

**Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA)
Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme
Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique**

**Étude de
Microzonage Sismique de la Wilaya d'Alger
République Algérienne
Démocratique et Populaire**

Rapport Final

Volume VII

**DIRECTIVES TECHNIQUES
DE MICROZONAGE SISMIQUE**

Décembre 2006

**Oyo International Corp.
Nippon Koei Co., Ltd.**

G E
JR
06-078

Table des matières

	<u>Page</u>
1. Définition du microzonage sismique.....	1
2. Collecte de données	4
3. Analyse des aléas	6
4. Fonction de vulnérabilité.....	28
5. Calcul de dommage	73

1. Définition du microzonage sismique

Bien qu'il y ait plus de 40 ans depuis que le terme « microzonage sismique » a commencé à s'utiliser initialement, sa définition n'est pas encore certaine en quelques sorte. Les enquêtes de microzonage sismique réalisées dans les pays dominés par les phénomènes sismiques dans le monde ont mis au jour un nombre de plans se référant aux cartes de microzonage sismique et mais les contenus diffèrent significativement les uns des autres. Par exemple, un plan d'enquête peut être appelé la carte de microzonage sismique quand il est une carte de la distribution des valeurs des mouvements sismiques de sol prévus sur un substratum dérivant de la distributions des failles à analyser dans ou autour du site d'enquête, des catalogues sismiques historique et ainsi de suite. Dans un autre cas, il pourrait être aussi basé sur les cartes géologiques sans aucune supposition de modèle sismique, de risque relatif de mouvement sismique, de potentiel de liquéfaction et de potentiel de rupture de terrains en pente, c'est-à-dire, en fonction des degrés de A à E.

A part lesdits champs d'application exclusifs de catastrophes naturelles, il y a également des cas où les ouvrages vulnérables au séisme seraient évalués afin d'évaluer le dommage quantitativement au moment d'occurrence d'un séisme et d'indiquer leur distribution sur un plan. Ils pourraient inclure des maisons, écoles, hôpitaux et autres bâtiments ; ponts/routes, voies ferrées, colonnes et autres ouvrages de construction génie civil; conduites AEP, canalisations de gaz, câbles d'alimentation en électricité et autres équipements des réseaux vitaux. Bien qu'il s'exprime dans le même terme, le microzonage sismique présente donc une grande variété de définitions.

Le microzonage sismique réalisé jusqu'à présent peut être classifié d'un nombre de points de vue tel que décrit ci-dessous :

- a) Il peut être classifié par ses champs d'application:
 - a-1) Champs d'application exclusive de catastrophes naturelles
 - Mouvement sismique
 - Potentiel de liquéfaction
 - Potentiel de rupture de terrains en pente
 - Hauteur de tsunami
 - a-2) Champs d'application de dommages des ouvrages causés par les aléas naturels en plus des aléas naturelles eux-mêmes
 - Bâtiments (incluant des maisons, hôpitaux, écoles, bureaux publics, etc.)
 - Ouvrages génie civil (incluant des routes, ponts, ponts aériens, voies ferrées, colonnes, aéroports, barrages, etc.)
 - Réseaux vitaux (incluant des systèmes AEP, assainissement, gaz, électricité, téléphone, etc.)
 - a-3) Champs d'application de dommages secondaires supplémentaires causés par lesdits ouvrages
 - Dommage humain (incluant des victimes mortelles, blessées ou en perte de leurs propres maisons)
 - Incendie après séisme (incluant les nombres d'occurrence d'incendie et de pertes de bâtiments à cause des incendies)

- a-4) Champs d'application sur le plan d'influences socioéconomiques autres que le dommage physique
- Quantité de dommages directs sismiques
 - Quantité de dommages causés par les activités économiques ralenties (incluant des effets des échanges commerciaux suspendus ou des productions des ateliers perdus)
 - Victime en besoins de soins psychologiques
- b) Évaluation quantitative/qualitative

b-1) Évaluation quantitative

L'évaluation quantitative est une évaluation de la résistance contre le mouvement sismique, du dommage de bâtiment, etc., déterminés par une quantité absolue. En cas de mouvement sismique, l'intensité sismique est calculée et en cas de dommage de bâtiment, le nombre de bâtiments endommagés est déterminé. Dans certaines cartes de microzonage sismique définitives, ces indications ne sont pourtant pas en terme absolu mais selon les « degrés » les plus reconnus.

b-2) Évaluation qualitative

Dans l'évaluation qualitative, le risque relatif de dommage plutôt que la quantité absolue est évalué. Par exemple, sur la base d'une couche de surface, le potentiel de mouvement sismique est hiérarchisé par degré, e.g, A pour le sol très meuble, C pour le substratum, etc. C'est une évaluation où la distribution générale d'un degré et la comparaison entre les points sont significatives.

c) Objectif

c-1) Zonage pour les règles parasismiques et autres standards

Les règles parasismiques et le système de division géographique pour l'assurance sismique divisent l'entier du pays dans plusieurs régions géographiques et spécifient les niveaux de risque sismique et les facteurs de zone en vue d'intensifier les valeurs d'entrée de mouvement sismique pour chacun. Dans le microzonage réalisé pour déterminer ces niveaux ou valeurs, il est considéré plus important d'évaluer une large région avec une mesure unifiée et de définir clairement les différences relatives dans la vulnérabilité au séisme plutôt que de calculer leurs quantités. Cela signifie qu'il ne s'agit pas d'établir un séisme de scénario sismique déterministe supposant un épicerne spécifique mais plutôt de développer un modèle probabiliste s'occupant statistiquement des influences de toute sources sismique différente. Dans la pratique, il s'agit en règle générale de l'évaluation des aléas naturels qui affectent le degré de dommage sur un bâtiment.

c-2) Zonage pour les plans de prévention/mesures du risque sismique

Quand on développe un plan de prévention du risqué sismique efficace, il est important de savoir au préalable ce qui se passe dans la région en question en cas de séisme. Dans le cas du dommage de vent ou d'inondation, bien qu'ils soient d'autres types d'aléas naturels, des dommages et des lieux sinistrés peuvent être empiriquement prévus puisqu'ils peuvent avoir lieu régulièrement, par exemple, chaque année.

Contrairement audit cas, le séisme causant de graves dommages se déclare irrégulièrement. A Alger, pour l'instant, sa région orientale souffre du dommage du séisme de Boumerdes 2003 mais ALGER CENTRE a vécu les séismes plus désastreux depuis 1716. Également, les expériences des douleurs plus récentes se retirent de l'esprit des sinistrés puisque quelques dizaines à vingtaines d'années sont passées depuis ces événements. Les séismes ont lieu avec une périodicité plus importante que la longévité humaine. Il est donc difficile d'adapter ces expériences de catastrophes dans le développement des mesures préventives à prendre. Il en découle que le microzonage est réalisé pour déterminer de manière réaliste ce qui va se produire dans les villes quand il y a un grand séisme.

Un tremblement de terre est un phénomène naturel qui présente une influence substantielle sur une large étendue. Ses impacts ne se limitent pas simplement aux aléas relevant du mouvement sismique et du potentiel de liquéfaction mais entraînent aussi des dommages physiques de bâtiments. Par conséquent, il provoque en générale la rupture des réseaux vitaux, des impacts sur la vie sociale et les activités économiques, et donne lieu à l'expansion rapide des douleurs à travers toute la communauté. Le niveau de dommage dépend non seulement des conditions naturelles, incluant des conditions de sols, états de bâtiments, route, et autres ouvrages artificiels, mais aussi des activités de réponse d'urgence aux catastrophes. Le microzonage sismique analyse donc souvent la distribution physique du mouvement de sol, l'étendue de dommage, etc., en tant que base de développement d'un scénario du risque sismique à marche du temps se déployant sur les minutes, les heures, les jours et les semaines qui s'écoulent après le séisme. Dans ce cas, le microzonage sismique est une simulation compréhensive de dommages préalable à l'occurrence d'un séisme.

Aux lumières de ladite classification, le projet de l'« Étude de Microzonage sismique de la Wilya d'Alger en République Algérienne Démocratique et Populaire » peut être classifié comme suit :

- a)-3: Champs d'application : aléas naturels, dommage d'ouvrages et secondaire
- b)-1: Évaluation quantitative, et
- c)-2: Zonage pour les plans/mesures de prévention du risque sismique.

2. Collecte de données

2-1 Échelle de la carte de base et taille de maille

L'échelle appropriée à la carte de base pour une étude de microzonage sismique varie en fonction de l'étendue de la zone d'étude. Dans l'évaluation des zones larges, le bénéfice apporté par une carte à échelle réduite est peu important par rapport au coût et à la difficulté qu'elle présente. Par ailleurs, l'analyse des aléas des zones moins larges demande une carte suffisamment détaillée.

Une maille carrée est souvent utilisée comme unité d'analyse. La taille de maille diffère en fonction de l'étendue de la zone d'étude. Il n'est pas efficace d'utiliser une taille de maille inutilement réduite puisque la maille de taille réduite exige une quantité importante des données détaillées.

Le Tableau 2-1 montre les exemples d'échelles de carte de base appropriées et de tailles de maille d'études de microzonage. Par exemple, la zone de l'étude de microzonage d'Alger est autour de 230 km², ce qui correspond à 250 m de côté de maille à adopter.

Tableau 2-1 Échelles de carte de base et tailles de maille souhaitables de zone d'étude

Zone d'étude	Échelle de carte de base	Taille de maille
100 - 400 km ²	1/25 000	250m de côté
400 - 1 600 km ²	1/50 000	500m de côté
1 600 - 6 400 km ²	1/100 000	1km de côté
6 400 - 25 600 km ²	1/200 000	2km de côté

Si les données nécessaires peuvent être collectées dans des cartes imprimées, les échelles de ces cartes devraient être plus réduites que celles mentionnées au tableau susmentionné.

2-2 Informations nécessaires

Il faut une variété d'informations et de données pour une étude de microzonage sismique. Le contenu et la précision des informations et des données diffèrent selon les types d'aléas/dommages devant être étudiés et les méthodologies adoptées. Les informations nécessaires sont grossièrement classifiées comme suit :

- a) Informations de base
 - Limites administratives
 - Occupation des sols
 - Recensement de la population et des bâtiments
 - Risque sismique et données enregistrées de dommage, etc.
- b) Informations sismologiques
 - Carte des failles actives
 - Cartes du sismotectonique
 - Catalogues des séismes historiques et instrumentaux
 - Données enregistrées des mouvements sismiques très forts, etc.

- c) Informations géologiques
 - Cartes topographiques
 - Cartes géologiques
 - Distribution du substratum, etc.

- d) Informations géotechniques
 - Enregistrements des forages
 - Enregistrements des ondes PS
 - Propriétés de sols
 - Niveaux d'eau souterrain, etc.

- e) Informations de bâtiments
 - Inventaire des bâtiments
 - Distribution des bâtiments
 - Règles parasismiques et standards, etc.

- f) Informations d'infrastructures
 - Inventaire des ponts
 - Carte de la distribution
 - Carte de la distribution et inventaire du réseau AEP
 - Carte de la distribution et inventaire du réseau d'assainissement
 - Carte de la distribution et inventaire des canalisations de gaz
 - Carte de la distribution et inventaire du réseau d'alimentation en électricité
 - Carte de la distribution et inventaire du réseau téléphonique, etc.

3. Analyse des aléas

L'analyse des aléas se sert de différentes méthodes et approches. Dans les années 1970 quand l'analyse des aléas a commencé à se pratiquer au Japon et en Californie, l'évaluation se réalisait seulement dans les règles empiriques avec les données limitées. Depuis, une variété d'approches se développait et s'utilisait grâce aux différentes données accumulées, approches analytiques développées, ordinateurs avancés, introduction du SIG et ainsi de suite. Même dans ces régions, les nouvelles approches sophistiquées ne sont pourtant pas toujours utilisées. C'est parce que les approches analytiques plus avancées exigent plus de données et les résultats deviennent plus sensibles à la fiabilité des données. Il est donc possible qu'on commette une erreur quand on applique les approches analytiques avancées en cas où on ne pourrait pas obtenir des données suffisantes ou que les données obtenues ne seraient pas précisément introduites. Par conséquent, une approche analytique avancée ne devrait pas s'appliquer imprudemment mais une approche pertinente devrait être sélectionnée suivant les données disponibles.

En ces circonstances, il y a une variété de méthodes d'analyse des aléas à sélectionner suivant les zones concernées, les conditions des données et les objectifs, etc. Dans les présentes directives, les méthodes sont grossièrement classifiées dans plusieurs groupes afin de sélectionner l'une des méthodes les plus appropriées à la zone d'étude.

3-1 Séisme de scénario

La manière de présumer un séisme de scénario diffère complètement d'une région à l'autre. Le choix de méthode de mise en place d'un séisme de scénario est fortement lié aussi bien au sismotectonique et aux conditions sismiques qu'aux données nécessaires disponibles. Par exemple, même si une base de données précise des catalogues des séismes historiques est disponible, il serait irréaliste d'établir un séisme de scénario sur la base des séismes historiques si le dommage vécu par le site était peu important. En maintes occasions, plusieurs procédures sont utilisées ensemble.

[Méthode-1] Basée sur les séismes désastreux historiques

La méthode dépend du modèle sismique caractéristique. Le modèle sismique caractéristique suggère que les séismes maxima qui ont lieu au niveau d'une faille particulière ont dans la plupart des cas la même magnitude et les mêmes périodicités. Cette méthode suppose l'occurrence répétitive d'un séisme qui a affecté la zone d'étude dans le passé ou avait lieu répétitivement dans le passé et dont menace l'occurrence de nouveau dans le futur.

[Méthode-2] Basée sur une faille active

Une faille active est une faille qui est devenue active ou qui a montré des mouvements répétés durant ces 1 à 2 millions de dernières années. Elle est susceptible de causer un autre séisme quelques fois dans le futur. Les failles actives sont naturellement adaptables à un séisme de scénario. En général, il y a nombreuses failles sur les cartes géologiques mais presque toutes ces failles ne sont pas « actives ». L'identification d'une quelconque faille active est le point clef de la présente méthode.

[Méthode-3] Basée sur les informations du sismotectonique et de la géologies

Particulièrement dans les zones en mer, il est difficile de trouver une faille et de vérifier si elle est active. Dans une zone active au point de vue sismologique, e.g. quand il s'agit des limites des plaques, la distribution épiscoptrale indique la localisation d'une faille. Durant ces dernières années, les investigations des fonds océaniques ont été réalisées dans plusieurs zones et nombreuses failles importantes ont été trouvées. Cependant, il est encore difficile d'identifier l'activité. Dans ce cas, le mouvement cortical observé par le GPS est l'information la plus importante pour l'estimation de l'activité d'une faille. Le modèle du sismotectonique est utile pour la mise en place d'un séisme de scénario.

Les données nécessaires dans chaque méthode sont décrites en grandes lignes ci-dessus et le degré de nécessité est montré au Tableau 3-1.

Tableau 3-1 Données nécessaires et leur disponibilité – Séisme de scénario

Données	Nécessité dans chaque méthode			Disponibilité à Alger	
	Méthode-1 Basée sur les séismes destructifs historiques	Méthode-2 Basée sur les failles actives	Méthode-3 Basée sur les informations de sismotectonique et sismologique	Qualité	Quantité
Enregistrement des aléas sismiques	⊙	Δ	Δ	Δ	Δ
Catalogue des séismes historiques	⊙	○	○	○	○
Catalogue des séismes instrumentaux	Δ	Δ	⊙	○	⊙
Localisations/Longueurs des failles actives	Δ	⊙		○	⊙
Intervalle récurrent/Dernier événement de faille active	Δ	○		x	x
Enregistrement des mouvements corticaux (GPS)		Δ	⊙	⊙	○

⊙ : Données de la zone d'étude indispensables
 ○ : Nécessaires mais pouvant être estimées ou remplacées par les données des autres zones
 Δ : Souhaitables

⊙ : OK
 ○ : Presque OK, mais informations supplémentaires recommandées
 Δ : Existantes mais insuffisantes
 x : Inexistantes ou dispersées

[A Alger]

La disponibilité des données est montrée au Tableau 3-1.

La ville d'Alger a souffert du dommage du séisme de Boumerdes 2003 dans sa partie est mais ALGER CENTRE est exposé aux séismes plus désastreux depuis 1716. Le séisme de cette date est tellement ancien qu'il n'y a pas d'informations suffisantes dégagant un séisme de scénario sur la base de ce tremblement de terre.

Par conséquent, il est décidé que la modélisation d'un séisme de scénario à Alger se fera sur la base des failles actives (méthode-2). La Figure 3-1 montre les localisations et les traces de surface inférées des failles actives à Alger et dans ses environs. Les failles de Blida, de Sahel et de Thenia sont des failles à terre et leurs localisations ont été étudiées par les géologues. Les failles de Khair al Din et de Zemmouri ont été trouvées dans les investigations récemment menées dans les fonds océaniques. Les activités de ces failles ont été étudiées selon la modélisation du sismotectonique [Méthode-3] (Figure 3-2).

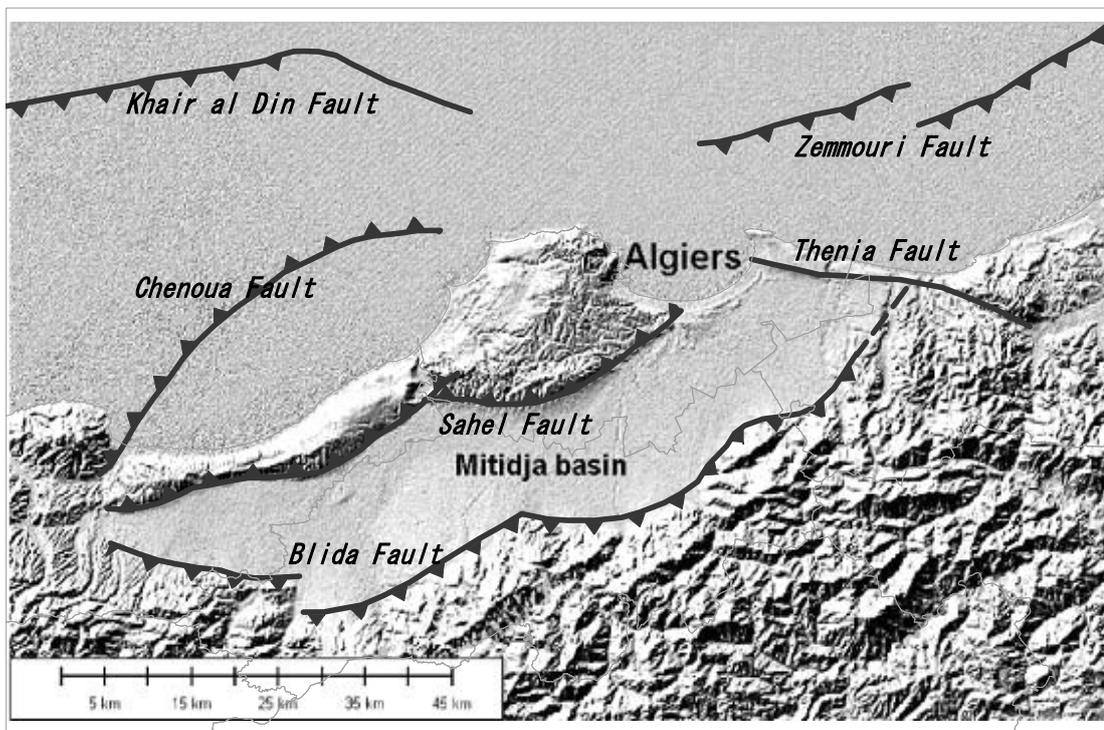


Figure 3-1 Localisation et traces de surface inférées des failles
(Image à l'arrière-plan: SRTM DEM)

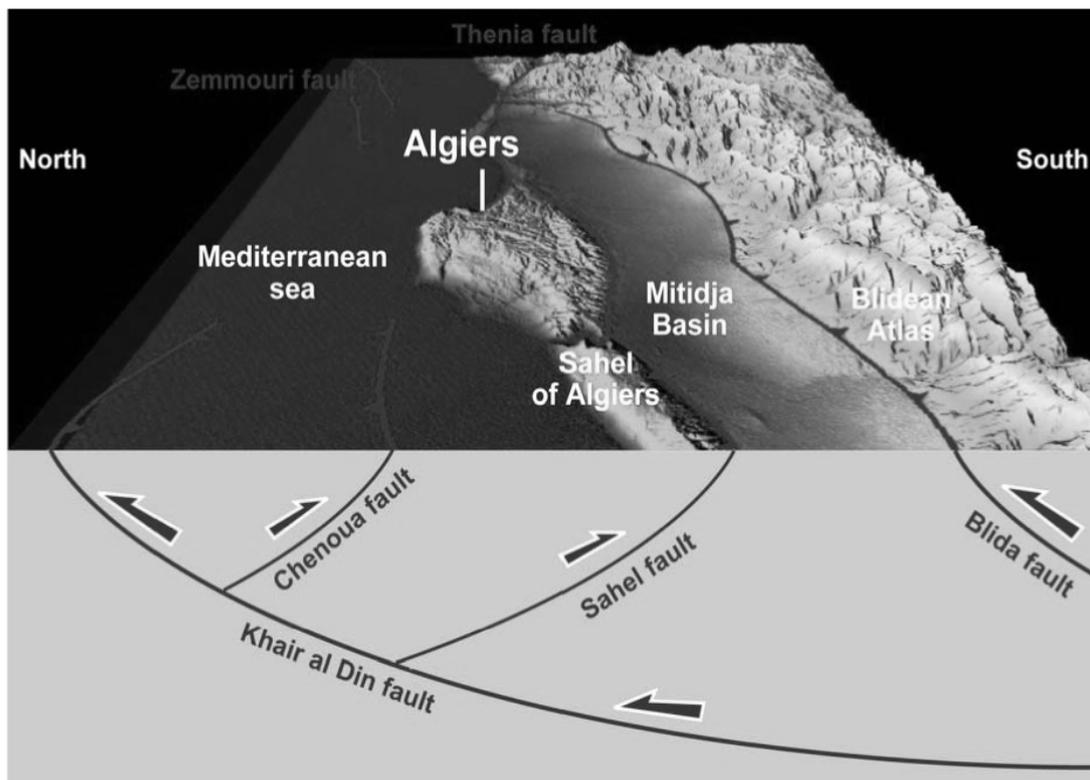


Figure 3-2 Schéma bloc à géométrie tridimensionnelle du modèle du sismotectonique proposé

3-2 Mouvement du substratum

[Méthode-1] Fonction d'atténuation empirique (PGA, PGV, Sa)

En général, le mouvement sismique du sol est autant plus large que la magnitude du séisme est plus grande ou la distance épacentrale est moins importante. La relation empirique entre le mouvement sismique, la distance épacentrale et la magnitude, appelée la loi d'atténuation, a été développée en utilisant les données d'observation enregistrées et proposées par nombreux chercheurs. Les lois d'atténuation de la PGV, des spectres de réponse et de la PGA sont proposées. Le mouvement du substratum peut être estimé en utilisant la loi d'atténuation développée par usage des données d'observation enregistrées sur le substratum ou le mouvement du substratum estimé par usage des données enregistrées de l'observation de surface. Le mouvement sismique est affecté par les caractéristiques des sources, les effets de trajectoire, la magnitude et la distance. Le résultat dérivant de la loi d'atténuation est donc affecté par les caractéristiques des données utilisées dans son développement. Il en découle qu'une loi d'atténuation dérivée des données observées dans et autour de la zone d'étude est préférable. Afin de définir la loi d'atténuation originale de la zone d'étude, nombreuses données portant sur une large rangée de magnitudes et de distances épacentrales sont utilisées sur la base des stations où les conditions de sol sont bien connues. Les lois d'atténuation existantes peuvent s'utiliser dans les champs d'application de magnitude et de distance des données dans leur développement.

[Méthode-2] Méthode de fonction empirique de Green

Le mouvement sismique observé peut être modélisé par la convolution de la distribution du glissement dans le temps et l'espace sur la surface de la faille et la réponse des matériaux dans le passage de propagation d'un glissement unitaire (Fonction de Green). L'idée de cette fonction empirique de Green consiste à utiliser un événement peu important observé pour la fonction de Green au lieu d'une fonction théorique pour calculer un événement important. L'avantage de cette fonction empirique de Green repose sur le fait qu'un événement peu important contient des effets de passage de propagation et des effets de site local si le passage de propagation de l'événement peu important est la même que celui de l'événement important. Nombreux chercheurs ont étudié la méthode de fonction empirique de Green. La méthode d'Irikura (1986) est l'une des méthodes les plus fameuses et pratiques à appliquer. Afin d'estimer le mouvement du substratum, les données d'observation enregistrées au site d'affleurement de rochers ou les formes d'ondes redressées par usage des observations surface sont utilisées. Si les formes d'ondes de l'événement peu important adéquat ayant lieu dans la zone de source prévue de la zone de source du séisme de scénario cible sont disponibles, cette méthode est appropriée pour simuler un événement important au site d'observation.

[Méthode-3] Méthode stochastique de fonction de Green

Le point faible le plus important de la méthode empirique de fonction de Green est lié au fait qu'elle a besoin des formes d'ondes de l'événement peu important ayant lieu dans la zone de source du séisme cible. Par ailleurs, la méthode stochastique de fonction de Green utilise de manière stochastique des événements peu importants dérivés du modèle de source théorique des caractéristiques dynamiques. Elles incluent la distribution rude accompagnée de chutes de contraintes et de spectres de sources. Cette méthode a été soutenue par Dr. Irikura (par exemple, Kamae et al. (1991) et adoptée au projet de microzonage sismique effectué par le bureau du premier ministre du gouvernement du Japon.

Les données nécessaires dans chaque méthode susmentionnée et le degré de nécessité sont montrés au Tableau 3-2.

Tableau 3-2 Données nécessaires et leur disponibilité – Mouvement du substratum

Données	Nécessité dans chaque méthode			Disponibilité à Alger	
	Méthode-1	Méthode-2	Méthode-3	Qualité	Quantité
	Fonction d'atténuation empirique (PGA, PGV, Sa)	Méthode de fonction empirique de Green	Méthode de fonction stochastique de Green		
Enregistrement des aléas sismiques	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Catalogue des séismes historiques	⊙	⊙	⊙	○	○
Distribution des séismes historiques	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Catalogue des séismes instrumentaux	Δ	Δ	Δ	○	⊙
Catalogues des microséismes	Δ	Δ	Δ	x	x
Enregistrement des mouvements très forts (Liste, formes d'ondes)		⊙		○	Δ
Conditions de sol des observatoires de mouvements très forts		○		x	x
Localisations/Longueurs des failles actives	⊙	⊙	⊙	○	⊙
Intervalle récurrent/Dernier événement de faille active	Δ	Δ	Δ	x	x
Enregistrement des mouvements corticaux (GPS)	Δ	Δ	Δ	⊙	○
Fonction d'atténuation pour l'Algérie	○			Δ	Δ
Longueur de la faille - Rapport de magnitude en Algérie	○			x	x
Modèle statique de source (Long., Larg., Profond., Vr)	○	⊙		Δ	Δ
Modèle dynamique de source (Aspérité, Chute d'effort)			⊙	x	x

⊙ : Données de la zone d'étude indispensables
 ○ : Nécessaires mais pouvant être estimées ou remplacées par les données des autres zones
 Δ : Souhaitables

⊙ : OK
 ○ : Presque OK, mais informations supplémentaires recommandées
 Δ : Existantes mais insuffisantes
 x : Inexistantes ou dispersées

[A Alger]

Les données disponibles sont montrées au Tableau 3-2.

A Alger, la [Méthode-1] est adoptée sur la base des données disponibles. Les trois lois d'atténuation suivantes ont été sélectionnées après avoir considéré les données enregistrées algériennes.

- Laouami et al. (2005)
- Ambraseys et al. (2005)
- Berge-Thierry et al. (2003)

L'applicabilité du rapport de ces trois lois d'atténuation à la zone algéroise a été évaluée à travers la comparaison avec les données enregistrées du mouvement fort du séisme de Boumerdes 2003. Les valeurs de PGA des composants horizontaux sont tracées à la Figure 3-3 selon les conditions de sol. Les lignes dans les graphiques supérieurs de la Figure 3-3 sont les lois de Laouami et al. (2005) et Berge-Thierry et al. (2003), alors que celle de Ambraseys et al. (2005) est dans les graphiques inférieurs. La loi d'Ambraseys et al. (2005) fournit de meilleures estimations que les deux autres ; donc, il a été décidé d'utiliser la méthode d'Ambraseys et al. (2005) pour le calcul du mouvement du substratum à Alger.

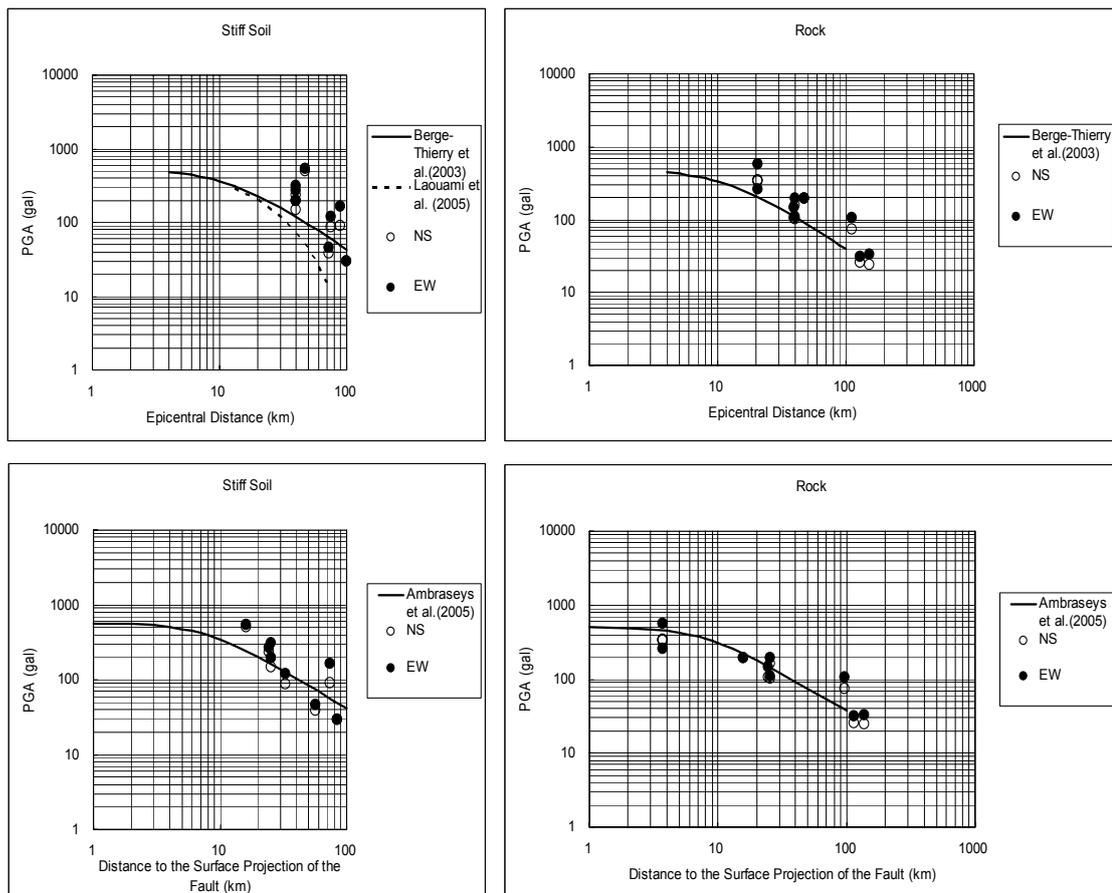


Figure 3-3 Comparaison des PGA observées avec les lois d'atténuation

3-3 Amplification de surface

[Méthode-1] Basée sur les aléas du passé

L'approche la plus directe à l'évaluation de l'amplification de surface consiste à estimer la distribution des dommages induits des séismes désastreux par usage des données disponibles. Les dommages des séismes du passé montrent que le mouvement sismique dans une zone aux sols sédimentaires épais est plus important que dans la zone environnante aux rochers et que la valeur n'est pas uniforme même dans une zone réduite. Les effets de site local relevant des sols de surface seront comparables dans les événements ultérieurs si la condition de sol n'est pas changée drastiquement par un développement de grande envergure après le séisme précédent. L'amplification relevant du sol de surface peut être évaluée par la comparaison des données de la surface enregistrées observées sur le substratum ou l'intensité / PGA estimée à partir des dommages des séismes du passé sur la base des données d'observation enregistrées sur le substratum ou les valeurs estimées utilisant la loi d'atténuation. Dans le but d'appliquer cette approche de prédiction, les séismes du passé devraient être suffisamment larges pour couvrir la zone cible.

[Méthode-2] Estimation par voie de la géologie / géomorphologie

La géologie / géomorphologie de surface est souvent utilisée pour l'interprétation des intensités croissantes à chaque site. Autant que la relation entre la géologie et l'amplification de surface est concernée, Boucherdt & Gibbs (1976) et Midorikawa (1987) sont bien connus. La relation entre la classification géomorphologique et l'amplification a été bien étudiée au Japon et la relation proposée par Matsuoka & Midorikawa (1994) ou Fujimoto & Midorikawa (2003) est utilisée. Ces relations sont analysées sur la base de la comparaison du mouvement de substratum avec le mouvement de surface sur le site où la condition de sol est minutieusement étudiée et la simulation numérique est basée sur un modèle du sol. Cependant, ces relations ne sont pas uniques dans le monde et diffèrent d'un site à l'autre.

[Méthode-3] Estimation par voie de la Vs (vitesse de l'onde S) de la couche de surface

Cette méthode fait usage de la vitesse de l'onde S de la couche de surface au lieu de la géologie ou de la géomorphologie pour évaluer l'amplification au sol de surface. Il a été révélé par observation sismique et analyse numérique que la vitesse moyenne de l'onde S de la surface à une certaine profondeur est hautement corrélée avec l'amplification au sol de surface. Joyner & Fumal (1984), Boucherdt et al. (1991) et Midorikawa et al. (1994) ont proposé les relations entre la vitesse moyenne de l'onde S et le facteur d'amplification. Ces relations ne sont pas uniques dans le monde et diffèrent d'un site à l'autre.

[Méthode-4] Analyse de la réponse (1D)

Cette méthode fait usage d'un modèle à réflexions multiples pour la propagation des ondes S dans une colonne unidimensionnelle. Le sol est modélisé dans une série de couches horizontales et l'amplification en fréquence est calculée. L'analyse linéaire, l'équivalente linéaire ou non linéaire sont utilisées. La colonne du sol entre le substratum et la surface, la vitesse de l'onde S de chaque couche, la densité et les propriétés non linéaires du sol sont nécessaires.

[Méthode-5] Analyse de la réponse (2D / 3D)

Le sol est modélisé dans un modèle en maille bi ou tridimensionnelle. Les méthodes des éléments finis ou des différences finies sont utilisées pour la simulation numérique de la propagation des ondes dans les couches de sol. Une grande quantité de données est nécessaire par rapport à l'analyse d'ID.

Les données nécessaires pour chaque méthode, dont les grandes lignes décrites ci-dessous, et le degré de nécessité sont montrés au Tableau 3-3.

Tableau 3-3 Données nécessaires et leur disponibilité - Amplification de surface

Données	Nécessité dans chaque méthode				Disponibilité à Alger		
	Méthode-1 Basée sur les aléas passés	Méthode-2 Estimation par géologie/géomorphologie	Méthode-3 Estimation par Vs de la couche supérieure	Méthode-4 Analyse de la réponse (1D)	Méthode-5 Analyse de la réponse (2D/3D)	Qualité	Quantité
Distribution des intensités/PGA des grands séismes du passé	⊙	○	○	△	△	△	△
Carte topographique	△	○	○	○	○	⊙	○
Carte géologique	△	⊙	○	○	○	△	○
Carte géomorphologique	△	⊙	○	○	○	x	x
Carte des sols de sous-sol	△	⊙	○	○	○	△	△
Facteur d'amplification - Géologie/Géomorphologie/Rapport de sols		○				x	x
Enregistrement des forages			⊙			△	○
Résultat enregistré de la vitesse			⊙			x	x
Facteur d'amplification - Vitesse moyenne du rapport de couches de surface			○			x	x
Propriété statique de sols (valeur N, densité, etc.)				○		△	△
Propriété dynamique de sols				○		x	x
Photos aériennes	△	△	△	△	△	⊙	⊙
Profondeur du substratum						△	○
Structure 2D/3D du substratum				⊙		x	x
Enregistrement des mouvements très forsts (pour analyse de la réponse)				○		○	△

⊙ : Données de la zone d'étude indispensables
 ○ : Nécessaires mais pouvant être estimées ou remplacées par les données des autres zones
 △ : Souhaitables

⊙ : OK
 ○ : Presque OK, mais informations supplémentaires recommandées
 △ : Existantes mais insuffisantes
 x : Inexistantes ou dispersées

[A Alger]

Les données disponibles avant le commencement de la présente étude sont montrées au Tableau 3-3. Ce tableau indique qu'il est difficile d'évaluer l'amplification au sol de surface en utilisant les données existantes. Donc, un nombre de forages et d'enregistrements des ondes PS a été envisagé et exécuté dans l'étude afin d'adopter la [Méthode-4] à Alger (Figure 3-4).

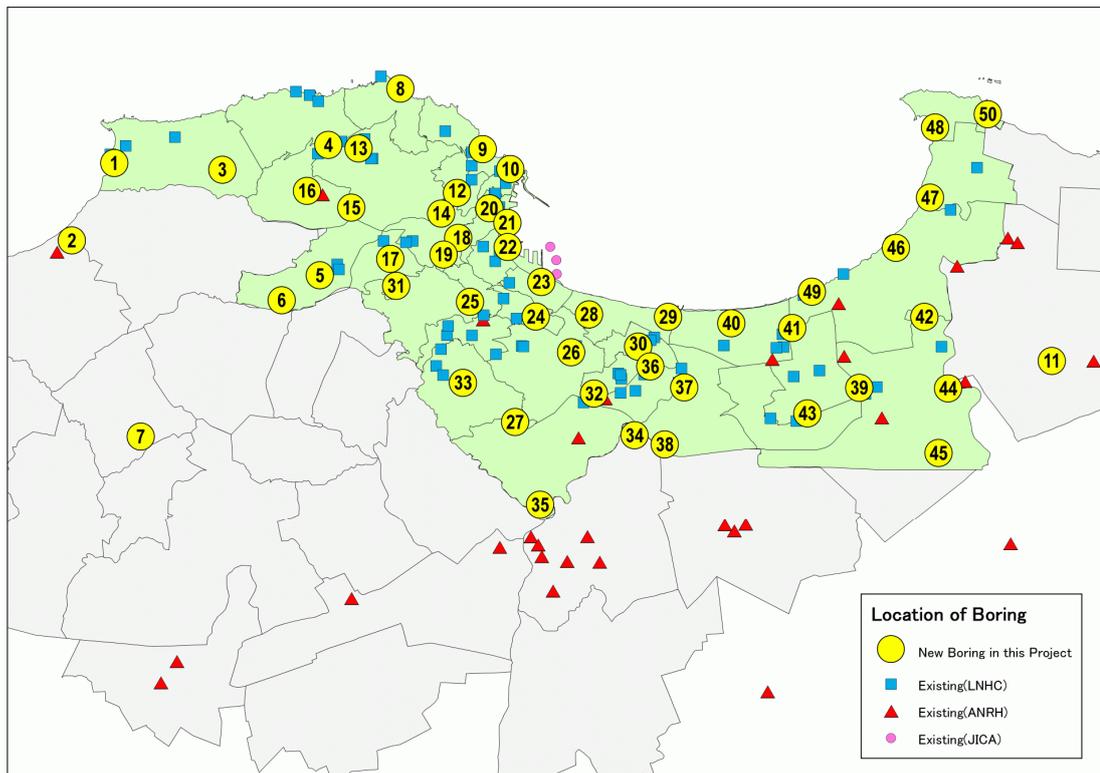


Figure 3-4 Localisations des forages

Pour adopter l'analyse de la réponse ID, les conditions suivantes ont été étudiées avant de commencer la simulation numérique.

- 1) Définition du substratum sismique de l'ingénieur et du mouvement sismique sur ce substratum

A Alger, pour le substratum sismique de l'ingénieur (Figure 3-5), il a été utilisé les forages existants, les littératures et les données enregistrées des forages compilées, les enregistrements des ondes PS, les marnes bleues plaisanciennes fraîches (p1-f) avec la V_s de 630 m/sec et les schistes frais (mi-f) avec la V_s de 1030 m/sec. Comme le mouvement de substratum estimé n'est pas défini puisqu'on suppose un substratum sismique de l'ingénieur adopté, le mouvement du substratum a été converti en la valeur du substratum sismique de l'ingénieur en utilisant le rapport empirique de la V_s avec l'amplification, e.g. par Midorikawa et al. (1994).

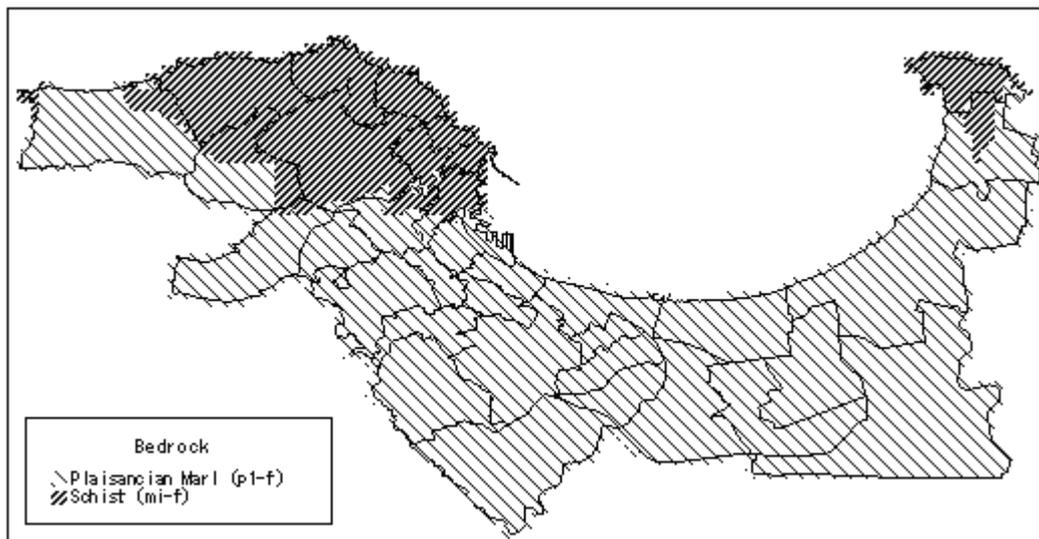


Figure 3-5 Distribution des types de substratum sismique de l'ingénieur

2) Propriétés non linéaires des sols

Vu qu'il n'y a aucun essai dynamique de sol au laboratoire pour évaluer les propriétés dynamiques non linéaires des sols en Algérie, les propriétés dynamiques non linéaires des sols existantes dans l'étude de microzonage de la zone métropolitaines de Tokyo, Japon, ont été appliquées après avoir considéré les similarités des sols, la vitesse de l'onde S et la valeur N. La Figure 3-6 montre les propriétés non linéaires des sols adoptées.

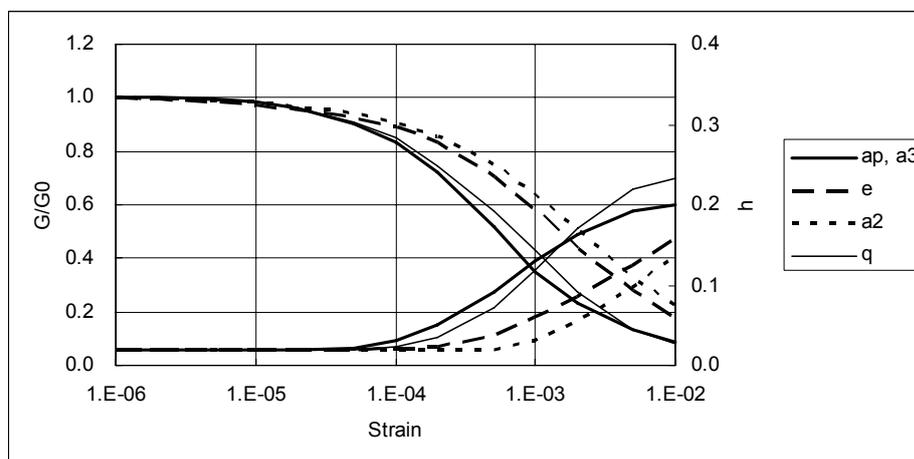


Figure 3-6 Propriétés non linéaires des sols

3) Ondes sismiques d'entrée

A Alger, les ondes du substratum estimé lors du séisme de Boumerdes 2003 sont utilisées en tant qu'ondes sismiques d'entrée selon les considérations suivantes. La magnitude du séisme de Boumerdes, $M_w=6,9$, est comparable avec les séismes de scénario et la distance de la zone de source jusqu'à la zone d'étude ne diffère pas

observées à Alger lors du séisme de Boumerdes est approprié au mouvement d'entrée de l'analyse de la réponse.

Deux composants horizontaux des deux stations à Alger ont été utilisés; donc, quatre formes d'ondes ont été utilisées dans l'analyse. Les formes d'ondes des quatre ondes d'entrée sont montrées à la Figure 3-7. La valeur moyenne des quatre PGA calculée correspondant aux quatre ondes d'entrée est utilisée comme résultat définitif.

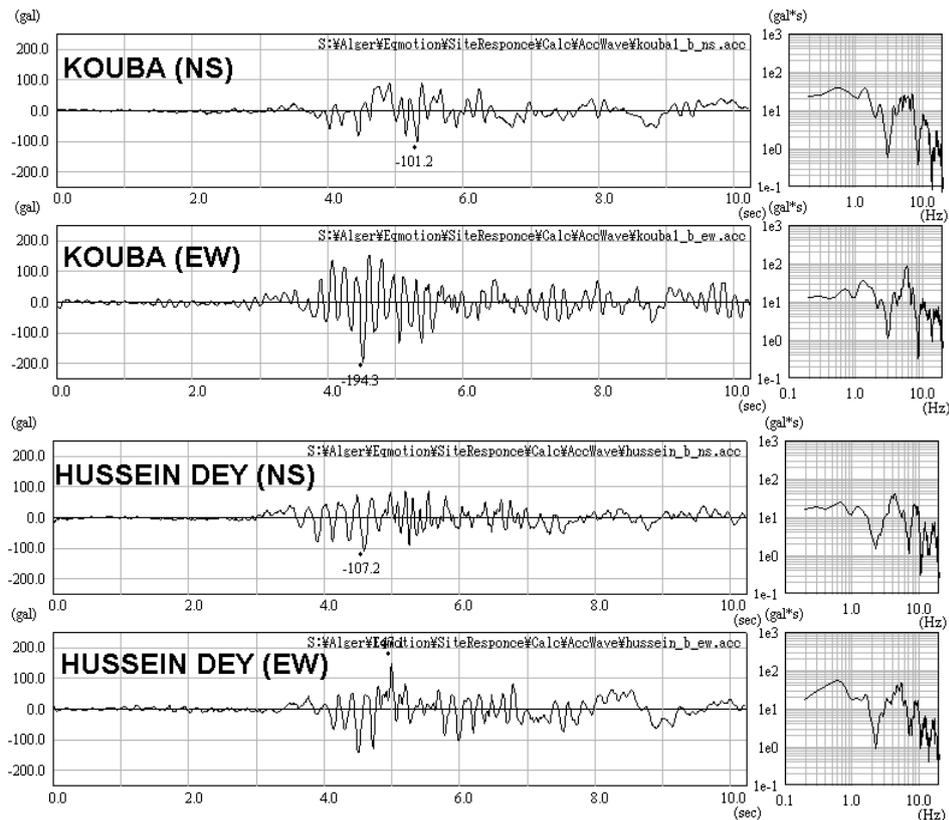


Figure 3-7 Ondes d'entrée utilisées pour l'analyse de la réponse

3-4 Potentiel de liquéfaction

[Méthode-1] Basée sur la magnitude et la distance

Plusieurs chercheurs ont analysé la distribution de la liquéfaction dans les séismes passés et comparé la distance de l'épicentre au site liquéfié le plus éloigné avec la magnitude sismique. Les résultats en sont compilés dans les « graphiques aux distances épicentrales aux sites liquéfiés les plus éloignés ». Les graphiques par plusieurs chercheurs diffèrent à l'égard de la réflexion des différences sur les sites et les bases de données, bien qu'ils soient utiles dans la délimitation approximative d'une zone à étudier pour le potentiel de liquéfaction. Si le niveau d'eau souterraine est bas, le potentiel de liquéfaction peut être jugé bas.

Il est connu que la liquéfaction se produit au même site de manière répétitive. Donc, la superposition de la distance épicentrale sur les graphiques au site liquéfié le plus éloigné, la carte des niveaux d'eau souterraine et de l'expérience de la liquéfaction durant les séismes du passé est efficace dans l'estimation de la liquéfaction qui se produirait dans les séismes de scénario.

[Méthode-2] Estimation par les critères géomorphologiques

Il est connu que la liquéfaction présente une haute corrélation avec l'unité géomorphologique qui reflète le processus sédimentaire de sols. Par exemple, des levées naturelles et des cours d'eau abandonnés présentent un haut potentiel de liquéfaction. Si la corrélation entre l'unité géomorphologique et l'expérience de la liquéfaction pouvait être analysée dans la zone d'étude et les critères d'estimation de liquéfaction étaient établis, une estimation précise serait possible. L'interprétation des photos aériennes sera aussi considérée.

[Méthode-3] Analyse numérique en utilisant un modèle de sol géotechnique

La résistance à la liquéfaction des sols liquéfiables est estimée et comparée avec la contrainte au cisaillement du sol dans un séisme. Si la contrainte au cisaillement est plus importante que la résistance à la liquéfaction, le dépôt de sol est jugé liquéfiable. La résistance à la liquéfaction est habituellement estimée par les valeurs de SPT / CPT. Les méthodes par Seed & Idriss (1971) et the Japan Road Association (1980, 1991) sont bien connues.

Les données nécessaires pour chaque méthode dont les grandes lignes décrites ci-dessus et le degré de nécessité sont montrés au Tableau 3-4.

Tableau 3-4 Données nécessaires et leur disponibilité - Potentiel de liquéfaction

Données	Nécessité dans chaque méthode			Disponibilité à Alger	
	Méthode-1	Méthode-2	Méthode-3	Qualité	Quantité
	Basée sur la magnitude et la distance	Estimation par critères géomorphologiques	Analyse numérique par modèle de sol géotechnique		
Maximum Liquefaction Distance - Magnitude Relation Chart	○	○		x	x
Liquefaction History Map	○	⊙	○	△	△
Topographical Map		○		⊙	○
Geological Map		○		△	○
Geomorphological Map		⊙		x	x
Subsurface Soil Map		⊙		△	△
Boring Log (with N-Value or CPT)			⊙	△	△
Soil Test result (Density, Grain Contents, etc.)			⊙	△	△
Aerial Photograph		○	△	⊙	⊙
Ground Water Level Map	○	○	⊙	△	△

⊙ : Données de la zone d'étude indispensables
○ : Nécessaires mais pouvant être estimées ou remplacées par les données des autres zones
△ : Souhaitables

⊙ : OK
○ : Presque OK, mais informations supplémentaires recommandées
△ : Existantes mais insuffisantes
x : Inexistantes ou dispersées

[A Alger]

Les données disponibles avant le commencement de la présente étude sont montrées au Tableau 3-4. Ce tableau montre qu'il est difficile d'évaluer le potentiel de liquéfaction à partir des données existantes. Il a été donc envisagé et effectué dans l'étude un nombre de forages et d'enregistrements de l'onde S (PS logging) pour adopter la [Méthode-3] à Alger.

Du fait que le niveau d'eau souterrain est une donnée très importante pour évaluer le potentiel de liquéfaction, il a été mesuré à tous les points de forage pendant l'investigation de sol. Les niveaux d'eau souterraine observés ont été analysés avec les données existantes (ex. Figure 3-8). Le changement saisonnier de niveaux d'eau souterraine peut être estimé si les données suffisantes sont disponibles.

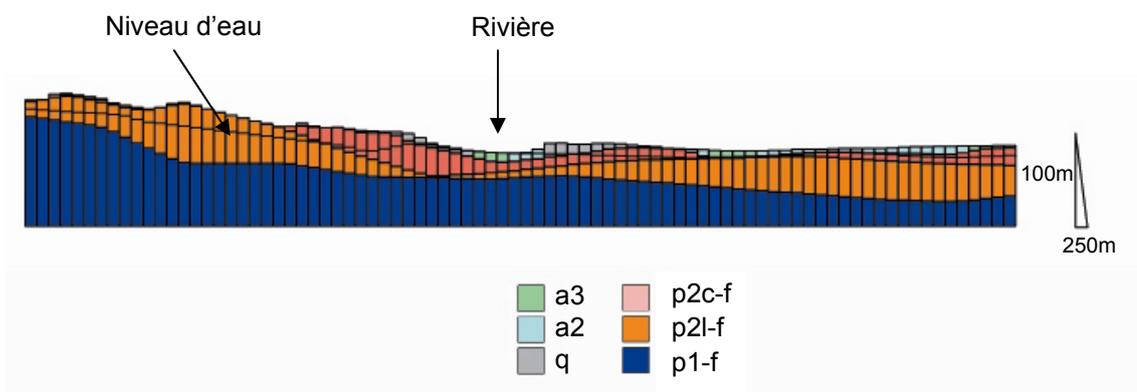


Figure 3-8 Exemple de section de niveaux d'eau près d'OUED EL HARRACH

3-5 Stabilité de terrains en pente

[Méthode-1] Basée sur la magnitude et la distance

Nombreuses études ont été réalisées sur le plan de la relation entre la distance maximum de l'épicentre à la rupture de pente la plus éloignée et la magnitude sismique. Les résultats ont été compilés dans les « graphiques aux distances épacentrales jusqu'à la rupture de pente la plus éloignée ». Les graphiques établis par plusieurs chercheurs ne sont pas les mêmes puisqu'ils reflètent la différence des sites et des bases de données, bien qu'ils soient utiles dans la délimitation d'une zone approximative qui nécessite l'analyse de la rupture de terrains en pente.

Il est connu que la rupture de terrains en pente se produit sur le même site de manière répétitive. Donc, la superposition de la distance épacentrale sur les graphiques à la rupture de pente la plus éloignée et de l'expérience de la rupture de pente basée sur les séismes du passé sont utiles pour l'estimation de la rupture de terrains en pente dans les séismes de scénario.

[Méthode-2] Estimation de la stabilité par appréciation des plusieurs rubriques

La hauteur de pente, l'inclinaison de pente, les types de sol, les précipitations, etc. sont identifiés comme facteurs topographique et géologique pouvant affecter la rupture de terrains en pente. Si la relation entre ces facteurs et de l'expérience de la rupture de terrains en pente était connue dans la zone d'étude, il serait possible de délimiter les zones à haut potentiel de rupture de pente sur une carte géologique en utilisant cette relation.

[Méthode-3] Analyse numérique en utilisant la cohésion et l'angle de frottement interne

Cette méthode implique une analyse individuelle de la stabilité de pente à chaque terrain en pente. Les paramètres individuels spécifiques au site tels que l'inclinaison de pente, la cohésion de sol, l'angle de frottement interne, etc. sont nécessaires. Les méthodes existantes sont étalonnées et adoptées à une étendue limitée ; donc, l'étalonnage basé sur l'expérience de la rupture de terrains en pente dans la zone d'étude est nécessaire.

Les données nécessaires dans chaque méthode dont les grandes lignes décrites ci-dessus et le degré de nécessité sont montrés au Tableau 3-5.

Tableau 3-5 Données nécessaires et leur disponibilité - Stabilité de terrains en pente

Données	Nécessité dans chaque méthode			Disponibilité à Alger	
	Méthode-1	Méthode-2	Méthode-3	Qualité	Quantité
	Basée sur la magnitude et la distance	Estimation de la stabilité par appréciation de plusieurs rubriques	Analyse numérique par cohésion et angle de frottement intérieur		
Distance maximum aux pentes rompues - Schéma graphique du rapport des ma	○	○		x	x
Carte historique des ruptures de terrains en pente	○	○	⊙	x	x
Carte topographique		⊙	△	⊙	○
Carte géologique		⊙	△	△	○
Carte des précipitations		○	△	x	x
Carte hydrologique		△	△	x	x
Modèle Numérique de Terrain (MNT)		△	⊙	△	⊙
Résultats des essais de sol (cohésion, angle de frottement intérieur)			⊙	○	○

⊙ : Données de la zone d'étude indispensables
 ○ : Nécessaires mais pouvant être estimées ou remplacées par les données des autres zones
 △ : Souhaitables

⊙ : OK
 ○ : Presque OK, mais informations supplémentaires recommandées
 △ : Existantes mais insuffisantes
 x : Inexistantes ou dispersées

[A Alger]

Les données disponibles sont montrées au Tableau 3-5.

A Alger, la [Méthode-3] est adoptée sur la base des données disponibles. Deux types de terrains en pente existent à Alger, l'un est une pente raide composée de schiste et grès calcaires et l'autre une pente légère composée d'autres sols. Les aléas d'un terrain en pente peuvent consister en effondrement en cas de pente raide et glissement de terrain en cas de pente légère. Donc, deux méthodes d'analyse numérique ont été utilisées respectivement. La méthode de Wilson (Wilson et al. (1979)) (Figure 3-9) a été utilisée pour les pentes raides et la méthode d'Ansal et Siyahi's (Ansal et Siyahi (1993)) (Figure 3-10) pour les pentes légères.

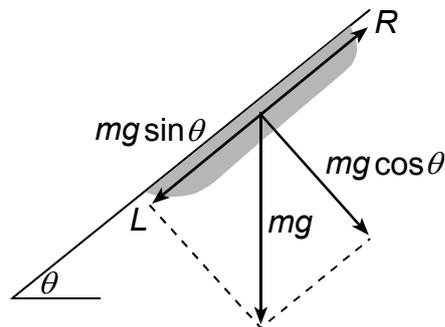


Figure 3-9 Modèle de masse à potentiel de glissement de terrain (Tanaka, 1982)

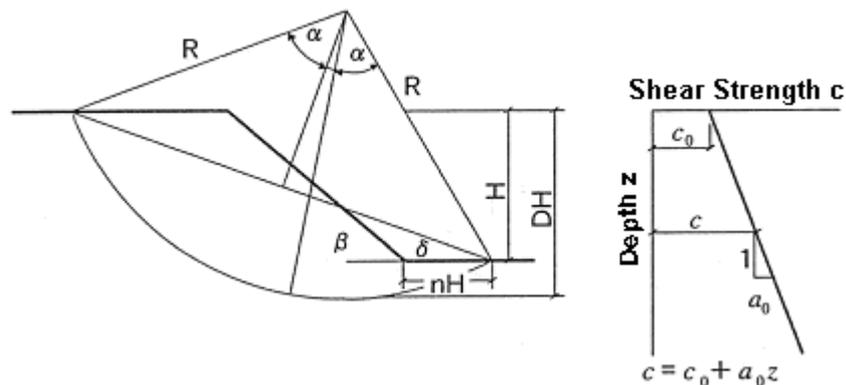


Figure 3-10 Une coupe de pente typique (Koppula, 1984)

A Alger, le potentiel de rupture de terrains en pente de chaque maille a été évalué au lieu de la stabilité individuelle de terrains en pente pour la raison que les terrains en pente n'ont pas été individuellement identifiés à Alger. L'inclinaison de pente a été calculée à 5 m d'intervalles sur la base des données du MNT d'Alger. Si les terrains en pente avaient été identifiés, ils auraient pu être évalués par voie d'enquête sur le terrain.

[Références]

- Ansal, A et B.G. Siyahi, 1994, Microzonage pour le glissement de terrain lors de séisme, 2ème Conf. Int. sur la Construction et la conception parasismique, Savidis (ed), Balkema, 151-157.
- Ambraseys N.N., Douglas J., Sarma S.K. et Smit P.M., 2005, Equations pour l'estimation des mouvements sismiques très forts du sol en utilisant les données relevant des séismes corticaux peu profonds en Europe et au Moyen-Orient: Accélération de pic au sol horizontale et accélération spectrale. Bulletin de l'engineering sismique 3, pp.1-53.
- Berge-Thierry, C., Cotton, F., Scotti, O., Griot-Pommer, D.-A., & Fukushima, Y., 2003, Nouvelles lois d'atténuation par les réponses spectrales empiriques pour les séismes occidentaux modérés, Journal d'engineering sismique, 7(2), 193–222.
- Borcherdt, R. D., et J. F. Gibbs, 1976, Effets des conditions géologiques locales dans la région de la baie de San Francisco sur les mouvements du sol et intensités du séisme de 1906, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 66, 467-500.
- Borcherdt, R. D., C. M. Wentworth, A. Janssen, T. Fumal, et J. Gibbs, 1991, Méthodologie de la cartographie prédictive appuyé sur le SIG des zones d'étude spéciales aux grandes secousses de la région de la baie de San Francisco, Proc. 4ème Conf. Intern'l. sur le zonage sismique, Vol.3, pp.545-552.
- Fujimoto, K. et S. Midorikawa, 2003, Cartographie de la vitesse moyenne des ondes de cisaillement à travers le Japon en utilisant les Informations numériques nationales des sols, Journal de JAEE, Vol. 3, No. 3, 13-27.
- Irikura, K., 1986, Prédiction de mouvements sismique d'accélération très forts en utilisant la fonction empirique de Green, Proc. 7ème Symp. Sism., 151-156.
- Japan Road Association/Association japonaise des routes, 1980, 1991, Spécifications des autoponts, Part V Conception parasismique.
- Joyner, W. B. et T. Fumal, 1984, Usage des mesures de vitesses des ondes de cisaillement pour la prédiction des effets de site géologiques sur le mouvement sismique très fort, Proc. 8ème Conf. Mond. sur Eng. Sism., Vol.2, 777-783.
- Kamae, K., K. Irikura et Y. Fukuchi, 1991, Prédiction de mouvement sismique très fort pendant un grand séisme sur la base de la loi d'échelonnement de séisme, J. Struct. Constr. Eng., AIJ, No. 430, 1-9.
- Koppula, S.D., 1984, Analyse pseudo-statique des pentes argileuses soumises aux séismes, géotechnique, 34, 71-79.
- Laouami N., Slimani A., Bouhadad Y., et Nour A., 2005, analyse du mouvement sismique très fort du séisme (Mw=6.8) du 21 mai 2003 à Boumerdes (Algérie) et élaboration de la loi d'atténuation algérienne. Soumise à la publication du Journal des dynamiques de sol et de l'engineering sismique.

- Matsuoka, M. et S. Midorikawa, 1994, Cartographie des aléas sismiques utilisant les Informations nationales des soles, Proc. 9ème Sym. Sism. Japon, E331-E336.
- Midorikawa, S., 1987, Prédiction de carte isosismale de la plaine de Kanto due au séisme hypothétique, Journal d'engineering structure, Vol.33B, 43-48.
- Midorikawa, S, M. Matsuoka et K. Sakugawa, 1994, Effets de site sur les enregistrements observés de mouvements sismiques très forts pendant le séisme de Chiba-ken-toho-oki, Japon, Proc. 9 ème Symp. Sism. Japon., Vo. 3, 85-90.
- Seed, H. B. et I. M. Idriss, 1971, Procédure simplifiée pour l'évaluation du potentiel de liquéfaction de sol, J. SMFD, ASCE, Vo. 97, No. 9, 1249-1273.
- Tanaka, K., 1982, Carte de la stabilité sismique de terrains en pente (Situation actuelle et plusieurs points discutés), Journal de la société des glissements de terrains du Japon, 19-2, 12-19. (en japonais)
- Wilson, R.C., G.F. Wieczorek, E.L. Horp, 1979, Développement des critères pour la cartographie régionale de la stabilité sismique de terrains en pente, abstrait, 1979 Meeting annuel de la société géologique des États-Unis.

4. Fonction de vulnérabilité

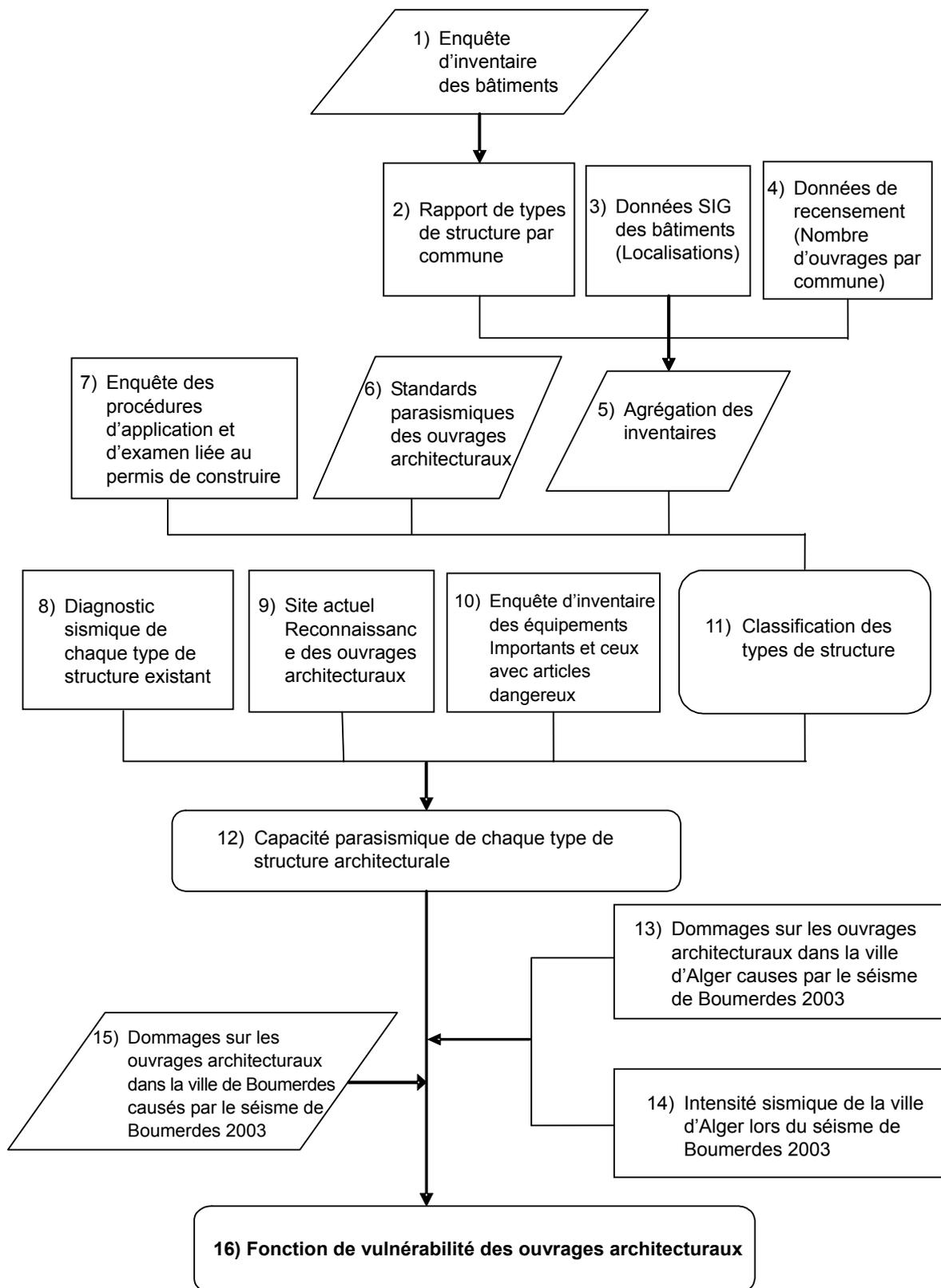
4-1 Ouvrages architecturaux

L'estimation du dommage sismique sur les ouvrages architecturaux a pour but d'alléger de la douleur éventuelle en estimant le dommage prévu causé par un grand séisme dans la région concernée par l'étude sur la base de la vulnérabilité réelle des structures, en établissant les plans de prévention des catastrophes à court, mi et long terme selon l'estimation et en réalisant les différentes mesures dans l'ordre de priorité.

Plus de 80% des victimes blessées au total ayant souffert dans les séismes passés ont été causées par des bâtiments entièrement ou partiellement effondrés.

Le dommage prévu sur les ouvrages architecturaux dans la présente étude de microzonage a été calculé quantitativement en relation avec les échelles de mouvements d'un séisme sous un certain scénario, les fonctions de vulnérabilité de différents ouvrages et les nombres de différents ouvrages. L'aspect le plus crucial dans ce processus consiste à déterminer les fonctions de vulnérabilité des différents ouvrages architecturaux dans la situation actuelle, c'est-à-dire, à saisir la capacité parasismique moyenne statistiquement calculée des différents ouvrages. La capacité parasismique des différents ouvrages diffère largement en fonction de leurs matériaux, types de construction, données de calcul, nombre de niveaux, qualité de construction, types et conditions des sols portants. Les données existantes concernant ces rubriques ont été collectées et utilisées autant que possible, bien qu'il soit encore nécessaire d'effectuer les enquêtes après avoir examiné le champ, la nature et la fiabilité des données disponibles. La précision de la prédiction de capacité parasismique repose sur le champ, la nature, la fiabilité et les autres facteurs des données existantes et nouvellement obtenues.

La Figure 4-1 montre un schéma du principe du processus de détermination des fonctions de vulnérabilité des ouvrages architecturaux. Les rubriques contenues dans la figure sont mutuellement liées mais leur rapport de cause-effet n'est pas constant. Le choix et les méthodes d'utilisation des ressources pour la détermination des fonctions de vulnérabilité sont décrits ci-après dans l'ordre des rubriques.



Source: Équipe d'étude

Figure 4-1 Schéma du principe de détermination de la fonction de vulnérabilité des ouvrages architecturaux

1) Enquête d'inventaire des bâtiments

Généralement, une enquête d'inventaire des bâtiments est effectuée pour la détermination de la classification générale et de la capacité parasismique des ouvrages. Il faut les quantités statistiques de chaque rubrique dans les zones (communes, zonage, etc.) à exprimer sur une « carte de vulnérabilité ». Les rubriques principales de l'enquête d'inventaire des bâtiments, leur importance relative et disponibilité sont montrées au Tableau 4-1.

En général, il est rare que tous les différents types de données concernant la capacité parasismique soient disponibles. Il est donc nécessaire d'effectuer les enquêtes pour obtenir des informations manquantes pour le microzonage.

Quant à la présente étude pour Alger, les enquêtes d'inventaire des ouvrages architecturaux et des équipements importants et ceux équipés des articles dangereux ont été réalisées. Il convient de voir le Chapitre 4 du rapport principal pour plus de détails des enquêtes.

Tableau 4-1 Rubriques d'enquête d'inventaire des bâtiments

Rubriques de données	Importance relative	Disponibilité dans la ville d'Alger	
		Qualité	Quantité
Lieu de construction	○○○	⊙	⊙
Usage des ouvrages (simple, complexe)	○○○	○	○
Zonage (attribution légale, aménagement urbain)	○	×	×
Propriété (publique, privée)	○	○	○
Types de structure (structure spécifique telle que béton armé, maçonnerie, acier, bois, etc.)	○○○	○	○
Construction et date de calcul (révision des standards parasismiques, inspection de construction, changement de qualité de construction, etc.)	○○○	○	○
Nombre de niveaux (au-dessus du sol, sous-sol)	○○○	⊙	⊙
Structure parasismique ou non parasismique	○○	○	○
État de rénovation parasismique	○○○	△	△
Irrégularité en plan et en élévation	○○	○	○
État d'extension ou de reconstruction	○	△	△
Types et conditions de sol	○○○	△	△
Historique des catastrophes naturelles (séisme, incendie, inondation, etc.)	○○	△	△
Présence ou absence de poteaux courts et d'étages fragile	○○○	△	○
Condition de joints de dilatation (distance d'écart de plancher, plafond, mur)	○	△	○
<p>L'importance relative de rubriques est classifiée en trois degrés suivant leur importance dans la détermination de la fonction de vulnérabilité :</p> <p>○○○ : Très importante et devant être enquêtée sans défaut</p> <p>○○ : Importante et devant être obtenue à travers les interviews avec les propriétaires ou les gérants de bâtiment si possible.</p> <p>○ : Rubrique d'enquête générale et pouvant être appliqué par une investigation si la position n'est pas certaine</p>			
<p>La disponibilité indique la qualité et la quantité des données pouvant être accédées et évaluées</p> <p>⊙ : Aucun problème (OK)</p> <p>○ : Quelques problèmes mais il faut des informations supplémentaires à obtenir à travers les interviews.</p> <p>△ : Il y a des informations qui ne sont pourtant pas suffisantes.</p> <p>×</p>			

2) Rapports des différents types de structures de chaque commune

Dans l'étude de microzonage de la ville d'Alger, les communes sont comptées comme unité individuelle à afficher sur une carte. Une fois qu'une unité à afficher sur la carte est déterminée, il est nécessaire d'obtenir les différentes données en accord avec l'unité affichée. Donc, le rapport du nombre de chaque type de structure architecturale est requis pour chaque commune. Dans la présente étude pour Alger, les résultats des enquêtes d'inventaire sont adoptés de manière à appliquer les mêmes rapports à toutes les communes concernées.

3) Données des bâtiments du SIG (Localisations)

L'étude pour Alger fait usage des 2003 cartes numériques appartenant à URBANIS pour compter le nombre des ouvrages architecturaux existants. Les ouvrages et les équipements situés sur les lignes de maille ou les limites des communes sont considérés situés dans les zones où se trouve le centre des ouvrages ou des équipements. Sur ces cartes numériques, les informations relatives aux routes ne sont pas entrées de la même manière, mais les zones où ne sont pas affichés ni les ouvrages ni les terrains ni toute autre hypothèse sont reconnues automatiquement comme route ou terrain vacant. Sur les cartes de données du SIG de la présente étude, les informations des routes ont été nouvellement entrées en faisant afficher leur statut individuel (national ou public), largeurs, trottoirs, etc.

4) Données du recensement (Nombre d'ouvrages architecturaux de chaque commune)

Les données du recensement ont été obtenues du recensement national réalisé plus ou moins il y a dix ans et des résultats des enquêtes les plus fiables. Le recensement de 1998 contenant la population mâle et femelle, la composition d'âges, le nombre d'ouvrages résidentiels et non résidentiels, la proportion des logements avec l'ensemble des ouvrages, le nombre de pièces par bâtiment, le rapport de diffusion des équipements d'habitation et ainsi de suite, a servi de ressources de base pour la présente étude. Les types de structure ont été enquêtés dans le recensement de 1997 et non dans celui de 1998. La distribution des types de structure a été obtenue à partir du résultat de l'enquête d'inventaire des bâtiments.

5) Agrégation des inventaires

Idéalement, les inventaires initialement obtenus devraient être agrégés sur la base des types de structure et classifiés en détails autant suffisamment que possible sur le plan de données de construction et de calcul liées aux nombres de niveaux, usages des ouvrages, etc. L'agrégation sera faite en relation avec chaque rangée affichée sur la carte. Le calcul a été fait pour chaque commune en cas de ville d'Alger. Les détails négligeables dans les valeurs agrégées seront compilés de manière à restreindre le nombre des rubriques principales jusqu'à 10 ou plus (20 au plus) et à examiner la fonction de vulnérabilité.

6) Standards parasismiques des ouvrages architecturaux

La tâche la plus importante dans le processus d'estimation des dommages des ouvrages consiste à saisir la capacité parasismique des ouvrages existants. Les valeurs numériques des standards parasismiques adoptés dans les différentes périodes et à la capacité parasismique d'un ouvrage dans l'attente de permis de construire sont disponibles. Alors que les standards parasismiques sont légalement définis au niveau minimum, la plupart des ouvrages architecturaux de toute période ont été construits conformément au niveau minimum de standards ou en le dépassant légèrement.

Une enquête pour déterminer la tendance de changement de standards parasismique depuis 1981 quand les règles algériennes ont été officiellement mises en place sera efficace pour catégoriser les dates de construction et de calcul des ouvrages et pour saisir la performance parasismique de chaque catégorie de période de temps. Par ailleurs, la capacité parasismique des ouvrages hors de la portée des règles parasismiques ou de leur application pour la construction sera supposée de manière compréhensive conformément au niveau des standards appliqués aux ouvrages construits dans la même période et aux résultats des interviews concernant les travaux de construction actuels des ouvrages en question.

7) Enquêtes de l'application et de l'examen des procédures liées au permis de construire

Même si les standards parasismiques sont établis et que l'application et l'examen du permis de construire sont réalisés, il est encore nécessaire d'examiner attentivement le champ et la nature d'application et d'examen et le pourcentage des ouvrages concernés soumis à l'application et à l'examen, parce que ces éléments varient selon la période. On estime souvent qu'environ 10 à 30 pourcent des ouvrages au total sont soumis à cette application et examen dont entre 50 à 100 pourcent actuellement soumis à l'application et à l'examen. A Alger, l'application et l'examen ont été obligatoires pour tout ouvrage public et non pour les ouvrages architecturaux privés. En 2003, le champ d'application a été élargi de sorte que les ouvrages privés sont couverts ne serait-ce qu'en nombre très modeste.

On dit que nombreux bâtiments construits avant 1980 et les bâtiments privés après 1981 ne sont pas conçus selon les règles parasismiques. Ce genre d'information qui permet de saisir la situation dans le passé est important pour la classification des ouvrages par type de structure.

8) Diagnostic sismique de chaque type de structure existant

L'évaluation sismique est une tâche laborieuse mais offre une opportunité d'examen détaillé de la capacité parasismique des ouvrages existants. Elle est aussi équitablement efficace dans l'examen de la fonction de vulnérabilité des ouvrages. Bien qu'il n'y ait que peu de pays dotés de standards pour l'évaluation sismique, plusieurs méthodes ont été inventées et mises en pratique à l'initiative de gouvernement, université et autres institutions des pays dominés par le risque sismique.

L'évaluation sismique a été effectuée pour cinq ouvrages importants dans la présente étude. Parmi ces cinq bâtiments, deux sont extrêmement anciens construits par la méthode de maçonnerie, tandis que trois restants sont construits en béton armé. Les derniers portent sur un bâtiment hospitalier conçu conformément aux règles parasismique RPA83 ; et une maison d'habitation et une école conçues selon les RPA88. De plus, un complexe d'habitation en béton armé non parasismique a été évalué. L'influence de la résistance du béton que ce soit normal ou inférieur sur la capacité parasismique a été évaluée.

En ce qui concerne les ouvrages en BA, l'évaluation, le calcul de renforcement et l'inspection de la capacité parasismique après travaux de renforcement ont été réalisés en appliquant les standards japonais pour l'évaluation sismique (version anglaise). Plus d'une méthode ont été proposées pour les travaux de renforcement. La capacité parasismique varie en fonction des méthodes de renforcement adoptées à se référer lors de la réflexion sur la fonction de vulnérabilité.

Dans la présente étude, l'indice parasismique de la structure « Is » tel que défini dans les standards japonais pour l'évaluation sismique qui est applicable aux ouvrages déjà construits au Japon a été utilisé pour le jugement de la capacité parasismique. Au Japon, quand lesdits standards pour l'évaluation sismique ont été mis en place dans les années 1970, les « valeurs Is » et les degrés des dommages d'une centaine d'ouvrages architecturaux causés par les séismes de Tokachi-oki de 1968 et de Miyagi-prefecture-oki de 1978 ont été enquêtés. Entre temps, intéressé par le fait que les ouvrages construits sur la base des nouveaux standards lancés en 1981 ont survécu au grand séisme de Kobe en 1995, les universités et quelques organisations administratives ont calculé les « valeurs Is » des ouvrages architecturaux ayant subi du séisme et publié les résultats de leurs études sur le rapport entre les « valeurs Is » et la proportion des dommages sur les ouvrages. L'indice parasismique de la structure a été calculé sur la base desdits standards et l'indice sismique de la structure estimé a été évalué en tenant compte des mouvements sismiques des séismes de scénario dans les évaluations des ouvrages principaux en BA à Alger.

Quant aux bâtiments en maçonnerie, l'évaluation sismique a été effectuée pour deux ouvrages construits en maçonnerie de galets : le palais du peuple actuel (Le PALAIS) construit en 1830 et le bâtiment actuel du sénat (Le SENAT) construit avant 1912. Par référence à EFEMA-310, la résistance parasismique de ces bâtiments a été estimée en tenant compte du niveau de contrainte au cisaillement moyenne contre les murs résistant à l'effort de cisaillement en utilisant une méthode d'analyse statique. Les joints de maçonnerie utilisés pour ces deux bâtiments, déterminant crucial de la capacité parasismique de bâtiment, sont en mortier à chaux, de sorte qu'on prévoit que la résistance pourrait être inférieure. Cependant, à défaut de ressource relevant par exemple des résultats d'essais de résistance par carottage, l'évaluation a été réalisée dans une supposition que le niveau de résistance au cisaillement soit de $0,056\text{N/mm}^2$.

9) Reconnaissance des sites actuels des ouvrages architecturaux

La reconnaissance de site est une enquête d'inspection visuelle menée par les ingénieurs de structure dans laquelle les conditions actuelles des ouvrages de la plupart des zones dans le champ de l'enquête devraient être inspectées de manière idéale et si possible il est aussi efficace d'effectuer les enquêtes par interview et d'observer les ouvrages hors du champ de l'enquête. En observant les conditions actuelles des ouvrages, l'ensemble des types de structure, caractéristiques structurelles, nombres de niveaux, localisations des ouvrages, dates de construction (nouvelles ou anciennes villes), conditions de sol, conditions des travaux des ouvrages, routes, terrains vacants, espaces verts, etc., fait l'objet d'une observation visuelle compréhensive. Cette reconnaissance de site apporte les informations utiles lors de la sélection des types de fonction de vulnérabilité et de la compréhension de la capacité parasismique.

10) Enquêtes d'inventaire des équipements importants équipés des articles dangereux

Les équipements importants sont des lieux et des installations à utiliser en tant que centre d'accueil et de commande stratégique pouvant être utilisés éventuellement pour les activités de secours et d'assistance en cas de grand séisme. Ils portent sur les bâtiments des gouvernement, organisations administratifs, hôpitaux, écoles (salles de réunion et terrains), mosquées, églises, équipements sportifs, les parcs et autres espaces libres qui sont tous équipés d'équipements nécessaires pour les activités de secours et d'assistance et d'espaces

suffisants pour accommoder la population affectée par les catastrophes et les victimes sans abri. Les équipements équipés des articles dangereux sont ceux qui sont susceptibles de causer des souffrances humaines, par exemple, incendie, explosion ou fuite de gaz ou chimiques en cas de grand séisme à cause de la présence des articles dangereux stockés. Les localisations des deux types d'équipements sont cruciales. Il est donc utile de vérifier à l'avance s'ils se situent de manière appropriée en considération de toute accommodation d'urgence, des interventions de premier secours, des centres d'évacuations à moyen et à long terme pour les sinistrés en cas de catastrophes. Par ailleurs, les cartes montrant les localisations des équipements équipés des articles dangereux seront des ressources utiles pour voir s'il existe une distance appropriée entre ces équipements et les habitations privées, etc. Dans la présente étude à Alger, comme la région à couvrir par l'enquête a été divisée en 34 communes, il est impossible de voir si ces équipements sont alloués de manière appropriée à l'égard de ce qui est décrit plus haut.

11) Classification des types de structure

Il est important pour l'estimation de dommage de classifier les ouvrages architecturaux principalement à l'égard de matériaux et de formes de structure de sorte que la différence de capacité parasismique, autrement dit, la différence de rapport de dommage de la zone concernée, peut être estimée de manière appropriée.

Dans la présente étude à Alger, les types de structure ont été initialement divisés en 11 groupes en accord avec l'enquête d'inventaire (sur 35 rubriques) qui sont pourtant réduits ultérieurement jusqu'à 8 groupes en raison qu'aucune différence précise de rapport de dommage n'a été remarquée lors du séisme de Boumerdes en ce qui concerne le nombre de niveaux qui peut être par conséquent considéré comme n'ayant qu'un faible impact sur ce rapport. La comparaison des types de structure est montrée au Tableau 4-2.

Tableau 4-2 Classification et comparaison des types de structure

Classification initiale de l'enquête d'inventaire des bâtiments				Classification définitive des ouvrages architecturaux pour la fonction de vulnérabilité	
Structure		Niveau	Type	Structure	Type
Maçonnerie	Ancienne maçonnerie de brique	1,2	1	Maçonnerie à la Casbah	1
	Simple pierre	1,2	2	Maçonnerie de pierre et de brique	2
		3,4,5	3		
		6+	4		
	Maçonnerie de brique non renforcée	1,2	5		
		3,4,5	6		
		6+	7		
	Maçonnerie de brique non renforcée avec dallage en composite au plancher	1,2	8		
		3,4,5	9		
		6+	10		
Béton armé (BA)	Portique BA de pré-code	1,2	11		
		3,4,5	12		
		6+	13		
	Portique BA de bas-code	1,2	14	Portique BA de bas-code	4
		3,4,5	15		
		6+	16		

Classification initiale de l'enquête d'inventaire des bâtiments				Classification définitive des ouvrages architecturaux pour la fonction de vulnérabilité	
Structure		Niveau	Type	Structure	Type
Béton armé (BA)	Portique BA de mi-code	1,2	17	Portique BA de mi-code	5
		3,4,5	18		
		6+	19		
	Portique BA de haut-code	1,2	20	Portique BA de haut-code	6
		3,4,5	21		
		6+	22		
	Mur de cisaillement BA	1,2	23	Mur de cisaillement et type mixte	7
		3,4,5	24		
		6+	25		
	Portique et mur BA	1,2	26		
3,4,5		27			
6+		28			
Acier	Charpente métallique	1,2	29	Acier	8
		3,4,5	30		
		6+	31		
	Charpente métallique avec aisseliers	1,2	32		
		3,4,5	33		
		6+	34		
Autres	Bloc et autre	---	35	---	---

La décision de réduire le nombre de types de structure a été faite comme suit après avoir examiné les standards parasismiques de bâtiments et la situation de permis de construire précisée par le résultat de l'enquête d'inventaire des bâtiments.

Dans la région enquêtée, les ouvrages en BA sont au nombre approximatif de deux tiers de tous les ouvrages, alors que ceux qui se constituent de murs de cisaillement avec les structures combinées de portiques et de murs de cisaillement représentent 12% : ils sont donc classifiés spécialement. Parmi les ouvrages à portique en BA, les bâtiments à étages multiples (6 niveaux ou plus) représentent 5% dont la plupart construite avant 1999 quand le rapport de dommage était élevé. Par ailleurs, la proportion des bâtiments en BA construits après l'adoption des règles parasismiques RPA99 ne représente que 2%. Mais, afin de confirmer l'effet des standards lors de la mise à l'exécution dans l'avenir des mesures préventives des catastrophes telles que le renforcement de la résistance parasismique, ce type de structure est classifié comme un groupe indépendant. Donc, les ouvrages à portiques en BA sont classifiés conformément aux standards parasismiques en transition.

Le type de structure en maçonnerie, bien qu'il représente à présent quelque un tiers de tous les ouvrages, ne sera réalisé que rarement dans le futur. Alors que les briques de béton sont utilisées pour un faible nombre de bâtiments en maçonnerie, les pierres (30%) et les briques (4%) sont utilisées pour une proportion considérablement importante dans ce type de structure. Quant aux bâtiments en pierre, le nombre des bâtiments du style colonial et à étages moyens et multiples (trois niveaux ou plus) est presque le même que celui des maisons d'habitation indépendantes à faible élévation (deux niveaux ou moins) : il n'y a aucune différence précise dans le rapport de dommage lors du séisme de Boumerdes de sorte que les bâtiments du style colonial et les maisons d'habitation indépendantes sont classifiés en un groupe de maçonnerie

de pierre. La majorité des bâtiments de briques sont anciens tels qu'observés à la Casbah avec les joints principalement faits en mortier d'argile. La détérioration par âge est apparente à cause des caractéristiques des matériaux : le rapport de dommage de ce type de structure est le plus élevé de sorte que ce type de structure est classifié comme un groupe indépendant.

Les ouvrages à charpente métallique représentent seulement 1% de tous les ouvrages et dont la plupart sont pourtant récemment construits. Le nombre d'ouvrages à charpente métallique paraît augmenter dans l'avenir. Donc, ils sont aussi traités comme un groupe indépendant.

12) Capacité parasismique de chaque type de structure architecturale

Saisir la capacité parasismique de chaque type de structure classifié dans la section précédente est la tâche la plus importante tout au long du processus d'estimation de dommage des ouvrages. Quant aux méthodes d'examen de la capacité parasismique de différents types de structure, il y a plusieurs méthodes indépendamment adoptées par les institutions académiques ou les agences gouvernementales de celles officiellement utilisées aux États-unis, en Europe et au Japon. Toute méthode est applicable autant longtemps qu'elle se conforme aux types de structure architecturale dans la région enquêtée et reste capable d'évaluer la résistance parasismique de manière appropriée.

Les méthodes principales pour examiner la capacité parasismique des bâtiments déjà construits sont décrites ci-dessous :

A) Aux États-unis,

- ATC définit les valeurs standard pour chaque type de structure en appliquant les échelles MMI ou la PGA aux différents niveaux d'états de dommage et pourvoit les références d'évaluation de la capacité parasismique : ATC-13, 14, et 21.
- FEMA pourvoit deux méthodes : l'une par laquelle la capacité parasismique est estimée selon le degré de déformation de la surface de sol et l'autre par laquelle la résistance horizontale est calculée pour estimer directement la capacité parasismique: FEMA-154, 155, 178, 237 et 310.

B) Au Japon, pendant la dernière moitié des années 1970, les standards d'évaluation sismique pour la rénovation des bâtiments en BA et en charpente métallique déjà construits ont été établis. En 2001, les standards d'évaluation sismique pour les ouvrages en bois qui sont d'ailleurs les plus communs ont été établis.

- La capacité parasismique des bâtiments en BA est évaluée en accord avec la « valeur I_s » décrite à 8).
- La capacité parasismique des bâtiments en charpente métallique est calculée sur la base de la résistance de la surface de sol calculée.
- Quant aux bâtiments en bois, la méthode d'évaluation basée sur la quantité de murs est l'une des méthodes les plus précises et communes à l'heure actuelle, en plus de laquelle le « calcul de la réponse et de la résistance limite », la « méthode basée sur l'énergie » et l'« analyse de la réponse de temps » sont disponibles pour l'évaluation de la capacité parasismique.

C) En Europe, l'EMS a établi une fonction de vulnérabilité statistique standard pour chaque type de structure en appliquant l'échelle de l'EMS aux différents niveaux d'états de dommage vu que VULNUS et FAMIVE évaluent la capacité parasismique en faisant usage des méthodes de calcul avec les multiplicateurs d'effondrement basés sur les critères de sûreté d'ouvrages.

En 1977 au Japon, les standards d'évaluation sismique des bâtiments en BA ont été établis et mis en application, par lesquels l'indice parasismique de la structure (I_s) est calculé conformément à l'indice de résistance (C), l'indice de ductilité (F), l'indice de forme (SD) et l'indice de temps (T) et, de ce fait, la capacité parasismique est évaluée. En 1978, les standards d'évaluation sismique des bâtiments à charpente métallique ont été établis, par lesquels la capacité parasismique est évaluée sur la base de la résistance de la surface de sol des ouvrages existants.

Dans la présente étude à Alger, les examens comparatifs ont été menés sur les standards parasismiques en Algérie, d'où vient que les standards d'évaluation sismique en utilisant la valeur I_s comme au Japon, standards japonais appliqués aux bâtiments en BA, ont été adoptés après avoir ajusté les valeurs de sûreté. Par conséquent, la fonction de vulnérabilité a été calculée en utilisant la distribution des valeurs « I_s » de chaque type de structure présumée sur la base des résultats de l'évaluation des ouvrages à portique en BA et de l'enquête des dommages des ouvrages en maçonnerie, aux murs de cisaillement BA et à charpente métallique. Les détails en seront donnés au Chapitres 6 du rapport principal.

13) Dommage sur les ouvrages architecturaux dans la ville d'Alger causé par le séisme de Boumerdes 2003 et 14) Leur intensité sismique

Les rapports de dommage ont été dérivés d'une série de fonctions de vulnérabilité tels que discutés à l'alinéa 12) avec le nombre d'ouvrages et la magnitude de mouvement sismique y correspondant. Les rapports ont été calculés sur la base des dommages réels causés par le séisme de Boumerdes 2003. En utilisant ces rapports, l'étalonnage a été fait pour vérifier la validité de ces fonctions de vulnérabilité.

Bien que le CGS et le CTS aient mené de manière conjointe une enquête des dommages sur les ouvrages causés par ledit séisme, les résultats d'analyse détaillés n'ont pas encore publiés de sorte que l'étalonnage se base sur les informations préliminairement obtenues relatives à quelques régions affectées. Dans les informations préliminaires est incluse une tabulation du nombre d'ouvrages endommagés par type de structure, mais l'enquête se limitait à une zone géographiquement limitée et donc le nombre d'ouvrages hors du champ de l'enquête est incertain. Par conséquent, le rapport de dommage a été calculé en prenant le nombre total d'ouvrages dans les données du SIG à se référer à 3) comme dénominateur et le degré de dommage « 4 + 5 » comme numérateur. Là, il est possible pour le nombre d'ouvrages – le numérateur ayant pour fonction de calculer le rapport de dommage – de prendre les différents nombres : cas (1) degré de dommage « 4 + 5 » ; cas (2) degré de dommage « $(3+4) / 2 + 5$ » ; et cas (3) degré de dommage « $(3/3) + 4 + 5$ » et ainsi de suite. Dans la présente étude, le cas (1) est adopté.

Entre temps, l'intensité sismique seulement des trois régions où se sont obtenues les informations préliminaires a eu la moyenne de EMS7,9 à 8,2. La rangée maximum est

tellement réduite que la courbe de vulnérabilité n'a pas pu s'obtenir à partir de ces données de dommage seules. La valeur de la fonction de vulnérabilité définitivement adoptée est celle de laquelle est déduit le rapport de dommage enquêté à l'échelle sismique moyenne du point de vue basée sur le fait que la rangée d'intensités sismiques est large. Les points enquêtés dans les communes ne peuvent pas être identifiés parce que le nombre des bâtiments enquêtés était seulement de 14 à 26% du total.

15) Dommage sur les ouvrages architecturaux à Boumerdes causé par le séisme de 2003

Bien que l'étalonnage des rapports de dommage par rapport à l'intensité sismique moyenne de EMS8 ait été effectué comme le montrent les alinéas 13) et 14) ci-dessus, il est souhaitable de vérifier ces résultats avec les autres échelles sismiques. Bien que ce ne soit pas dans le champ de l'enquête, un autre étalonnage a été effectué sur un point où l'intensité sismique était de EMS9 en relation avec le dommage de la ville de Boumerdes dans la rangée d'intensité sismiques moyenne de EMS9 qui était proche du foyer sismique du séisme de Boumerdes 2003. Ceci confirme que la courbe de vulnérabilité sélectionnée saisit les valeurs plus ou moins acceptables.

Idéalement, l'étalonnage de la courbe de vulnérabilité devrait être fait sur autant de points que possible. Cependant, les données directement utilisables et efficaces sont effectivement limitées, de sorte que les étalonnages actuels sont effectués en relation avec les données relatives aux villes différentes et similaires. Dans la présente étude, les acquis de l'enquête des dommages causés par le séisme de Boumerdes menée par le CGS sont utilisés efficacement.

16) Fonction de vulnérabilité pour les ouvrages architecturaux

Tel qu'examiné dans les procédures des alinéas 12) à 15), la définition d'une fonction de vulnérabilité pour les ouvrages architecturaux est l'une des tâches les plus importantes pour l'estimation de dommage et implique un jugement technique statistique. Une vaste rangée de technologies développées est nécessaire pour évaluer de manière appropriée la capacité parasismique des ouvrages situés dans le champ de l'enquête et afin d'établir une fonction de vulnérabilité dans une rangée statistiquement appropriée. Les estimations de dommage basées sur les examens attentifs préalables, comme le présent cas, peuvent engendrer un écart de $\pm 50\%$ - $\pm 100\%$, quand on compare les valeurs obtenues avec les valeurs réelles à observer dans un grand séisme de futur proche. Il faut pleinement reconnaître ce fait pour la mise en place des plans d'assistance aux catastrophes.

4-2 Infrastructure

En ce qui concerne les méthodes d'estimation des dommages sismiques sur les infrastructures, les méthodes d'estimation quantitatives ont été inventées par HAZUS et les autres institutions au Japon et aux États-unis d'Amérique. Elles sont actuellement utilisées dans la pratique. La présente section présente une explication sur les méthodes d'estimation adoptées au Japon.

Les moyens de transport peuvent être classifiés en trois types: transport terrestre, maritime et aérien. A cet égard, les méthodes d'estimation seront présentées selon ces types de moyens de transport de manière individuelle.

4-2-1 Transport terrestre

En ce qui concerne le transport terrestre dans les zones urbaines, afin de prévoir le reste ou la perte de la fonction des routes après un séisme, il est efficace d'évaluer le dommage sur les ponts à terre qui sont cruciaux pour le transport routier.

Les estimations de dommage sont fréquemment effectuées pour chaque pont. Les méthodes d'estimation représentatives portent sur deux types présentés comme suit :

(1) Méthode de Katayama (établie par Kubo et Katayama)

Cette méthode se servant de la procédure décrite ci-dessous (voir la Figure 4-2) évalue la probabilité de chute des structures de leurs appuis d'un pont.

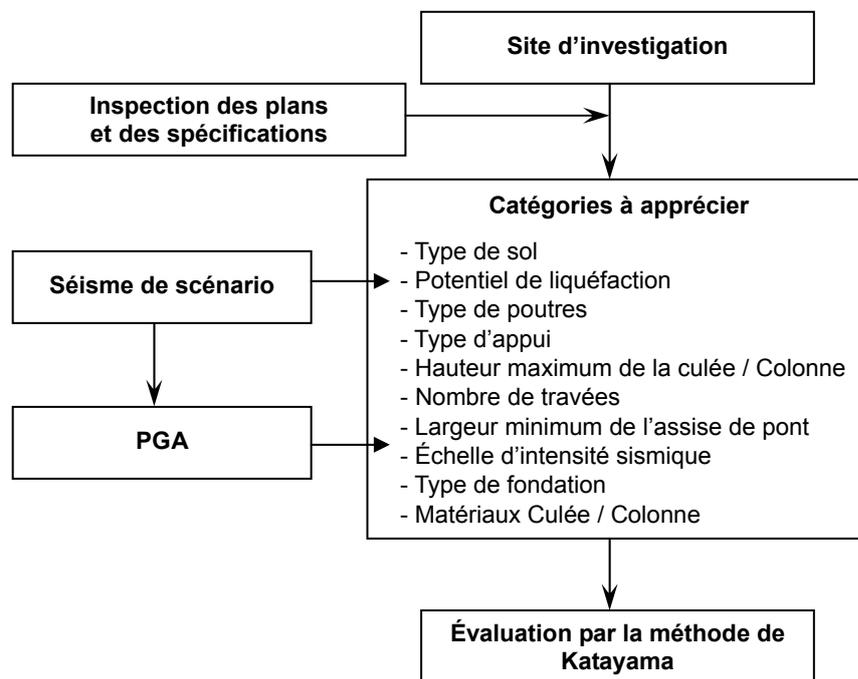


Figure 4-2 Schéma du principe de l'analyse de la stabilité de pont

- 1) Les investigations sont menées sur les structures des ponts en question et les conditions de sol de leurs environs.
- 2) Le mouvement sismique de sol (intensité sismique) et le potentiel de liquéfaction des endroits où sont construits les ponts sont mesurés
- 3) Sur la base des résultats de ce qui est susmentionné, une catégorie appropriée est sélectionnée pour chaque rubrique et la valeur de poids est alors calculée par multiplication des points d'appréciation donnés à toutes les rubriques.
- 4) Les valeurs multipliées par les points d'appréciation des catégories sont considérées comme étant les valeurs d'évaluation d'éventuels risques à chute des superstructures de leurs appuis d'un pont.

Dans la méthode de Katayama, 10 rubriques susceptibles d'affecter la probabilité de chute des poutres sont étudiées. Chaque rubrique consiste en un nombre de catégories sélectionnées sans calcul complexe. Un tableau d'appréciation pour l'analyse de la stabilité de pont est montré au Tableau 4-3. Les catégories décrites au Tableau 4-3 sont originales mais ajustées en considération des conditions de la zone d'étude.

Tableau 4-3 Tableau d'appréciation pour l'analyse de la stabilité de pont

Rubrique	Catégorie	Appréciation de catégorie
Type de sol *1	Rigide	0,5
	Moyen	1,0
	Meuble	1,5
	Très meuble	1,8
Potentiel de liquéfaction *2	Non liquéfiable	1,0
	Liquéfiable	1,5
	Liquéfaction	2,0
Type de poutre	Arc ou ossature rigide	1,0
	Continu	2,0
	Simple	3,0
Type d'appui *3	Avec dispositifs spécifiques (en prévision de la chute des poutres de leurs appuis)	0,6
	Appui (avec une conception claire)	1,0
	Deux appuis existants pouvant se déplacer en direction axiale	1,15
Hauteur max. Culée / Colonne	Moins de 5 m	1,0
	5 à 10 m	1,35
	Plus de 10m	1,7
Nombre de travées	1 travée	1,0
	2 travées ou plus	1,75
Largeur d'assise min. de pont	Large	0,8
	Étroite	1,2
Échelle d'intensité sismique *4 (JMA)	5 (moins de 5,0)	1,0
	5,5 (5,0 à moins de 5,5)	1,7
	6,0 (5,5 à moins de 6,0)	2,4
	6,5 (6,0 à moins de 6,5)	3,0
	7,0 (6,5 et plus de 6,5)	3,5
Type de fondation	Pile pliée	1,4
	Autres	1,0
Matériaux de la Culée / Colonne	Béton plat ou autre	1,4
	Béton armé	1,0

L'appréciation de catégorie montrée au Tableau 4-3 est donnée à chaque catégorie comme facteur de poids.

Le résultat peut être alors déterminé par substitution des données à l'équation suivante :

$$y_i = \prod_{j=1}^N \prod_{k=1}^{M_j} X_{jk}^{\delta_i(jk)}$$

où,

- y_i : Prédiseurs de degrés de dommage de i ème pont
- N : Nombre de toutes les rubriques
- M_j : Nombre de catégories de j ème rubrique
- $\delta_i(jk)$: Variable fictive ($\delta_i(jk) = 1$; quand les caractéristiques de I ème pont correspondent à la catégorie k dans la rubrique $\delta_i(jk) = 0$; autrement)
- X_{jk} : Appréciation de catégorie pour k-ème catégorie de la j-ème rubrique
- $\prod_{j=1}^N$: Signe de multiplication de 1 à la N-ème valeur

La valeur de seuil du prédiseur afin d'estimer le degré de dommage de pont se base sur 30 échantillons de ponts endommagés observés lors des 3 séismes au Japon (1923 Kanto, 1948 Fukui, 1964 Niigata) comme le montre le Tableau 4-4.

Tableau 4-4 Définition du degré de dommage de pont

Classe de degré de dommage	Valeur de seuil de prédiseur
A - Probabilité élevée de chute des poutres de leurs appuis - Déformations importantes générées - Impossible à utiliser à long terme et reconstruction nécessaire	30 et plus
B - Probabilité modérée de chute des poutres de leurs appuis - Déformations générées - Impossible à utiliser temporairement et réparation / réhabilitation nécessaire	26 à moins de 30
C - Probabilité faible de chute des poutres de leurs appuis - Déformations peu importantes générées - Possible à utiliser essentiellement après inspection	Moins de 26

[Commentaire]

Cette méthode est proposée à la suite des enquêtes détaillées des différents types de dommages sur les ponts causés par les séismes de grande envergure ayant eu lieu au Japon et la théorie de la quantification. Elle n'incorpore pas les données relatives aux récents dommages parce qu'elle a été inventée il y a 30 ans, mais elle est encore communément utilisée grâce à sa grande diversité.

L'avantage de cette méthode d'estimation porte sur le fait qu'elle permet la réflexion sur les résultats d'estimation de la structure de pont, des caractéristiques des conditions de sol et des résultats de microzonage sismique en particulier; et qu'elle permet aussi la détermination des coefficients incorporant les caractéristiques spécifiques aux régions en question via l'usage des données concernant les dommages sur les régions de manière à ajuster les valeurs de poids, c'est-à-dire, coefficients et valeurs de seuil.

Pour la présente étude, les coefficients suivants ont été ajustés à travers une méthode de vérification utilisant les données enregistrées des dommages causés par le séisme de Boumerdes dans la collaboration de l'équipe d'étude JICA et du personnel homologue.

*1: Type de sol

Original	Catégorie modifiée
Rigide	Rigide / Dur: légèrement / Aucune roche détériorée
Moyen	Moyen: détérioré / Roche modérément détériorés
Meuble	Meuble: Sol / Diluvial sédimentaire
Très meuble	Très meuble: Sol / Diluvial sédimentaire

*2: Potentiel de liquéfaction

Original	Catégorie modifiée
Non liquéfiable	Non liquéfiable
Liquéfiable	Liquéfiable: $0 \leq P_L < 15$
Liquéfaction	Liquéfaction: $15 \leq P_L$

*3: Type d'appui

Original		Modifiée	
Catégorie	Points	Catégorie	Points
Avec dispositifs spécifiques (en prévision de la chute des poutres de leurs appuis)	0.6	Avec dispositifs spécifiques (en prévision de la chute des poutres de leurs appuis)	0.6
Appui (avec conception claire)	1.0	Appui (avec conception claire)	1.0
Deux appuis existants pouvant se déplacer en direction axiale	1.15	Deux appuis existants pouvant se déplacer en direction axiale	1.15
		Système asismique	0.6
		Appui avec élastique	0.9

*4: Échelle d'intensité sismique

Original		Modifiée	
Catégorie	Points	Catégorie	Points
5 (moins de 5,0)	1,0	MSK < 7,885 (JMA: moins de 5,0)	1,0
5,5 (5,0 à moins de 5,5)	1,7	7,885 ≤ MSK < 8,680 (JMA: 5,0 à moins de 5,5)	2,1
6,0 (5,5 à moins de 6,0)	2,4	8,680 ≤ MSK < 9,475 (JMA: 5,5 à moins de 6,0)	2,4
6,5 (6,0 à moins de 6,5)	3,0	9,475 ≤ MSK < 10,270 (JMA: 6,0 à moins de 6,5)	3,0
7,0 (6,5 et plus de 6,5)	3,5	10,270 ≤ MSK (JMA: 6,5 et plus de 6,5)	3,5

*5: Valeurs de seuil

Classe de degré de dommage	Original	Valeur modifiée
A	30 et plus	30 et plus
B	26 à moins de 30	22 à moins de 30
C	Moins de 26	Moins de 22

(2) Méthode de l'association japonaise des routes /The Japan Road Association

C'est une méthode par laquelle la résistance parasismique d'un pont est évaluée selon l'évaluation des valeurs calculées selon les caractéristiques de la structure du pont, l'année de publication des normes et standards de construction appliqués et les conditions de sol qui sont tous déterminées par références aux fiches techniques du pont concerné (voir le Tableau 4-5).

Quant aux fiches d'inspection des ponts, les organisations en charge réalisent les inspections de ponts sur une base régulière et compilent les résultats comme base de données.

Tableau 4-5 Rubriques incluses dans l'enquête d'inventaire des ponts

Rubriques principales	Rubriques secondaires
Superstructure	(1) Année de mise en application des normes / standards (2) Conception/construction de la superstructure (3) Matériaux de superstructure (4) Système de prévention de la chute des poutres de leurs appuis
Déplacement au niveau de sous-structure	(5) Type de sous-structure (6) Hauteur de pont (7) Type de sol (8) Potentiel de liquéfaction
Résistance au point d'extrémité du renforcement principal	(9) Rapport du quota de travée (10) Fêlures par tension de flexion au point d'extrémité (11) Facteur de sûreté à la base et au point d'extrémité (12) Facteur de sûreté pour la résistance de seuil au point d'extrémité du renforcement principal (13) Contrainte d'unité de cisaillement
Déformation de la sous-structure	(14) Déformation au niveau d'appui (15) Déformation du bâti de sous-structure (16) Déformation de la fondation (17) Déformation des poutres, etc. (18) Conception/construction de la sous-structure

[Commentaire]

Du fait qu'un pont est construit par référence à un certain jeu de directives, il est facile dans une certaine mesure de supposer les caractéristiques parasismiques de ce pont si ces directives sont spécifiées. De même, comme le pont est une structure publique, ses formes varient légèrement contrairement à la construction privée dont les formes varient largement à cause de méthodes de construction. Par conséquent, dans les pays où les directives sur la construction de ponts sont établies comme au Japon, se référer aux telles directives peut servir de paramètre important dans l'estimation du degré de dommage.

Par conséquent, cette méthode est unique dans laquelle sont considéré les types de directives comme paramètre. La date de construction est aussi utilisée comme paramètre crucial dans la méthode d'estimation de dommage adoptée par HAZUS. Puisque l'idée telle qu'un nouveau pont a une haute résistance parasismique paraît correcte, cette approche peut être considéré efficace.

Au Japon, tout pont est soumis aux inspections sismiques régulières et les résultats en sont enregistrés dans les fiches techniques des ponts conservées dans les bureaux d'administration individuellement. Dans tel environnement, cette méthode est équitablement

utile et rend relativement facile l'évaluation de la résistance contre le séisme. Cependant, elle devait prendre considérablement de temps et de coût pour exécuter cette évaluation sans lesdites fiches techniques. Il serait nécessaire de commencer par la préparation desdites fiches techniques.

Les fiches techniques des ponts doivent être revues périodiquement et utilisées pour l'entretien des ponts. Conformément à cela, il est nécessaire d'obtenir un consensus des différentes institutions (organisations publiques, instituts scolaires et éducatifs, entités économiques, etc.) au moment d'établissement des fiches techniques des ponts.

Actuellement en Algérie, les fiches techniques sous la forme telle qu'adoptée au Japon ne sont pas disponibles; par conséquent, cette méthode d'estimation de dommage n'est pas appropriée.

4-2-2 Transport maritime

Les équipements portuaires font l'objet de l'estimation de dommage concernant le transport maritime puisqu'ils jouent le rôle central dans ce rôle de transport. Alors qu'un port constitué par les différents équipements incluant les pieux, ponts de débarquement, équipements de chargement et de déchargement, magasins et réservoirs de stockage, le dommage sur les équipements d'accostage est évalué en maintes occasions parce qu'ils jouent le rôle fondamental et crucial surtout dans les activités de récupération et de réhabilitation.

La méthode d'estimation actuellement adoptée a été proposée suivant les données enregistrées des catastrophes sismiques du passé en principe. Dans la partie suivante de la présente section, deux méthodes d'estimation sont expliquées : l'une faisant usage du rapport entre le volume de déformation et le degré de dommage sur les quais et les autres parties portuaires obtenu à travers les examens des dommages détaillés ; et l'autre basé sur l'accélération de pic au sol (ci-après désigné la « PGA »), un indicateur général du potentiel destructif relatif des séismes et le degré de risque de liquéfaction.

(1) Méthode d'Uwabe

La méthode d'Uwabe (1983) commence par l'estimation des volumes de déformations structurelles par référence au rapport (F_c) d'un coefficient d'action sismique (K_e) avec un coefficient de rupture sismique (K_c). Alors, le dommage sur les équipements en question est estimé sur la base de la corrélation entre le degré de dommage et le volume de déformations structurelles obtenus des analyses de la rétrogradation des données enregistrées des équipements endommagés par 17 séismes principaux – du séisme de Kanto en 1923 au séisme au large de Miyagi en 1978.

La procédure de la méthode de Uwabe est montrée comme suit:

1) Coefficient d'action sismique: K_e

$$K_e = \begin{cases} \alpha / g & (\alpha < 200 \text{ gal}) \\ 1/3 \cdot (\alpha / g)^{1/3} & (\alpha \geq 200 \text{ gal}) \end{cases}$$

K_e : Coefficient d'action sismique agissant sur une structure en cas de séisme

α : Accélération de pic au sol au niveau d'un équipement portuaire (gal)

g : Accélération gravitationnelle (980 gal)

2) Coefficient de rupture sismique: K_c

K_c : Coefficient de rupture sismique: Le coefficient sismique minimum pour lequel le facteur de sûreté pour l'analyse de la stabilité conformément aux directives sur les équipements portuaires au Japon est inférieur à 1 dans un séisme.

3) F_c

$$F_c = K_e / K_c$$

4) Volume de déformations estimé

Type gravitationnel	
Variable objectif	Équation de rétrogradation
Quantité maximum de croissance en volume (cm)	$D_x = -113,8 + 124,4 F_c$
Tassement de crête (cm)	$S_p = -50,9 + 57,1 F_c$
Quantité de croissance en volume / Hauteur de la structure (%)	$R = -12,7 + 14,5 F_c$
Déplacement accumulé (cm)	$D_a = -127,5 + 148,5 F_c$
Type palplanche	
Variable objectif	Équation de rétrogradation
Quantité maximum de croissance en volume (cm)	$D_x = -1,6 + 34,9 F_c$
Quantité moyenne de croissance en volume (cm)	$D_m = -15,9 + 9,5 F_c$
Tassement en tablier (cm)	$S_e = -5,3 + 14,7 F_c$
Quantité de croissance en volume / Hauteur de la structure (%)	$R = -1,5 + 5,8 F_c$
Déplacement accumulé (cm)	$D_a = -2,0 + 44,0 F_c$

5) Rapport entre le degré de dommage et le volume de déformation

[Type gravitationnel]

Degré de dommage	Quantité maxi. Enflément (cm)	Quantité moyenne de croissance en volume (cm)	Tassement Crête (cm)	Tassement en tablier (cm)	Angle de renversement (degrés)
0	0	0	0	0	0
I	≤ 25	≤ 25	≤ 30	≤ 50	≤ 5
II	25 – 70	≤ 40	≤ 50	50 – 80	1 – 8
III	70 – 200	40 – 200	≤ 100	80 – 100	2 – 15
IV	200 ≤	200 ≤	100 <	100 ≤	15 ≤

[Type palplanche]

Degré de dommage	Quantité maxi. Enflément (cm)	Quantité moyenne de croissance en volume (cm)	Tassement Crête (cm)	Tassement en tablier (cm)	Angle de renversement (degrés)
0	0	0	0	0	0
I	0 – 30	≤ 10	≤ 30	≤ 20	≤ 3
II	30 – 100	10 – 60	≤ 40	≤ 50	≤ 5
III	100 – 200	60 – 120	≤ 50	50 – 100	≤ 10
IV	200 ≤	120 ≤	50 <	100 ≤	10 <

6) Evaluation du degré de dommage

Degré de dommages	Conditions de dommage	Remarques
0	- Aucun dommage	
I	- Aucune déformation du bâti principal - Déformation commençant à apparaître dans les équipements.	
II	- Déformations apparaissant dans les équipements	Après réparation faciles disponibles pour démarrer l'exploitation
III	- Maintenir la forme mais soigner de graves dommages	Mauvaises fonctions
IV	- Effondrement total	

[Commentaire]

En application de cette méthode à l'estimation de dommage, il est nécessaire d'obtenir un coefficient sismique critique (c'est-à-dire, le coefficient de rupture sismique, K_c) où la marge de sûreté de la structure en question baisse au-dessous de 1. Ce chiffre est disponible au Japon autant que les standards conceptuels référés peuvent être obtenus, mais il est nécessaire en général de faire une estimation de la stabilité pour laquelle il est nécessaire d'obtenir les informations et les propriétés géologiques des zones environnantes des équipements individuels aussi bien que les situations actuelles de ces équipements. Si ces informations ne sont pas disponibles dans les documents et les matériaux existants, il est nécessaire de mener aussi les investigations géotechniques.

Dans la présente étude, cette méthode n'a pas été adoptée parce qu'il a été trouvé que les informations nécessaires ne pouvaient pas être obtenues dans les documents et les matériels existants seuls et que, donc, les investigations supplémentaires seraient nécessaires, et aussi parce qu'elle ne tenait pas en compte l'impact de liquéfaction. Il est à noter que, avant d'adopter cette méthode, il serait nécessaire d'examiner de manière approfondie l'applicabilité à l'Algérie par référence aux cas catastrophiques du passé dans le pays.

(2) Méthode utilisant le rapport entre la PGA / Liquéfaction et le degré de dommage

Cette méthode fait usage du rapport (voir le Tableau 4-6) entre la PGA / potentiel de liquéfaction et le degré de dommage déterminé en considération des données enregistrées des dommages sur les ports de refuge et les ports lors du séisme de Kobe et des autres séismes du passé.

Tableau 4-6 Dommages sur les ports causés par les séismes du passé

	Accélération de sol (gal)				
	0 à 150	150 à 200	200 à 300	300 à 450	Plus de 450
Sol liquéfiable	0	1	2	3	3
Sol non liquéfiable	0	0	1	2	3

Degré de dommage 0 : Aucun dommage

Degré de dommage 1 : Dommage léger: fêlures et déformations de sous-structure

Degré de dommage 2 : Dommage modéré: déformations de structures principales

Degré de dommage 3 : Dommages grave: déformations sérieuses de structures principales et perte de fonction

[Commentaire]

Dans cette méthode, l'accélération au sol et le potentiel de liquéfaction dérivant des résultats d'une étude de microzonage sont reflétés dans l'estimation de dommage. Grâce à sa simplicité, elle est appropriée à l'estimation de la distribution préliminaire de la vulnérabilité concernant les équipements portuaires autant que la vérification peut être faite avec les données enregistrées des séismes ayant eu lieu dans la régions en question dans le passé.

Cette méthode est adoptée à la présente étude en tant que résultat de la vérification de la pertinence par référence aux dommages causés par le séisme de Boumerdes.

4-2-3 Transport aérien

En ce qui concerne le transport aérien, il est nécessaire d'estimer le dommage sur les équipements aéroportuaires, bien qu'il n'y ait pas souvent de cas où un aéroport serait endommagé par un séisme. Même dans quelques cas avec quelques dommages observés, ils étaient mineurs et leur estimation quantitative n'a pas été menée normalement.

Conformément à cela, l'équipe d'étude a classé les cas passés du monde entier, s trouvé un rapport entre la PGA et le degré de dommage (voir le Tableau 4-7) et a proposé une tabulation de l'estimation de dommage (voir la Tableau 4-8).

Tableau 4-7 Enregistrements des dommages sur les aéroports occasionnés par les séismes du passé

Séisme	Aéroport	Degré de dommage	Dommage	Accélération observée ou estimée
Séisme de Loma Prieta 1989 (USA)	Aéroport San Francisco (International)	1	- Fêlures sur la piste d'envol déliée - Dommage non structurelle sur le terminal - Plafond tombé dans la tour de contrôle - Vitre dans la tour de contrôle détruite - Fermeture pendant 13 heures	323 gal
Séisme au large de Kushiro 1993 (Japon)	Aéroport de Kushiro (International)	1	- Fêlures mineures dans le sol en pente	520 gal
Séisme au large de Hokkaido Nansei 1993 (Japon)	Aéroport d'Okushiri (Banlieusard)	2	- Fêlures de 20m sur la piste d'envol - Fermeture de 4 jours - Dommage sur les éclairages d'atterrissage	392 gal
Séisme de Kobe 1995 (Japon)	Aéroport de Kansai (International)	0	- Aucun dommage	169 gal
Séisme de Tottori-ken Seibu 2000 (Japon)	Aéroport de Yonago (Local)	2	- Fêlures sur la piste d'envol - Fermeture de 5 jours	546 gal
Séisme de Geiyo 2001 (Japon)	Aéroport de Hiroshima (Local)	0	- Aucun dommage	298 gal
	Aéroport de Nishi Hiroshima (Banlieusard)	1	- Dommage mineur	298 gal
	Aéroport de Matsuyama (Local)	1	- Dommage mineur	298 gal

Séisme	Aéroport	Degré de dommage	Dommage	Accélération observée ou estimée
Séisme de Seattle 2001 (USA)	Aéroport Seattle Seatac (International)	1	- Dommage sur la tour de contrôle	194 gal
	Aéroport de King County (usine de Boeing)	2	- Fêlures mineures sur la piste d'envol	267 gal

Note

Degré de dommage 0 : Aucun dommage

Degré de dommage 1 : Dommage mineur, fermeture plus de 1 jour

Degré de dommage 2 : Dommage sérieux, fermeture de plusieurs jours

Tableau 4-8 Rapport entre la PGA et le degré de dommage

PGA (gal)	0 à 200	200 à 300	Plus de 300
Degré de dommage	0	1	2

[Commentaire]

Cette méthode est adoptée à la présente étude en tant que résultat de la vérification de la pertinence par référence aux dommages causés par le séisme de Boumerdes.

4-3 Réseaux vitaux

Il est bien connu que le Japon et les États-unis d'Amérique ont les méthodes d'évaluation des dommages sismiques aux réseaux vitaux et aux autres infrastructures. Les présentes directives décrivent la méthode appliquée au Japon.

Les réseaux vitaux sont classifiés en cinq catégories : AEP, assainissement, électricité, gaz et télécommunications. La présente section décrit la méthode d'estimation de dommage de chacun desdits réseaux vitaux.

4-3-1 AEP

Le système AEP consiste en les différentes structures et équipements comme le montre la Figure 4-3.

- (1) Retenue d'eau: barrage ou autre retenant l'eau brute;
- (2) Prise d'eau: château d'eau, puits ou autre prenant l'eau brute d'une rivière, par exemple ;
- (3) Adduction d'eau: conduite d'adduction d'eau ou autre amenant l'eau prise par l'équipement de prise d'eau jusqu'à l'équipement de traitement d'eau ;
- (4) Épuration d'eau: station d'épuration d'eau ou autre purifiant l'eau potable ;
- (5) Transfert d'eau: canalisation de transfert ou autre transférant l'eau potable jusqu'à l'équipement de distribution d'eau ;

- (6) Distribution d'eau: canalisation de distribution d'eau ou autre distribuant l'eau selon la demande ;
- (7) Alimentation en eau: canalisation, équipement ou autre pour l'alimentation en eau alimentant des maisons, bâtiments ou autres à partir des canalisations d'alimentation en eau.

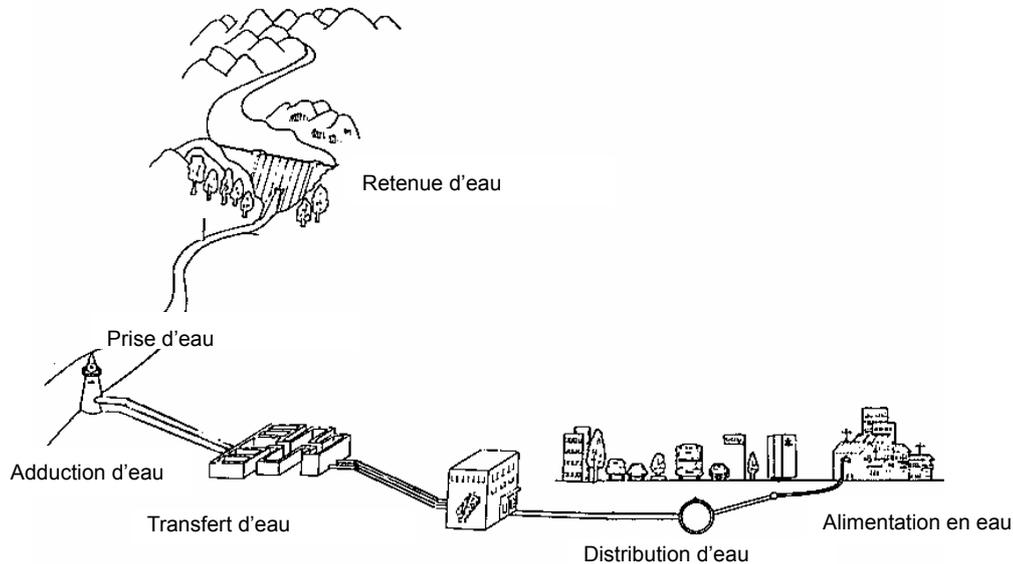


Figure 4-3 Schéma du principe du système AEP

« Colloque de prévention urbaine et d'environnement (1998) :
Séismes et réseaux vitaux urbains, Édition Université de Kyoto »

Les caractéristiques résistantes de chaque équipement au risque sismique sont résumées comme suit :

- Équipements de retenue, prise, épuration et distribution d'eau
Ces équipements sont essentiellement conçus conformément aux règles parasismiques. Il est présumé qu'un séisme d'une magnitude similaire à celles enregistrées dans le passé causera seulement un dommage léger à modéré n'entraînant aucun dysfonctionnement. Cependant, il est possible qu'il y ait quelques équipements construits selon les anciennes règles. Dans ce cas, il est conseillé d'effectuer une évaluation sismique de ces équipements.
- Équipements d'épuration d'eau
Les équipements d'épuration d'eau dépendent souvent d'électricité comme source d'énergie. Il est donc nécessaire de vérifier et d'estimer les conditions de fonctionnement en cas de coupure de courant.
- Équipements de transfert d'eau, distribution d'eau et alimentation en eau
La plupart des équipements de transfert d'eau, de distribution d'eau et d'alimentation en eau consistent en canalisations souterraines. Il est rapporté que, parmi les équipements dans le système AEP, lesdits équipements ont été les plus endommagés dans les séismes passés.

Tel que susmentionné, on rapporte que les canalisations souterraines ont été endommagées de manière considérable dans le passé. De plus, tout dommage aux canalisations affecte défavorablement les différentes fonctions. Il faut donc mener une estimation de dommage des canalisations souterraines pour l'évaluation des dommages au système AEP.

Le dommage est estimé par le nombre de points de dommage sur la longueur des canalisations. L'estimation de dommage fait usage d'un rapport de dommage standard sur la base des dommages sismiques enregistrés et d'un coefficient de correction lié aux caractéristiques considérées sismiques telles que le type de sol relevant du potentiel de liquéfaction, les matériaux et les diamètres de conduite. Voici trois types de formules différents dans l'expression mais les mêmes dans le concept :

[Collectivités locales au Japon]

$$R_{fm} = R_f * C_g * C_p * C_d$$

où,

R_{fm} : Rapport de dommage (points/km)

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

C_g : Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction

C_p : Coefficient de correction lié au matériau de conduite

C_d : Coefficient de correction lié au diamètre de conduite

[Association japonaise des ouvrages d'adduction d'eau (1998)]

$$R_w = C_g * C_l * C_p * C_d * R_{sw}$$

où,

R_w : Rapport de dommage (points/km)

R_{sw} : Rapport de dommage standard (points/km)

C_g : Coefficient de correction lié au type de sol

C_l : Coefficient de correction lié au potentiel de liquéfaction

C_p : Coefficient de correction lié au matériau de conduite

C_d : Coefficient de correction lié au diamètre de conduite

[Centre de recherches techniques d'eau du Japon (2000)]

$$(\text{Points de dommage}) = C_p * C_d * C_l * S_d * L$$

où,

S_d : Rapport de dommage standard (points/km)

C_p : Coefficient de correction lié au matériau de conduite

C_d : Coefficient de correction lié au diamètre de conduite

C_l : Coefficient de correction lié au potentiel de liquéfaction

L : Longueur de conduite par matériau et par diamètre dans la maille concernée (km)

Le rapport de dommage standard et le coefficient de correction sont recommandés par des formes différentes comme suit. Pour sélectionner une équation ou un coefficient parmi les différentes recommandations, il est nécessaire de se baser sur un jugement synthétisant les conditions actuelles de la zone concernée en relation à travers l'étalonnage des dommages sismiques enregistrés dans le passé et autres.

(1) Rapport de dommage standard

Voici trois types d'indices pour déterminer le rapport de dommage standard comme suite :

(1-1) Accélération de pic au sol (ci-après désigné la "PGA")

Le rapport de dommage standard par accélération de pic au sol dérive des dommages enregistrés des conduites souterraines lors du séisme de San Fernando compilés par Kubo et Katayama (1975) comme le montre la Figure 4-4.

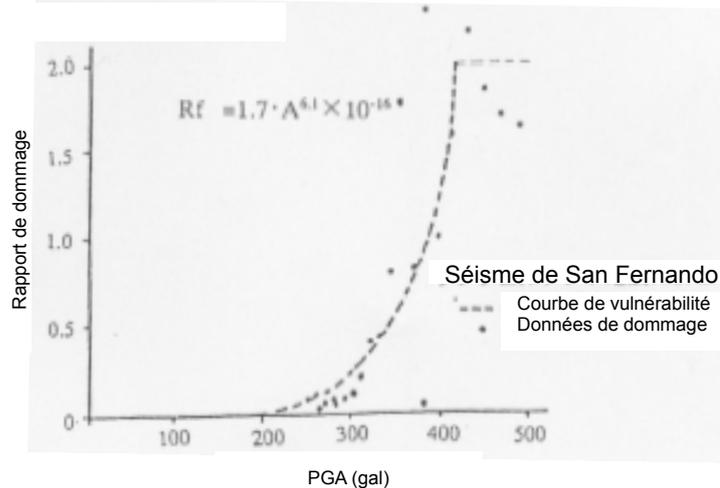


Figure 4-4 Rapport entre l'accélération de pic au sol et le rapport de dommage standard des conduites souterraines basé sur le séisme de San Fernando (1971)

L'équation pour le rapport de dommage standard est comme suit :

$$R_f = 1,7 * A^{6,1} * 10^{-16} \text{ ----- (maximum } R_f = 2,0)$$

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

A : Accélération de pic au sol (gal)

(1-2) Vitesse de pic au sol (ci-après désigné la "PGV")

Il y a quatre formules pour le rapport de dommage standard par vitesse de pic au sol :

- 1) Basée sur les dommages enregistrés des conduites AEP lors du séisme de Kobe et autres.

$$R_f = 2,24 * 10^{-3} (V - 20)^{1,51}$$

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

V : Vitesse de pic au sol (cm/sec)

- 2) Basée sur les dommages enregistrés des conduites AEP de la ville de Nishinomiya lors du séisme de Kobe.

$$R_f = \begin{cases} (V - 20) * 0,0125 * 0,8 & \text{(DIP - A, K, T)} \\ (V - 70) * 0,0125 * 0,8 & \text{(DIP - S, P)} \\ (V - 20) * 0,0125 * 3,0 * (2 / 3) & \text{(CIP - A)} \\ (V - 20) * 0,0125 * 0,8 & \text{(SP)} \end{cases}$$

- R_f : Rapport de dommage standard (points/km)
- V : Vitesse de pic au sol (cm/sec)
- DIP : Conduite en fonte d'acier ductile
- CIP : Conduite en fonte d'acier
- SP : Conduite d'acier
- A, K, T, S, P : Formes de raccordement

3) Basée sur les dommages enregistrés des conduites AEP lors du séisme de Kobe compilés par l'Association japonaise des ouvrages d'adduction d'eau (1998).

$$R_{sw} = \begin{cases} 0 & (V_{max} < 15 \text{ cm/sec}) \\ 3,11 * 10^{-3} (V_{max} - 15)^{1,30} & (V_{max} \geq 15 \text{ cm/sec}) \end{cases}$$

- R_{sw} : Rapport de dommage standard (points/km)
- V_{max} : Vitesse de pic au sol (cm/sec)

4) Basée sur les dommages enregistrés des conduites AEP lors du séisme de Kobe compilés par le Centre de recherches techniques d'eau du Japon (2000).

$$S_d = 6,33 * 10^{-5} V^{2,10} \quad (V \leq 110 \text{ kine})$$

- S_d : Rapport de dommage standard (points/km)
- V : Vitesse de pic au sol (kine)

(1-3) Valeur SI

Le rapport de dommage standard par valeur SI dérive des dommages enregistrés des conduites AEP lors du séisme de Kobe.

$$R_f = 0,025 * SI - 0,51 \quad (\text{maximum } R_f = 1,5)$$

- R_f : Rapport de dommage standard (points/km)
- SI : Valeur SI (cm/sec)

(2) Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction

Ce coefficient se base sur les caractéristiques régionales. Le Tableau 4-9 concerne les coefficients appliqués aux collectivités locales au Japon et les Tableaux 4-10 et 4-11 montrent les valeurs recommandées par l'Association japonaise des ouvrages d'adduction d'eau et le Centre de recherches techniques d'eau, respectivement.

Tableau 4-9 Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction dans chaque collectivité locale au Japon

Type de sol	Préfectures de AKITA, NIIGATA, HIROSHIMA, MIYAZAKI	Type de sol	Ville de SENDAI
Colline	0,5	Colline	0,4
Plateau	0,5	Plateau	0,5
Plaine alluviale	1,0	Plaine alluviale	1,0
Sol très meuble	2,0	Sol très meuble, Remblai	2,0
Type de sol	Préfecture de MIYAGI	Type de sol	Préfecture de FUKUI
Avant alluvions	0,5	Diluvial	0,5
Sol alluvial	1,0	Alluvial	1,0
Sol humus	2,0	Alluvions (humus)	2,0
Remblai	2,0	Type de sol	Préfecture d'AOMORI
Type de sol	Préfecture de SAITAMA	Diluvial ou meilleur	0,5
Dc, Ds, Dg	0,5	Alluvions	Glaise
Lm	0,9		Argile, sable
Ac, As	1,0		Humus
Ap	2,0	Type de sol	YAMAGUCHI Préfecture, HIROSHIMA City
Type de sol	Préfecture de NAGANO	Type1	0,6
Type1	0,6	Type2	1,3
Type2	1,3	Type3	1,3
Type3	1,3	Type4	1,9
Type4	1,9	Limites des types de sol	2,5

Indice de potentiel de liquéfaction (PL)	0	5	10	15	20
TOKYO 97, ville de KAWASAKI	1,0	1,2	1,5		3,0
Ville de SAPPORO	1,0	1,1	1,3		2,1
Préfecture de SHIZUOKA	1,0	1,0	2,9		4,7
Préfectures de MIYAGI, MIYAZAKI Préfecture, ville de SENDAI	-	-	2,9		4,7
Préfectures de AOMORI, AKITA, SAITAMA, HIROSHIMA	-	-	2,9		4,7
Préfecture de FUKUI	-	-	2,5		3,5
Préfecture de NIIGATA	-	-			3,0

En cas de deux valeurs en même temps pour une collectivité locale dans ce tableau, la valeur plus élevée est appliquée.

Tableau 4-10 Coefficients de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction recommandés par l'Association japonaise des ouvrages d'adduction d'eau

Type de sol	C_g	Indice de potentiel de liquéfaction	C_l	
Montagnes, remblai dans les montagnes	1,1	Potentiel de liquéfaction	Élevé ($P_L > 15$)	2,4
Terre plate en terrasse, colline	1,5		Modéré ($5 < P_L \leq 15$)	2,0
Anciens canaux, marais de fond, remblai en plaine, crête de rivage	3,2		Faible ($0 \leq P_L \leq 5$)	1,0
Terre plate au fond de gorge, éventail, falaise, digue naturelle (partie développée ou non développée)	1,0			

Tableau 4-11 Coefficients de correction relevant du potentiel de liquéfaction recommandés par le Centre de recherches techniques d'eau du Japon

Potentiel de liquéfaction	C_l
Non ($0 \leq P_L \leq 5$)	0,9
Partiel ($5 < P_L \leq 15$)	1,0
Total ($P_L > 15$)	1,6

(3) Coefficient de correction lié au matériau et diamètre de conduite

Ce coefficient est basé sur l'analyse des dommages enregistrés des séismes dans le passé. Il y a deux moyens de décider les coefficients appliqués par les collectivités locales : l'un consiste à appliquer la multiplication des coefficients de matériaux et de diamètre de conduite (voir les Tableaux 4-12 à 4-13), et l'autre à les appliquer individuellement (voir les Tableaux 4-14 à 4-17). L'Association japonaise d'adduction d'eau et la Fondation de la technologie de l'eau ont recommandé le dernier (voir les Tableaux 4-18 à 4-19).

Tableau 4-12 Coefficients de correction liés aux matériaux et diamètres de conduite appliqués à la Préfecture de FUKUOKA

Type	Diamètre (mm)			
	≤ 75	100 - 125	150 - 350	400 -
Amiante ciment	10,2	5,3	3,9	3,3
PVC	2,6	1,9	1,9	-
Fonte d'acier	1,4	1,0	0,8	0,3
Fonte d'acier ductile	1,1	0,5	0,5	0,1
Acier à raccord taraudé	10,5	5,5	4,0	3,4
Acier soudé	0,5	0,3	0,2	0,1

Tableau 4-13 Coefficients de correction liés aux matériaux et diamètres de conduite appliqués à la Préfecture de MIE

Type \ Diamètre (mm)	≤ 75	100 - 150	200 - 250	300 - 450	500 -
Fonte d'acier ductile	2,1	1,0	1,0	1,0	0,1 (0,2)
Fonte d'acier	1,7	1,2	1,1	0,6	0,2
Acier	2,8	1,5	1,3	0,9	0,8

Tableau 4-14 Coefficients de correction relevant des matériaux et diamètres de conduite appliqués aux villes de TOKYO 97, de SAPPORO et de KAWASAKI

Matériaux de conduite	Diamètres de conduite φ (mm)	Coefficient
Fonte d'acier ductile	$\varphi \leq 75$	0,6
	$100 < \varphi \leq 450$	0,3
	$500 < \varphi \leq 900$	0,09
	$1\ 000 < \varphi$	0,045
Fonte d'acier	$\varphi \leq 75$	1,7
	$100 < \varphi \leq 250$	1,2
	$300 < \varphi \leq 900$	0,4
	$1\ 000 < \varphi$	0,15
Acier	$\varphi \leq 75$	0,84
	$100 < \varphi \leq 250$	0,42
	$300 < \varphi$	0,24
PVC	$\varphi \leq 75$	1,5
	$100 < \varphi$	1,2
Amiante ciment	$\varphi \leq 75$	6,9
	$100 < \varphi \leq 250$	2,7
	$300 < \varphi$	1,2

Tableau 4-15 Coefficients de correction liés aux matériaux et diamètres de conduite appliqués à la Préfecture de SHIZUOKA

Matériau de conduite	Coefficient de matériau de conduite	Coefficient de diamètre de conduite	
Acier (taraudé)	10,0	< 100 mm	1,3
		100 mm ≤	0,75
Acier (soudé)	0,1	< 1,000 mm	1,0
		1 000 mm ≤	0,5
Fonte d'acier	1,0	< 400 mm	1,5
		400 – 1 000 mm	0,3
		1,000 mm ≤	0,15
Fonte d'acier ductile	0,25	< 500 mm	1,3
		500 – 1 000 mm	0,3
		1,000 mm ≤	0,15
Amiante ciment	3,0	< 100 mm	2,3
		125 – 250 mm	0,9
		300 mm ≤	0,4
PVC	1,5	< 100 mm	1,1
		100 mm ≤	0,9

Tableau 4-16 Coefficients de correction liés au matériau de conduite de chaque collectivité locale

Matériau de conduite	MIYAGI	AOMORI SAITAMA	KANAGAWA	AKITA NAGANO	HIROSHIMA	NIIGATA* MIYAZAKI	VILLE SENDAI	YAAGUCHI	FUKUI
Fonte d'acier	1,0								
Fonte d'acier ductile	0,2								0,3
Acier	-			2,0			-		
Acier soudé	0,1								0,2
Acier taraudé	2,0	-	2,0	-					2,8
Acier inoxydable	0,1	-							
Acier alvéolaire	-		0,8	-					0,8
Plomb	0,8	-			1,0*		-		
PVC	1,5				1,0		0,8	1,2	
Amiante ciment	4,0			2,0	1,0	4,0	1,3	2,8	
Polyéthylène	-		0,1			-		0,2	
Béton	-				1,0		-		
Ligne principale	0,1	-							

*NIIGATA : Le coefficient de conduite de plomb n'est pas défini.

Tableau 4-17 Coefficients de correction liés au diamètre de conduite de chaque collectivité locale

Diamètre de conduite (mm)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100
MIYAGI	1,3	0,9	0,6	0,5	0,3						
NAGANO	1,33	-	0,67	-	0,50					0,33	
KANAGAWA	1,3	0,8			0,4				0,2		
AKITA HIROSHIMA SENDAI (City)	1,2	0,6		-	0,4				0,2		
AOMORI	1,2	0,6			0,4					0,2	
SAITAMA	1,2	0,6		-	0,4				-	0,2	
NIIGATA	2,0	*	0,6	-	0,4				-	0,2	
FUKUI	1,0	0,6		-	0,4				-	0,2	
MIYAZAKI	1,0			0,5	0,4				0,2		
YAMAGUCHI	1,0	0,8	0,6	-	0,4	-	0,3	-	0,1		
HIROSHIMA (City)	1,0	-	0,6	-	0,4	-	0,3	-	0,1		

* NIIGATA: Le coefficient de diamètre entre 100 et 125 mm est de 1,5.

“-” montre qu'aucune valeur de coefficient n'a été donnée pour le diamètre de conduite correspondant.

Tableau 4-18 Coefficients de correction liés aux matériaux et diamètres de conduite recommandés par l'Association japonaise des ouvrages d'adduction d'eau

Matériau de conduite	C_p	Diamètre de conduite	C_d
Acier soudé	0,3	500 mm ou plus	0,5
Fonte d'acier ductile	0,3	200 – 450 mm	0,8
Fonte d'acier	1,0	100 – 150 mm	1,0
PVC	1,0	75 mm ou moins	1,6
Amiante ciment	1,2		
Acier taraudé	2,0		
Polyéthylène	0,1		
Autres matériaux	1,0		
Inconnu	1,0		

Tableau 4-19 Coefficients de correction liés aux matériaux et diamètres de conduite recommandés par le Centre de recherches techniques d'eau du Japon

Matériau de conduite	C_p	Diamètre de conduite	C_d
Fonte d'acier ductile (A, K, T)*	0,3	75 mm	1,6
Fonte d'acier ductile (S, SII)*	0,0	100 à 150 mm	1,0
Fonte d'acier	1,0	200 à 250 mm	0,9
Acier soudé	0,3**	300 à 450 mm	0,7
PVC	1,0	500 à 600 mm	0,5***
Acier taraudé	4,0**		
Amiante ciment	2,5**		

** : Valeur de référence seulement en raison des données obtenues en faible quantité.

* : A, K, T, S, SII: Forme de raccord.

** : Valeur de référence seulement en raison des données obtenues en longueur limitée.

[Commentaires]

(1) Rapport de dommage standard

Le rapport de dommage s'obtient par lesdites trois méthodes de calcul.

Il est récemment rapporté que le rapport de dommage avec la vitesse au sol est plus corrélatif qu'avec l'accélération au sol quand il s'agit des ouvrages linéaires. Aussi, on rapporte souvent que la valeur SI est plus corrélatrice avec le dommage sismique que les autres. De là, on peut présumer qu'il sera dans l'avenir plus fréquemment déterminé en fonction de vitesse au sol et de valeur SI. Mais, en réalité, on reste encore aujourd'hui à se référer à l'accélération au sol qui reste donc encore efficace dans le travail d'examen et de comparaison.

Dans la présente étude, la distribution de l'accélération de pic au sol est obtenue sur la carte des aléas de sol. Il convient donc de l'appliquer pour obtenir le rapport de dommage standard.

- (2) Coefficient de correction lié au sol relevant du potentiel de liquéfaction

Un nombre de coefficients lié au sol relevant du potentiel de liquéfaction sont appliqués.

Dans la présente étude, à cause de l'insuffisance des documents de précision, la valeur modérée parmi celles susmentionnée est appliquée (accélération au sol considérée comme indicateur).

- (3) Coefficient de correction lié aux matériaux et diamètres de conduite

Un nombre de coefficients sont aussi appliqués.

Dans la présente étude, à cause de l'insuffisance des documents de précision, la valeur modérée parmi celles susmentionnée est appliquée (accélération au sol considérée comme indicateur).

4-3-2 Assainissement

Le système d'assainissement porte sur les structures et les équipements suivants (voir la Figure 4-5).

- (1) Drainage : Drainer des eaux d'égout et pluviales des maisons ou des équipements à travers des canalisations de vidange souterraines, canaux ouverts, etc.
- (2) Collection : Collecter des eaux d'égout et pluviales des équipements de drainage en utilisant un collecteur équipé de trou d'homme, caniveau ouverts, etc.
- (3) Pompage : Pomper des eaux d'égout et pluviales collectées à une hauteur pour la régulation d'inclinaisons naturelles d'écoulement.
- (4) Traitement : Traiter des eaux d'égout et pluviales collectées et décharger l'eau traitée à une rivière ou à la mer.

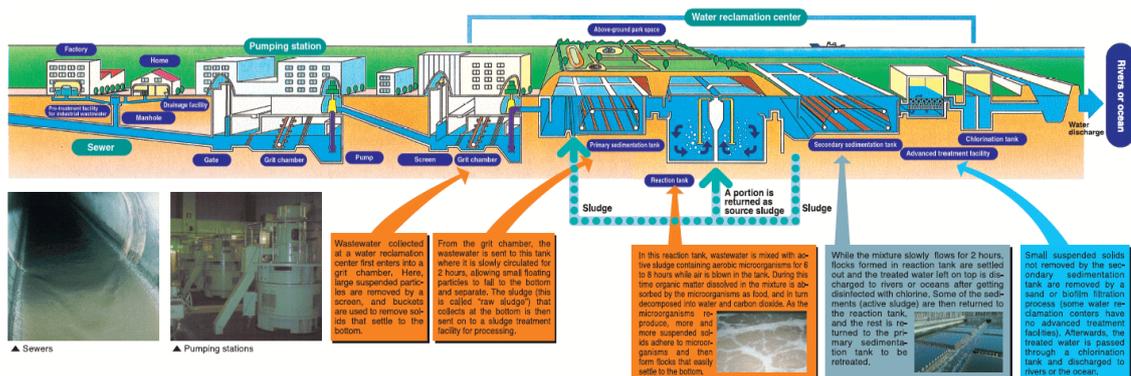


Figure 4-5 Principe du système d'assainissement

(Référence: Bureau d'assainissement de la métropole de Tokyo <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/>)

On rapporte que, parmi les équipements susmentionnés, les canalisations souterraines (canalisation souterraine de drainage et les collecteurs) et les trous d'homme ont subi de dégâts énormes causés par les séismes passés, alors que les équipements de pompages et de traitement sont généralement construits conformément aux règles parasismiques qui ont donc subi de moins

de dégât. Donc, l'estimation de dommage du système d'assainissement se concentre surtout sur les canalisations souterraines.

Dans ces dernières années, il y a eu un développement significatif du système d'assainissement au Japon, alors qu'il n'y pas de graves dommages fréquents enregistrés dans ce système. Par conséquent, on peut appliquer la méthode d'estimation de dommage similaire de celle appliquée aux conduites AEP aux canalisations d'assainissement (voir la section 4.3.1) dans nombreuses études.

[Commentaire]

Telle que susmentionnée, l'estimation de dommage du système d'assainissement s'effectue comme si c'est le cas de réseau AEP dans les conditions actuelles. Il est toutefois attendu qu'une méthode d'estimation spécifique au système d'assainissement soit établie dans un proche futur.

Dans la présente étude, il n'a été possible d'obtenir que les données relatives au réseau souterrain principal dont le diamètre de conduite est autour de 1 m ou plus. Donc, il est jugé qu'il est plus pertinent d'opter pour une évaluation de dommage qualitative que celle appliquée à l'estimation de dommage du système AEP.

4-3-3 Alimentation en électricité

Le système d'alimentation en électricité consiste en les ouvrages et les équipements suivants (voir la Figure 4-6)

- (1) Centrale : régénérer l'énergie électrique (centrale nucléaire, centrale thermique, centrale hydraulique, etc.) ;
- (2) Transmission d'électricité : transmettre l'énergie électrique d'une centrale (câbles à haute tension, pylônes de transmission électrique, conduites, sous-stations, etc.) ;
- (3) Distribution d'électricité : distribuer l'électricité à moyenne et à basse tension jusqu'aux consommateurs tels que des ménages, usines ou autres (câbles à moyenne et à basse tension, poteaux électriques, conduites de protection, sous-stations de distribution, etc.).

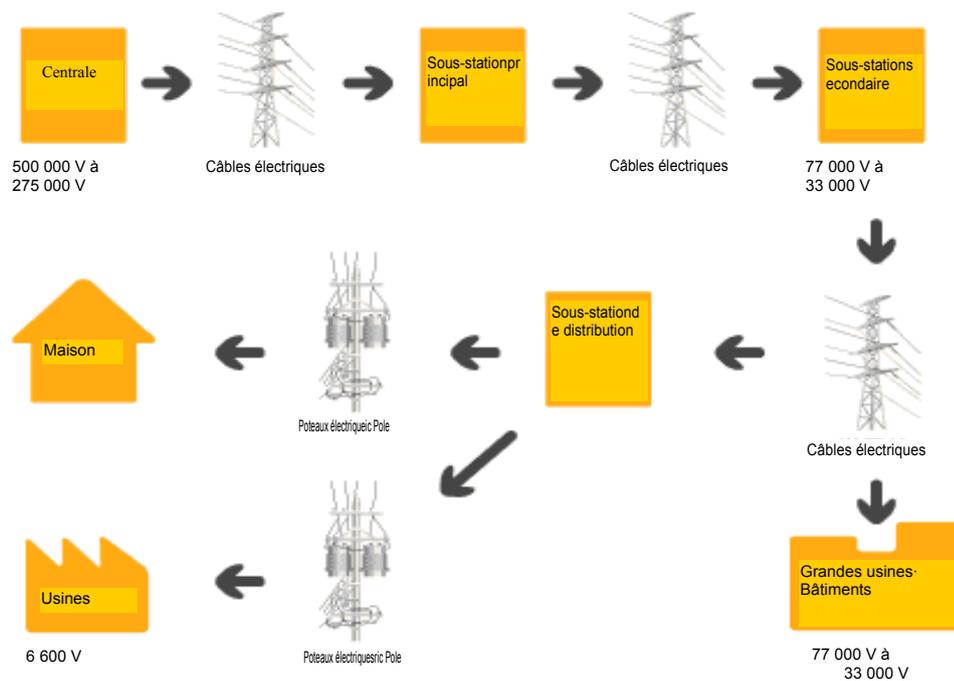


Figure 4-6 Schéma du principe d'un système d'alimentation en électricité

(Référence: Électricité du Chubu, <https://link.chuden.jp/>)

Il est rapporté que, parmi lesdits équipements, les câbles à moyenne et à basse tension et les poteaux électriques ont subi d'énormes dommages à cause de séismes, alors que la centrale, les équipements de transmission à haute tension et les sous-stations construits en conformité avec les normes parasismiques n'ont subi que de dommages moins graves. Donc, les poteaux électriques et les câbles à moyenne et à basse tension ont été examinés pour l'estimation de l'ensemble des équipements du système d'alimentation en électricité.

L'estimation de dommage porte généralement sur deux volets : câbles aériens et câbles souterrains. Dans l'estimation, les longueurs des câbles aériens et souterrains endommagés sont calculées séparément par chaque maille.

La méthode d'estimation de dommage selon l'ordre suivant commençant par les poteaux électriques, suivis par les câbles aériens et se terminant par les câbles souterrains comme suit :

(1) Poteaux électriques

L'estimation de dommage des poteaux électriques applique les deux méthodes suivantes :

(1-1) Méthode relevant de la formule basée sur le rapport de dommage standard

Cette méthode dispose de deux types, sans ou avec considération du séisme de Kobe.

1) Méthode sans considération du séisme de Kobe (1991)

$$N_h = C_{gl} * R(A) * N$$

$$R(A) = \begin{cases} 0 & (A < 150 \text{ gal}) \\ 0,0053A - 0,795 & (150 \leq A < 300 \text{ gal}) \\ 0,8 & (300 \text{ gal} \leq A) \end{cases}$$

N_h : Nombre de poteaux électriques endommagés

C_{gl} : Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction (comme le cas de réseau AEP)

$R(A)$: Rapport de dommage standard

A : Accélération de pic au sol (gal)

N : Nombre de poteaux

2) Méthode avec considération du séisme de Kobe (1997)

$$N_d^P = C_1 * R / 100 * N + N_f * N$$

N_d^P : Nombre de poteaux électriques endommagés

C_1 : Coefficient de correction lié au potentiel de liquéfaction (comme le cas de réseau AEP)

R : Rapport de dommage standard

Municipalité \ Intensité JMA	5	6 -	6 +	7
	+ ou moins			
Préfecture de AOMORI	0,00	0,47		6,68
TOKYO 97	0,00	0,55		Non déterminé
Ville de SAPPORO	0,00	0,47	2,86	6,68
Ville de KAWASAKI	0,00	0,47		Non déterminé

N : Nombre de poteaux

N_f : Nombre d'incendiés

(1-2) Méthode utilisant la matrice des rapports entre mouvement sismique et rapport de dommage

Cette méthode porte sur deux types : l'un utilise l'accélération de pic au sol (PGA) et l'autre l'échelle d'intensité sismique (« JMA », Japan Meteorology Agency intensity scale)

1) Méthode utilisant la PGA

Cette méthode porte sur deux types : l'un basé sur le séisme de Niigata et celui au large de Miyagi, et l'autre prenant en compte le séisme de Kobe de manière complémentaire.

1-1) Méthode basée sur les séismes de Niigata et au large de Miyagi (1986)

Tableau 4-20 Nombre de poteaux électriques endommagés par 100 poteaux sur la base des données enregistrées des dommages des séismes de Niigata et au large de Miyagi

PGA (gal)		Préfectures de KANAGAWA, AKITA, TOYAMA, FUKUI, MIYAZAKI				
		≤150gal	151 – 300gal	301 – 400gal	401gal≤	Liquéfaction Zone: $P_L \geq 15$
Cassés	Béton	0,00	0,00	0,01	0,03	0,9
	Bois	0,00	0,00	0,01	0,02	0,2
Effondrés	Béton	0,00	0,00	0,03	0,10	3,4
	Bois	0,00	0,00	0,01	0,03	0,9

1-2) Méthode basée sur les séismes de Niigata, au large de Miyagi et de Kobe (1998)

Tableau 4-21 Nombre de poteaux électriques endommagés par 100 poteaux sur la base des données enregistrées des dommages des séismes de Niigata, au large de Miyagi et de Kobe

PGA (gal)		Préfecture de SAITAMA						
		≤150gal	151 – 300gal	301 – 400gal	401 – 600gal	601 – 800gal	801 gals≤	Liquéfaction Area: $P_L \geq 15$
Cassés et effondrés	Béton	0,0	0,0	0,04	0,13	1,0	3,2	4,3
	Bois	0,0	0,0	0,02	0,05	0,4	1,3	1,1

2) Méthode utilisant l'intensité JMA

Cette méthode porte sur deux types : l'un se base sur les séismes de Nihon-kai Chubu et de Kobe, et l'autre sur le séisme de Kobe.

Il est noté qu'il y a une autre méthode tenant compte de propagation des feux qui n'est pourtant pas pertinente puisqu'elle reflète significativement les conditions des maisons japonaises (Plein de maisons en bois existent au Japon).

2-1) Méthode basée sur les séismes de Nihon-kai Chubu et de Kobe

Tableau 4-22 Rapport de poteaux électriques endommagés sur la base des données enregistrées des dommages des séismes de Nihon-kai Chubu et de Kobe

Intensité JMA	Rapport de dommage standard	Préfecture de FUKUOKA	
		Coefficient de liquéfaction	Rapport de dommage
5 + ou plus	Aucun dommage	-	Aucun dommage
6 -	0,13 %	$0,98 + 0,014 P_L$	$0,13 + 0,0018 P_L$
6 + ou moins	0,49 %	$0,99 + 0,006 P_L$	$0,49 + 0,0029 P_L$

2-2) Méthode basée sur le séisme de Kobe

Tableau 4-23 Rapport de poteaux électriques endommagés sur la base des données enregistrées du séisme de Kobe

Intensité JMA	Préfecture de TOCHIGI	
	Sous-stations et autres équipements	
	Équipés d'équipement	Sans équipement
7	1,8 %	1,3 %

(2) Câbles aériens

L'estimation de dommage des câbles aériens applique deux méthodes :

(2-1) Méthode utilisant l'estimation de dommage de poteaux

La méthode applique 4 types de formules dont chacune diffère l'une de l'autre mais du même concept de base : dommage calculé par multiplication du nombre de poteaux endommagés par un rapport de dommage relevant du rapport entre poteaux et câbles aériens.

Voici les formules appliquées par collectivité locale:

1) Préfectures de TOKYO 91, MIYAGI, KANAGAWA, YAMANASHI, SHIZUOKA

$$N_d^C = 0,5 [\text{intervalle/poteau}] * L [\text{m/intervalle}] * N_d^P$$

- N_d^C : Longueur de câbles endommagés (km)
 L : Longueur de câble moyenne par intervalle
 N_d^P : Nombre de poteaux endommagés

2) TOKYO 97

$$n_d^C = a * N_d^P / L$$

- n_d^C : Rapport de câbles endommagés (km)
 a : Rapport de câbles endommagés par poteau, $a = 0,396$ (basé sur les données enregistrées des dommages du séisme de Kobe)
 N_d^P : Nombre de poteaux endommagés
 L : Longueur de câble (km)

3) Ville de SAPPORO

$$N_d^C = L * N_d^P / N + N_f * L$$

- N_d^C : Longueur de câbles endommagés (km)
 L : Longueur de câble (km)
 N_d^P : Nombre de poteaux endommagés
 N : Nombre de poteaux
 N_f : Rapport d'incendiés

4) Ville de KAWASAKI

$$N_d^C = a * N_d^P * L$$

- N_d^C : Longueur de câbles endommagés (km)
- a : Rapport de câble endommagé par poteau, $a = 0,5$ (basé sur les données enregistrées des dommages des séismes dans le passé)
- N_d^P : Nombre de poteaux endommagés
- L : Longueur de câble moyenne par intervalle

2-2) Méthode utilisant la matrice des rapports entre PGA et rapport de dommage

Cette méthode porte sur deux types, sans et avec considération du séisme de Kobe.

1) Méthode sans considération du séisme de Kobe (1986)

Tableau 4-24 Rapport de câbles endommagés (Intervalles/100 poteaux)

PGA (gal)		Préfecture de KANAGAWA, AKITA, FUKUI, MIYAZAKI				
		≤150gal	151 – 300gal	301 – 400gal	401gal≤	Liquéfaction Zone: $P_L \geq 15$
Poteaux électriques	Béton	0	0,01	0,32	1,2	11,0
	Bois	0	0,002	0,05	0,18	2,6

2) Méthode avec considération du séisme de Kobe (1997)

Tableau 4-25 Rapport de câbles endommagés (Intervalles/100 poteaux) basés sur les données enregistrées des dommages du séisme de Kobe

PGA (gal)		Préfecture de SAITAMA						
		≤150gal	151 – 300gal	301 – 400gal	401 – 600gal	601 – 800gal	801 gals≤	Liquéfaction Area: $P_L \geq 15$
Cassés et effondrés	Béton	0,0	0,01	0,32	1,20	8,5	27,0	11,0
	Bois	0,0	0,002	0,05	0,18	1,3	4,1	2,6

(3) Câbles souterrains

Cette méthode porte sur deux types, sans et avec considération du séisme de Kobe.

(3-1) Méthode sans considération du séisme de Kobe (1991)

$$L_c = C_{gl} * R(A) * L$$

$$R(A) = \begin{cases} 0 & (A < 200 \text{ gal}) \\ 0,002A - 0,4 & (200 \leq A < 300 \text{ gal}) \\ 0,2 & (300 \text{ gal} \leq A) \end{cases}$$

- L_c : Longueur de câbles endommagés (km)
- C_{gl} : Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction (comme le cas de réseau AEP)
- $R(A)$: Rapport de dommage standard
- A : Accélération de pic au sol (gal)
- L : Longueur de câble (km)

(3-2) Méthode avec considération du séisme de Kobe (1997)

La méthode utilise la même formule avec pourtant un rapport de dommage standard différent.

L'estimation de dommage des câbles souterrains de télécommunication décrits ci-après applique la même méthode en quel cas que ce soit. Ici, le rapport de dommage standard est aussi décrit.

$$N_d = C_1 * R / 100 * L$$

N_d : Longueur de câbles endommagés (km)

C_1 : Coefficient de correction relevant du potentiel de liquéfaction (comme le cas de réseau AEP)

L : Longueur de câble (km)

R : Rapport de dommage standard

Intensité JMA	Rapport de dommage standard		
	TOKYO 97	Préfecture de AOMORI *	Ville de SAPPORO
5 ou moins	0,00	0,00	0,00
6 -	0,30	0,30	0,30
6 +			2,00
7	- **	4,70	4,70

*: Pour télécommunications

**: Sans rapport

[Commentaire]

Le câble à basse tension fait partie des équipements cibles pour l'estimation de dommage des équipements d'alimentation en électricité. Il est pourtant exclu de la présente étude pour les raisons suivantes :

- Les câbles à basse tension de la Wilaya d'Alger sont tellement complexes qu'ils ne peuvent pas être digitalisés ;
- Ces câbles sont généralement distribués le long des bâtiments ;
- Le dommage aux câbles à basse tension peut être estimé suivant sa comparaison avec le dommage aux bâtiments.

La procédure d'estimation de dommage dans la présente étude est montrée comme suit :

(1) Poteaux électriques

Quand on estime des dommages aux poteaux électriques, il est nécessaire de connaître leur distribution (nombre). Cependant, ces données ne sont pas disponibles dans la présente étude.

Donc, le dommage aux poteaux électriques a été considéré comme rapport de dommage suivant la méthode décrite à l'alinéa (1) – (1-1) – 2). Ici, la propagation des feux n'a pas été prise en compte à cause des conditions des bâtiments de la Wilaya d'Alger.

$$\begin{aligned} N_d^P &= C_1 * R / 100 * N + N_f * N \\ &= C_1 * R / 100 * N + 0 \\ &= x * N \text{ ----- (} x = C_1 * R / 100 \text{)} \end{aligned}$$

Le rapport de dommage standard y a été calculé sur la base des données y afférentes.

(2) Câbles aériens

Le dommage aux câbles aériens sont estimé par ledit rapport de dommage et par la méthode décrite à l’alinéa (2) (2-1) -2). Ceci est basé sur une telle estimation que le nombre de poteaux électriques a un rapport proportionnel constant avec la longueur des câbles aériens (La longueur de câble d’un intervalle est égale l’une à l’autre quel endroit que ce soit).

$$\begin{aligned} n_d^C &= a * N_d^P / L \\ &= a * x * (N / L) \\ &= b \text{ ----- (b = a * x, N / L = const.)} \end{aligned}$$

Par conséquent, le dommage aux câbles aériens est estimé par multiplication du rapport de dommage calculé par la longueur totale de câble aérien de chaque maille.

(3) Câbles souterrains

L’estimation de dommage des câbles souterrains est celle décrite à l’alinéa (3) – (3-2) puisqu’elle est fréquemment appliquée. Dans ce calcul, le rapport de dommage standard est déterminé de manière à y intégrer les données concernées.

4-3-4 Alimentation en gaz

- (1) Raffinerie de gaz : équipement de production de gaz ;
- (2) Gaz à haute pression : équipements tels que les canalisations de gaz et unité de dépressurisation pour transférer le gaz à haute pression de la centrale jusqu’aux stations de relais ;
- (3) Gaz à moyenne pression: stocker et distribuer le gaz à moyenne pression jusqu’aux différents jonctions (canalisation de gaz à moyenne pression, unité de stockage, dépressurisation, etc.)
- (4) Gaz à basse pression: distribuer le gaz à basse pression aux consommateurs telles que les ménages, bâtiments, etc. (canalisation de gaz à basse pression, régulateur de pression, compteur de gaz, etc.)

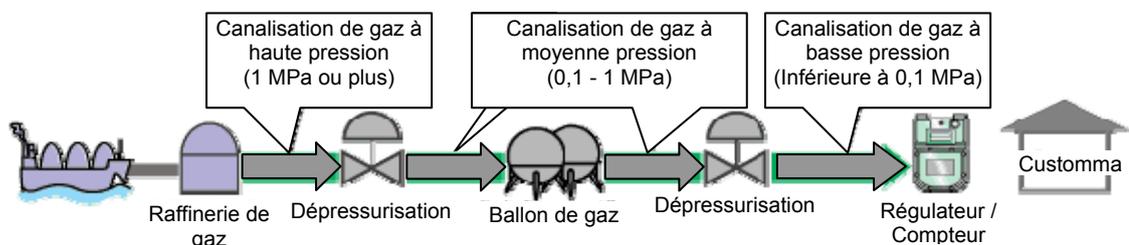


Figure 4-7 Schéma du principe du système d'alimentation en gaz

(Référence: Gaz d’Osaka, <http://www.osakagas.co.jp>)

Il est reporté que, parmi lesdits équipements, les canalisations de gaz à moyenne et à basse pression et les équipements régulateurs ont subi d'énormes dommages à cause des séismes dans le passé, alors que les usines de gaz, les équipements à haute pression et les dépressuriseurs ont été généralement épargnés avec moins de dégâts puisqu'ils sont conformes aux règles parasismiques. Donc, l'estimation de dommage des canalisations de gaz à moyenne et à basse pression est effectuée pour l'estimation de l'ensemble du système d'alimentation en gaz.

Le dommage est estimé par points de dommage par longueur de canalisation comme le cas de réseau AEP. L'estimation de dommage utilise un rapport de dommage standard basé sur les données enregistrées des séismes passés ainsi que le coefficient de correction tenant compte des caractéristiques parasismiques liées au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction et aux matériaux et diamètres de conduite. Les formules suivantes montrent le concept de base de l'estimation de dommage :

$$R_{fm} = R_f * C_g * C_p * C_d$$

où,

R_{fm} : Rapport de dommage (points/km)

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

C_g : Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction

C_p : Coefficient de correction lié au matériau de conduite

C_d : Coefficient de correction lié au diamètre de conduit

Le rapport de dommage standard et le coefficient de correction sont recommandés par des formes différentes comme suit. Pour sélectionner une équation ou un coefficient des différentes recommandations, il est nécessaire de se baser sur les conditions actuelles, les caractéristiques récurrentes des catastrophes passées, etc. de la zone en question.

(1) Rapport de dommage standard

Il existe trois types d'indices de calcul de rapport de dommage standard comme suit :

(1-1) Accélération de pic au sol

Le rapport de dommage standard basé sur l'accélération de pic au sol dérive des données enregistrées des dommages aux conduites souterraines lors du séisme de San Fernando compilées par Kubo et Katayama (1975) comme le montre la Figure 4-8.

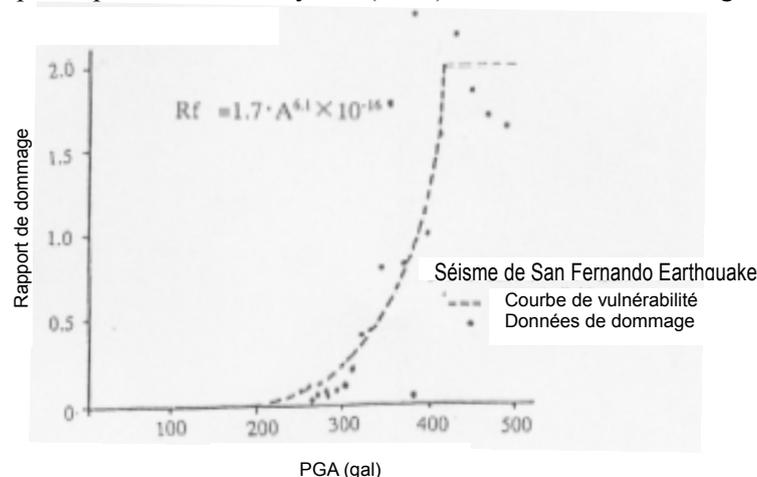


Figure 4-8 Rapport entre Accélération de pic au sol et rapport de dommage standard des conduites souterraines basé sur le séisme de San Fernando (1971)

L'équation pour le rapport de dommage standard est comme suit :

$$R_f = 1,7 * A^{6,1} * 10^{-16} \text{ ----- (maximum } R_f = 2,0)$$

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

A : Accélération de pic au sol (gal)

(1-2) Vitesse de pic au sol

Le rapport de dommage standard basé sur la vitesse de pic au sol dérive des données enregistrées des canalisations de gaz lors du séisme de Kobe.

$$R_f = 3,89 * 10^{-3} (V - 20)^{1,51}$$

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

V : Vitesse de pic au sol (cm/sec)

(1-3) Valeur SI

Le rapport de dommage standard basé sur la valeur SI dérive des données enregistrées des canalisations de gaz lors du séisme de Kobe.

Dans la présente méthode, deux formules sont appliquées par les collectivités locales.

1) Préfecture de FUKUOKA

$$R_f = 0,025 * SI - 0,76 \text{ ----- (maximum } R_f = 1,8)$$

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

SI : Valeur SI (cm/sec)

2) Préfectures de NIIGATA, HIROSHIMA, ville de HIROSHIMA

$$R_f = 0,025 * SI - 0,5 \text{ ----- (maximum } R_f = 1,75)$$

R_f : Rapport de dommage standard (points/km)

SI : Valeur SI (cm/sec)

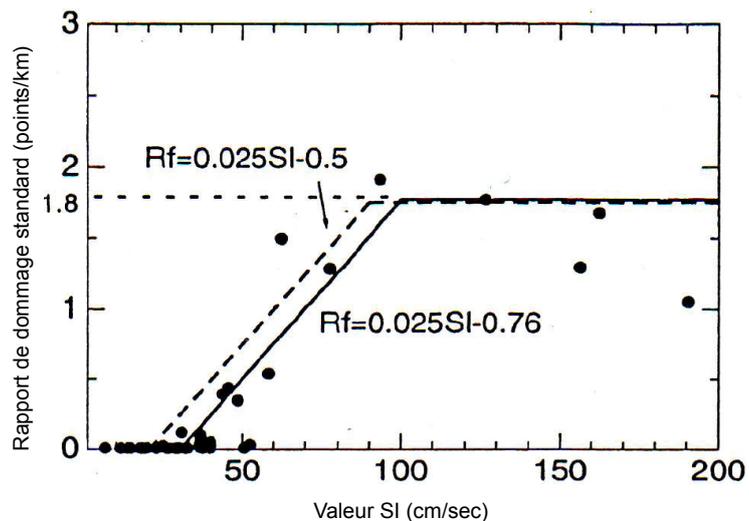


Figure 4-9 Rapport entre Valeur SI et Rapport de dommage standard des conduites d'acier à raccord taraudé lors du séisme de Kobe (Référence: Comité de mesures préventives parasismique du gaz, 1996)

(2) Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction

Le coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction est parfois le même que celui des conduites AEP (voir la section 4.3.1).

(3) Coefficient de correction lié aux matériaux et diamètres de conduite

Ce coefficient se base sur l'analyse des données des dommages occasionnés par les séismes passés. Il existe deux manières de déterminer le coefficient à appliquer par les collectivités locales : l'une consiste à multiplier les coefficients de matériau et de diamètre de conduite (voir les Tableaux 4-26 à 4-27), et l'autre à appliquer les coefficients séparément (voir les Tableaux 4-28 à 4-29).

Tableau 4-26 Coefficient de correction lié aux matériaux et diamètres de conduite de la Préfecture de SHIZUOKA

Matériau de conduite	Coefficient de matériau de conduite	Coefficient de diamètre de conduite	
Acier (taraudé)	5,0	< 100 mm	1,3
		100 mm ≤	0,75
Acier (soudé)	0,1		1,0
Fonte d'acier	1,0	< 400 mm	1,5
		400 – 1 000mm	0,3
		1 000 mm ≤	0,15
Fonte d'acier ductile	0,25	< 500 mm	1,3
		500 – 1 000mm	0,3
		1 000 mm ≤	0,15
Amiante ciment	3,0	< 100 mm	2,3
		125 – 250mm	0,9
		300 mm ≤	0,4
PVC	1,5	< 100 mm	1,1
		100 mm ≤	0,9

Tableau 4-27 Coefficient de correction lié aux matériaux et diamètres de conduite appliqué à la Préfecture de MIE

		Diamètre de conduite			
		75 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Type de conduite	Moyenne pression	0,03	0,03	0,03	0,03
	Basse pression principale	0,5	0,5	0,2	0,2
	Basse pression secondaire	1,0	1,0	1,0	1,0

Tableau 4-28 Coefficient de correction lié au matériau de conduite appliqué aux collectivités locales: Gaz à moyenne pression

Matériau de conduite	MIYAGI	KANAGAWA	AKITA SAITAMA NAGANO MIYAZAKI	FUKUI	NIIGATA	TOKYO 97 KAWASAKI	HIROSHIMA	FUKUOKA
Acier taraudé	-		1,0	1,4	0,50	0,01	1,00	-
Acier soudé		0,05			0,025	0,01	0,00	0,01
Acier équipé de robinetterie	-		0,1	0,125	0,05	0,01	-	0,01
Acier SGM			-			0,01	0,055	-
Fonte d'acier équipé de robinetterie	1,0		0,1		0,05	0,02	0,029	0,13
Fonte d'acier destiné au gaz			-			0,02	0,087	0,30
Fonte d'acier destiné à l'eau	-		0,5		0,25	0,02	-	0,30
Fonte d'acier ductile	-		0,1	-	0,05	0,02		-
Fonte d'acier à raccord			-			0,02	0,391	-
Polyéthylène	-		0,05	0,1	0,00		-	
PVC	-		0,75	-	0,375		-	
Amiante ciment			2,0	-	1,00		-	
Inconnu et autre	-	0,1	0,5	-	0,05		-	

Tableau 4-29 Coefficient de correction lié au matériau de conduite appliqué aux collectivités locales: Gaz à basse pression

Matériau de conduite	MIYAGI	KANAGAWA	AKITA SAITAMA NAGANO MIYAZAKI	SENDAI (Ville)	FUKUI
Acier soudé			0,1		0,2
Acier équipé de robinetterie		0,15		0,2	0,25
Acier SGM			-		
Acier taraudé		2,0		1,0	2,8
Fonte d'acier équipé de robinetterie		0,2		-	0,3
Fonte d'acier destiné à l'eau		1,0		-	1,0
Fonte d'acier ductile	-			0,2	-
Polyéthylène		0,1		0,01	0,2
PVC	-		1,5		-
Amiante ciment	-		4,0		-
Fonte d'acier destiné au gaz			-		
Fonte d'acier à pince de raccordement				0,6	-
Inconnu ou autre	-	0,2 / 1,5 *	1,0		-
Matériau de conduite	AOMORI	FUKUOKA	TOKYO 97 KAWASAKI (Ville)	NIIGATA	HIROSHIMA
Acier soudé	0,1	0,12	0,02	0,05	0,00
Acier équipé de robinetterie	-	0,07	0,02	0,10	-
Acier SGM			-		0,055
Acier taraudé	0,5			1,0	
Fonte d'acier équipée de robinetterie	-	0,33	-	0,10	0,029
Fonte d'acier destiné à l'eau	1,0	0,74	-	0,50	-
Fonte d'acier ductile	0,2	-	0,05 / 0,02 **	0,10	-
Polyéthylène	-	0,12		0,00	-
PVC	1,5	3,2	0,70	0,75	-
Amiante ciment	4,0	1,0	-	2,00	-
Fonte d'acier destiné à gaz	-	0,50	0,23	-	0,087
Fonte d'acier à pince de raccordement			0,46	-	0,391
Inconnu ou autre				1,00	-

Remarques: *: Canalisation principale de gaz à basse pression = 0,2, canalisation secondaire de gaz à basse pression = 1,5

**: Fonte d'acier ductile destiné au gaz = 0,05, fonte d'acier équipé de robinetterie = 0,02

[Commentaire]

La canalisation de gaz à basse pression fait partie des équipements cibles pour l'estimation de dommage du système d'alimentation en gaz. Elle est pourtant exclue de la présente étude puisque la Sonelgaz est en train de la remplacer par celle à moyenne pression dans la Wilaya d'Alger.

Les équipements à basse pression concernés comme régulateurs de pression, etc. sont installés près de maisons d'habitation et de bâtiments. Il convient donc d'estimer son dommage en comparaison avec le dommage au bâtiment.

Voici quelques points d'intérêt pour l'estimation de dommage.

(1) Rapport de dommage standard

Telles que susmentionnées, il existe trois manières de déterminer un rapport de dommage standard.

En ce qui concerne le réseau AEP, une étude récente rapporte que le dommage causé par un séisme présente une corrélation avec la vitesse de pic au sol plus cohérente que l'accélération de pic au sol quand il s'agit d'équipements linéaires tels que la canalisation. Il est aussi rapporté que la valeur SI présente une forte corrélation avec la quantité de dommages. Il est présumé qu'un rapport de dommage standard obtenu par la vitesse de pic au sol ou par la valeur SI sera appliqué de manière plus fréquente dans un futur proche.

De plus, le rapport de dommage standard déterminé par l'accélération de pic au sol est appliqué aux nombreuses collectivités locales au Japon, ce qui permet donc à l'heure actuelle de comparer et discuter plus facilement les convenances dans la situation actuelle.

La présente étude a appliqué le rapport de dommage standard déterminé par l'accélération de pic au sol, puisque la distribution de l'accélération de pic au sol était disponible sur la carte de l'aléa.

(2) Coefficient de correction lié au type de sol relevant du potentiel de liquéfaction

Dans la présente étude, une valeur modérée par rapports aux autres valeurs susmentionnées a été utilisé dans la détermination du rapport de dommage standard en utilisant l'accélération de pic au sol, puisqu'il n'a pas été possible d'obtenir d'informations suffisamment pour la détermination d'une valeur plus fiable comme le cas de réseau AEP.

(3) Coefficient de correction lié aux matériaux et diamètres de conduite

Dans la présente étude, une valeur modérée par rapports aux autres valeurs susmentionnées a été utilisé dans la détermination du rapport de dommage standard en utilisant l'accélération de pic au sol, puisqu'il n'a pas été possible d'obtenir d'informations suffisamment pour la détermination d'une valeur plus fiable comme le cas de réseau AEP.

4-3-5 Télécommunications

Le système de télécommunications porte sur les équipements suivants :

- (1) Central téléphonique : connexion et commutation des télécommunications (postes de standard, postes de relais, postes émetteurs récepteurs, câbles à fibres optiques, etc.)
- (2) Câbles de réseau y compris leurs supports: connexion entre le central et un abonné tel que le ménage, le bureau ou autre (poteaux électriques, câbles aériens, câbles souterrains, etc.)

On rapporte que, parmi lesdits équipements, les câbles de réseau et les poteaux électriques ont subi d'énormes dommages occasionnés par les séismes passés, alors que le central téléphonique a été généralement épargné avec moins de dégâts puisqu'il est conforme aux règles parasismiques. Donc, les câbles de réseau et les poteaux électriques sont estimés pour l'évaluation des dommages au système de télécommunication comme le cas du système d'alimentation en électricité.

La méthode d'estimation de dommage des câbles de télécommunication et des poteaux est généralement celle utilisée en cas de câbles et de poteaux d'alimentation en électricité (voir la section 4.3.3).

[Commentaire]

Ces dernières années, la propagation rapide du réseau de téléphone mobile et d'Internet entraîne plus fréquemment qu'avant de différents types de dommages sismiques (antennes de téléphones mobiles effondrées, etc.). Le développement des domaines d'information et de communication favorise les activités d'évacuation et de secours en cas de séisme, en même temps que leurs dommages entraînent des confusions ultérieures à cause d'encombrement de réseau, etc. Telle que susmentionnée, l'amélioration de la capacité parasismique du système de télécommunications se progresse. Cependant, la méthode d'estimation de dommage devra être mise à jour et développée.

5. Calcul de dommage

Le calcul de dommage utilisant une fonction de vulnérabilité telle que décrite dans le Chapitre 4 nécessite la distribution du mouvement sismique utilisé dans la fonction de vulnérabilité, à savoir, l'accélération et/ou l'intensité sismique ainsi que la distribution des bâtiments, infrastructures et réseaux vitaux (eau, assainissement, électricité). Par exemple, à Alger, les bâtiments ont été classifiés en huit types sur la base des structures et des règles parasismiques. Il est donc nécessaire un nombre de bâtiments de chaque maille de 250 m par chacune de ces huit classes de bâtiments.

Le dommage de chaque maille de 250 m est calculé par multiplication de la fonction de vulnérabilité par l'inventaire. Le résultat peut être ajouté aux unités administratives de telle sorte qu'il soit plus facile à comprendre.