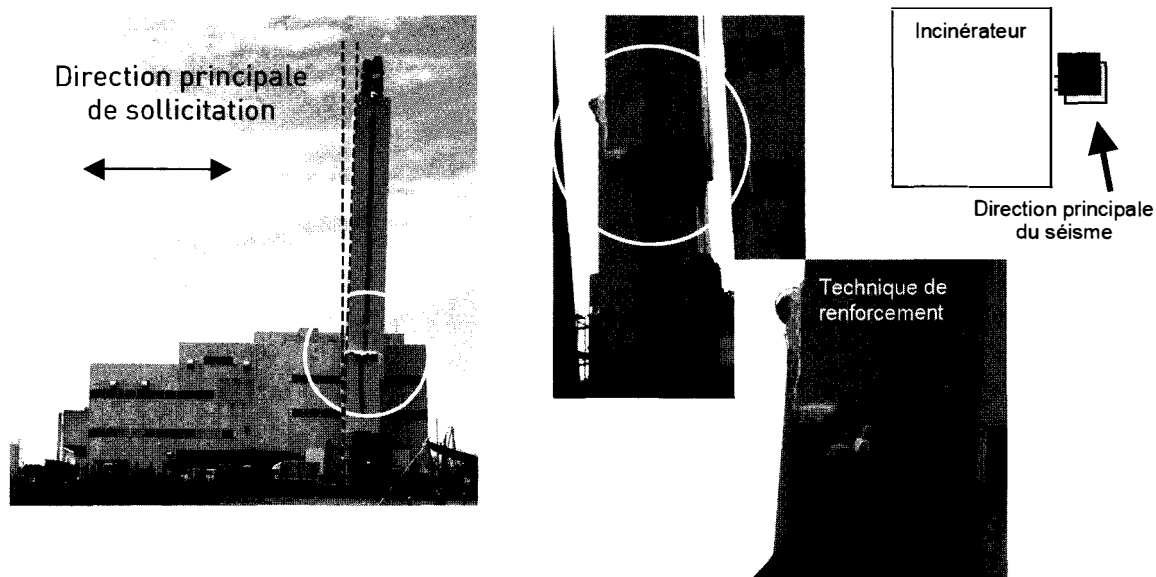


Figure 3.40 : Rupture de la tour de l'incinérateur suite au séisme

3.3.1.2 Bâtiments R+2 à R+4

Les bâtiments R+2 à R+4, en béton armé et/ou acier se sont généralement bien comportés, témoignant de bonnes dispositions parasismiques (quelques fissures dans les voiles de bâtiments, quelques éclatements locaux de béton non confiné et quelques flambements ou plastifications de certaines poutres métalliques ne remettant pas en cause la stabilité des structures).

Cependant, un bâtiment fortement endommagé a pu être recensé par d'autres équipes (Figure 3.41). Ce bâtiment de 3 étages était un karaoké dans le centre de Kashiwazaki. Les poteaux du rez-de-chaussée ont cédé sous cisaillement en raison de l'espacement trop important des cadres verticaux dans les zones critiques.



Figure 3.41: Photos issues du rapport 'Preliminary Observations on the Niigata-Chuetsu Oki, Japan, Earthquake of July 16' – EERI – GEER – USGS

De manière générale, les quelques dégâts observés sur les bâtiments R+2 à R+4 sont identifiés en trois catégories :

a) au droit des joints parasismiques, témoignant de la forte sollicitation sismique. Des dégâts au niveau des joints parasismiques témoignent des déplacements relatifs importants des différents blocs de bâtiment (ex : Figure 3.42). Les caches de joint et les parements autour des joints parasismiques ont été endommagés suite au séisme.

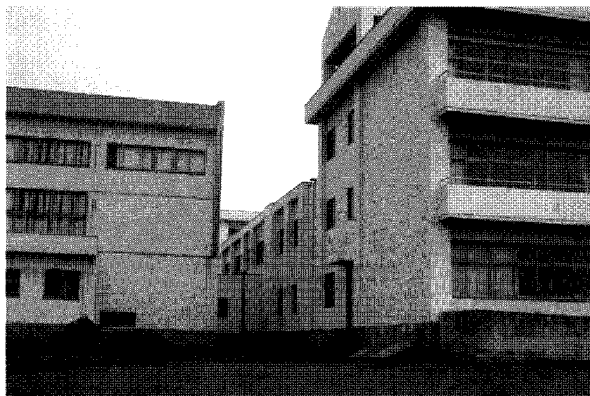
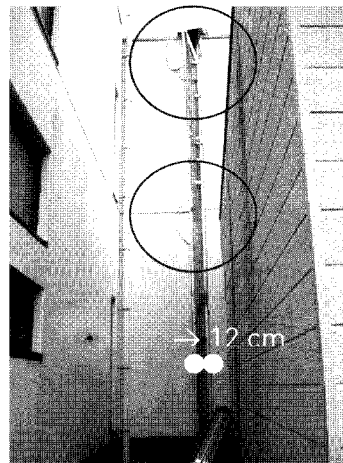


Figure 3.42 : Collège à Kashiwazaki



Le gymnase au nord-ouest de Kashiwazaki, présenté en Figure 3.43, a subi des dégâts locaux non structuraux au niveau de la connexion entre les deux parties de bâtiment (l'un étant en métal et l'autre en béton armé). Le parement a été arraché autour du joint parasismique en raison du manque de jeu permis par les dispositions constructives (joint en forme de L, fixé sur le bloc de droite).

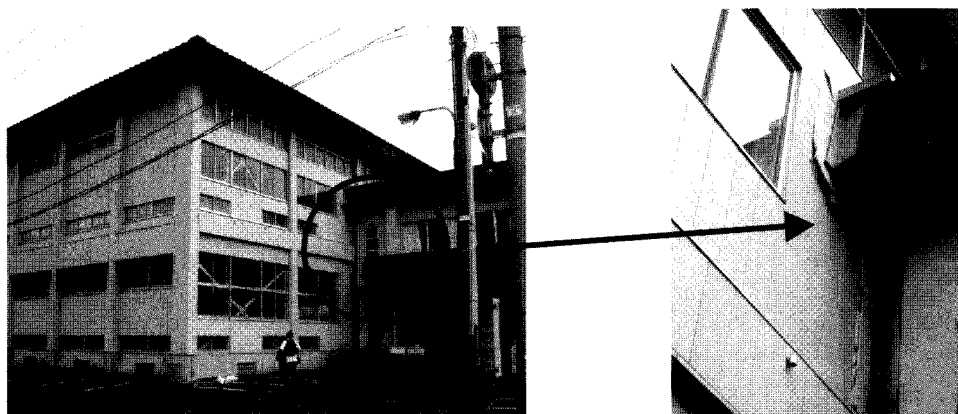


Figure 3.43 : Gymnase à Kashiwazaki (nord-ouest)

b) au niveau des accès de bâtiments (voirie, escalier) généralement du à des tassements importants du sol autour des structures (la majorité des bâtiments importants semblant avoir été fondée sur pieux).

Plusieurs bâtiments, tel que le collège à Kashiwazaki (Figure 3.44) n'ont subi aucun dégât structural apparent important (dégâts locaux au niveau des joints parasismiques) malgré l'affaissement important de la voirie périphérique (plusieurs dizaines de centimètres). Il est cependant à noter que l'accès de ces bâtiments a été rendu difficile par ces dégâts périphériques et certains réseaux enterrés ont été fortement endommagés (voir chapitre 2).

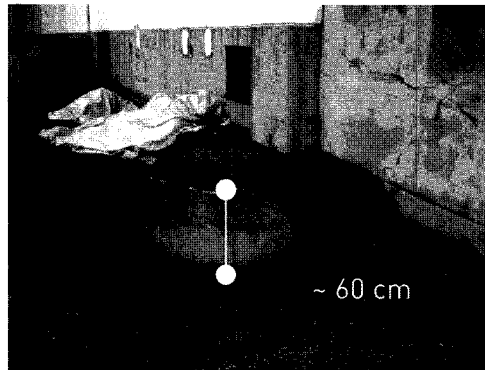
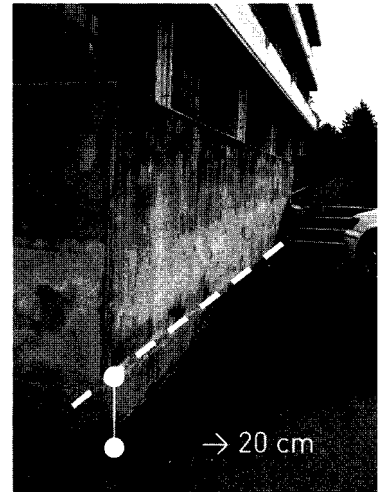


Figure 3.44 : Collège à Kashiwazaki



Généralement, les dégâts très importants ont pu être aussi constatés au niveau de la voirie périphérique de l'établissement (affaissement de plusieurs dizaines de centimètres et mouvements importants du voile d'escalier) dû à la différence de type de fondations des différents éléments (Figure 3.45).

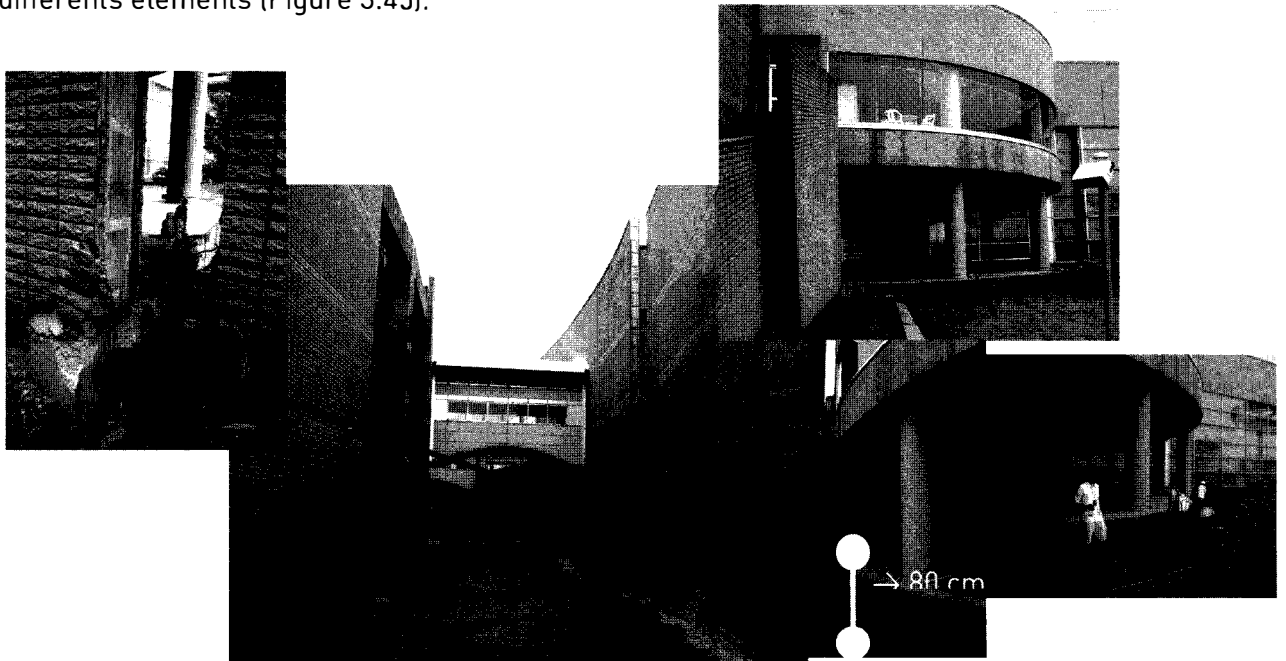


Figure 3.45 : Parc aquatique de Kashiwazaki

c) Au niveau des escaliers extérieurs et des passerelles de raccord entre deux bâtiments, sans disposition particulière appropriée.

Si aucun dégât structural n'a été constaté dans l'école maternelle présentée en Figure 3.46, les accès extérieurs ont subis des déformations rendant leur utilisation difficile (détérioration du petit escalier d'entrée, rotation de la semelle de fondation de l'escalier extérieur).

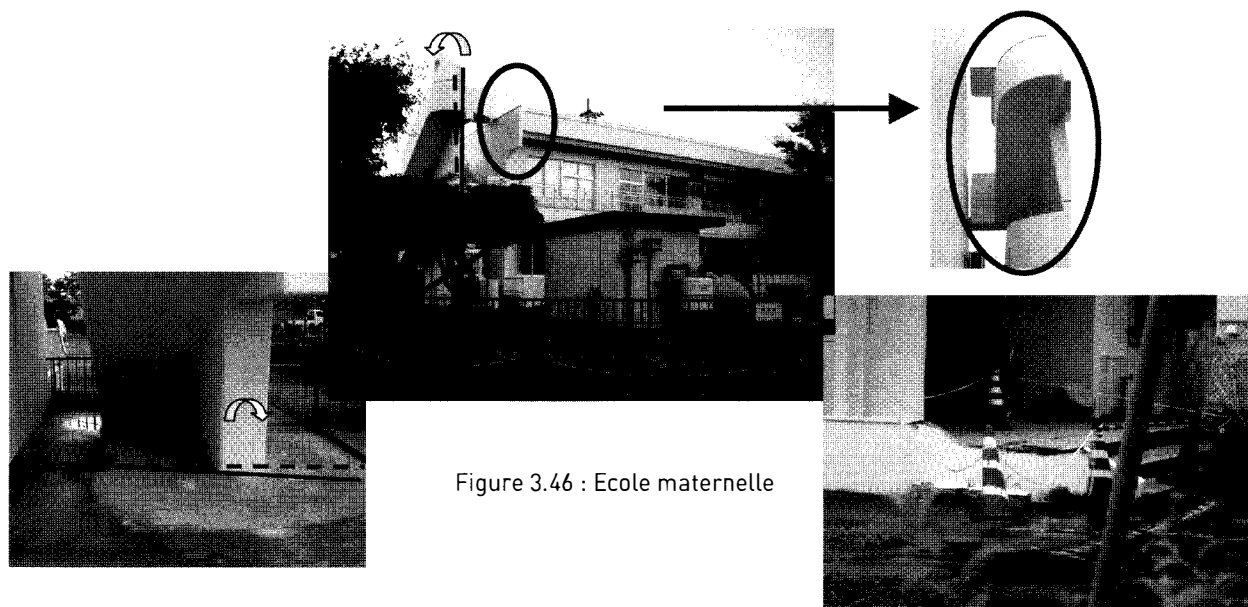


Figure 3.46 : Ecole maternelle

Il a pu être observé un certain nombre de dégâts locaux de passerelles entre bâtiments. L'exemple Figure 3.47 met en évidence l'endommagement de la passerelle entre un bâtiment R+4 et un bâtiment de plein pied. En raison du manque de disposition parasismique, les déplacements relatifs de chaque structure ont soumis la passerelle à des déformations et des sollicitations trop importantes.

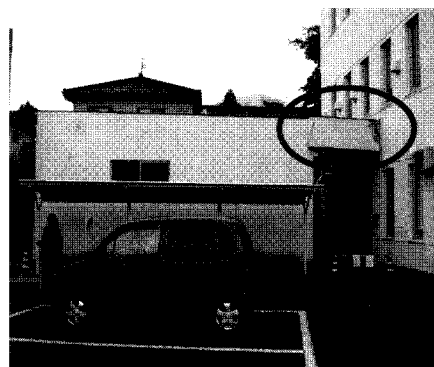


Figure 3.47 : Bâtiment de bureaux

3.3.1.3 Spécificité des bâtiments en charpente métallique

Les constructions métalliques ou constructions mixtes n'ont pas subis de dégâts structuraux importants (pas d'effondrement constaté). Les contreventements semblent avoir été conçus de manière adéquate et en nombre suffisant, même si quelques flambements ou plastifications de certaines poutres métalliques ont pu être constatés par certaines équipes.

Ci-dessous sont présentés trois exemples d'endommagement locaux observés :

1- Le gymnase Figure 3.48 est un bâtiment contreventé par croix de Saint André dans le sens longitudinal et par portique dans le sens transversal. Il a pu être constaté le flambement d'une diagonale de contreventement dans la hauteur du rez-de-chaussée.

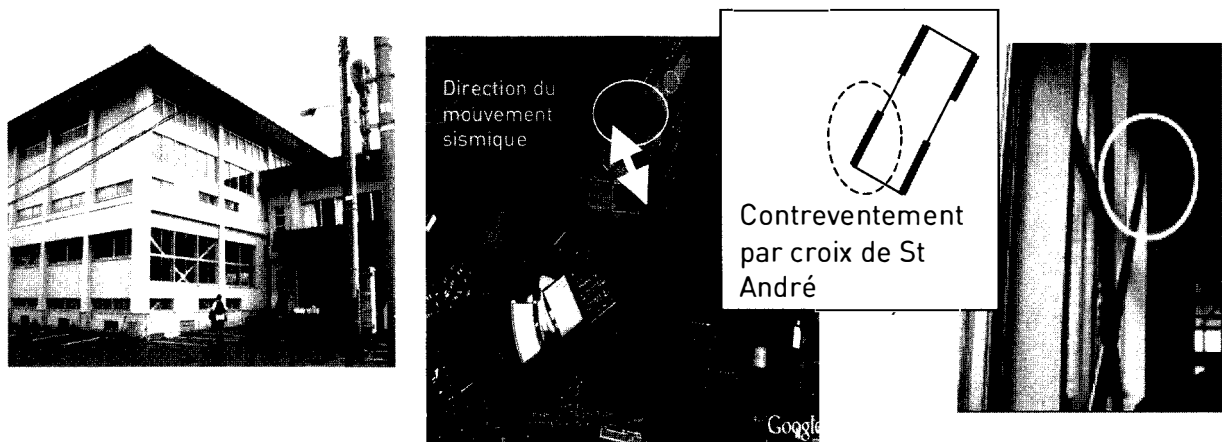


Figure 3.48 : Gymnase à Kashiwazaki

2- L'équipe EERI - GEER - USG a pu constater le flambement des ailes des poutres au niveau des connexions poteaux/poutres sur un bâtiment de stockage de Kashiwazaki. (Figure 3.49 -Photo issue du rapport 'Preliminary Observations on the Niigata-Chuetsu Oki, Japan, Earthquake of July 16' - EERI - GEER - USG).

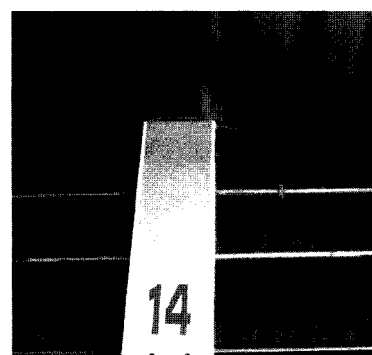


Figure 3.49 : Bâtiment de stockage

3- Dans un des parkings du centre ville de Kashiwazaki, une instabilité du plat assurant l'assemblage d'une diagonale de contreventement (tube carré) en V inversé, a pu être observée (Figure 3.51).

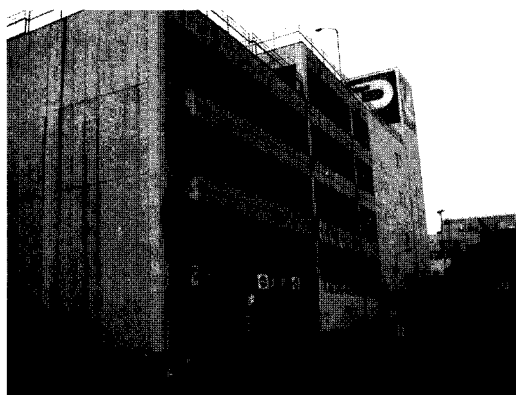


Figure 3.50: Parkings en centre ville

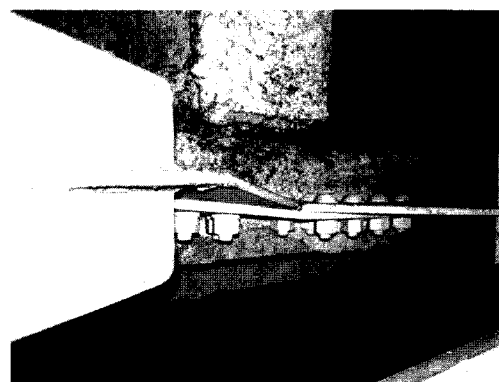


Figure 3.51: Instabilité du plat du V de contreventement

Le principal problème des constructions métalliques réside cependant dans l'entretien de ces dernières du fait du caractère agressif de l'environnement (bord de mer – climat chaud et humide). En effet, même si il n'a pas été observé d'effondrement de ce type de structures, l'état de corrosion des poutres métalliques (principalement celles confinées dans des espaces non ou mal ventilés, pléniums, plaquages de protection incendie) et surtout des assemblages/ancrages reste préoccupant comme le montre les trois exemples suivants :

1- Parking dans le centre de Kashiwazaki (Figure 3.52) : les contreventements par HEA sont protégés par un coffrage contre l'incendie. Ce coffrage a cependant l'inconvénient de ne pas permettre le suivi et l'entretien des structures acier.

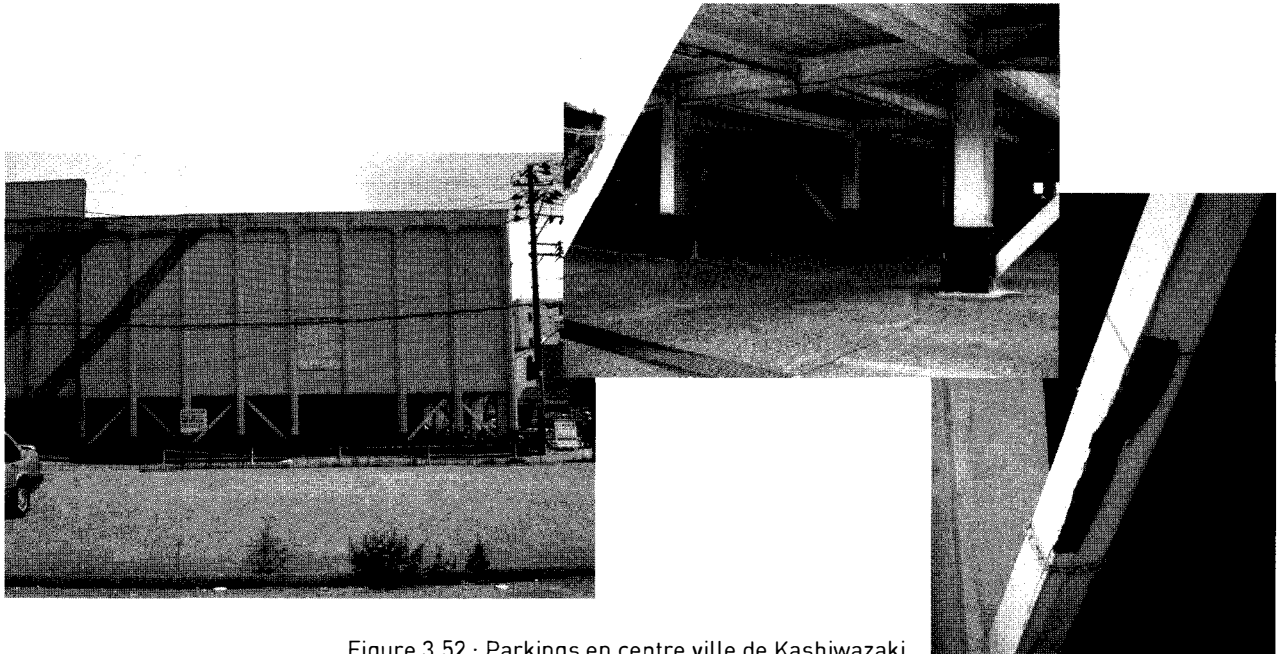


Figure 3.52 : Parkings en centre ville de Kashiwazaki

2- Bâtiment industriel derrière la caserne de pompiers de Kashiwazaki (Figure 3.53) : la corrosion des aciers a entraîné la rupture de l'encrage de la croix de Saint-André, rendant cette dernière inefficace (la redondance des ces éléments de contreventement a permis à la structure de résister à cet évènement).



Figure 3.53 : Bâtiment industriel près de la caserne de pompiers de Kashiwazaki

3- Hangar sur le port de pêche (Figure 3.54) : bien qu'un hangar ne soit pas réellement une structure « importante » au sens de ce chapitre, il est intéressant de constater l'état de corrosion au niveau des ancrages de poteaux notamment, qui démontre le manque d'entretien de la structure.

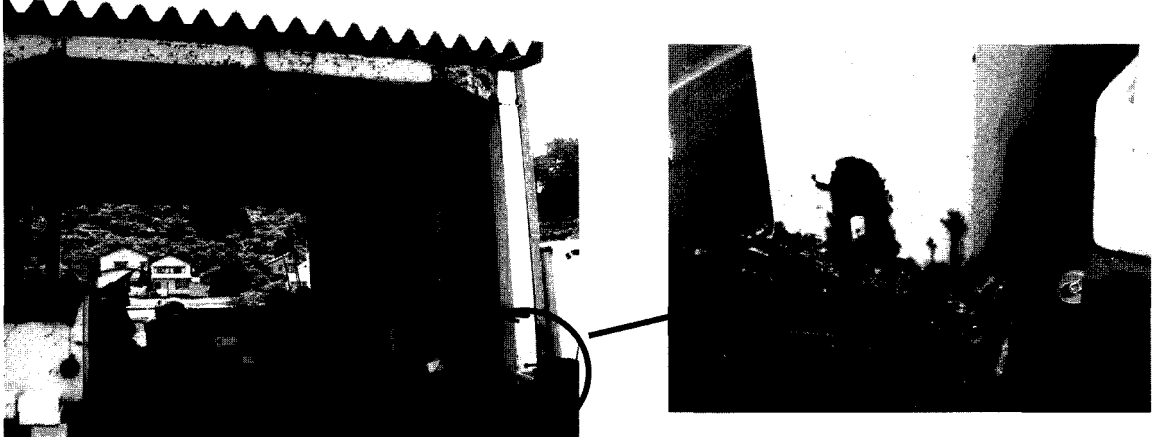


Figure 3.54 : Hangar sur le port de pêche de Kashiwazaki

3.3.2 Etude des spectres de réponse

3.3.2.1 Etude de la région

Le séisme du 16 juillet 2007 était un séisme important, d'une magnitude 6.8 JMA avec un épïcêtre situé à proximité (moins de 20 km) de la ville de Kashiwazaki. Afin d'apprécier l'évènement, une étude d'un certain nombre d'accélérogrammes enregistrés par le réseau K-NET a permis de tracer les spectres élastiques (avec un amortissement de 5%). Les spectres ainsi définis ont été tracés sur une carte de la région (Figure 3.55).

A chaque station, deux spectres élastiques sont définis : l'un pour la direction Nord-Sud (en rouge) et l'autre pour la direction Est-Ouest (en bleu). Tous les graphiques sont définis de la même manière :

- en abscisse : la fréquence variant de 0 à 15 Hz avec une graduation tous les 5 Hz,
- en ordonnée : l'accélération spectrale variant de 0 à 1,8 g avec une graduation tous les 0,2g.

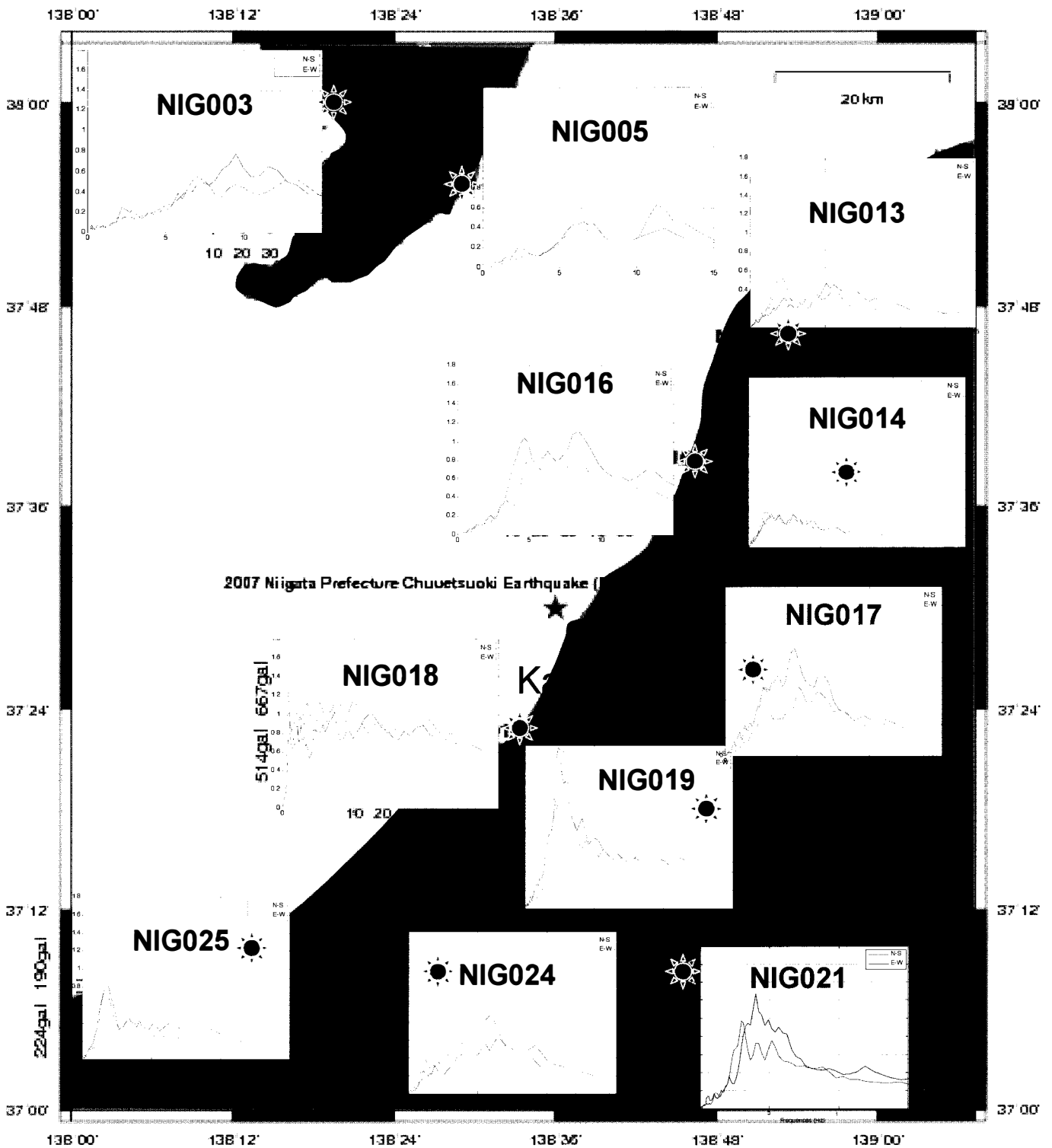


Figure 3.55 : Spectre élastique, calculé à partir des enregistrements K-Net pour un amortissement de 5%

Cette figure met en évidence d’une part la directivité de l’évènement sismique et d’autre part le contenu inhabituel de l’enregistrement NIG018, situé près de la mairie de Kashiwazaki. Une étude spécifique de cette station est présentée ci-après.

3.3.2.2 Etude de la station K-NET NIG018

Enregistrement K-Net N018 :

L'étude des enregistrements de la station K-Net N018, près de la mairie de Kashiwazaki permet de tracer les spectres de réponse élastique pour un amortissement de 5% (Figure 3.56). Il peut être constaté que l'accélération spectrale dans les deux directions horizontales varie entre 0.6 et 1.2g pour les périodes de bâtiments R+2 à R+14, [soit un coefficient variant entre 1 et 2 par rapport à l'accélération au sol].

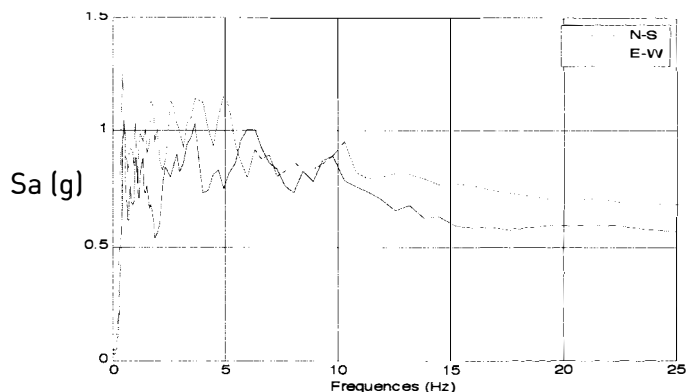
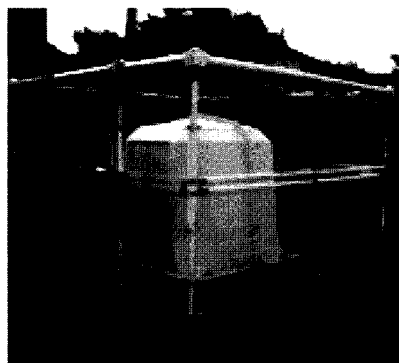


Figure 3.56 : Spectre de réponse élastique (5%) à la station NIG 018



De plus en traçant l'accélération N-S versus l'accélération E-W, il peut être remarqué qu'il existe une direction principale du séisme dans la direction N – NW (Figure 3.57). Ceci est en accord avec les dégâts et les déformations structurelles observés dans cette zone géographique lors de notre mission (cf. renversement de pierres tombales, déplacement de la tour d'incinérateur...).

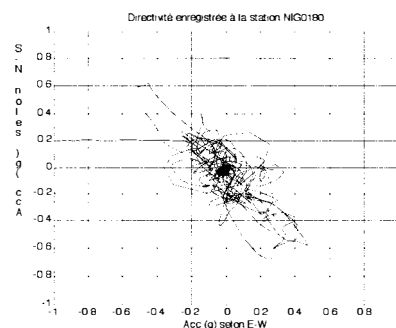


Figure 3.57 : Accélération E-W vs. N-S à la station NIG018

Comparaison avec les codes japonais et européens:

Une comparaison de ce spectre avec le règlement japonais (et l'Eurocode 8) exhibe le caractère inhabituel d'un tel signal. Alors que généralement l'accélération spectrale diminue pour des périodes supérieures à 1 seconde pour des sols plutôt mous (Figure 3.58), on peut remarquer un pic important sur le spectre de NIG018 pour des périodes de plus de 2 secondes (Figure 3.59). Les structures souples ont donc été fortement agressées lors de cet évènement.

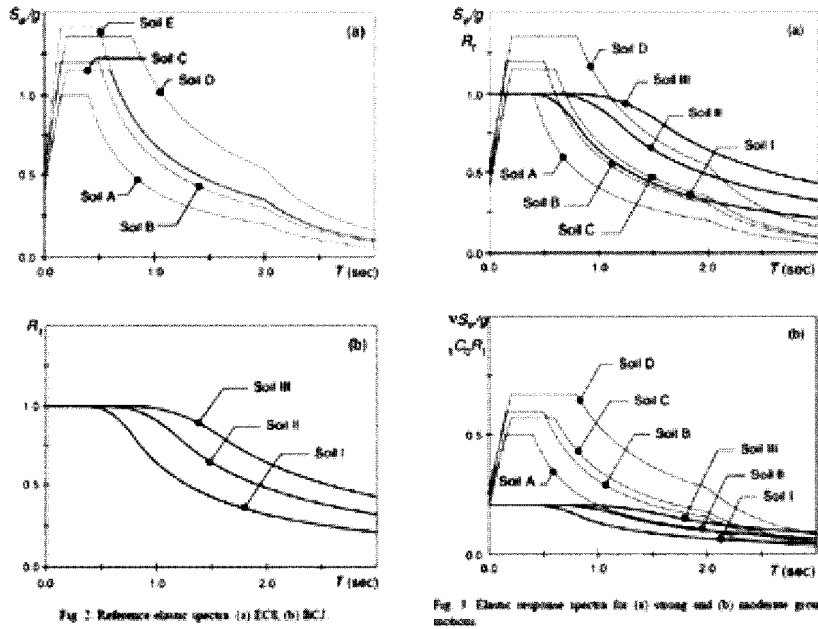


Figure 3.58: Spectres élastiques japonais et européens

Images provenant de l'article "Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures – E. Marino et al. Engineering Structures 27 (2005) 827-840"

Comparaison avec l'évènement sismique d'octobre 2004:

Afin de valider les caractéristiques inhabituelles de l'enregistrement à la station NIG018, les spectres élastiques ont été tracés pour les séismes du 16 juillet 2007 et du 23 octobre 2004 (Figures 3.59 et 3.60).

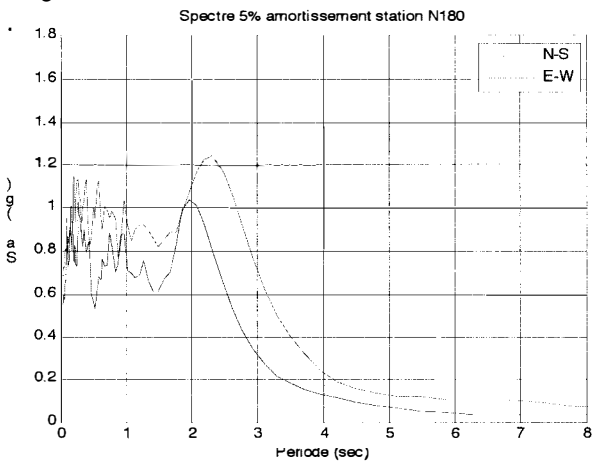


Figure 3.59 : Spectre élastique NIG018 –séisme de 2007

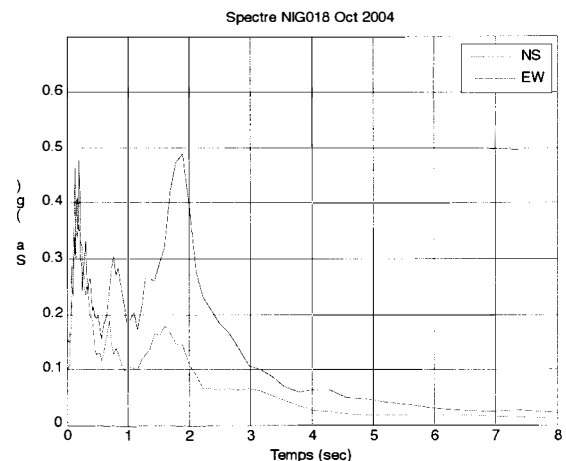


Figure 3.60 : Spectre élastique NIG018 –séisme de 2004

Cette simple comparaison met en évidence les caractéristiques très particulières de ce site (effet de site) : si l'on retrouve bien des accélérations spectrales fortes pour les périodes basses (\leftarrow 1 sec.), le pic aux environs des 2 secondes (fréquence d'environ 0.5 Hz) est typique de ce lieu.

Les structures ayant une période propre correspondant à ces valeurs spectrales maximales ont donc été plus fortement sollicitées.

3.3.3 Conclusions

De manière générale, les bâtiments en béton armé et/ou structure métallique se sont relativement bien comportés pour le niveau sismique subi, notamment grâce à des dispositions constructives parasismiques adaptées et des contreventements en nombre suffisant. Les bâtiments lourds étant généralement fondés sur pieux, les dégâts visibles se sont limités aux éléments non structuraux et aux interfaces avec les voiries périphériques, témoignant de l'importance des sollicitations sismiques et des mouvements de sol.

Il semble qu'un certain nombre de dispositions de renforcement sismique (contreventement métallique additionnel, butée anti-échappement...) sur des ouvrages sensibles (école, caserne de pompier, hôpitaux, ponts ...) ait été mis en place suite au séisme de Kobe.

3.4 Vulnérabilité d'ensemble et répartition des dommages

L'observation des caractéristiques structurelles et fonctionnelles du territoire montre que les enjeux présentent un niveau variable de vulnérabilité aux séismes en fonction de leur nature. De façon simplifiée, on peut noter par exemple :

- une forte vulnérabilité de l'habitat individuel traditionnel ;
- une faible vulnérabilité des constructions récentes (10-15 ans) de maisons individuelles à l'exception de certaines extensions ;
- une faible vulnérabilité du bâti collectif et spécifique ;
- une faible vulnérabilité des ponts ;
- une vulnérabilité modérée des voies de circulation structurante même si l'intervention des services techniques a permis une remise en service rapide ;
- une forte vulnérabilité du patrimoine (temple et maisons traditionnelles anciennes).

Au sein de la population, on dénombre relativement peu de victimes en comparaison de séismes passés de même magnitude sur d'autres territoires (Arménie par exemple). Ce fait est essentiellement lié à une densité urbaine faible, à la présence de bâtiments peu élevés, à l'heure du séisme et à la culture du risque fortement présente dans la société japonaise.

Du point de vue économique, si les activités industrielles et commerciales ont été relativement peu perturbées, l'activité touristique le fut beaucoup plus fortement (90 % de chute de fréquentation).

La répartition des dommages a été appréhendée par le biais du comptage des classifications de niveau d'endommagement « rouge, jaune, vert » (voir paragraphe relatif à la gestion de crise) sur des échantillons d'une centaine de bâtiments environ observés dans les zones surlignées en orange sur la carte ci-après. Les résultats de cette approche sont présentés sur la Figure 3.61 ci-après à l'aide de camemberts permettant de visualiser la proportion de chaque niveau d'endommagement.

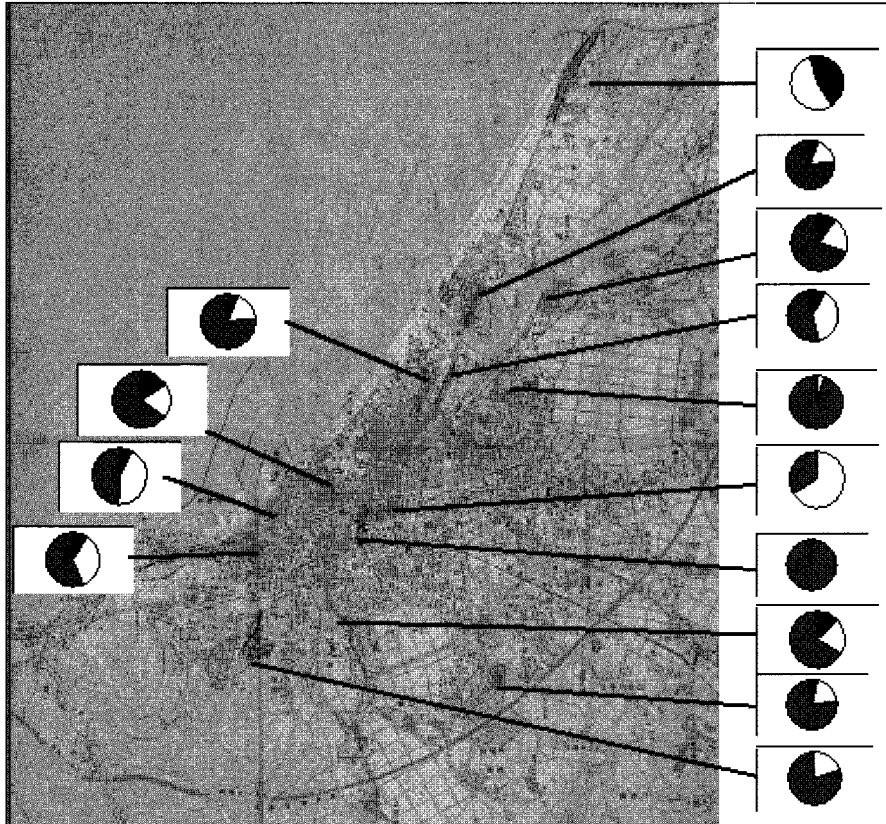


Figure 3.61 : Répartition des dommages sur la commune de Kashiwazaki

Les dommages les plus importants sont constatés sur les secteurs les plus près de la côte et le centre ancien de la commune. Les secteurs « Est », d'urbanisation plus récente, présentent des dommages plus modérés.

L'examen des types constructifs montre que la vulnérabilité des structures observées ne peut expliquer à elle seule les niveaux de dommages. Il est vraisemblable que les constructions récentes sont beaucoup moins vulnérables que les constructions du centre ancien. Cependant, les propriétés du sol, et notamment leur capacité à amplifier les ondes sismiques et à se liquéfier, semblent avoir aggravé fortement les conséquences du séisme sur les constructions au sein des zones urbanisées côtières et le long des cours d'eau.

Sans reprendre les conclusions partielles des paragraphes précédents, dédiés au bâti courant et aux ouvrages plus importants, on peut noter :

- le caractère particulier du site de Kashiwazaki (effet de site, d'où une sollicitation plus importante des structures souples dont le bâti ancien),
- les fondations profondes ont généralement présenté un bon comportement, même en cas de liquéfaction. Ceci n'est pas le cas des fondations superficielles, non associées à un réseau de murs en béton armé.
- de manière générale, les structures ayant fait l'objet d'études d'ingénierie se sont bien comportées.
- le manque d'entretien, si ce dernier n'est pas associé à une redondance des éléments de contreventement, peut être un facteur de risque aggravant.

Chapitre 4

Chuestu-Oki, 2007

Un séisme de M6.6 à faible profondeur sur la côte ouest du Japon : Gestion de la situation de crise

Ce chapitre a été rédigé par Philippe Sabourault, avec la participation de Jean-François Sidaner et Ghislaine Verrhiest.

4. Gestion de crise

4.1 Contexte (nature et ampleur des dégâts matériels et victimes)

Le séisme de CHU-ETSU-OKI (Japon) le 16 juillet 2007 d'une magnitude JMA 6.8 a engendré des dégâts matériels variés (habitation, installations industrielles et nucléaires, ouvrages d'art, réseaux eau et énergie), mais il a conduit à un nombre relativement peu élevé de victimes (11 décès, 2000 blessés), par rapport à la population présente dans la zone affectée (19 communes).

En termes de coût, les premières estimations indiquent que le séisme a fait environ 1.500 milliards de yens (9,1 milliards d'euros) de dégâts, selon un premier chiffre rendu public par les autorités locales. Les dommages directs et indirects provoqués à la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa, représentent à eux seuls 700 milliards de yens, soit près de la moitié du montant des dégâts. Les dégâts infligés aux autres industries et aux commerces sont évalués à 300 milliards de yens, ceux aux habitations à 200 milliards, aux infrastructures à 70 milliards et à l'agriculture et aux pêches à 40 milliards.

Autre conséquence économique et industrielle, le Japon a réduit de 110.000 véhicules la production automobile totale du pays, en raison d'une pénurie de pièces détachées qui a forcé les constructeurs à arrêter tout ou partie de leurs usines pendant 1 semaine. Le séisme a en effet endommagé la principale usine de l'équipementier automobile Riken, qui fournit des pièces cruciales à la plupart des constructeurs nippons. Riken produit plus de 50% des segments de piston et environ 70% des joints d'étanchéité utilisés dans l'industrie automobile japonaise. Sa production a repris partiellement après une semaine d'interruption.

Afin de donner quelques repères de la crise, on peut noter que 12483 personnes étaient évacuées hors de leur logement, le 17 juillet 2007. Deux semaines après le séisme 1300 demeuraient sans abri, 20 599 habitations ont été endommagées à des degrés divers, dont 1025 ont été complètement détruites et 203 gravement endommagées. Les télécommunications ont subi peu de dommages : ces dommages ont pu être réparés rapidement, car le réseau est aérien. Il faut noter que jusqu'à ce que l'électricité soit rétablie, la population de la zone sinistrée ne pouvait pas avoir accès à l'information que par la radio, les autres canaux étant inopérant (télévision, internet, ...). L'autoroute -principal accès à la ville de Kashiwazaki- a été localement affectée, sans être rendue hors d'usage. L'accès à la même zone par la route numéro 8 a été coupé par un glissement de terrain, ainsi qu'un certain nombre de routes secondaires : globalement la circulation a cependant été rétablie rapidement, au besoin par des contournements locaux. La distribution d'électricité a été rétablie en trois jours, l'eau potable en deux semaines, le gaz de ville en un peu moins d'un mois. On notera l'absence d'incendie majeur (3 feux dénombrés dus au séisme) : ceci tient à des facteurs conjoncturels, en raison de la saison (été donc pas de chauffage en

fonctionnement), de l'heure du séisme (milieu de matinée donc les cuisinières n'étant pas en fonctionnement), mais aussi de dispositions de protection parasismique (coupure automatique du réseau en cas de séisme obligatoire au Japon depuis le séisme de Kobe de janvier 1995 où de nombreux incendies s'étaient déclenchés à cause du réseau de gaz).

La zone sinistrée par le séisme se trouve le long du littoral : elle est également potentiellement exposée aux tsunamis. En conséquence, les autorités locales avaient prévu un fléchage vers des zones d'abri en hauteur, proches du littoral en cas de tsunami. Un de ces abris (un temple en bois) visité par la mission AFPS s'est effondré sous l'effet du séisme et donc n'aurait pas pu être utilisé en cas de tsunami lié à un tel événement (dans le cas présent, l'effet du séisme sur les niveaux marins est resté limité).



Pancarte indiquant un abri en hauteur pour se protéger d'un tsunami (photo de gauche), abri tsunami effondré, source AFPS

On peut noter aussi une forte présence des médias sur place notamment sur le parking de la mairie de Kashiwazaki encore trois semaines après le séisme.



Maintien de la présence des médias à la mairie de Kashiwazaki trois semaines après le séisme, source AFPS

Enfin, il est intéressant de noter que quelques jours après le séisme, un groupe d'experts a été chargé d'auditer la manière dont la gestion de crise a été conduite, dans un souci de retour d'expérience. L'audit a conclu que la crise avait été gérée rapidement et efficacement.

4.2 Organisation des institutions locales et régionales en cas de crise

- Organisation de la gestion de crise au sein de la Préfecture de Niigata

La mission AFPS a été reçue par le Directeur en charge de la gestion de crise à la préfecture, accompagné de ses collaborateurs immédiats.

La Préfecture a fait dans un premier temps une synthèse du déroulement sur 15 jours de la gestion de l'évènement par les services de la Préfecture, une discussion s'est ensuite engagée notamment sur le rôle de chaque acteur (commune, préfecture, forces d'autodéfense, gouvernement).

Deux faits ont été très soulignés par la Préfecture de Niigata.

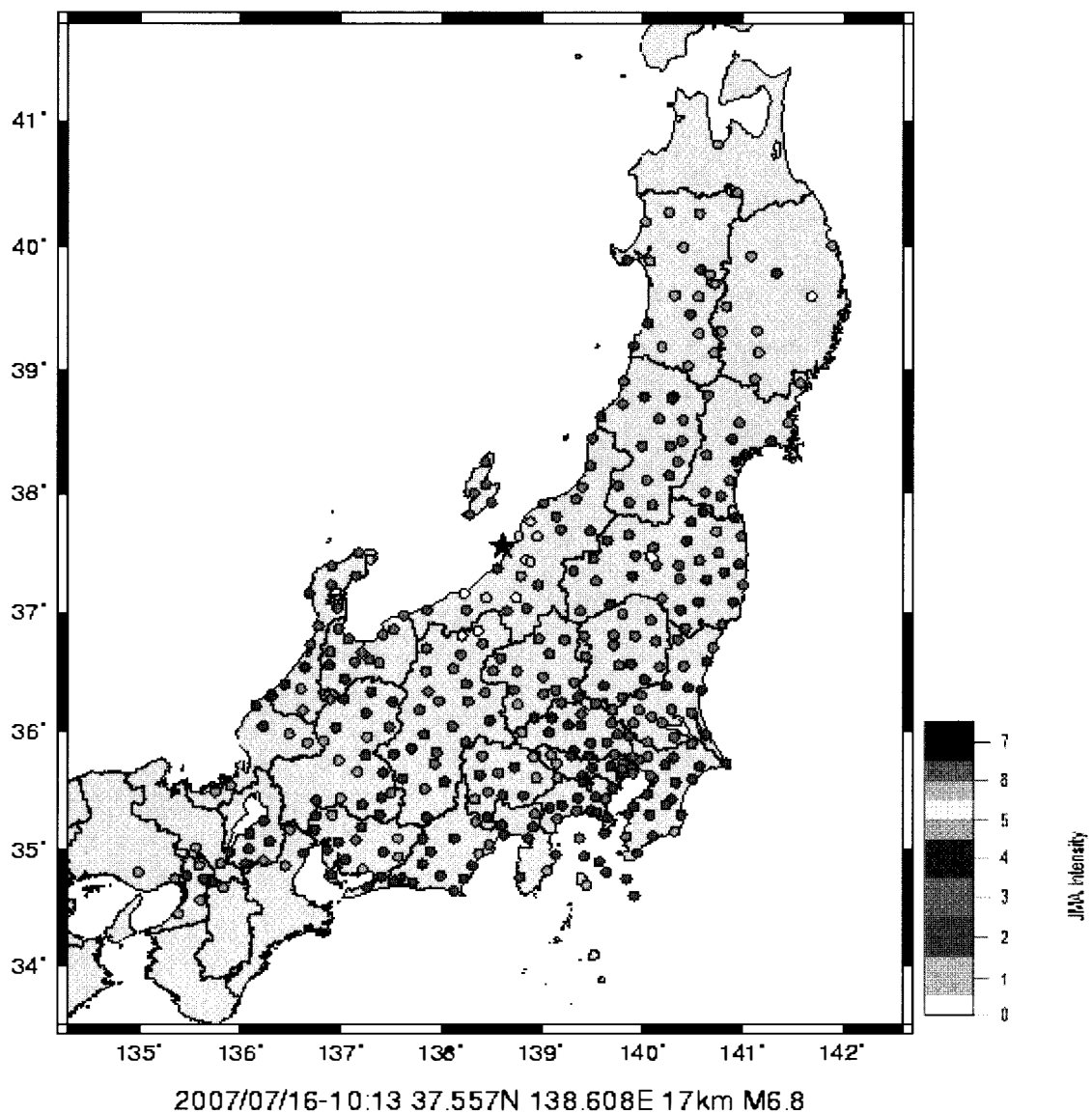
- Le premier concerne le manque d'information sur les incidents de la centrale nucléaire, qui a gêné la Préfecture de Niigata dans les heures et jours qui ont suivi le séisme. La Préfecture regrette que TEPCO et le gouvernement n'aient transmis aucune information immédiatement après l'évènement. La Préfecture a indiqué n'avoir eu accès qu'aux informations sur la centrale nucléaire fournies par les médias alors que pendant des années, le Japon avait fait des efforts importants sur la transparence des informations sur les centrales nucléaires japonaises.
- Le deuxième concerne les conséquences désastreuses sur l'activité touristique de la région, dues selon la Préfecture au traitement alarmiste par les médias des incidents dans la centrale nucléaire. La région de Niigata n'a été que très partiellement affectée par le séisme (sud de la région). Il a néanmoins été enregistré une baisse de fréquentation de 90% du tourisme sur l'ensemble de la région. Il s'agit d'une région balnéaire très appréciée en été par les japonais pour ses plages. Les rejets radioactifs intempestifs dans la mer (fait avéré mais très restreint et non dangereux selon les données de TEPCO) et ainsi que la diffusion d'un nuage radioactif (de réalité beaucoup plus hypothétique) ont été relayés de façon alarmiste par les médias, selon la Préfecture. Ceci aurait conduit à l'annulation par beaucoup de touristes de leurs vacances dans la région. La Préfecture aurait donc souhaité disposer rapidement d'informations précises sur les incidents, afin de communiquer vers la population et les médias. La préfecture a commandé une étude environnementale à des experts indépendants, visant à savoir si la faune et la flore marine ont été ou seront affectés par une éventuelle contamination. La Préfecture souhaite le plus rapidement possible communiquer aux médias les résultats de cette étude dans l'optique d'un retour de la confiance des touristes.

Quant à l'information de la population par la Préfecture de Niigata, quatre conférences de presse par jour ont été organisées les premiers jours de la crise.

103 stations sismiques sont installées sur la zone couverte par la préfecture de Niigata. Les enregistrements sont gérés par l'institut météorologique japonais JMA. Celui-ci prévient la Préfecture en cas de séisme majeur. Lorsque la préfecture est alertée, elle prévient à son tour les mairies pouvant potentiellement être touchées. La carte d'alerte éditée par JMA est basée sur une corrélation entre les niveaux d'accélération mesurés dans l'ensemble des stations du réseau et la probabilité de dommages, traduite en intensité JMA. L'échelle d'intensité JMA définit 7 niveaux de dommages, de 1 à 7. La comparaison a posteriori de la carte d'alerte avec l'étendue des zones affectées montre la pertinence de cet outil. L'établissement d'un tel outil suppose l'intégration d'informations sur la vulnérabilité moyenne du bâti existant, qui n'existe

pas actuellement en France. Les différents services de gestion des situations de crise intègrent directement dans leur propre processus de décision la valeur de l'intensité transmise par l'agence JMA pour leur zone territoriale, cette valeur commandant l'ampleur du processus de mobilisation mis en œuvre. La préfecture de Niigata utilise ainsi un seuil de mise en veille préventive pour une intensité 4 JMA (appel de quelques responsables) et un seuil de mobilisation générale automatique pour une intensité 6 JMA annoncée en un point quelconque de la région de Niigata.

JMA Intensity Distribution Map



Au niveau de la préfecture, six cellules opérationnelles thématiques sont mises en place avec des rôles bien définis au préalable : secours (29 personnes), vies (23 personnes), sécurité (8 personnes), santé (43 personnes), nourriture (50 personnes), aide à la reconstruction (28 personnes). Une cellule de 80 personnes est chargée de la coordination des six autres cellules, de la stratégie et de la planification de la crise au sein de la direction de gestion de crise de la Préfecture. Le niveau de direction stratégique rend compte à l'assemblée constituée des décideurs (gouverneur, élus, préfet).

Les fonctionnaires de la préfecture sont prévenus très rapidement en cas de séisme, sur leurs téléphones mobiles par un message d'urgence, du travail qu'ils ont à accomplir (certains sont par exemple envoyés sur le terrain pour recueillir de l'information). Dans les jours qui suivent, une partie de personnel de la préfecture est envoyée en renfort dans les mairies, si les maires estiment qu'ils ont besoin d'agents pour les aider à gérer la crise. Deux semaines après la crise, des agents (par binôme) de la Préfecture passent régulièrement dans chacun des quartiers sinistrés afin de recenser d'éventuels besoins médicaux et psychologiques des habitants.

Concernant les télécommunications entre les acteurs de la crise, la Préfecture dispose des numéros de téléphone portable des personnels des services d'incendie, de la police et des mairies. Elle utilise des lignes prioritaires afin d'éviter le souci de la saturation des lignes et de téléphone satellites dans le cas où les autres moyens de télécommunications sont inopérants (cas du séisme de 2004 à Niigata où des relais GSM avait été endommagés). La principale source d'information de la préfecture sur l'étendue des dégâts et sur le nombre de victime vient des pompiers de chaque commune et des mairies.

Pour la reconnaissance, la préfecture dispose d'un hélicoptère. D'autres hélicoptères ont été mobilisés suivant les besoins, notamment ceux des forces d'autodéfense du Japon. Au plus fort de la crise, douze hélicoptères assuraient le transport des blessés graves notamment en raison d'un nombre important de routes difficilement praticables.

Des conventions d'intervention sont préparées et signées à l'avance entre la Préfecture et certaines entreprises et associations, dans l'ensemble des domaines où ils peuvent apporter une contribution à la gestion de la situation (supermarché, transport, hôpitaux, cliniques, groupements de médecins, télécommunications, reconstruction). Immédiatement après le séisme, ces intervenants identifiés de la société civile savent ce qui est attendu d'eux et se préparent en conséquence à être mobilisés.

Bien que l'organisation de la gestion d'une crise dans la société japonaise place la commune au cœur du dispositif et non pas la préfecture, la mission a été très impressionnée par l'état de préparation et par l'ampleur de la mobilisation (environ 200 personnes) des services de la préfecture mise en œuvre.

Il est intéressant de noter qu'après cet évènement majeur, un audit externe pour le retour d'expérience a été réalisé afin d'examiner comment la crise avait été gérée par la préfecture. Le résultat de cet audit a été jugé très satisfaisant par la Préfecture.

- Organisation de la gestion de crise au sein de la mairie de Kashiwazaki

Au Japon, les mairies sont au cœur du dispositif de gestion de crise en cas de séisme en termes de recensement des besoins, organisation et mise en œuvre effectives des moyens, ce rôle étant en France plutôt du ressort de la préfecture de département. La mairie assure également l'information de la population. L'évacuation de la population est notamment décidée et organisée par les mairies et non par la préfecture. Au total sur la zone couverte par la préfecture de Niigata, 3 communes et 17 arrondissements ont été amenées à gérer des évacuations d'urgence du fait des dommages aux habitations, soit 12483 personnes évacuées et réparties sur 116 lieux d'accueil. La mairie de Kashiwazaki a joué un rôle central dans la

gestion de l'événement, la commune de Kashiwazaki étant le centre urbain de la zone affectée.

La mission AFPS a eu une réunion avec le maire de Kashiwazaki et le chef de la cellule de gestion de crise de la mairie. Le maire a fait dans un premier temps une synthèse du déroulement sur 15 jours de la gestion de l'événement par les services de la mairie, une discussion s'est ensuite engagée notamment sur le rôle de chaque acteur (commune, préfecture, forces d'autodéfenses, gouvernement, ...). Deux semaines après la crise, les équipes de gestion de crise de la mairie entraient dans la phase de récupération.

La mairie de Kashiwazaki a pu jouer son rôle de PC opérationnel de gestion de crise, malgré quelques dommages et des désordres internes au niveau de l'ameublement. Elle dispose d'un plan communal d'urgence séisme qui - lorsqu'il est activé - conduit à un fonctionnement 24h/24h de la mairie tout au long de la gestion de l'événement, c'est-à-dire plusieurs semaines. Les procédures et organisations à mettre en place y sont décrites avec précision. Des exercices réguliers d'application sont mis en oeuvre afin de tester et d'améliorer ce plan.



Mairie de Kashiwazaki, source AFPS

Les fonctionnaires de la mairie s'auto-mobilisent suivant l'ampleur du séisme (à partir de l'équivalent d'une intensité IV EMS98) et disposent de fiches descriptives des tâches qu'ils ont à conduire en situation d'urgence (rejoindre la mairie, collecter des informations sur le terrain, contacter des personnes, ...).



Mairie de Kashiwazaki : salle de crise mise activée pour le séisme, source AFPS

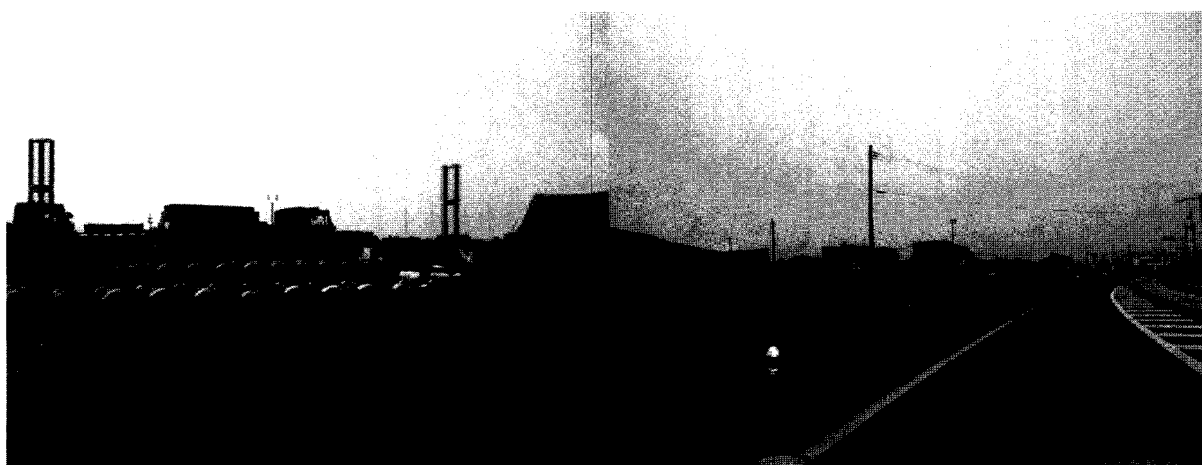
La mairie a notamment communiqué avec l'ensemble des habitants par l'intermédiaire de messages audio diffusés dans les rues et à travers les boîtiers électroniques récepteurs radio

dont disposait chaque foyer (en raison de la proximité de la centrale nucléaire).

En liaison avec cette organisation municipale, les services publics se sont fortement appuyés sur la société civile (bénévoles, associations) pour traiter la crise.

- Organisation de la gestion de crise au sein des forces d'auto-défense

Les forces d'auto-défense et la marine japonaise ont positionné sur le port de Kashiwazaki un camp temporaire très important visant à réceptionner, répartir et distribuer les vivres et matériels aux sinistrés. Un PC de crise était installé pour gérer les moyens mis en œuvre. Dans ce PC, une vingtaine de personnes coordonnait les actions à mener. Ils disposaient pour cela d'ordinateurs portables et d'une cinquantaine de lignes téléphoniques. Autour du PC se trouvent les installations abritant les marchandises et le matériel à répartir, ainsi que l'ensemble des moyens logistiques nécessaires au fonctionnement de cette base (logements des militaires).



Exemple de camp installé par les forces d'auto-défense, source AFPS

Au plus fort de la crise, 3300 hommes ont été déployés, deux semaines après le séisme ils étaient encore 2500. Tant que le gaz de ville n'est pas entièrement rétabli, ils assureront notamment la préparation des repas et le chauffage des bains publics pour les personnes secourues.

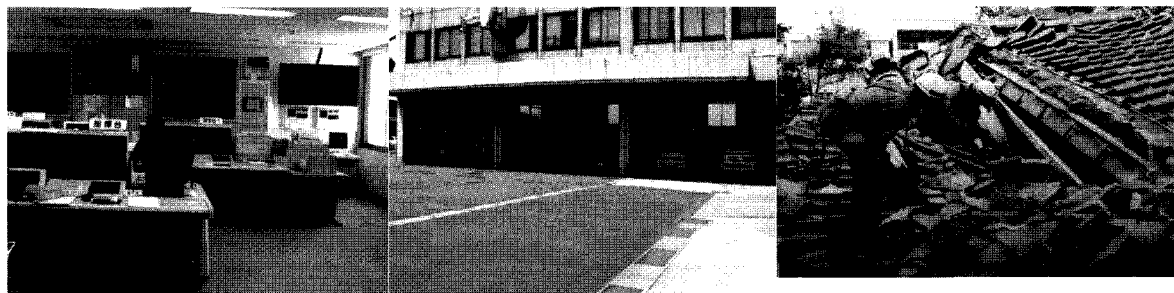
4.3 L'urgence (1 à 7 jours)

4.3.1 Le jour du séisme

4.3.1.1 Secourir, transporter et soigner les blessés graves et légers

Au total, il a été répertorié 11 décès et 1956 blessés. Pendant le séisme, 40 pompiers étaient en service, le reste des effectifs (au total 142 permanents) était arrivé à la caserne de pompier 30 minutes après le séisme. Une première projection de l'ensemble des moyens d'intervention de la caserne a été possible sous vingt minutes. La première heure, 80 appels ont été traités par les pompiers sur les 119 reçus. En quelques heures, les 1505 auxiliaires volontaires présents dans la ville se sont mis à disposition de la caserne et se sont déployés dans chaque quartier pour participer aux actions de repérage et de secours aux victimes. La priorité des pompiers dans les premières heures après le séisme était de dégager les victimes des décombres et d'en assurer le transport vers les structures de soins (hôpitaux et cliniques) de la région. La caserne

de pompiers de Kashiwazaki a subi peu de dommages structurels, car elle a été renforcée après les derniers événements sismiques. Elle a donc pu remplir son rôle de secours aux blessés et de traitement des incendies constatés, dont celui de la centrale nucléaire (demande d'intervention de TEPCO une heure après le début d'incendie). La caserne ne disposait plus d'alimentation électrique de l'extérieur : les groupes électrogènes prévus à cette fin ont permis d'assurer un bon fonctionnement de la caserne. La caserne ne disposait plus d'arrivée d'eau et ce pendant une dizaine de jours. Pour les besoins des pompiers, les rivières et étangs ont été utilisés pour la fourniture de l'eau afin de remplir des citernes. Des réservoirs parasismiques de 100 tonnes d'eau -remplis en permanence- sont disposés un peu partout sur le territoire japonais, mais il semblerait d'après les propos des pompiers qu'ils soient encore en nombre insuffisant. Les véhicules parkés dans les hangars ont subi de légers dommages par entrechoquement entre eux, mais ont pu tout de même être utilisés. Des désordres dans les espaces de bureaux au sein de la caserne de Kashiwasaki ont également être constatés.



PC de gestion des moyens de secours et véhicules (une dizaine) de la caserne de pompiers de Kashiwasaki, source AFPS

Les forces d'auto-défense présentes le jour même sur la zone sinistrée ont aidé les pompiers à assurer le transport des blessés vers les structures médicales (hôpital et cliniques).



Moyens de transport des blessés par les forces d'auto-défense, Source AFPS

La majorité des blessés ont été transportés par la route, les plus graves par hélicoptère. On peut noter que le réseau routier - même s'il a subi des dommages importants localement - a permis tout de même d'acheminer les moyens de secours. En effet, la zone sinistrée n'est pas une zone enclavée desservie par une seule route, mais au contraire bénéficie d'un réseau assez redondant. Les portions impraticables du réseau routier ont donc pu être contournées par d'autres itinéraires. Cette région du Japon n'a donc pas mis en œuvre en termes de prévention la notion d'itinéraires renforcés pour l'acheminement des secours.

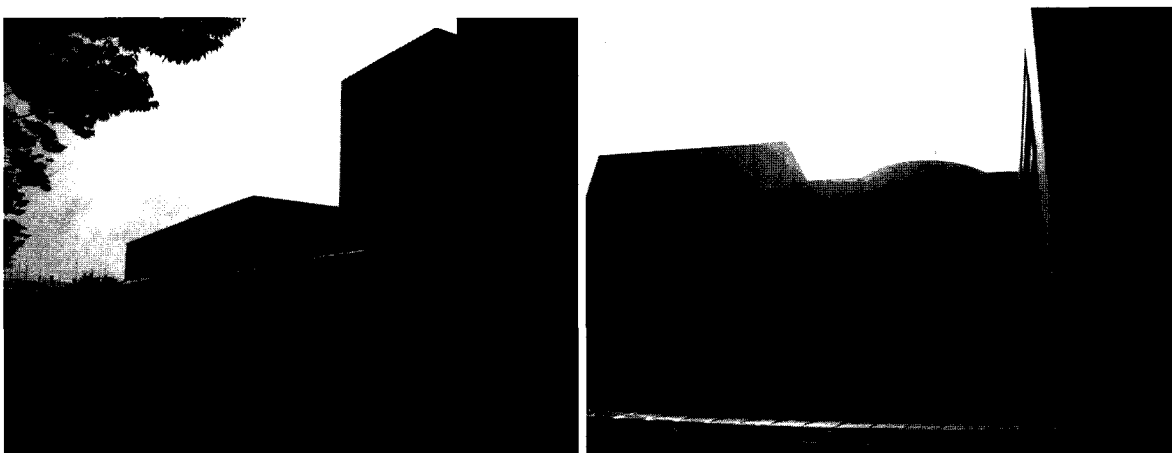
- Clinique de Kashiwazaki

Le bâtiment de la clinique n'a pas subi de dommages structuraux. L'alimentation électrique et en eau de la clinique n'a pas été perturbée par le séisme bien que le réseau d'eau potable de la ville ait subi de fortes dégradations. L'alimentation en eau en temps normal de la clinique se fait par l'intermédiaire d'un réservoir, La clinique dispose de groupes électrogènes, mais n'a

pas eu à les mettre en marche. Le nombre de lits à la clinique (80 à 90) était suffisant pour faire face aux arrivées de blessés dirigés vers cet établissement (du 16 au 31 juillet : 148 personnes ont été accueillies dont 13 pour hospitalisation). Les blessés arrivaient à la clinique soit par leur propre moyen, soit ont été amenés par les pompiers. La clinique n'a pas eu à faire face à flux trop important de cas à traiter car les pompiers s'occupaient en amont de répartir les blessés dans les centres de soins suivant les capacités de chacun. La clinique a subi peu de dommages sur les équipements exceptés l'IRM, le système de nettoyage des caméras utilisés pour inspecter l'intérieur des corps des malades et le système de climatisation qui utilise le gaz de ville (réseau arrêté pendant un mois), qui n'étaient plus en état de fonctionner.

- Hôpital de Kashiwazaki

L'hôpital en lui-même est parasismique, il est fondé sur 600 pieux à 30 m de profondeur et s'est bien comporté.



Bâtiments parasismiques de l'hôpital, source AFPS.

Il a tout de même subi quelques dommages essentiellement sur les réseaux enterrés qui arrivaient dans les bâtiments de l'hôpital. L'affaissement du sol de l'ordre de 60 cm par endroit a engendré un endommagement des conduites enterrées.



Domages aux réseaux enterrés reliant le bâtiment principal de l'hôpital (gauche de la photo) au bâtiment énergie (à droite de la photo), source AFPS

L'alimentation courante électrique de l'hôpital a été perturbée : la source normale d'alimentation électrique de l'hôpital a été rétablie 7 heures après le séisme. En conséquence, les deux groupes électrogènes de 400 kW/h chacun ont été immédiatement mis en marche pour

subvenir aux besoins électriques les plus importants (consommation habituelle 1000kW/heure). Toutefois, la climatisation et le chauffage, à cause du manque d'alimentation en gaz n'ont pas fonctionné pendant une semaine. Deux semaines après le séisme, 60% de la climatisation dans l'hôpital est rétablie. La préparation sur place des repas n'a donc pas été possible pendant une semaine. La salle d'opération n'a également pas pu être utilisée car les instruments de stérilisation ne pouvaient pas fonctionner. En conséquence, certains patients ont été évacués vers d'autres hôpitaux plus opérationnels.

L'alimentation en eau potable a également été fortement perturbée après le séisme. Une gestion restrictive de l'eau a été mise en place, car les besoins courants en eau (150 tonnes d'eau par jour) ne pouvaient être satisfaits. Les dialysés ont été transportés d'urgence vers les hôpitaux disposant des ressources nécessaires. La mairie de Kashiwazaki a pu très rapidement approvisionner l'hôpital à hauteur de 10 tonnes d'eau par jour, puis les forces d'auto-défense ont contribué au bout de deux jours à hauteur de 100 tonnes d'eau par jour. L'approvisionnement de l'hôpital a notamment été réalisé par les forces d'auto-défense, qui ont amené de l'eau en bouteille.

L'hôpital dispose de 440 lits en configuration normale : il a pu traiter, dans les trois premiers jours de la crise, 970 blessés du fait du séisme. Les produits de la pharmacie de l'hôpital n'ont pas subi de détériorations car ils sont conditionnés en plastique et non verre : ce type de flacon est donc moins sensible aux chocs ou aux chutes.

L'IRM n'a pas été utilisable pendant une journée, le temps de le régler de nouveau. Une fuite du réseau d'eau chaude a endommagé le système informatique ainsi que l'appareillage médical des sondes.

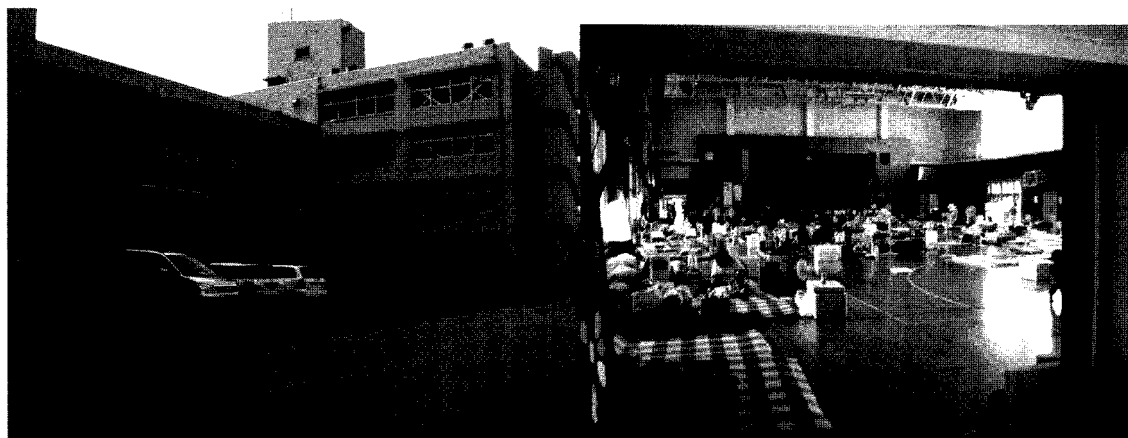
4.3.1.2 Héberger et nourrir les sans-abris dès le premier soir

Les autorités ont disposé d'une dizaine d'heures pour organiser l'hébergement des sans-abris et la distribution des repas.

Pour l'hébergement d'urgence, deux types ont été utilisés : des bâtiments existants détournés de leur fonction initiale pour servir de centres d'hébergement (écoles, gymnase, ...) et des tentes. Les écoles ont pu être utilisées sans perturbation complémentaire car le séisme a eu lieu en période de vacances scolaires. Les enseignements n'ont donc pas été perturbés. Les tentes ont été fournies par la Marine et les forces d'auto-défense.

Des centres d'accueil ont été ouverts afin que l'ensemble des sans-abris puisse dormir sous un toit dès le premier soir.

Un centre d'accueil dans une école primaire a été visité par la mission AFPS. Le premier soir, cette école a été utilisée pour héberger une centaine de personnes, deux semaines après le séisme, 52 personnes y vivaient encore. Immédiatement après le séisme, des bénévoles se sont présentés aux autorités et dans les centres d'hébergement afin de proposer leur aide. Cette implication des bénévoles est essentielle dans cette gestion de crise sismique puisqu'elle représente en nombre la plus forte implication de civils dans la zone sinistrée.



Ecole primaire servant de centre d'hébergement avec sa salle de sommeil, source AFPS

A l'intérieur des centres d'accueils (ici une école primaire), des espaces de sommeil pour chaque famille sont installés.

L'essentiel de l'approvisionnement est assuré par la Marine et les forces d'auto-défense. Leur mobilisation a été faite par la Préfecture, les cadres de l'armée ont alors présupposé dans l'urgence les besoins nécessaires et ont acheminé les moyens pour y répondre. Un premier bateau chargé de vivres (nourriture, bouteilles d'eau, ...) et de matériels (tentes, couvertures, engins, ...) était au large de Kashiwazaki huit heures après le séisme.



Approvisionnement par la Marine, source AFPS



Examen de l'endommagement des quais, source AFPS

Le quai du port a été diagnostiqué pendant la nuit afin de savoir s'il n'avait pas subi de dommages sévères et donc s'il était apte à recevoir des charges importantes lors du déchargement du bateau. La Marine s'est coordonnée avec les forces d'auto-défense pendant la nuit afin de préparer le déchargement (lieu de déchargement, zone de répartition, ...). Le débarquement du matériel et des vivres a donc commencé dès le lendemain matin soit moins

de 24 heures après le séisme, ainsi que l'acheminement vers les sinistrés.

4.3.1.3 Impact et gestion des incidents dans la centrale nucléaire

La centrale nucléaire a été affectée par un certain nombre de désordres du fait du séisme. La mise à l'arrêt sûr des installations a été effectuée immédiatement et automatiquement dès détection de l'événement. Cette information a été transmise à l'ensemble de la population locale, par le réseau d'information prévu à cet effet.

Néanmoins, l'exploitant a du faire face à des difficultés non imaginées en termes de gestion de crise du fait de différents facteurs :

- Les désordres constatés au niveau du bâtiment administratif ont perturbé le fonctionnement des organes de direction de la centrale, notamment en termes de communication avec la préfecture de Niigata (le pilotage des réacteurs restant assuré par les salles de commande de ceux-ci, salles qui sont restées opérationnelles).
- La défaillance généralisée du réseau externe de protection incendie a conduit à laisser brûler le transformateur ayant pris feu, les dispositions de conception prévues pour maîtriser le risque de propagation d'un tel incendie –qui peut survenir indépendamment d'un séisme - étant par ailleurs efficaces (mur coupe-feu). L'incendie a finalement été éteint par les pompiers de la ville, lorsque des moyens d'intervention externes ont été appelés et affectés à cette tâche.
- La difficulté de caractériser l'état de la situation sur l'ensemble du site industriel dans des délais compatibles avec les attentes des autres acteurs a été sous-estimée, au-delà de la constatation essentielle de l'intégrité des réacteurs et du bon déroulement des processus d'arrêt d'urgence de ceux-ci. Ceci résulte notamment de la complexité du processus de reconnaissance qui doit être mis en oeuvre tout en maîtrisant la sécurité des intervenants dans des conditions d'intervention inhabituelles (perte d'éclairage dans certaines salles ou bâtiments, mesures et évaluation préalable des risques,...) et de la dimension du site. A mi-septembre, deux mois après l'événement, le recensement global de l'ensemble des défauts unitaires générés par le séisme semble en voie de stabilisation.
- Une perception différente des priorités, le souci majeur de TEPCO -après la mise en arrêt sur de cette centrale- étant d'assurer la continuité et la fiabilité de l'alimentation électrique de la région de Tokyo, et donc de mobiliser ses forces vives sur la remise en route d'autres installations à l'arrêt pour maintenance ou sous cocon.

4.3.2 Jours 2 à 7

4.3.2.1 Secours aux blessés

Les pompiers transportent les blessés depuis les lieux de sinistres ou des centres d'hébergements d'urgence vers les hôpitaux et cliniques. Les renforts nationaux en pompiers permanents ou volontaires (un million d'auxiliaires pompiers volontaires au Japon) n'ont pas été mobilisés car les pompiers des communes de la préfecture de Niigata étaient suffisamment nombreux pour faire face à la situation : la mobilisation de ces moyens est donc restée au niveau régional. Pour les blessés graves, ils ont été transportés par hélicoptère depuis Kashiwasaki vers Niigata. Les 12 hélicoptères mobilisés pour cela accueillaient à bord en plus des pompiers un médecin et une infirmière si cela était utile.

4.3.2.2 Information à la population

La communication par la mairie d'informations pratiques vers les sinistrés sur la crise est

délivrée d'une part par les haut-parleurs présents dans les rues de toute la commune et d'autre part par des postes récepteurs dont chaque foyer dispose. Ces appareils ont été distribués systématiquement dans les communes aux alentours de la centrale. Ils sont destinés à donner des consignes et des informations à la population en cas d'accident nucléaire dans la centrale, depuis les salles de commande de la centrale ou depuis la mairie. Ils permettent également d'écouter la radio. Pour cet événement, il a été diffusé, rapidement après le séisme, des messages indiquant que les réacteurs avaient été arrêtés et qu'il n'y avait pas de danger nucléaire par ce système de communication. Dans les semaines qui ont suivi, la mairie utilisait ce dispositif pour indiquer les lieux où pouvaient être récupérés la nourriture, l'eau potable, ainsi que la localisation et les heures d'ouverture des bains publics mis en place. Ces boîtiers peuvent fonctionner sur piles et donc sans alimentation électrique externe.

4.3.2.3 Inspection des bâtiments, équipement et installations

- Inspection des bâtiments (qualification vert, jaune, rouge), équipement et installations

Les inspections des bâtiments ont deux objectifs complémentaires qui doivent être atteints très rapidement.

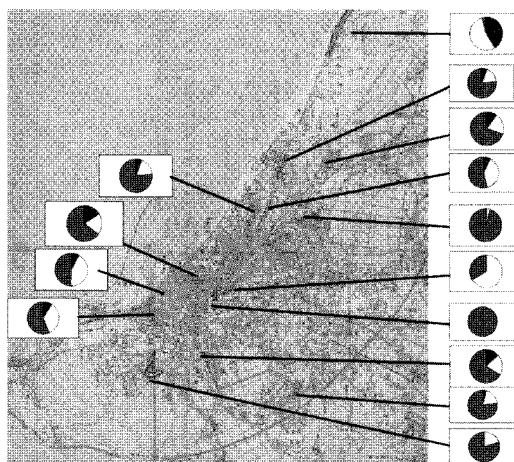
- Le premier objectif est un objectif de sécurité des personnes. En effet, il s'agit d'éviter que de nouvelles victimes soient à déplorer par des effondrements dans les jours qui suivent le séisme alors qu'elles auraient pu être évitées par une évacuation préventive du bâtiment.
- Le deuxième objectif consiste à réduire le plus rapidement possible le nombre de sans-abris en déterminant les bâtiments assez sûrs pour pouvoir être réoccupés rapidement.

Chaque agent de la mairie missionné dispose d'un manuel d'intervention, les reconnaissances se faisant à pied ou en voiture quand cela est possible. Toutefois, les diagnostics des ouvrages réalisés par les services de la mairie ne sont pas réalisés avec une fiche/questionnaire type listant les désordres dans chaque bâtiment. Chaque diagnostic est fait à dire d'expert et conduit au renseignement d'une affiche type de couleur où la raison du classement est indiqué en quelques mots (exemple : murs porteurs endommagés) : vert (accès libre car pas dangereux : pas ou peu endommagé), jaune (accès limité car potentiellement dangereux : nécessite de trouver des solutions de confortement) et rouge (accès interdit car très dangereux).



Exemple d'affiche collée sur les façades de bâtiment à accès restreint (jaune) ou interdit (rouge), source AFPS

La mission AFPS a quantifié la répartition des résultats des inspections des dommages (vert, jaune et rouge) le long de certains itinéraires empruntés par la mission AFPS. L'ensemble des résultats des inspections de la zone sinistrée et des suites à donner est géré par les services de la mairie.



Eléments de répartition des dommages (vert, jaune et rouge) pour le long de certains itinéraires emprunté par la mission AFPS, source AFPS

Pour les sinistrés dont leur domicile a été diagnostiqué pas ou peu dangereux (affiche verte), la mairie les invite à réintégrer leur domicile. Ces habitants ont toujours accès s'ils en ont besoin à l'approvisionnement en nourriture distribué dans les quartiers, aux bains publics et aux structures de soins.

Pour les sinistrés dont leur domicile a été diagnostiqué potentiellement dangereux (affiche jaune), les occupants ont la possibilité d'y aller récupérer des affaires mais sous réserve de ne pas y demeurer trop longtemps. Ils sont invités à faire diagnostiquer plus précisément leur bâtiment et à faire des travaux de confortement le cas échéant afin de pouvoir le réoccuper rapidement. Cette démarche est souvent difficile à réaliser rapidement car les professionnels sont réquisitionnés pour aider à la gestion de crise sur des chantiers d'urgence et les professionnels locaux ont pu eux-mêmes subir des dommages.



Endommagement à Kashiwazaki d'un cabinet d'architecte de 1^{ère} catégorie (agrée pour concevoir des constructions parasismiques), source AFPS

En attendant leur retour dans leur bâtiment, il leur est conseillé de trouver des solutions temporaires de logement chez des amis ou de la famille quand cela est possible. Ils peuvent enfin rester dans les centres d'hébergement d'urgence (école, gymnase, ...).

Pour les sinistrés dont leur domicile a été détruit ou diagnostiqué très dangereux (affiche rouge), il est interdit aux occupants d'y accéder. Ils doivent essayer de se reloger chez des amis ou de la famille ou à défaut ils peuvent rester dans les centres d'hébergement d'urgence.

Sur les 13 000 personnes qui ont été évacuées immédiatement hors de leur logement, deux

semaines après le séisme, 1 300 demeuraient sans abri et donc en centre d'hébergement d'urgence. Pour ces derniers, des habitations temporaires ont été rapidement mis en chantier.

- Inspection des équipements et installations

Les inspections sont organisées par la mairie et réalisées pour certaines par des entreprises réquisitionnées dans le cadre d'un accord préalable passé avant la crise avec la préfecture de Niigata. Plusieurs types d'inspection ont été réalisées : les voies de communication (autoroute, routes, ouvrages d'art, réseau ferré), les réseaux (eau potable, électricité, gaz, télécommunication).

4.3.2.4 Amélioration des conditions de vie des sinistrés

Le réseau de distribution électrique - peu endommagé et facilement réparable car essentiellement aérien - a pu être rétabli en trois jours dans toute la zone sinistrée. On rappelle que le réseau de transport électrique au niveau régional n'a pas été endommagé, permettant l'approvisionnement général de la zone malgré l'arrêt de l'ensemble des moyens de production au niveau de la centrale nucléaire. Le réseau d'eau potable a fait l'objet de travaux d'urgence avant qu'il soit petit à petit rétabli, deux semaines ayant été nécessaires pour le rétablir complètement. Le rétablissement des réseaux électrique et eau potable a fortement amélioré les conditions de vie des sinistrés ayant réintégré leur domicile et a facilité la prise en charge de ceux encore présents en centre d'hébergement. Il restait toutefois le problème essentiel du réseau de gaz (un mois pour le rétablir), qui rendait difficile la préparation des repas par les sinistrés.

- Centre hébergement

Le centre d'accueil dans une école primaire visité par la mission AFPS hébergeait encore deux semaines après le séisme 52 personnes au lieu d'une centaine au plus fort de la crise.



Espace téléphone, source AFPS

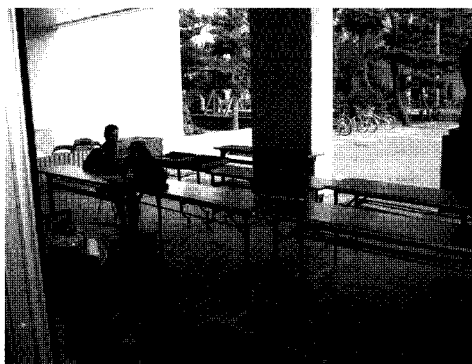
A l'intérieur des centres d'accueils, des équipements sont mis à disposition des occupants. Dans le centre visité, cinq machines à laver le linge, sept téléphones, des chargeurs de téléphone portable et une borne wifi ont été mises en œuvre. Chaque jour les journaux de la presse écrite sont mis à disposition.

Trois infirmiers sont présents en permanence sur le centre. D'autres équipes médicales font régulièrement le tour des centres d'accueil.

Les forces d'auto-défense préparent les repas chauds à l'extérieur des centres d'accueils grâce à des cuisines mobiles puis les bénévoles en assurent le service dans les espaces dédiés.

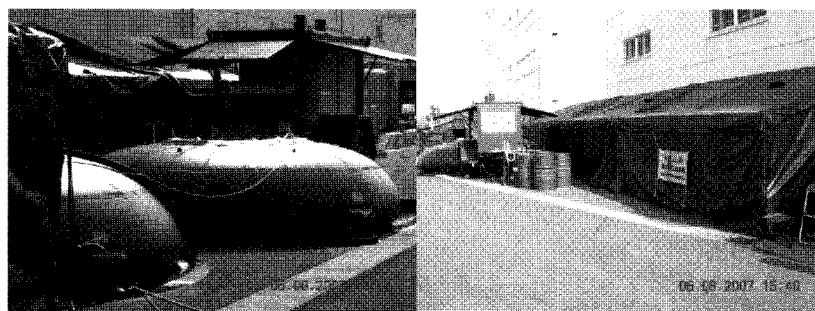


Préparation des repas chauds par les forces d'au-défense, source AFPS

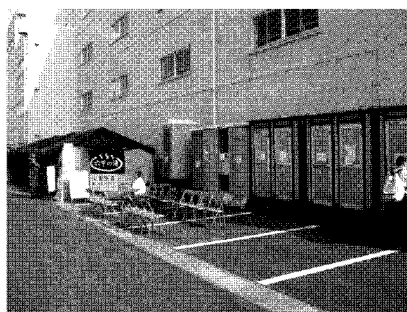


Les repas sont pris dans un espace dédié (ici préau de l'école), source AFPS

Aux abords immédiats des centres d'accueil sont installés des bains publics que fournissent et gèrent les forces d'auto-défense, ainsi que des sanitaires.



Bains publics à proximité immédiate des centres d'accueil, source AFPS



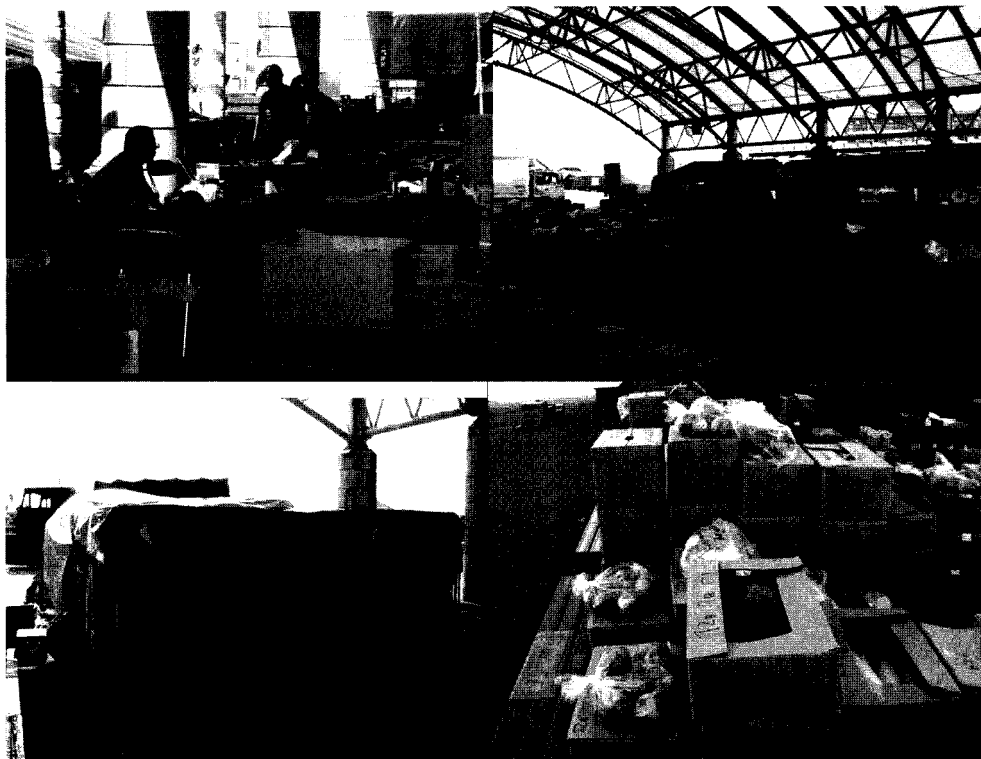
Sanitaires à proximité immédiate des centres d'accueil, source AFPS

- Approvisionnement des sinistrés

L'approvisionnement se fait soit au sein des centres d'hébergement temporaire soit aux points d'approvisionnement itinérants dans différents quartiers sinistrés pour ceux qui peuvent demeurer dans leur logement mais qui manquent de vivre ou de moyens pour se préparer des

repas (gaz rétabli un mois après le séisme).

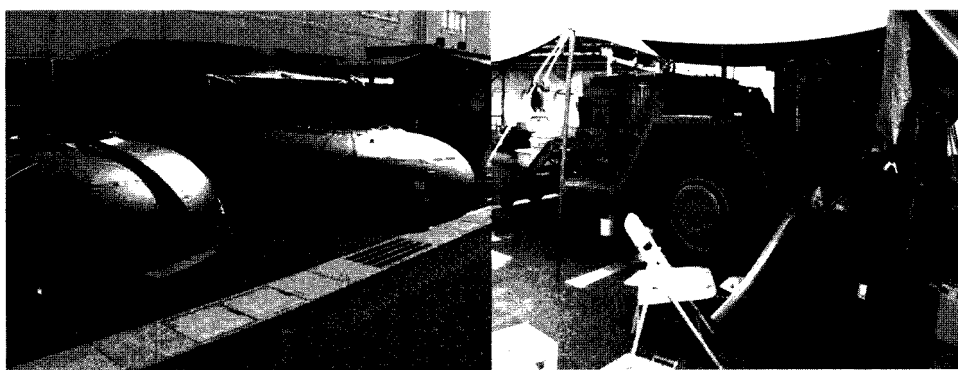
L'alimentation des sinistrés est coordonnée par la mairie qui s'occupe de recenser quotidiennement les besoins et les transmet à l'armée. Au plus fort de la crise, trois navires assuraient le ravitaillement notamment du fait d'un grand besoin d'eau potable en bouteille. L'acheminement des vivres vers la population a été fortement perturbé par les dommages au réseau routier.



Zone du port (forces d'autodéfense) : stockage, rayonnage et organisation de l'acheminement des vivres pour les sinistrés dont certains produits frais, source AFPS

Les forces d'auto-défense assurent la subsistance des sans-abris notamment dans les 116 sites d'accueil opérationnels au plus fort de la crise (gymnase, écoles, ...).

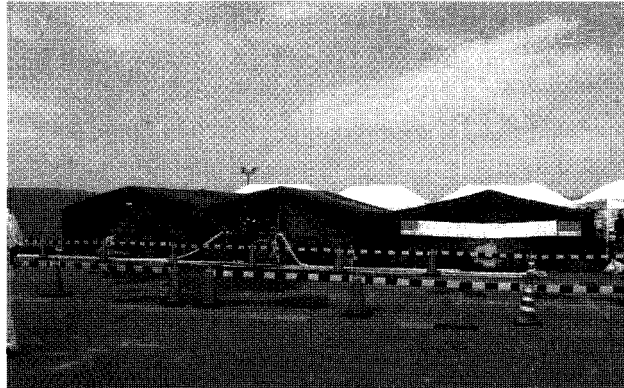
L'appui des forces d'auto-défense consiste plus précisément en l'approvisionnement en eau potable par citerne et réservoirs mobiles, distribution de produits frais pour l'alimentation, préparation et distribution de repas chauds grâce à 40 cuisines mobiles dans les centres d'accueil des sans abris et dans des centres sous tente en ville. **2000 repas étaient fournis 2 fois par jour au début de la crise.**



Moyens mis à disposition par les forces d'autodéfense : réserve d'eau potable, cuisines mobiles (gaz non rétabli deux semaines après séisme),

Les forces d'autodéfense assurent également l'hébergement de sans abris (48 zones refuges

ont été mis en œuvre par les forces autodéfense) et le fonctionnement de bains publics (19 sites différents répartis dans la zone sinistrée)



Exemple de bains publics mis à disposition par les forces d'auto-défense et la Marine, sources AFPS

Des points d'eau temporaires sont mis en place à disposition des sinistrés ne disposant plus d'eau courante potable à leur domicile.



Point d'eau temporaire, source AFPS

4.4 Le temporaire (7 jours à 1 mois)

4.4.1 Tri des décombres et déchets

Des lieux de tri de déchets et décombres ont été mis en place par les communes afin de dégager les zones sinistrées et faciliter le retour à la normale dans ces dernières.

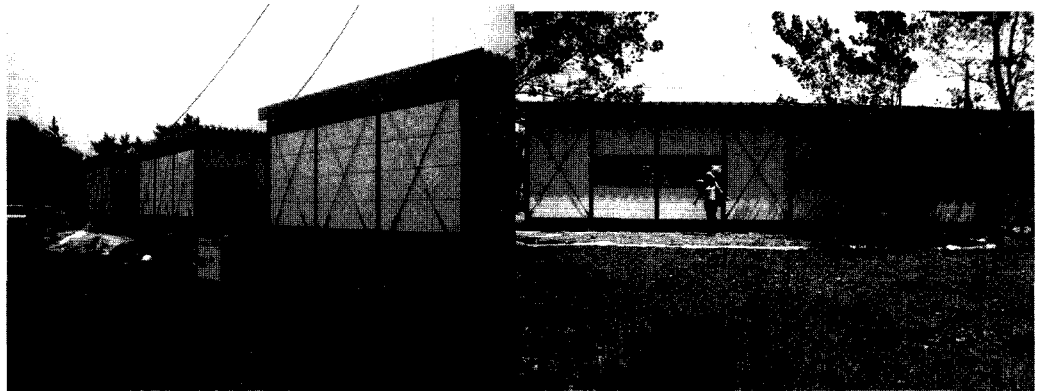


Centre communal de tri des déchets et décombres de Kashiwasaki (photo de gauche), stockage temporaire dans les zones sinistrées (photo de droite), source AFPS

4.4.2 L'habitat temporaire (principes et structure)

Les mairies ont rapidement mis en œuvre la construction de logements temporaires pour les 1300 personnes dont l'habitation s'était effondrée ou menaçait de s'écrouler et qui n'avaient pas trouvé de solution de relogement (amis, famille). Cet habitat temporaire consiste en des structures métalliques modulaires sur fondations superficielles béton armé ou bois disposant de bons contreventements et ancrages au sol. Leur conception très simple permet d'assurer une grande rapidité d'exécution. Dans la même zone mais un peu à l'écart des structures pour l'habitat, des salles communes sont installées ainsi que des aires de jeu pour les enfants.

L'habitat temporaire est destiné à être utilisé pour une durée maximum de deux ans, le temps que des solutions définitives de relogement soient trouvées aux sinistrés.



Logements temporaires type (du studio au F3 meublés) avec salle commune sur le même site (photo de droite), source AFPS

Éléments généraux sur le programme de construction de logements temporaires

Face à l'importance des dégâts matériels aux constructions (20 000 bâtiments endommagés) et aux nombres de personnes sans abris (13 000 environ), la préfecture de Niigata a engagé immédiatement après le séisme du 16 juillet 2007 un programme de construction de logements temporaires. Ces logements provisoires seront offerts, pour une durée de deux ans environ, aux personnes dont les maisons ont été détruites ou sévèrement endommagées par le tremblement de terre.

Plus de 1000 unités d'habitat provisoire sont en cours de construction sur la commune de Kashiwazaki et celles de Kariwamura et d'Izumozakimachi, avec l'ambition (à l'époque de la mission AFPS au Japon) d'une mise à disposition aux sans-abris d'ici fin août 2007, soit un mois et demi après la secousse.

Lors de la mission d'observation sur la commune de Kashiwazaki, le groupe « structure » a pu observer 5 sites d'implantation d'une quarantaine de logements en moyenne chacun (soit 200 au total).

Le mode constructif employé est décrit dans le paragraphe suivant. Il s'inspire de pratiques déjà mises en œuvre lors de séismes passés au Japon.

Caractéristiques des constructions temporaires

- Surface des logements

Les unités d'habitat temporaire sont de type T1, T2 ou T3, comportant chacune une cuisine kitchenette et un box hygiène, et dont la surface varie de 15 à 45 m² environ (Figure 1).

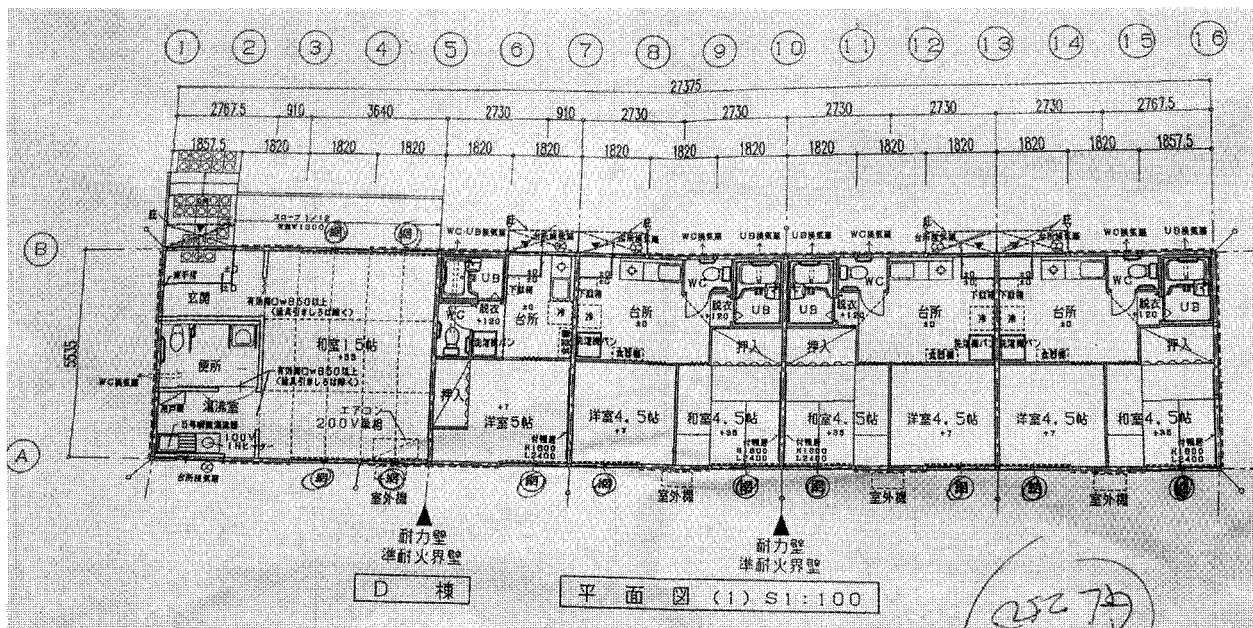


Figure 1 : Exemple d'un plan relatif à 5 unités de logement temporaire (T1 à T2)

- Equipements

Les constructions disposent de tous les équipements nécessaires au fonctionnement quotidien d'un lieu de vie : réseaux d'eau (eaux potables et usées) et d'électricité, climatisation...

Du point de vue social, lorsque plus de 50 unités sont construites sur un même site, un hall de convivialité est construit afin de favoriser les échanges entre résidents. Des lieux de jeux pour les enfants et de discussions pour les adultes sont prévus en extérieur.

- Structure

Types d'ossature :

Les unités d'habitat temporaire sont des structures modulaires légères à ossatures métalliques (acier). Parmi les constructions observées, on distingue des ossatures à contreventement extérieur (Figure 2) et des murs auto stables (Figure 3).



Figure 2 : Constructions temporaires à ossatures métalliques à contreventement extérieur

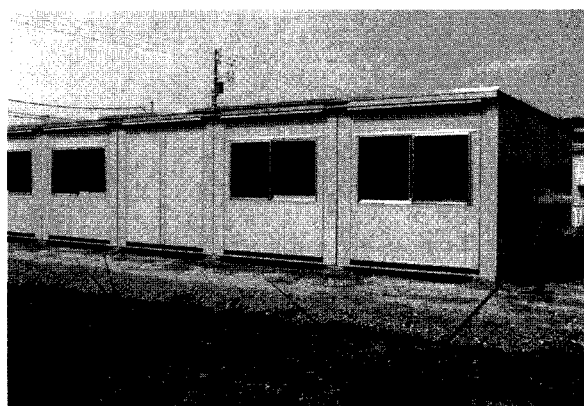


Figure 3 : Constructions temporaires à ossatures métalliques à murs autostables

Quelque soit le type d'ossature (murs auto stables ou contreventement externe), les éléments porteurs métalliques sont assemblés entre eux par boulonnage. Par ailleurs, les panneaux de remplissage des portiques en acier consistent en des panneaux sandwichs composés de PVC ou métal et de mousse de polyuréthane, constituant ainsi des éléments de façade isolants. Les unités présentent des couvertures légères en profilés minces en acier laqué.

Dans le cas des ossatures à contreventement extérieur, des palées de stabilité réalisées en tirants métalliques (inox) en croix de Saint-André assurent le contreventement rigide de la structure (Figure 4).

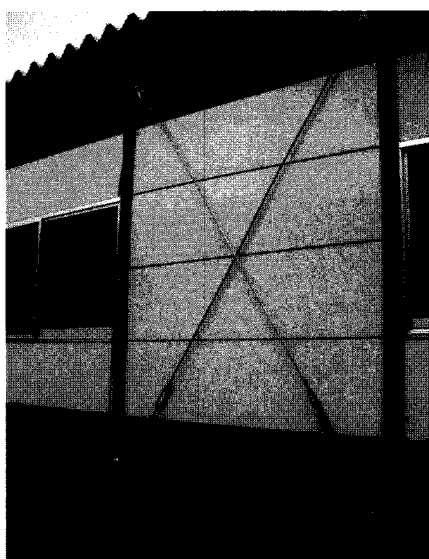


Figure 4 : Contreventement par tirants croisés

Pour les deux types d'ossature, des câbles métalliques sont également mis en place pour augmenter l'ancrage des structures au sol (Figure 5), et limiter les risques d'arrachement de l'ossature métallique aux fondations et le renversement des unités sous l'effet du séisme ou des vents violents qui soufflent parfois sur les côtes japonaises.

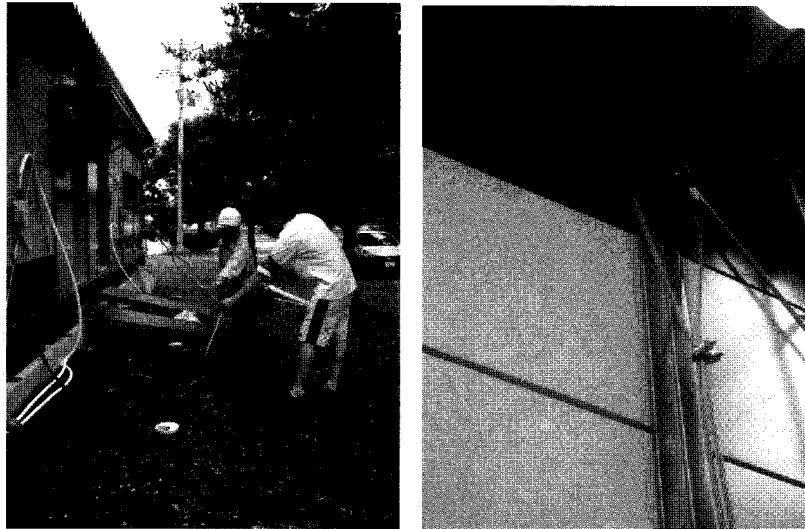


Figure 5 : Câbles renforçant l'ancrage des structures au sol

Fondations :

Les fondations des unités sont des fondations superficielles dont la nature varie vraisemblablement selon le type de sol d'implantation, à savoir : (1) semelles filantes en béton armé coulées sur place, (2) pieux en bois battu et (3) plots en béton préfabriqués (Figure 6).

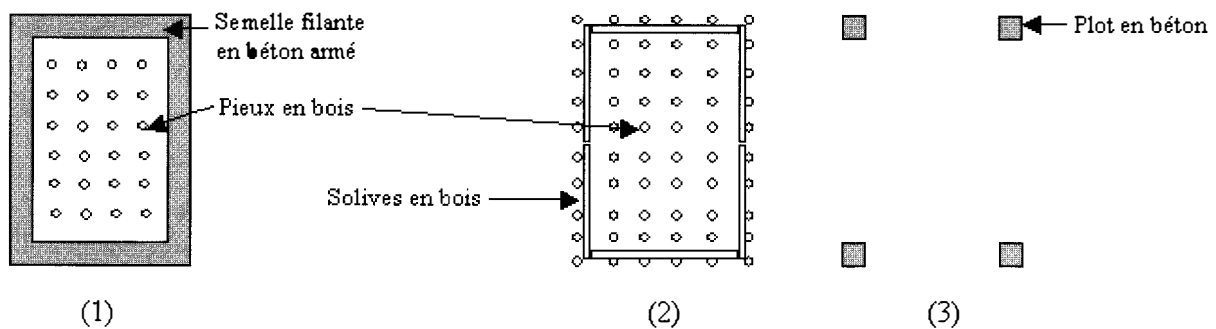


Figure 6 : Schémas relatifs aux types de fondation rencontrés (1 - semelles filantes en béton armé ; 2 - pieux en bois ; 3 - plots en béton)

(1) Semelles filantes en béton armé coulées sur place - Près du port, sur des sols meubles, des semelles filantes en béton armé formant des mailles régulières fermées sont mises en place (Figure 7). Au sein de ces mailles des pieux en bois, de diamètre 8 cm et enfoncés de 60 cm environ dans le sol, soutiennent les solives métalliques sur lesquelles les planchers bois sont installés. Des poutres métalliques, sur lesquelles la charpente métallique est fixée par boulonnage, sont liées aux semelles filantes à l'aide de plats métalliques. Ces plats métalliques, espacés entre d'eux d'un mètre environ, sont fixés uniquement du côté « fondation » par des chevilles à expansion. Sous l'action de charges horizontales, ils

permettent ainsi un certain glissement de la superstructure occasionnant un frottement dissipatif d'énergie.

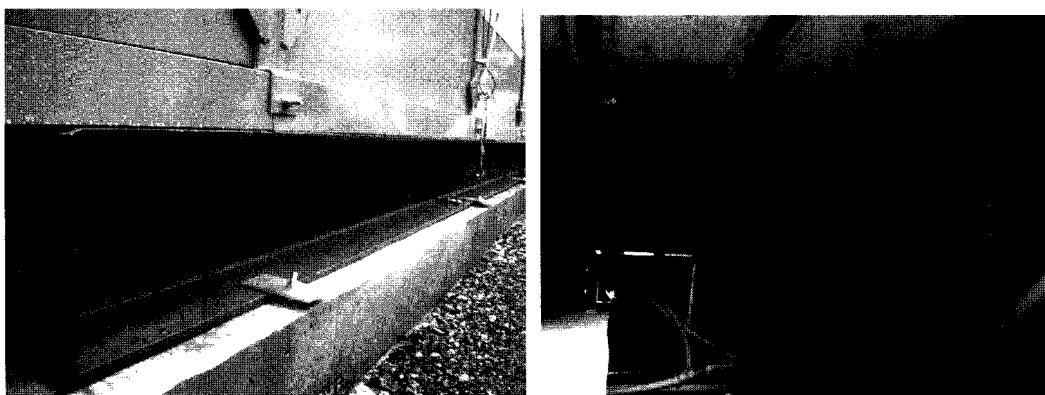


Figure 7 : Fondations filantes et liaisons avec la superstructure

[2] Pieux en bois battu - Au nord de Kashiwasaki, les unités temporaires présentent des fondations constituées de pieux de bois de 8 cm d'épaisseur et de 120 cm de longueur. Ces pieux sont enfoncés de 60 cm dans le sol tous les 80 cm, puis sont coupés à environ 30 cm au-dessus du sol. Les pieux périphériques sont ensuite reliés entre eux par clouage de solives en bois (section rectangulaire d'environ 10 cm par 10 cm) afin d'assurer une continuité mécanique, de leur conférer un comportement solidaire et de constituer une maille fermée. Sur les pieux périphériques, des poutres en bois sont clouées pour accueillir la superstructure. La charpente métallique est alors fixée aux poutres en bois à l'aide de plats et d'équerre métalliques boulonnées. Les pieux situés au sein des mailles fermées soutiennent les solives métalliques sur lesquelles les planchers bois sont installés. Concernant la nature des pieux, le bois étant non traité et le climat humide, leur dégradation dans le temps, et donc une diminution de leur résistance sont possibles.

Sur les sites sur lesquels les fondations constituées de pieux en bois battu, le sol a été recouvert de gravier afin de drainer facilement les eaux de pluie. La conception du soubassement, et notamment l'espacement des planches constituant le parement, permet de plus une aération satisfaisante facilitant le séchage du vide sanitaire.



Figure 8 : Fondations en bois

[3] Plots en béton préfabriqués - Enfin sur d'autres sites d'implantation situés plus à l'intérieur des terres, les fondations consistent en des plots en béton armé (Figure 9) non reliés par des

longrines et ne constituant donc pas une maille fermée. Ici la liaison entre la superstructure et les fondations sont assurées par boulonnage à l'aide de chevilles à expansion ancrées dans le béton armé des plots. Si ce système de fondation paraît moins satisfaisant que les deux précédents, les sols sur lesquels il est rencontré semblent présenter de meilleures caractéristiques (aucun phénomène de liquéfaction observé notamment).

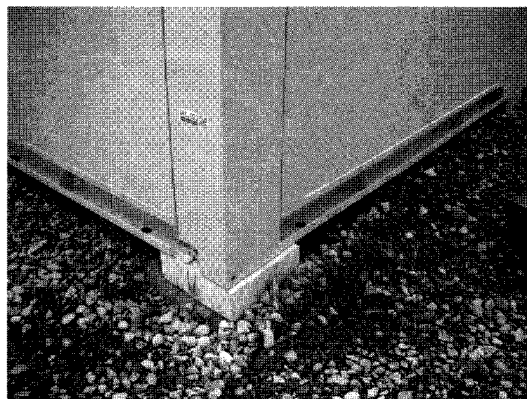


Figure 9 : Plots en béton armé

A noter :

Le type constructif de l'habitat temporaire permet à la fois un montage rapide des unités et une limitation des charges sismiques sollicitant le bâtiment (du fait du caractère léger des structures). Si l'ensemble de ces logements sont construits selon des principes structuraux communs, quelques différences susceptibles d'influencer le comportement sous séisme de ces constructions sont à noter, notamment du point de vue des fondations. La variabilité des types de fondation rencontrés semble essentiellement liée aux propriétés du sol d'implantation et notamment à la présence de nappes phréatiques et l'existence ou non d'un risque de liquéfaction.

4.5 Le retour à la normale (1 mois à 2 ans)

Il s'agit pendant cette période d'engager essentiellement des actions de reconstruction des biens et d'activités économiques :

- refaire les tronçons de routes et d'accès aux ouvrages d'art endommagés par de nombreux déplacements irréversibles notamment à cause de la liquéfaction des sols.
- renforcer les bâtiments publics et privés ayant subi des dommages peu importants et reconstruire les plus endommagés.
- préparer la rentrée scolaire en réaménageant les écoles

Selon les autorités locales, une durée de 2 à 3 ans sera nécessaire pour un retour complet à la normale (plus de sans abris).

Des mécanismes de financement nationaux, associés à des subventions, peuvent être utilisés pour reconstruire ou conforter les établissements scolaires et plus généralement les bâtiments publics. Le montant et le type de subvention dépendent de la nature des activités liées aux ouvrages concernés et des dommages constatés.

4.6 Leçons à tirer pour notre territoire

La mission met en exergue la nécessité de s'appuyer sur des retours d'expérience sur des séismes réels, afin de préparer la gestion de crise par un plan de secours détaillant les procédures, les moyens à mettre en œuvre, le rôle de chaque acteur (établissement, service) suivant la phase de crise (urgence, temporaire, retour à la normale) et leur identification (nom, numéro de téléphone portable, mail, ...). Elle espère avoir contribué à cet objectif, qui devra être poursuivi.

La préparation à la gestion de crise sismique est fondamentale.

- L'ampleur des moyens humains et matériels à déployer suite à un séisme majeur dépasse largement les moyens disponibles en temps normal par les autorités civiles locales. Il convient donc d'identifier les organismes susceptibles de gérer et de mettre en œuvre ce type de moyens exceptionnels notamment au niveau logistique : au Japon, les forces d'autodéfense disposent et ont la responsabilité de ces moyens. Les autorités civiles (Préfecture, mairie) pilotent la gestion de crise et les forces armées apportent les moyens à déployer. Le gestionnaire des moyens exceptionnels doit être associé à la préparation du dispositif de gestion de crise sismique.
- La mobilisation et le positionnement immédiat de moyens importants pour l'aide d'urgence à la population (hébergement temporaire, vivre, eau potable) par les autorités civiles et militaires -dès le déclenchement de l'alerte- permet d'assurer la rapidité de la réponse aux besoins des sinistrés (soins, hébergement des sans abris, alimentation).
- L'ampleur et la diversité des tâches à accomplir suppose la mobilisation de toutes les ressources disponibles, selon des processus préparés à l'avance : Auto-mobilisation des fonctionnaires de la Préfecture, des mairies, des pompiers et de l'armée en cas de séisme ; Contrat de pré-mobilisation des entreprises et associations en cas de crise.
- Les capacités d'accès à la zone sinistrée sont fondamentales : importance que les ouvrages d'arts sur les itinéraires indispensables à gestion de crise soient parasismiques.
- La prise en charge sur le très court terme des sans abris demande une capacité de diagnostic des bâtiments, sur la base de fiches prêtes à l'emploi, et la capacité à mettre en œuvre des moyens de relogement provisoire.
- La capacité de communication et d'information joue un rôle important : préparation de l'organisation de la communication en cas de crise entre tous les acteurs, avec les médias et la population (le boîtier électronique de réception d'informations distribué à la population dans cette zone a joué le rôle dévolu aux radios locales en France dans le cas présent).

La mission a constaté un haut niveau de préparation de l'ensemble des acteurs, incluant des exercices réguliers de gestion de situation de crise sismique.

Une collaboration durable avec nos partenaires japonais pourrait être très enrichissante pour les intervenants français notamment afin de disposer des documents et procédures mis en place au Japon et d'analyser quand cela est pertinent les modalités de leur transposition en France.

Chapitre 5

Chuetsu-Oki, 2007

Un séisme de M6.6 à faible profondeur sur la côte ouest du Japon : Retour sur le séisme de Niigata Ken Chuetsu de 2004

Ce chapitre a été rédigé par Emmanuel Viallet

5. Retour sur le séisme de 2004 (Niigata Ken-Chuetsu) : Réaménagement d'un territoire et comportement face au séisme de 2007

L'objet de ce chapitre est de tirer les enseignements de l'examen du comportement de la zone épacentrale du séisme de 2004, telle que réaménagée suite à cet événement, face au séisme de 2007.

5.1 Présentation générale de l'événement 2004 et de l'opportunité offerte à la mission 2007

Le séisme de Niigata Ken-Chuetsu s'est produit le 23 octobre 2004 à 17H56 (HL). Son épicentre se situe à proximité de la ville de Ojiya dans la province de Niigata, soit à environ 30 km (E-SE) de la ville de Kashiwazaki et de la zone épacentrale du séisme de Chu-Etsu-Oki du 16 juillet 2007 (cf. Figure 1).

Les principales caractéristiques de ce séisme sont les suivantes :

- Magnitude : $M_w = 6.6$
- Localisation : 37.291 N ; 138.867 E
- Profondeur : ~ 15 km

Cet événement a causé le décès d'une quarantaine de personnes ainsi que 2800 blessés environ. Il s'était caractérisé par de nombreux dommages au niveau des réseaux ferrés et routiers, des ponts et des tunnels. Ces dommages ont été favorisés par de nombreuses instabilités de terrains, des liquéfactions et tassements de sols de grandes ampleurs du fait de leur nature meuble combinée à une forte saturation en eau. Par ailleurs, le mouvement associé à ce séisme s'est matérialisé par des accélérations maximales très importantes (PGA de 1.7 g enregistré en 2004 à proximité de l'épicentre comparé à 0.7 g enregistré en 2007 à proximité de l'épicentre, cf. Figure 1).



Figure 1 : Localisation des épicentres des séismes de 2007 (gauche) et 2004 (droite) et distributions des accélérations enregistrées par le réseau K-Net

En termes de mouvements sismiques enregistrés dans la zone considérée (voisinage d'Ojiya), les 2 événements sont comparés dans le Tableau 1.

	Station Ojiya NIG019 (2007)				Station Ojiya NIG019 (2004)		
	EW	NS	UD		EW	NS	UD
Amax m/s?	4.6	3.9	1.2	Amax m/s?	13.1	11.4	8.2
Vmax m/s	0.46	0.21	0.09	Vmax m/s	1.3	0.97	0.36
Dmax m	0.14	0.08	0.04	Dmax m	0.45	0.18	0.66
A/V s ⁻¹	9.9	19	13	A/V s ⁻¹	10.1	11.8	22.8
Durée s	13.4	14.9	23.4	Durée s	8.8	8.7	9.1
Iarias m/s	2.1	2.6	0.36	Iarias m/s	21	14.4	6.7
CAV m/s	13.1	15.2	6.3	CAV m/s	33.5	28.7	19.5

Tableau 1 : Paramètres du mouvement sismique déterminés à partir de la station K-Net d'Ojiya (NIG019) - Comparaison des enregistrements 2004 et 2007

On constate que le mouvement enregistré dans la zone d'Ojiya à l'occasion du séisme de 2004 est potentiellement bien plus nocif que celui enregistré à l'occasion du séisme de 2007 (tous les paramètres présentent des valeurs plus nocives) ce qui est attendu compte tenu de sa position par rapport aux épicentres respectifs de ces deux événements.

L'opportunité qui s'est alors offerte à la mission AFPS 2007 a été de profiter des données collectées en 2004 [mission post-sismique réalisée par des membres de l'AFPS bien que non-organisée formellement par l'AFPS, cf. [IRSN-05]] afin :

- d'analyser les conséquences de l'événement 2007 dans cette zone (30 km de l'épicentre environ) déjà fortement touchée en 2004,
- d'identifier les modes de reconstruction et/ou de renforcement pour des structures diverses (sols, ouvrages d'art, habitat),
- enfin, plus généralement, d'analyser comment sont tirées les leçons d'un événement destructeur dans les pratiques d'urbanisation au sens large.

Dans ces conditions et compte tenu du temps pouvant être potentiellement consacré à cette visite, l'équipe «structures» a passé un après-midi autour des villages de Kawaguchi et Wanazu dont la localisation est précisée dans la Figure 2, extraite de [IRSN-05].

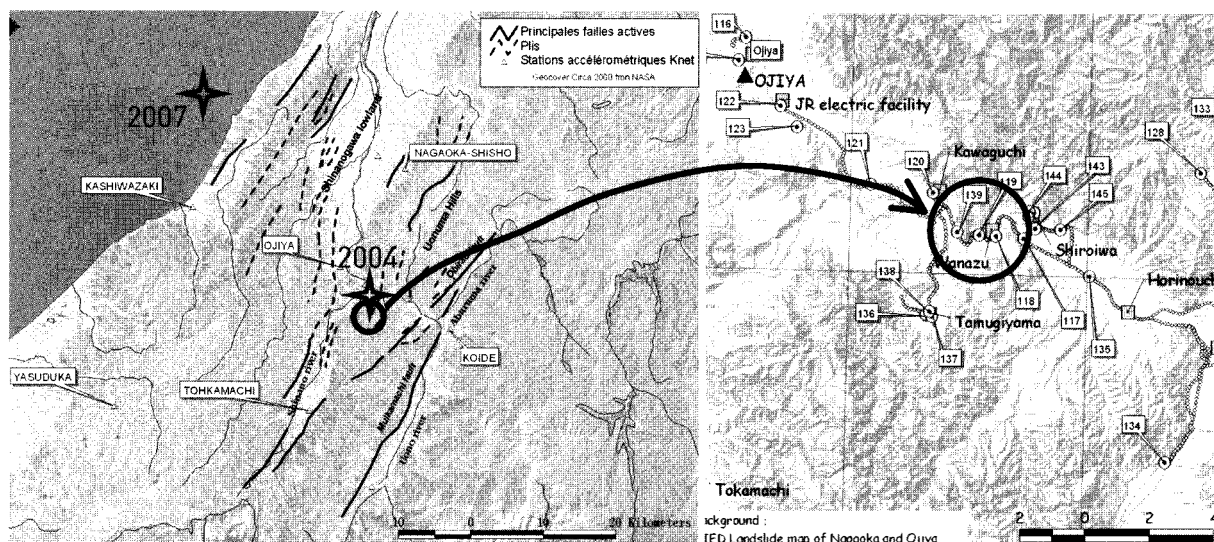


Figure 2 : Situation géographique du village de Wanazu

Le choix de l'équipe «structures» a porté sur cette zone car, très proche de l'épicentre en 2004, elle a concentré des dommages de plusieurs origines telles que mouvements de sol, habitat et ouvrages d'art. Ces différents thèmes sont traités dans les paragraphes suivants.

5.2 Volet mouvements de terrains

Un glissement de terrain d'ampleur importante s'était produit au-dessus de la localité de Kawaguchi. Bien que ne menaçant pas directement l'agglomération, il mettait toutefois en évidence une fragilité du terrain et menaçait des relais de télécoms situés à proximité.

La Figure 3 illustre l'état du terrain après l'événement de 2004 et son état après l'événement de 2007, intégrant les renforcements réalisés.

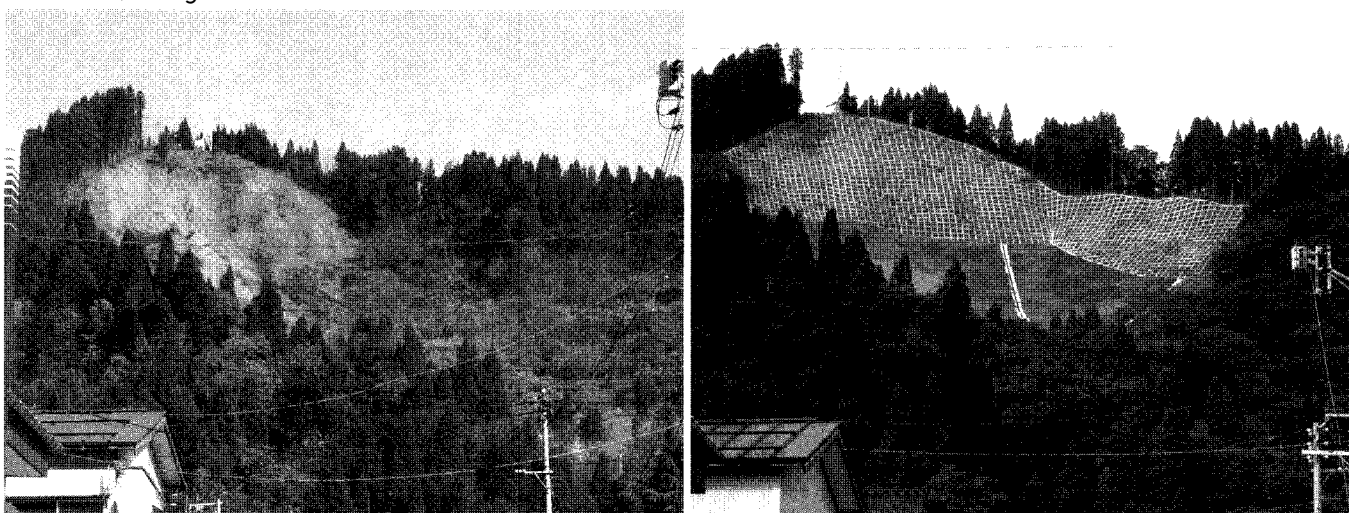


Figure 3 : Glissement de terrain au-dessus de Kawaguchi – Etat après le séisme de 2004 et celui de 2007

On peut remarquer qu'une opération de renforcement de sol associé à un drainage a été réalisée suite au séisme de 2004. Cette opération qui a consisté à mettre en place un quadrillage en béton armé («free-frames» très répandu au Japon pour renforcer des terrains instables, notamment à proximité des routes), d'un pas de 1m environ, a été réalisée sur une surface importante et a permis de stabiliser le terrain qui n'a subi aucun dommage suite au séisme de 2007.

5.3 Volet ouvrages de génie civil

Le pont du Shinkansen à Wanazu avait été significativement endommagé en 2004 suite à des sollicitations induites par des mouvements de sol au voisinage de ses assises conjugué à une faiblesse potentielle du ferrailage au niveau des cadres, cf Figure 4.



Figure 4 : Dommages subis par le pont du Shinkansen à Wanazu suite au séisme de 2004

Les renforcements ont alors consisté à ajouter une couronne de béton armé (épaisseur d'une vingtaine de centimètres) autour des piles afin de confiner la zone endommagée tout en maintenant une géométrie homogène sur toute la hauteur des piles.

L'ouvrage n'ayant subi aucun dommage à l'occasion du séisme de 2007, les renforcements réalisés ont confirmé leur pertinence et leur efficacité, cf. Figure 5.



Figure 5: Absence de dommages subis par le pont du Shinkansen à Wanazu en 2007, après renforcement suite au séisme de 2004

5.4 Volet construction courante

Dans la zone de Kawaguchi et Wanazu qui se trouvait très proche de l'épicentre du séisme de 2004, de nombreux dommages avaient été observés au niveau de l'habitat courant allant de l'endommagement léger à l'effondrement. Nous ne rentrerons pas dans le détail ici puisque ce n'est pas l'objet du présent rapport mais nous analysons le comportement d'une habitation qui avait subi des dommages significatifs en 2004, mais limités au niveau d'une avancée du premier étage à la fois faiblement supportée et proche d'un talus ayant subi un léger affaissement. Les dommages sont illustrés sur les Figure 6 et Figure 7.



Figure 6 : Habitation de Wanazu ayant subi des dommages localisés (avancée du premier étage)

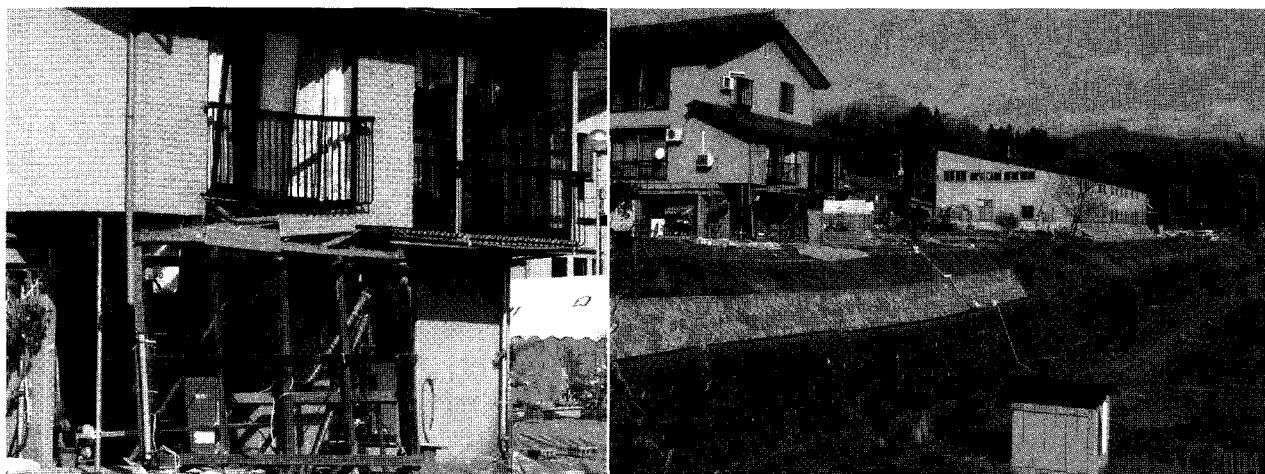


Figure 7 : Habitation de Wanazu – Détail des dommages (avancé + talus)

Cette habitation qui s'était plutôt bien comportée mis à part les dommages décrits ci-dessus a fait l'objet d'un renforcement au niveau de la reprise en sous-œuvre de l'avancée du premier étage via un voile en béton armé. Ce renforcement trouve sa pertinence par un renforcement du soutènement par mise en place de tirants et éléments de «peau» (action des pouvoirs publics réalisée systématiquement au niveau des bâtiments se trouvant à proximité de talus). Ces renforcements sont illustrés sur les Figure 8 et Figure 9.

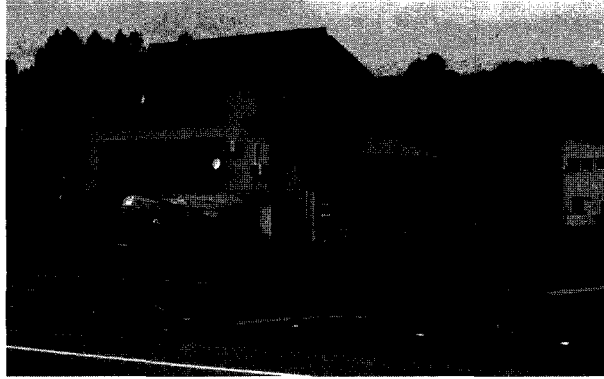


Figure 8 : Habitation de Wanazu renforcée – Après le séisme de 2007



Figure 9 : Habitation de Wanazu – Détail des renforcements (avancé + talus)

On peut constater que cette habitation une fois renforcée n'a subi aucun dommage suite au séisme de 2007.

5.5 Volet reconstruction et urbanisation

L'équipe «structures» a saisi également l'opportunité d'étudier les moyens de reconstruction et les modes d'urbanisation post-sismique en prenant comme exemple les sites de Kawaguchi et Wanazu.

Une recherche d'homogénéité dans les modes de construction a pu être observée dans l'habitat construit après le séisme de 2004 (structure béton armé au premier niveau et niveau supérieur en bois ou mixte bois/béton, bois acier), tout en conservant l'identité locale (cf. Figure 10).



Figure 10 : Habitat à Wanazu – Reconstruction intégrant protection parasismique et identité locale

L'équipe a également constaté la bonne prise en compte des règles parasismiques, par réalisation de contreventement dans les deux directions. Sur la Figure 10 (gauche), on peut notamment observer la présence de plusieurs voiles de contreventement parallèles à la façade

permettant de compenser la présence de l'ouverture du garage et redonner une régularité en plan à la structure. Un effort a également été réalisé pour trouver des solutions de couvertures plus légères que les tuiles (bacs acier avec acrotères ouvragés, éléments plats minces ...), cf. Figure 10 et Figure 12.

Enfin, la mise en œuvre de principes d'urbanisation intégrant les enseignements tirés de l'événement de 2004 a pu être observée, notamment au niveau de la prévention des risques d'interaction (augmentation des distances entre bâtiments par exemple) et aménagement opérationnel des accès, comme illustré sur la Figure 11.



Figure 11 : Wanazu – Principes d'urbanisation intégrant les enseignements tirés de l'événement de 2004

5.6 Conclusions sur cette partie

En conclusion sur cette partie, l'équipe «structures» de la mission AFPS 2007 a saisi l'opportunité de se rendre dans la zone épicerale du séisme de Niigata ken-Chuetsu du 23 octobre 2004 qui a également ressenti le séisme de Niigata Chu-Etsu-Oki du 16 juillet 2007 (dans une moindre mesure mais significativement : $PGA > 1g$ en 2004 pour 0.4-0.5g en 2007).

La visite a ainsi permis d'analyser les conséquences de l'événement 2007 dans cette zone (30 km de l'épicentre environ), d'identifier les modes de reconstruction et/ou de renforcement pour des structures diverses et plus généralement, d'analyser comment sont tirées les leçons d'un événement destructeur dans les pratiques d'urbanisation au sens large.

En conclusion, cette visite qui constitue une «première» dans le cadre d'une mission AFPS a été riche d'enseignements, tant sur le plan des modes de renforcement/reconstruction que sur l'intégration de ce type d'événement dans les modes d'urbanisation post-sismique.

La mise en œuvre des éléments précédents a permis aux constructions de la zone considérée de ne subir aucun dommage significatif à l'occasion du séisme de Chu-Etsu-Oki et de gérer ainsi cet événement avec plus de sérénité qu'en 2004, comme illustré sur la Figure 12. Certes, la sollicitation n'était pas la même, mais le séisme de Chu-Etsu-Oki a conduit dans cette région à des accélérations supérieures ou égales au maximum de celles envisagées sur le territoire français, et ces observations peuvent être une base de réflexion intéressante pour la recherche de solutions pour les Antilles.



Figure 12 : Temple et cimetière de Kawaguchi après les séismes de 2004 (gauche) et 2007 (droite)

5.7 Références bibliographiques associées à ce paragraphe

[IRSN-05] Rapport de mission post-sismique : Séisme du 23 octobre 2004, Niigata Ken-Chuetsu, Japon

Rapport IRSN

DEI/SARG/2005-026

09/11/2005

6. Le mot de la fin

Chaque séisme reste un événement particulier, en fonction de ses caractéristiques propres, des caractéristiques de l'environnement et du moment précis où il survient. Il est donc toujours hasardeux de tirer des conclusions positives des éléments constatés sur un seul événement. De l'ensemble des informations collectées lors de cette mission, nous pouvons cependant souligner des éléments encourageants en termes de déclinaison de la prévention parasismique :

- Globalement, et malgré une situation a priori défavorable (rupture proche, magnitude notable, mouvements forts, effets de site, liquéfaction,...), les constructions neuves de la zone affectée semblent avoir eu un comportement largement acceptable. La prévention parasismique telle qu'elle est mise en œuvre actuellement par nos collègues japonais paraît donc adaptée aux conditions du séisme survenu le 16 juillet 2007. Les ouvrages modernes importants fondés sur pieux du fait des conditions géotechniques de la zone ont remarquablement peu souffert, malgré des mouvements induits significatifs assez systématiques. Cette constatation semble également applicable aux maisons de date de construction récente, ce type d'habitat de taille globale limitée étant largement prépondérant dans ce cas de figure.
- Ces désordres géotechniques ont été agressifs envers les réseaux urbains enterrés et les voiries : néanmoins, les dispositions prises pour protéger les réseaux de gaz (comme l'existence de vannes de coupure) ont très probablement largement contribué à limiter les risques d'incendie, même si d'autres paramètres comme l'heure de l'événement ou le jour férié ont pu aussi apporter leur contribution.

La démarche de prévention parasismique peut donc être efficace, même pour des événements majeurs.

Il reste que la prévention parasismique reste un travail de longue haleine, notamment du fait des situations héritées du patrimoine existant. Environ 10 000 bâtiments ont été endommagés à des niveaux divers dans la zone urbaine de Kashiwazaki, créant un nombre important de réfugiés. La rupture des réseaux vitaux a par ailleurs affecté les conditions de vie de l'ensemble de la population. La capacité à gérer une situation de crise sismique sur le court et le moyen terme est donc un élément indissociable de la démarche de prévention parasismique. A cet égard, la mission a été impressionnée par la capacité de maîtrise de la situation qu'ont montrée les différents intervenants impliqués dans cet événement, dans tous les secteurs observés : secours aux victimes, support logistique auprès de la population, mise en œuvre des réparations urgentes, édification de logements provisoires,...

Un haut niveau de préparation à la crise sismique constitue un élément important de la réussite en termes de gestion de la situation issue de l'événement.

Au-delà de ces faits encourageants, certains paramètres restent difficiles à gérer.

Les observations effectuées sur la rupture sismique elle-même conduisent à relativiser nos règles usuelles d'évaluation des mouvements sismiques, avec une asymétrie très nette de la zone d'impact majeur de l'événement au sud du foyer sismique. Ceci sera peut-être associé à des effets directionnels très importants liés à un mécanisme de propagation de la rupture initiée au foyer uniquement vers le sud, dans la direction de la ville de Kashiwazaki. Les effets de site liés aux conditions géotechniques rencontrées dans le bassin de Kashiwazaki ont probablement aussi joué un rôle dans la délimitation géographique de la zone de dommages. Les mesures simples effectuées après l'événement permettent de bien mettre en évidence cette particularité : ceci milite pour un usage plus large à l'échelle des territoires de ce type de

caractérisation et montre l'intérêt des études de microzonage géotechnique.

La variabilité traditionnelle de l'importance des mouvements sismiques sur différents sites de mesure, pour un éloignement équivalent à la rupture reste vérifiée pour cet événement : même pour un événement aussi bien instrumenté que le séisme de Chuetsu Oki, on ne dispose au final que de quelques enregistrements dans la zone de dommages significatifs.

On peut aussi citer l'importance de la maintenance pour l'habitat traditionnel constitué de maisons à ossature bois.

Pour le niveau sismique atteint ce jour-là, l'intérieur de l'ensemble des bâtiments courants a été affecté par le chambardement du mobilier et des éléments courants de la vie : les précautions prises au niveau des bâtiments vitaux en termes de fixation d'équipements ont heureusement protégé certaines fonctions importantes et contribué à la préservation de leur opérabilité.

Au niveau des installations industrielles, le bilan apparaît globalement maîtrisé en termes de risques environnementaux, même si cela peut résulter de la chance comme dans le cas du non effondrement de la cheminée de l'usine d'incinération. Il ne faut cependant pas oublier l'impact économique qui peut résulter de l'indisponibilité ponctuelle ou de plus longue durée de ces installations : à cet égard, l'indisponibilité actuelle en termes de capacité de production des installations de TEPCO affectées par le séisme constitue un exemple à garder en mémoire.

Enfin nos interlocuteurs ont clairement souligné les effets néfastes d'une communication imprécise sur les conséquences de l'événement, notamment du fait de la dimension « nucléaire » potentielle de celui-ci. La fréquentation touristique de l'ensemble de la préfecture de Niigata semble avoir été affectée par des désistements massifs. Pour ce qui concerne la zone balnéaire de la ville de Kashiwazaki, ceci peut être justifié par les perturbations majeures des réseaux de première nécessité et la présence de réfugiés. Néanmoins, la mission peut attester que les conditions de vie étaient parfaitement normales et agréables à trente kilomètres de Kashiwazaki...