

(B) (Option-1) Adoption du système d'isolement au sous-sol et au 1^{er} niveau

Les isolateurs parasismiques à amortisseurs sont à pourvoir le sous-sol et le 1^{er} niveau du côté chassée d'environ 60 cm à 70 cm d'espacement seulement autour de la fosse souterraine en prévision du mouvement du bâtiment en cas de grand séisme. Vu que les poteaux du côté chassée n'ont aucun espace supplémentaire au niveau du sol, les isolateurs des poteaux du côté chassée seront posés sur la partie supérieure des poteaux du 1^{er} niveau comme le montrent les Figure 10-17 et 10-18.

Même si le système d'isolement de base est adopté à toute la superstructure, la nécessité de renforcement à chaque niveau doit être vérifiée afin d'assurer la sûreté du bâtiment. Selon l'évaluation de l'équipe d'étude, la part du 1^{er} au 2^e niveau du bâtiment seule peut nécessiter quelques renforcements.

Vu que les travaux de construction incluant la pose des isolateurs parasismiques est très sensibles, les instructions des superviseurs spéciaux seront nécessaires.

Le coût de ces travaux de renforcement est élevé (Au Japon, environ 40 à 75% du coût de reconstruction).

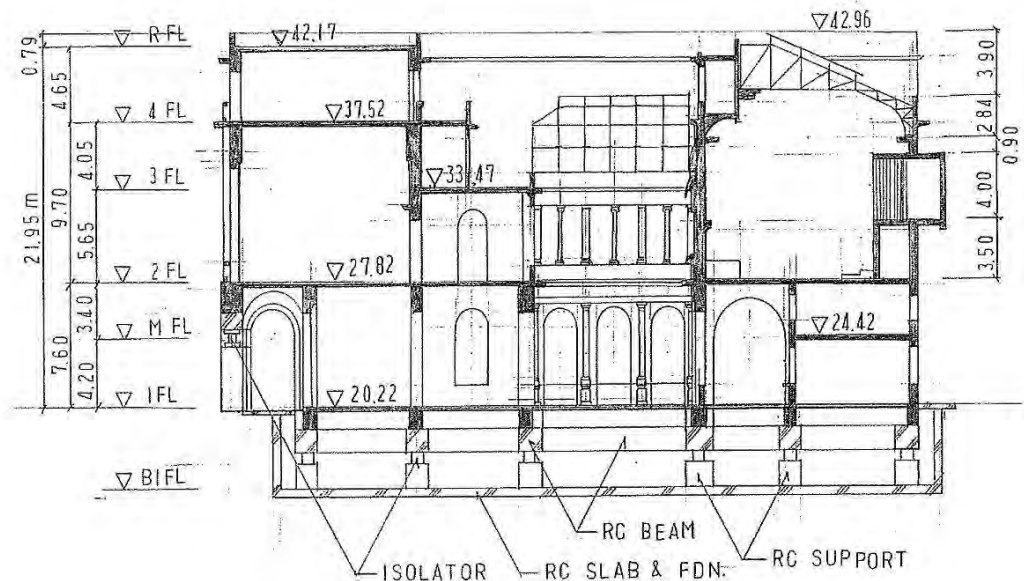


Figure 10-17 Elévation de pose des isolateurs parasismiques

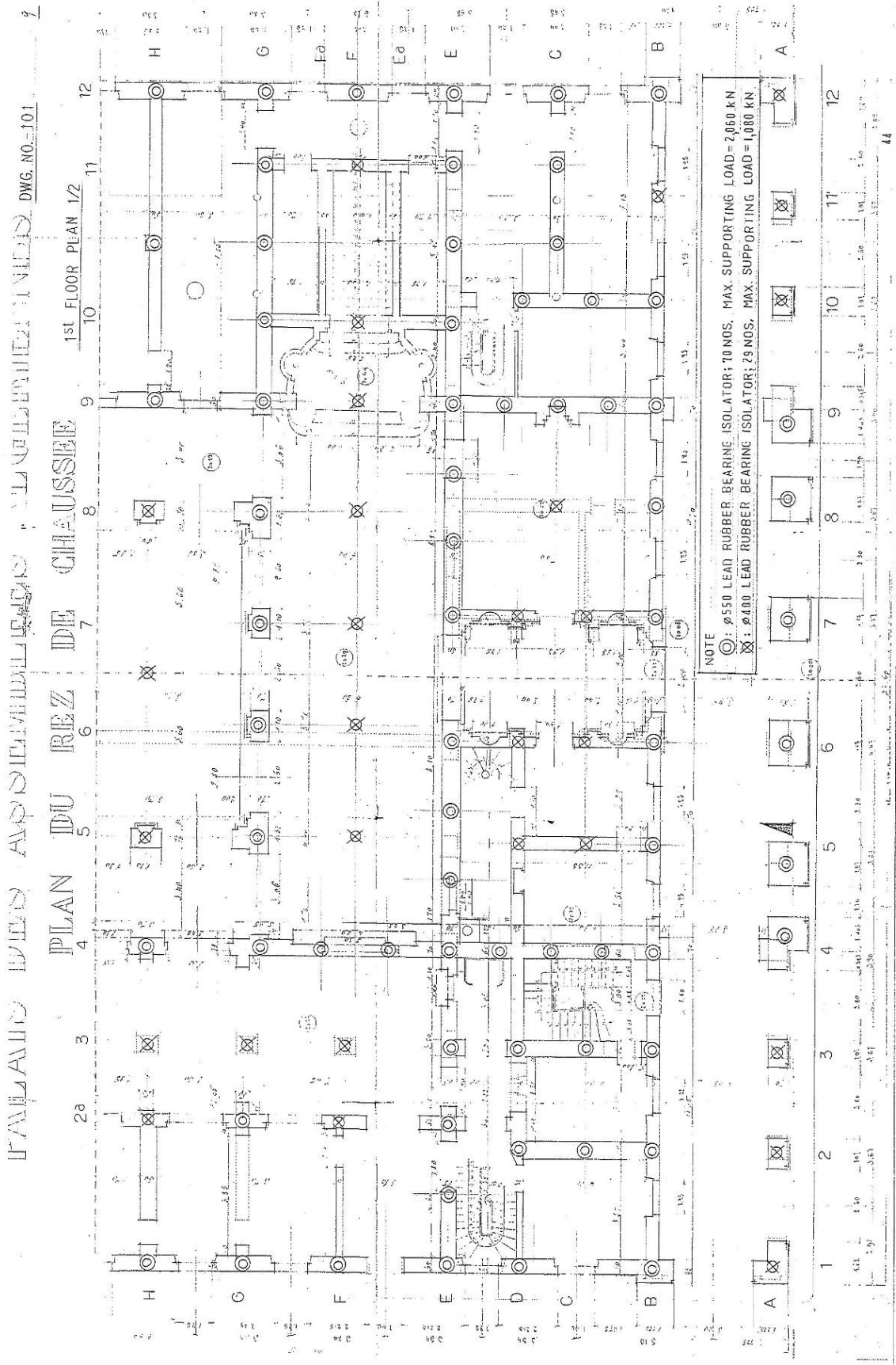


Figure 10-18 Implantation des isolateurs parasismiques (1/2)

PALAIS DES ASSEMBLÉES ALGERIENNES DWG. NO. -102

10

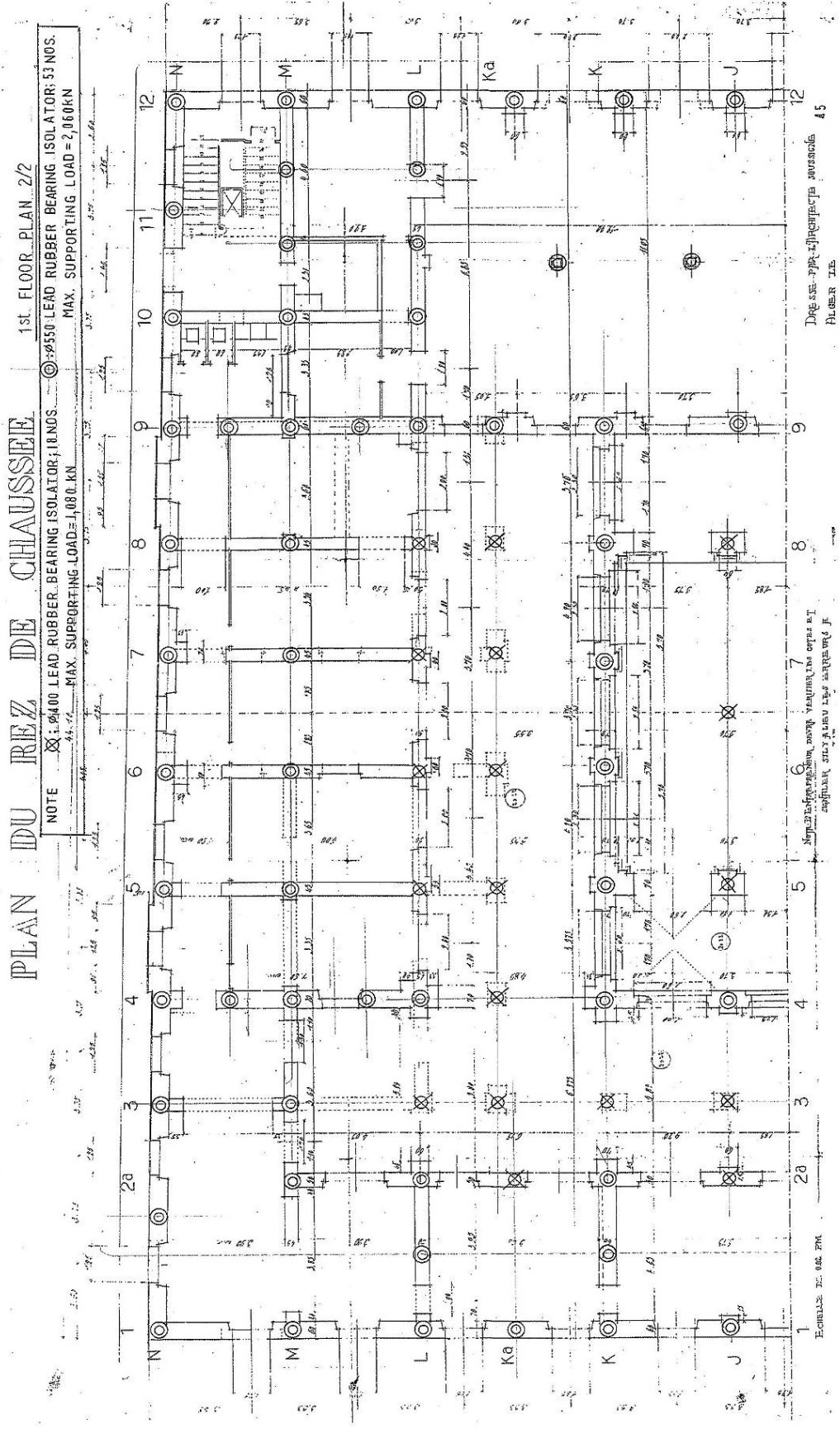


Figure 10-18 Implantation des isolateurs parasismiques (2/2)

(C) (Option-2) Adoption de mur de cisaillement en BA plus application de la méthode d'injection de mortier liquide dans les murs porteurs existants

Cette méthode est appliquée s'il y a des cavités à l'intérieur des murs porteurs dus aux anciennes méthodes de construction des murs en maçonnerie. La méthode ancienne consiste à pourvoir des matériaux de joint (chaud ou mortier calcaire) les parties extérieures des deux côtés des murs porteurs et non les parties intérieures des murs porteurs plus épais. Par conséquent, les anciens murs porteurs épais peuvent avoir des cavités intérieures. Si l'on arrivait à savoir dans le travail d'entretien qu'il n'y a pas de cavité à l'intérieur des murs porteurs, cette méthode ne serait pas appliquée.

Le mortier liquide d'injection est refoulé dans toutes les cavités intérieures des murs porteurs en utilisant une pompe à haute pression. La procédure d'injection de mortier liquide est montrée aux Figure 10-9 et 10-10.

La résistance à la compression du mortier liquide doit être supérieure à 25 N/mm². La résistance effective au cisaillement de calcul est supposée à 25 N/mm² / 20 = 1.25 N/mm². Pendant le travail d'injection de mortier liquide, le rapport du volume du mortier liquide injecté par volume du mur porteur sera vérifié par chaque mur porteur tous les 3 à 5 m² de la surface verticale.

Si, pendant ladite vérification du volume du mortier liquide injecté, le rapport du volume du mortier injecté se trouve inférieur à 10% du volume du mur porteur, le travail d'injection sera suspendu et le constructeur en informera à l'ingénieur. Dans ce cas, la méthode d'injection de mortier liquide dans le mur concerné n'est pas viable.

Si le rapport du volume du mortier injecté est supérieur à 35% du volume du mur porteur, le travail d'injection sera suspendu et le constructeur et l'ingénieur vérifieront la fuite de mortier et pour une fuite vérifiée sera prise les mesures efficaces afin d'éliminer toute fuite du matériau et si la fuite est découverte, il sera pris les mesures efficaces pour la supprimer. Si la méthode d'injection de mortier liquide est viable pour les bâtiments du SENAT, le coût de ces travaux de renforcement est quasi raisonnable (Au Japon, environ 20% à 40% du coût de reconstruction)

(D) (Option-3) Adoption de la méthode d'injection de mortier liquide dans les murs porteurs existants

Cette méthode est appliquée s'il y a des cavités comme le cas de l'Option-2. S'il a déjà été déterminé qu'il n'y avait aucune cavité à l'intérieur des murs porteurs pendant les travaux de réparation, cette méthode n'est pas viable.

La méthode d'injection de mortier liquide est adoptée au renforcement des murs porteurs existants. La procédure d'injection est montrée au Chapitre 10-3-2 (2) (C).

La résistance à la compression du mortier injecté doit être supérieure à 30 Mpa (N/mm²) en cas de murs du 1^{er} au 2^e niveau et supérieure à 25 Mpa (N/mm²) en cas de murs du 3^e au 4^e niveau.

Si la méthode d'injection de mortier est viable pour le bâtiments du SENAT, le coût de ces travaux de renforcement est quasi raisonnable (Au Japon, environ 25% à 45% du coût de reconstruction)

2) Conception du renforcement parasismique du SENAT

(A) Méthode de mur de cisaillement en béton armé (BA)

Quant au plan recommandé, il convient de se référer au Chapitre 10-3-2 (3) pour la méthode de mur de cisaillement en BA appliquée aux murs porteurs existants.

Les propriétés requises des matériaux sont les suivantes;

La résistance requise à la compression de 28 jours du béton est supérieure à 25 Mpa (N/mm²) et la résistance au cisaillement de calcul est 2,0 Mpa (N/mm²).

La résistance à la flexion des barres d'armature doit être supérieure à 400 Mpa (N/mm²).

La capacité totale au cisaillement des murs porteurs existants a été calculée par la formule suivante :

$$V_{\text{exist.}} = \tau_0 W_a$$

Où;

$$\tau_0 = 0,056 \text{ Map (N/mm}^2\text{)}$$

W_a: Surface en coupe du mur porteur dans chaque direction
(m² = 10⁶ mm²)

L'effet de cisaillement chargé sur les murs de cisaillement en BA a été calculé par la formule suivante :

$$V_{\text{req.}} = 0.304 F W - \tau_0 W_a$$

$$\text{Req. n } W_a = 1,10 (0,304 \times 1.15 \times W - 0,056 W_a) / 2,0$$

Où;

V_{req.}: Effort de cisaillement chargé sur les murs de cisaillement

F : Facteur de sûreté = 1.15

Req. n W_a : Surface requise en coupe des nouveaux murs de cisaillement

1,10: plus une marge de 10% de calcul

La surface requise en coupe des murs de cisaillement en BA a été calculée comme le montre le Tableau 10-25.

Tableau 10-25 Surface requise en coupe des murs de cisaillement

Locaux		A = 0,304 F W (10 ⁶ N)	B = 0,056 W (10 ⁶ N)	A - B (10 ⁶ N)	Req. n Wa (m ²)	Mur de cisaillement (épais.), Longueur
Niveau	Direct.					
4e	X	11,11	6,71	4,40	2,4	(0,10m), 24 m
	Y		5,14	5,97	3,3	(0,10m), 33 m
3e	X	21,79	8,28	13,51	7,4	(0,15m), 50 m
	Y		6,71	15,08	8,3	(0,15m), 56 m
2e	X	36,10	8,93	27,17	15,0	(0,20m), 75 m
	Y		7,33	28,77	15,8	(0,20m), 79 m
Entresol	X	49,22	10,04	39,18	21,6	(0,20m), 108 m
	Y		10,74	38,48	21,2	(0,20m), 106 m
1er	X	62,04	10,47	51,57	28,4	(0,20m), 142 m
	Y		11,39	50,65	27,9	(0,20m), 140 m

(B) Système d'isolement de base (se référer à (A) B))

Pour le plan recommandé, il convient de se référer au Chapitre 10-3-2 (1) (B) pour le système d'isolement de base.

Les dispositifs d'isolement en élastique plombé de Φ 400 et Φ 550 sont recommandés et montrés au Tableau 10-26.

Tableau 10-26 Isolateurs de paliers en élastique plombé

Diamètre du dispositif		Surface en coupe (mm ²)	Charge axiale max. recommandée (kN)	Isolateur recommandé
Extérieur (mm)	Intérieur (mm)			
400	150	1,080	1,080	;
450	150	1,414	1,410	
500	150	1,787	1,780	
550	200	2,061	2,060	;
600	200	2,513	2,510	
700	200	3,534	3,530	

Note: La charge axiale maximum recommandée sur le dispositif est supposée sur la base de 1,0 kN/mm² de compression sur l'élastique.

La charge calculée à supporter par les isolateurs et le nombre d'isolateurs requis sont montrés au Tableau 10-27.

Tableau 10-27 Charges calculées à supporter par isolateur et isolateur conceptuel

Locaux	Poids de la superstructure (kN)	Poids du mur souterrain (kN)	Poids des dalles du 1er plus charge mobile (kN)	Poids des nouvelles poutres en BA (kN)	Charge totale (kN)	Isolateur (Dia., Nos.)
Bâtiment SENATE	177 455	32 000	14 000	20 000	243 455	Φ 550: 127 Nos., Φ 400: 47 Nos.

Note: Le poids des dalles du 1er niveau plus la charge mobile (0.50 kN/m²) pour le calcul parasismique est supposé à 11,0 kN/m².
Le poids des nouvelles poutres en BA qui supportent les murs porteurs est supposé à 10,0 kN/m².

10-3-3 Bâtiment en BA

Comme l'indique le Chapitre 9-1-2, plus de la moitié des bâtiments existants de la zone d'étude de la Wilaya d'Alger sont du type de structure à portique en béton armé. Ce système à portique est une structure dominante existante. L'évaluation sismique et le renforcement sont recommandés à ces bâtiments à portique en béton armé existants dans le but de la réduction des dommages occasionnés par le risque sismique.

(1) Méthodologie de renforcement parasismique des bâtiments en béton armé existants

La conception de renforcement parasismique des bâtiments en béton armé existants relève de :

Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001 and Technical Manual for Seismic Evaluation and Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001(English version, 1st edition), The Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, Japan / Association japonaise de la prévention des catastrophes des bâtiments, Tokyo, Japon. --- Référence 1

La planification et la conception du renforcement parasismique des bâtiments en béton armé existants concernent trois bâtiments qui sont une maison d'habitation, une école et un hôpital. Le deuxième niveau de la procédure de dépistage sismique a été appliqué, le même niveau que l'évaluation sismique avant renforcement. Le résultat de l'évaluation desdits trois ouvrages avant renforcement est montré au Chapitre 9-1-2.

(2) Cibles du renforcement

Les indices de demande sismique, I_{so} , et $C_T S_D$ ont été évalués comme cibles du renforcement sur la base des enquêtes des dommages sismiques et de l'intensité sismique estimée relevant des séismes de scénario comme le montre l'annexe 1. Ils ont été étalonnés par référence aux règles parasismiques algériennes pour se conformer à la capacité sismique requise comme suit :

1) Résistance et ductilité des règles parasismiques en vigueur RPA99 ver. 2003

La charge sismique de calcul est conçue par la formule suivante :

$$V = (ADQ/R) * W$$

A : Coefficient d'accélération de la zone (Zone III, Alger),

0,25 pour le groupe 2 (Importance modérée)

0,40 pour le group 1A (Importance vitale) 0,4/0,25 = 1,6

D: Facteur d'amplification dynamique, max. 2,5 où $0 < T < 0,5$ sec. (S3)

$D = 2,5 \times \sqrt{7/(2+7)} = 2,2$, en cas de structure BA typique

R: Facteur de comportement structurel, en cas de structure à portique BA typique,
R = 3,5 étant appliqué,

Q: Facteur de qualité, Q = 1,15 pour le cas typique

Le coefficient de cisaillement de base de calcul pour une structure à portique en BA est calculé comme suit :

$$D.B.S.C = V/W = 0,25 \times 2,2 \times 1,15/3,5 = 0,181, \text{ ou } = 0,157 \text{ en cas de } Q = 1,0.$$

Indice d'effort, C, estimé à 0,20 ou plus.

2) Indice de demande sismique, Iso

L'indice de demande sismique, Iso, est montré par la formule suivante :

$$Iso = Es Z G U$$

Es: Indice parasismique de base de la structure, **0,6** pour les deuxième et troisième niveaux de dépistage du standard japonais

Z: Indice de zone, Z = 1,0 typique (1,0, 0,9, 0,8, 0,7)

G: Indice de sol, G = 1,0 typique (1,0, 1,25)

U: Indice d'usage, U = 1,0 typique (1,0, 1,25, 1,50)

L'indice parasismique de la structure, Is, est exprimé par :

$$Is = EoS_D T = CFS_D T = CF \times 0,9 \text{ (où } S_D T = 0,9)$$

Si l'indice d'effort minimum supposé par RPA99ver.2003 est appliqué,

$$C = 0,20 \text{ (Indice d'effort), et } F \text{ supposé } = R = 3,5,$$

$$Is = 0,20 \times 3,5 \times 0,9 = 0,63 > 0,60$$

$$\text{ou } 0,157 \times 3,5 \times 1,0 = 0,55 \text{ (où } Q = 1,0 \text{ et } S_D T = 1,0)$$

Selon ladite estimation et les données montrées en annexe 1, la formule suivante est recommandée pour l'indice de demande sismique de la structure, Iso, pour les bâtiments à Alger :

$$Iso = (0,50 \sim 0,60) U \text{ (où } Z=G=1,0)$$

Une rangée de 0,50 à 0,60 est recommandée. L'indice de demande minimum est de 0,50, pourtant, 0,6 est une valeur désirable comme indice de demande. Cette rangée sera réduite après la revue des études de cas de futur renforcement.

Si l'indice d'usage est appliqué, Iso est comme suit :

$$Iso = 0,625 \text{ à } 0,75 \text{ (} U = 1,25)$$

$$Iso = 0,75 \text{ à } 0,90 \text{ (} U = 1,50)$$

3) Produit de l'indice d'effort cumulatif et l'indice d'irrégularité, $C_T S_D$

Le produit de l'indice d'effort cumulatif et de l'indice d'irrégularité, $C_T S_D$ est une autre condition d'estimation de la « sûreté » d'un bâtiment et appliqués aux bâtiments dominés par la structure ductile en général. Une valeur de 0,30 est appliquée dans le standard japonais comme suit :

$$C_T S_D \geq 0,30 ZGU = 0,30 U \text{ (où } Z = G = 1,0)$$

C_T : Indice d'effort cumulatif à la déformation ultime de la structure

S_D : Indice d'irrégularité

Z: Indice de zone, G: Indice de sol

Une rangée de 0,20 à 0,30 est recommandée pour les bâtiments en BA à Alger.

$$C_T S_D \geq (0,20 \sim 0,30) U \text{ (où } Z = G = 1,0)$$

L'indice de demande minimum est de 0,20, pourtant, 0,30 est une valeur désirable comme indice de demande. Cette rangée sera réduite après la future revue des études de cas de la résistance de calcul de bâtiment conformément aux RPA99 ver. 2003.

Si Z et G sont tous les deux de 1,0, et l'indice d'usage U est appliqué, $C_T S_D$ s'exprime comme suit :

$$C_T S_D \geq 0,25 \text{ à } 0,375 \text{ où } U = 1,25$$

$$C_T S_D \geq 0,30 \text{ à } 0,45 \text{ où } U = 1,50$$

(3) Plan de calcul de base du renforcement parasismique

Un plan de calcul de base de renforcement des trois bâtiments suivants est montré dans la présente section :

- Une maison d'habitation à cinq niveaux conçue selon les RPA88;
- Une école élémentaire à deux niveaux conçue selon les RPA ;
- Centre de cancérologie Pierre et Marie Curie, Hôpital Mustapha, conçu selon les RPA83.

Cet hôpital est désigné en tant que bâtiment d'importance stratégique.

Le résultat de l'évaluation sismique desdits bâtiments avant renforcement est montré au Chapitre 9-1-2. Ils ont été évalués « peu sûres ».

1) Maison d'habitation à cinq niveaux

(A) Généralités

Ce bâtiment est une maison d'habitation typique de structure à portique en béton armé. Sa conception est basée sur les RPA88. Les matériaux utilisés, les conditions de chargement et le résultat de l'évaluation sismique avant renforcement sont décrits dans le Chapitre 9-1-2 (1). Il est noté que l'indice de ductilité de certains poteaux n'est pas approprié à cause de l'effort axial élevé au 1^{er} niveau. L'effondrement de ces poteaux provoquerait la destruction du bâtiment.

(B) Plan de calcul de base de renforcement

Une idée de renforcement utilisant le chemisage des poteaux n'a pas été adoptée en considération qu'il y aurait un grand impact sur les travaux de finition existants près de poteaux et que le renforcement continu des poteaux du 1^{er} au 4^e niveaux serait difficile. Une autre méthode qui prévoit des murs en BA a été appliquée à la place. C'est une méthode de renforcement typique qui permet d'augmenter la

résistance. Les murs en BA ont été pourvus du 1^{er} niveau au 4^e niveau en directions X et Y comme le montrent les Figure 10-21 et 10-22. Ils sont les murs d'inflexion avec l'indice de ductilité de 2,0. Pour réduire les travaux internes de la maison, les murs en direction Y ont été pourvus aux mailles 1 et 7. Il n'y avait aucune position appropriée pour les murs en BA dans le périmètre en direction X à cause des ouvertures nécessaires. Les murs en BA ont été pourvus à la maille C. Dans ce cas, les portes existantes devaient être déplacées comme suit. Les matériaux adoptés au renforcement sont les suivants :

- Barre d'armature principal $\sigma_y = 400 \text{ N/mm}^2$ ($400 \times 1,05=420$, 5 % de tolérance estimée pour le renforcement)
- Cercle $\sigma_y = 230 \text{ N/mm}^2$ ($230 \times 1,05=240$, 5 % de tolérance estimée pour le renforcement)
- Résistance du béton = 25 N/mm^2 (résistance de calcul original)

(C) Cibles de renforcement

L'indice d'usage = 1,0 est appliqué. L'indice de demande sismique $I_{so} = 0,50$, $C_T S_D = 0,20$ est appliqué. Ce sont les exigences minima de renforcement.

(D) Résultat du renforcement parasismique

L'indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement sont montrés au Tableau 10-28 et à la Figure 10-19. La relation de l'indice de ductilité avec l'indice d'effort au 1^{er} niveau est montrée à la Figure 10-20. Les détails typiques du renforcement des murs en béton armé sont montrés à la Figure 10-23.

Le résultat en est résumé comme suit :

- I_s du 1er, 2e, 3e et 4e niveau a augmenté jusqu'à 0,50 ou plus ;
- $C_T S_D$ du 2e, 3e et 4e niveau a augmenté jusqu'à 0,20 ou plus;
- I_s et $C_T S_D$ du 5e niveau a diminué à cause de S_D inférieur mais les valeurs étaient encore supérieures à celles requises.

Tableau 10-28 Indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement

Niveau	Après renforcement				Avant renforcement	
	Direction X		Direction Y		Directions X, Y	
	I_s	$C_T S_D$	I_s	$C_T S_D$	I_s	$C_T S_D$
5	0,82	0,26	0,82	0,26	1,02	0,32
4	0,78	0,40	0,71	0,36	0,60	0,19
3	0,58	0,34	0,59	0,30	0,47	0,16
2	0,59	0,30	0,54	0,27	0,53	0,18
1	0,51	0,26	0,52	0,26	0,40	0,18

S_D : 0,76 (5e niveau), 0,95 (1er au 4e niveau après renforcement), 0,95 (tous les niveaux avant renforcement)
 T : 0,975 étant appliqué

Il est à noter que, comme les poteaux au-dessous des nouveaux murs en BA dans ces mailles sont des poteaux courts, il était nécessaire de renforcer les poutres en rampe dans les mailles 1-B et 7-B pour les deux directions contre la charge sismique de calcul de la direction Y.

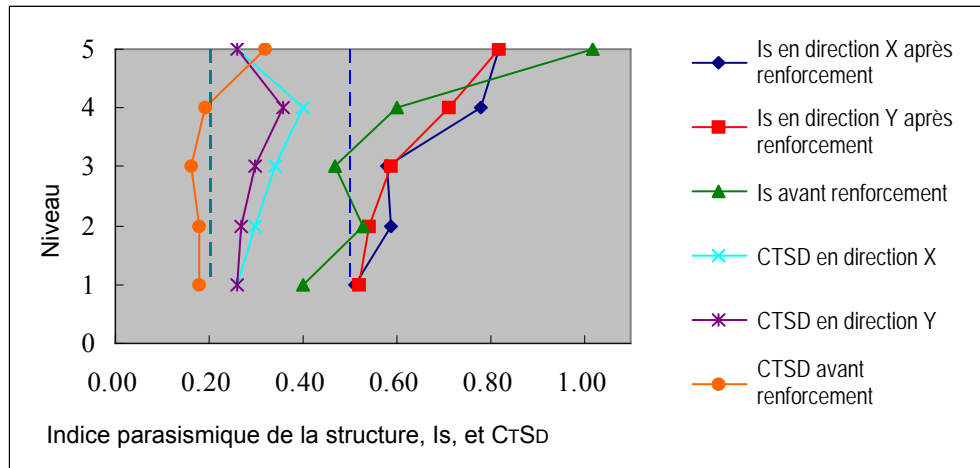


Figure 10-19 Indice parasismique de la structure, Is, et CTSD après renforcement

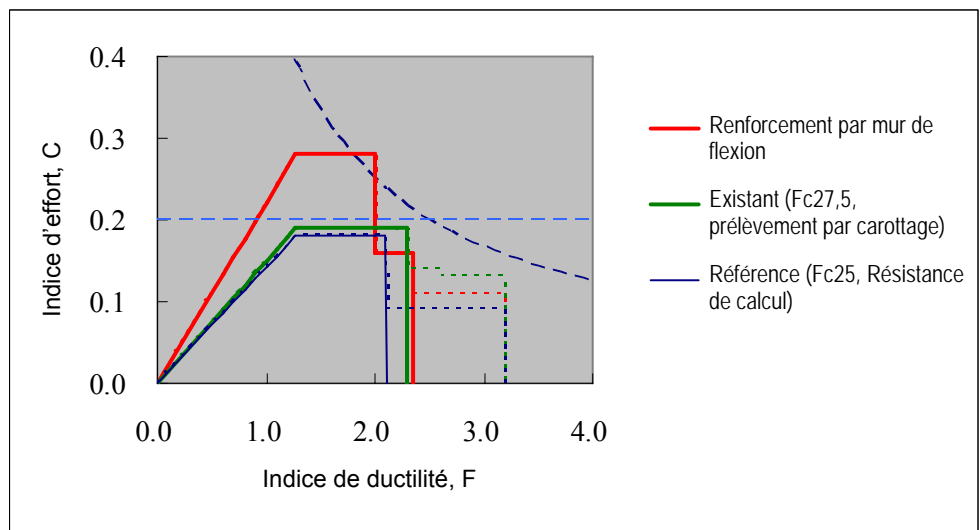


Figure 10-20 Indice de ductilité et indice d'effort en direction X du 1er niveau

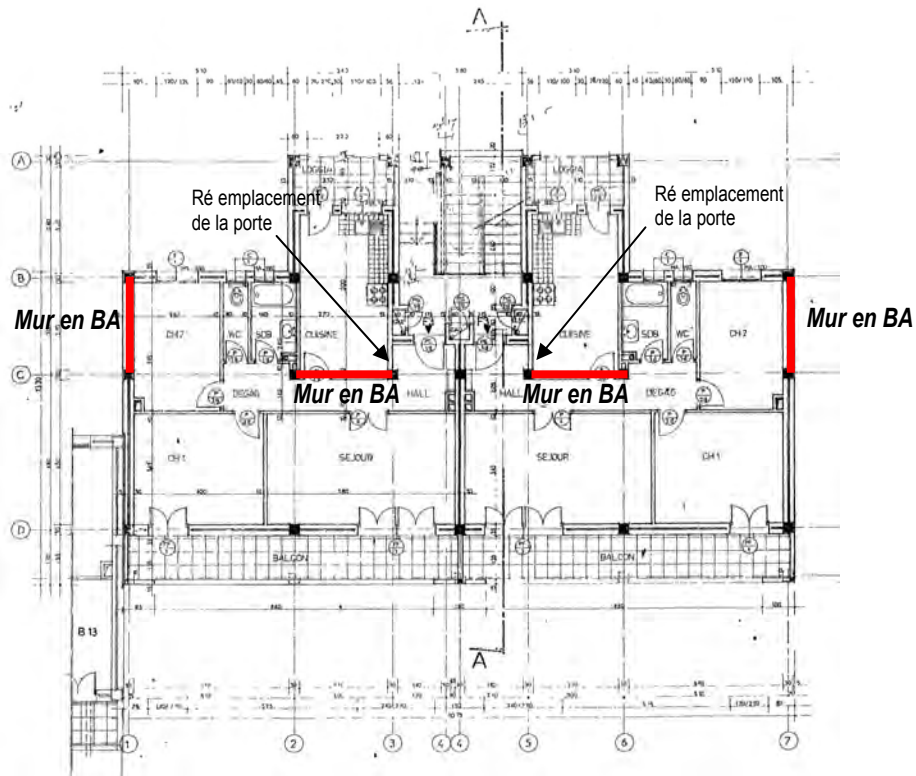
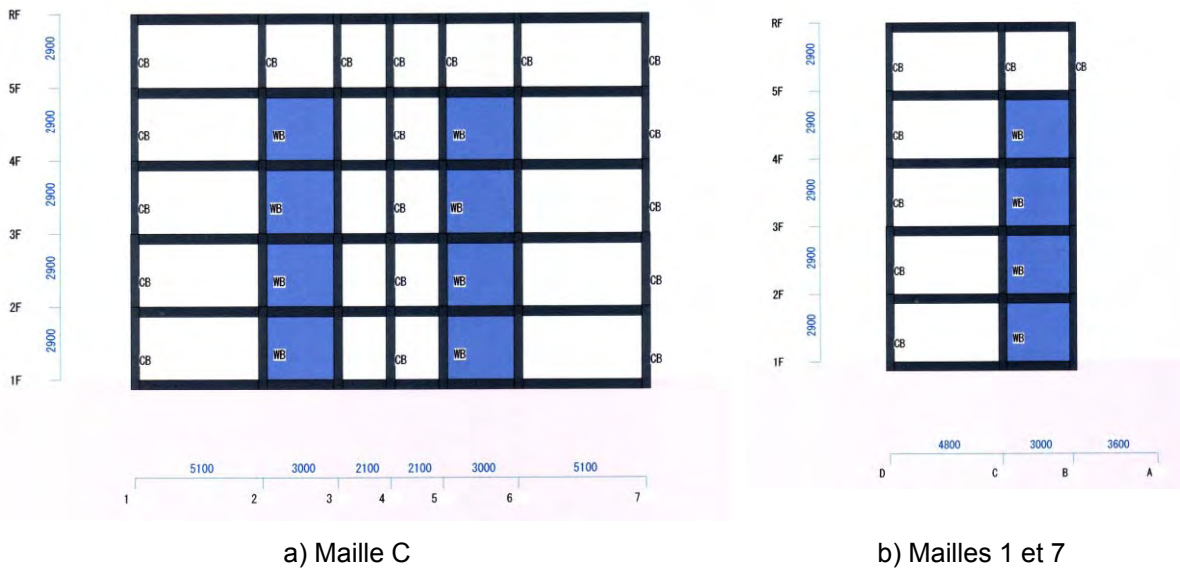


Figure 10-21 Disposition des murs en BA de renforcement du 1er au 4e niveau



a) Maille C

b) Mailles 1 et 7

Figure 10-22 Murs en béton armé de renforcement

Conception de base des murs en BA de renforcement

Épaisseur du mur; Direction X W150 mm

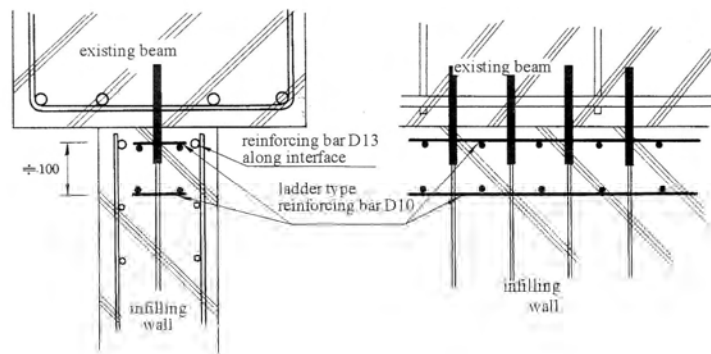
Direction Y W180 mm (1^{er} niveau), W150mm (2e niveau et plus haut)

Renforcement; W150, D10mm @200 double couche en directions verticale et horizontale

W180, D12mm @200 double couche en direction verticale

D10mm @200 double couche en direction horizontale

Ancrage chimique; D16 @200 simple (typique de W150)



(Figure 3.1.4 de la Référence 1 (Version anglaise))

Figure 10-23 Détails typiques du mur en béton armé de renforcement

2) École à deux niveaux

(A) Généralités

C'est un bâtiment scolaire typique dont la structure à portique en béton armé conçue selon les règles RPA88. Les matériaux utilisés, les conditions de chargement et le résultat de l'évaluation sismique sont montrés au Chapitre 9-1-2 (2). L'indice parasismique de la structure, I_s , en direction X est inférieur avant renforcement à cause des poteaux extrêmement fragiles et de l'excentricité causée par les murs à double couche de brique solide à la maille A.

(B) Plan et conception de base de renforcement

Un plan et une conception de base des deux (2) cas de renforcement ont été réalisés :

Cas 1; Renforcement par remplacement des murs de brique et des fenêtres pour rectifier les murs extrêmement fragiles. Ce renforcement est réalisé en utilisant seulement les éléments non structurels.

Cas 2; Renforcement en utilisant des murs de cisaillement et en aile pour également rectifier les poteaux extrêmement fragiles. L'élévation du cadre aux murs en aile de renforcement est montrée à la Figure 10-26.

Les matériaux adoptés de renforcement sont les suivants :

- Barre d'armature; D10, D12mm $\sigma = 400$ Mpa (400 N/mm², limite d'élasticité) des murs
- Béton; $f_{c28} = 20$ Mpa (20 N/mm², résistance de calcul de 28 jours)

(C) Cibles de renforcement

L'indice d'usage = 1,0 est utilisé. L'indice de demande sismique $I_{so} = 0,50$, $C_T S_D = 0,20$ est appliqué.

Ils sont une exigence minimum de renforcement.

(D) Résultat de renforcement parasismique

A) Cas 1, Renforcement par remplacement des murs de brique et en aile dans la maille A

L'indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement sont montrés au Tableau 10-29. Les poteaux à la maille A sont transformés en poteaux d'inflexion par remplacement des murs et des fenêtres et/ou en pourvoyant des fentes dans les gros murs. Il est noté que la prévision des fentes nécessitera le renforcement des gros murs contre la rupture par rotation hors plan. L'indice parasismique de la structure, I_s , est amélioré en direction X, passant de 0,36 à 0,91 au 2^e niveau, et de 0,26 à 0,73 au 1^{er} niveau. $C_{TU} S_D$ au 1er niveau en direction X est de 0,24 ce qui répond au besoins minimum mais il est recommandé d'augmenter la résistance dans l'usage pratique.

Il est à noter que l'indice de ductilité, F , est estimé sur la base d'un intervalle d'anneau de @100mm au sommet et au fond du poteau à sa partie intermédiaire, F est réduit à 2,6 de 3,2, et I_s est diminué d'environ 80% de ladite valeur en deux directions X et Y.

Tableau 10-29 Indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement

Nom de bâtiment		Année de construction		1990 (RPA88)		Date:		2006/6/17		
Niveau dépistage		2		Usage:		École		Ingénieur		
Direction	Niveau	C_T	F	Mode de rupture	E_o	S_D	T	I_s	$C_{TU} S_D$	Jugement
X	2	0.296	3.20	Flexural	0.963	1.00	0.95	0.91	0.30	OK
	1	0.240	3.20	Flexural	0.772	1.00	0.95	0.73	0.24	OK
Y	2	0.467	3.20	Flexural	1.491	1.00	0.95	1.42	0.47	OK
	1	0.391	3.20	Flexural	1.251	1.00	0.95	1.19	0.39	OK

C_{TU} à la valeur ultime de l'indice F1, $C_T = C_x (n+1)/(n+i)$,

$S_D = 1,0$, $T = 0,95$

B) Cas 2; Renforcement en utilisant des murs de cisaillement et en aile pour également rectifier les poteaux extrêmement fragiles

L'indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement sont montrés au Tableau 10-30.

Les détails typiques du mur en aile en béton armé sont montrés à la Figure 10-26.

- Direction X

Les poteaux aux murs en aile étaient efficaces parce qu'ils étaient du type d'inflexion avec l'indice de ductilité de 1,5. Un mur avec poteaux n'est pas efficace à cause de la rupture de cisaillement. L'indice parasismique de la structure, I_s , a légèrement diminué en direction X par rapport au cas 1 de renforcement en passant de 0,91 à 0,80 au 2^e niveau et de 0,73 à 0,64 au 1^{er} niveau. « $C_{TU}S_D$ » a aussi diminué en passant de 0,30 à 0,25 au 2e niveau et de 0,24 à 0,20 au 1^{er} niveau. Cette méthode de renforcement est planifiée principalement à titre d'étude seulement. Il est recommandé de rejeter les murs de cisaillement pour pourvoir plus de murs en aile pour le renforcement.

- Direction Y

L'indice parasismique de la structure, I_s , a légèrement diminué par rapport au cas 1 de renforcement en passant de 1,42 à 1,14 au 2^e niveau et de 1,19 à 0,97 au 1^{er} niveau. « $C_{TU}S_D$ » a aussi diminué de 0,47 à 0,37 au 2e niveau et de 0,39 à 0,31 au 1er niveau.

Tableau 10-30 Indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement

Nom de bâtiment		Année de construction		Date:						
Niveau dépistage		Usage:		Ingénieur						
		1990 (RPA88)		2006/6/26						
2		École								
Direction	Niveau	C_T	F	Mode de rupture	E_o	S_D	T	I_s	$C_{TU}S_D$	Jugement
X	2	0.286	1.0	Shear	0.84	1.00	0.95	0.80	0.25	OK
		0.045	1.5	Flexural						
		0.248	3.2	Flexural						
	1	0.193	1.0	Shear	0.67	1.00	0.95	0.64	0.20	OK
		0.035	1.5	Flexural						
		0.199	3.2	Flexural						
Y	2	0.152	1.5	Flexural	1.20	1.00	0.95	1.14	0.37	OK
		0.368	3.2	Flexural						
		0.125	1.5	Flexural						
	1	0.125	1.5	Flexural	1.02	1.00	0.95	0.97	0.31	OK
		0.312	3.2	Flexural						

$$C_T = C_x(n+1)/(n+i)$$

C_{TU} à la valeur ultime de l'indice F1

C) Comparaison entre les Cas 1 et 2 de renforcement

L'indice parasismique de la structure et l'indice d'effort en direction X du 1^{er} niveau avant et après renforcement sont montrés à la Figure 10-24. L'indice de ductilité et l'indice d'effort en direction X montrés à la Figure 10-25.

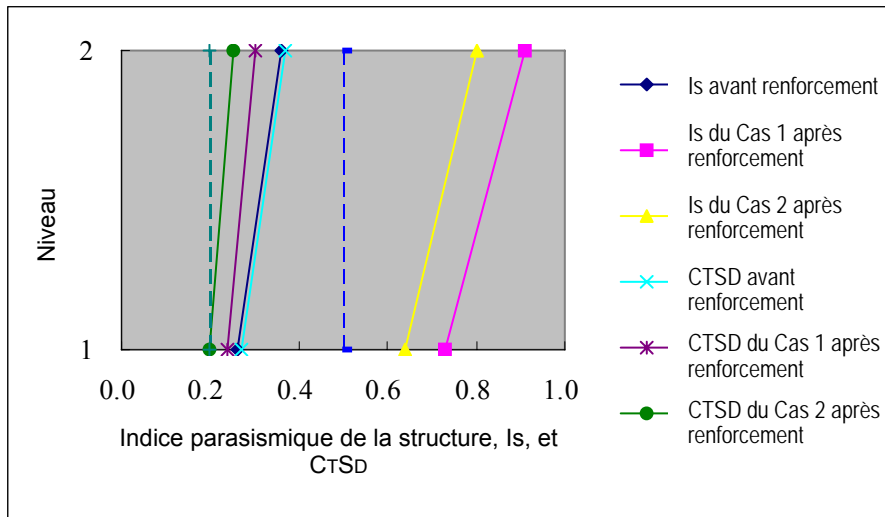


Figure 10-24 Indice parasismique de la structure et l'indice d'effort en direction X du 1er niveau

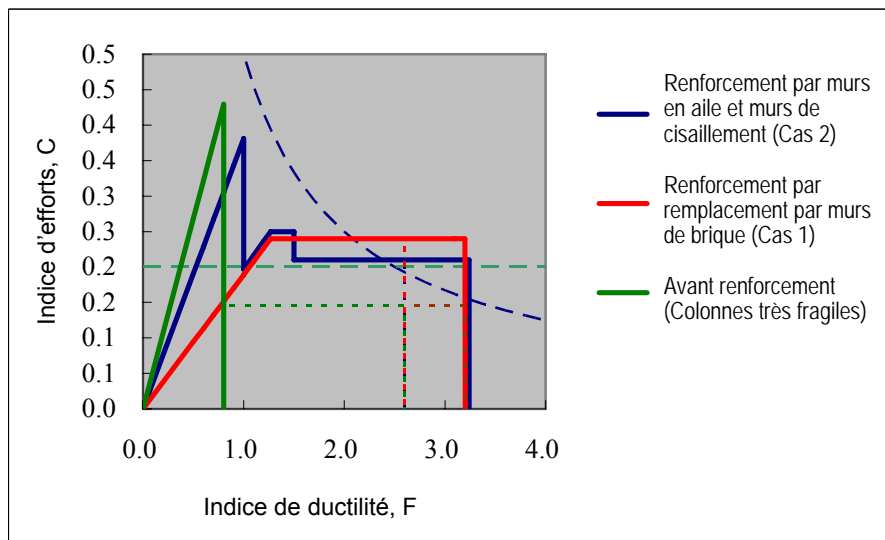
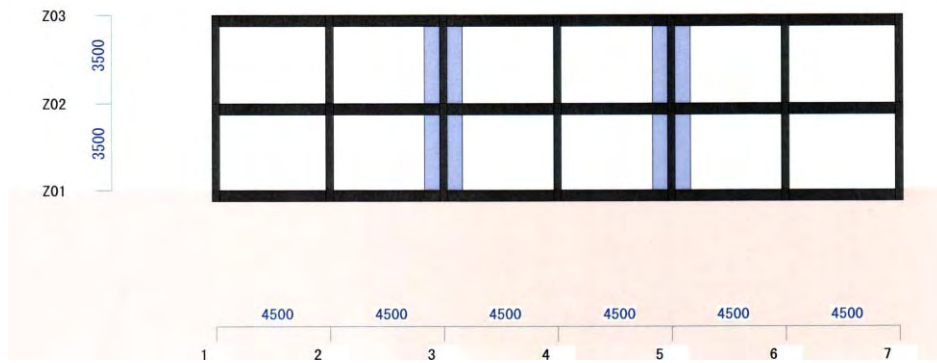
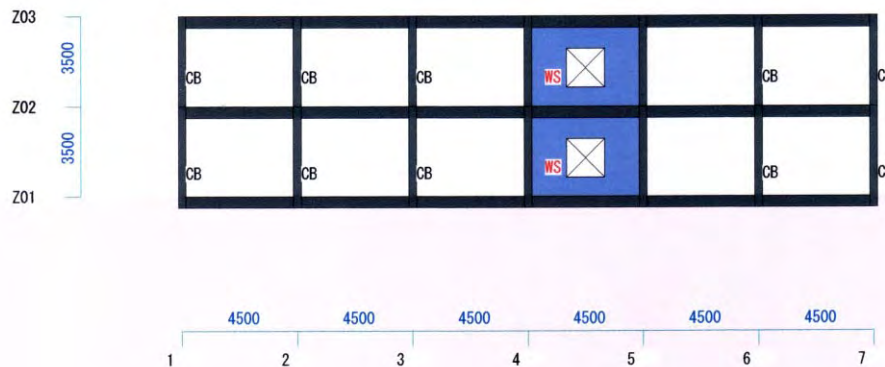


Figure 10-25 Indice de ductilité et indice d'effort en direction X du 1er niveau



a) Murs en aile (épaisseur=200mm)



b) Murs aux poteaux sur deux côtés (épaisseur=150mm)

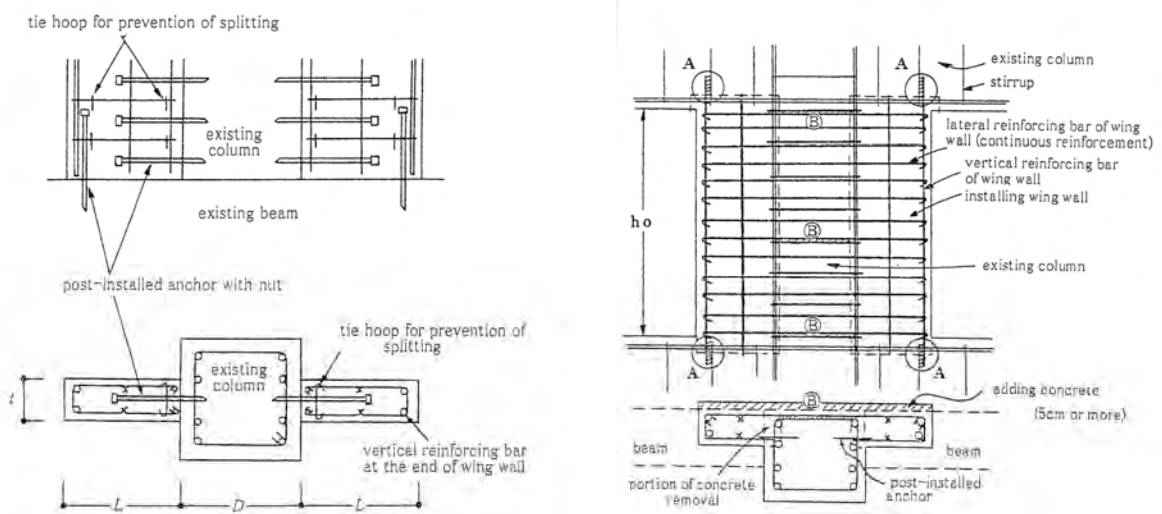
Figure 10-26 Élévation du cadre aux murs en aile de renforcement (Case 2)

Conception de base du mur en aile de renforcement

Épaisseur du mur; W200mm

Renforcement; D10mm @200 double couche
pour les directions verticale et horizontale

Ancrage chimique; D16 @200 simple (typique)



(Figure 3.2.4-1 & 3.2.4-2 de référence 1)

Figure 10-27 Détails typiques des murs en aile en béton armé

3) Centre de cancérologie Pierre et Marie Curie, Hôpital Mustapha

(A) Généralités

L'hôpital a été désigné en tant que bâtiment d'importance stratégique. Il est du type à structure à portique en béton armé conçu selon les RPA88. Il convient de se référer au Chapitre 9-1-2 (3) pour les matériaux utilisés, les conditions de chargement et le résultat d'évaluation sismique du bâtiment. Il est seulement recommandé d'augmenter en deux directions la résistance horizontale au 1^{er} niveau

(B) Plan et conception de base de renforcement

Un plan et une conception de base de chacun des trois (3) cas de renforcement au 1^{er} niveau seuls ont été réalisés. Le plan de renforcement du 1^{er} niveau selon trois (3) différentes méthodes est montré à la Figure 10-31.

Cas 1; Renforcement en pourvoyant les murs de cisaillement en directions X et Y.

Cas 2; Renforcement en pourvoyant les murs en aile en directions X et Y.

Cas 3; Renforcement en pourvoyant le chemisage des poteaux.

Matériaux adoptés au renforcement sont :

Barre d'armature; $\sigma = 400 \text{ Mpa}$ (400 N/mm^2 , limite d'élasticité) en cas de barre principale et barre de mur

$\sigma = 235 \text{ Mpa}$ pour anneau ($\varnothing 8 \text{ mm}$)

Béton; $f_{c28} = 27 \text{ Mpa}$ (27 N/mm^2 , résistance de calcul de 28 jours)

(C) Cibles de renforcement

L'indice d'usage appliqué est de 1,5. L'indice de demande sismique $I_{so} = 0,50 \times 1,5 = 0,75$, $C_T S_D = 0,20 \times 1,5 = 0,30$ est utilisé. Ces exigences sont minima en considération que l'hôpital est un bâtiment d'importance stratégique.

(D) Résultat de renforcement parasismique

A) Cas 1, Renforcement utilisant les murs en BA

L'effort horizontal des deux directions a augmenté, alors que l'indice parasismique de la structure, I_s , a diminué à cause de l'indice de ductilité de 1,0, à cause des murs de cisaillement.

B) Cas 2, Renforcement utilisant les murs en aile

L'indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement sont montrés au Tableau 10-31. $C_T S_D$ a augmenté grâce aux murs en aile, mais l'indice parasismique de la structure, I_s , a diminué à cause de l'indice de ductilité de 1,5 à cause des poteaux aux murs en aile.

Tableau 10-31 Indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement (Cas 2)

Niveau	Direction X		Direction Y	
	I_s	$C_T S_D$	I_s	$C_T S_D$
3	1,74	0,85	1,72	0,84
2	1,15	0,47	1,13	0,46
1	0,54	0,46	0,54	0,45

$S_D = 1,11$, $T = 0,95$

C) Cas 3, Renforcement utilisant le chemisage des poteaux

L'indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement sont montrés au Tableau 10-32 et à la Figure 10-28. Le détail standard du chemisage des poteaux est montré à la Figure 10-30.

$C_T S_D$ a augmenté en passant de 0,24 à 0,35.

L'indice parasismique de la structure, I_s , a augmenté de 0,72 à 1,06 en direction Y. Ceci était possible comme le chemisage des poteaux a offert un indice de ductilité de 3,2, le même indice que celui original. S_D a aussi augmenté de 1,0 à 1,1 grâce à l'augmentation de la rigidité au 1er niveau.

Tableau 10-32 Indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après renforcement (Cas 3)

Niveau	Direction X		Direction Y	
	I_s	$C_T S_D$	I_s	$C_T S_D$
3	1,74	0,85	1,72	0,84
2	1,15	0,47	1,13	0,46
1	1,07	0,35	1,06	0,35

$S_D = 1,11$, $T = 0,9$

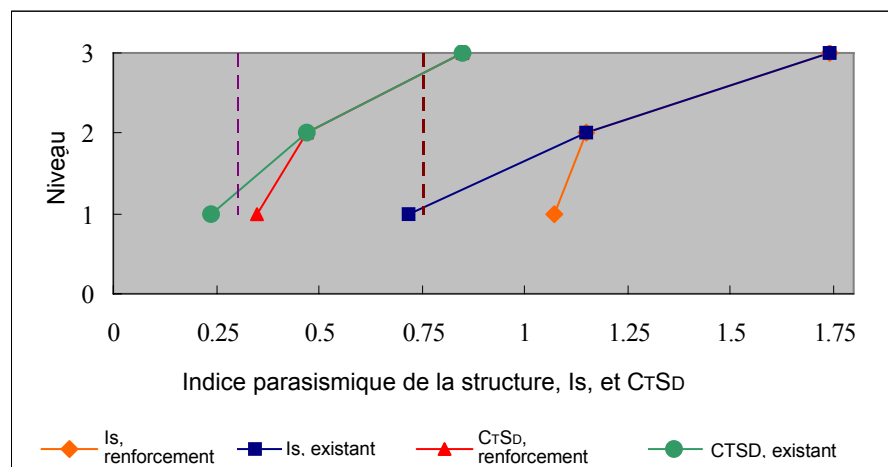


Figure 10-28 Indice parasismique de la structure, I_s , et $C_T S_D$ après le renforcement utilisant le chemisage des poteaux

D) Comparaison des méthodes de renforcement

La relation de l'indice d'effort avec l'indice de ductilité en direction X du 1^{er} niveau avant et après renforcement est montrée pour les trois cas à la Figure 10-29.

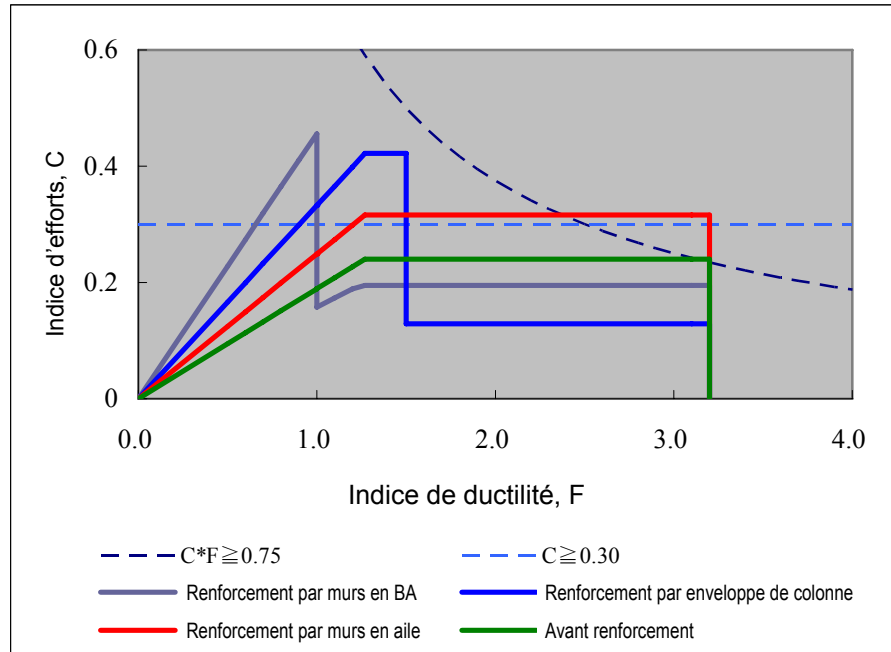
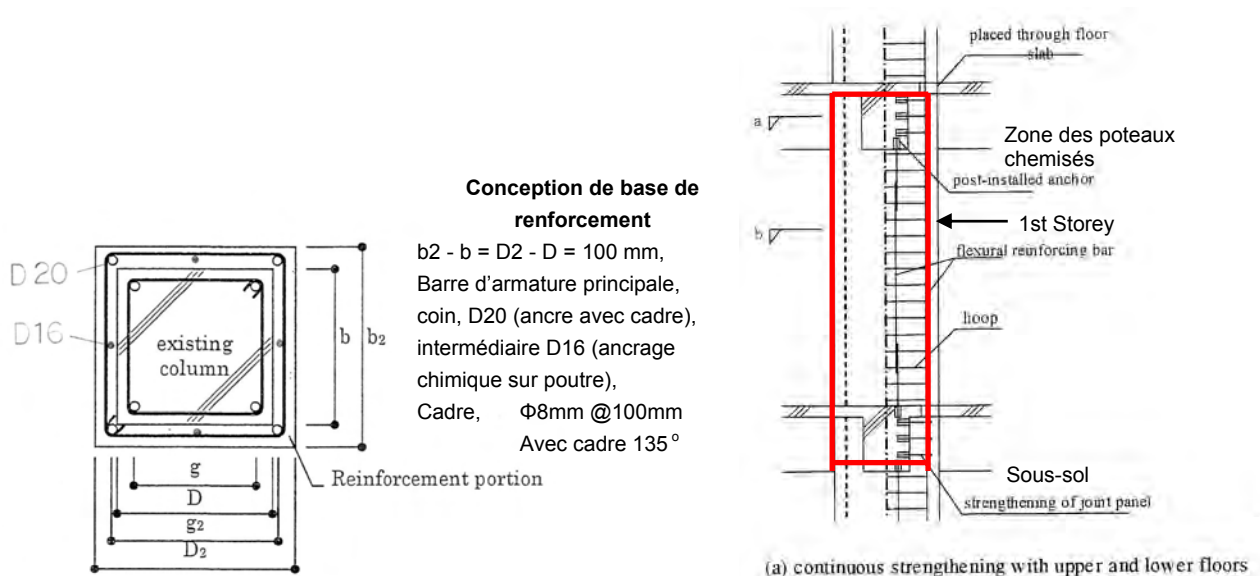
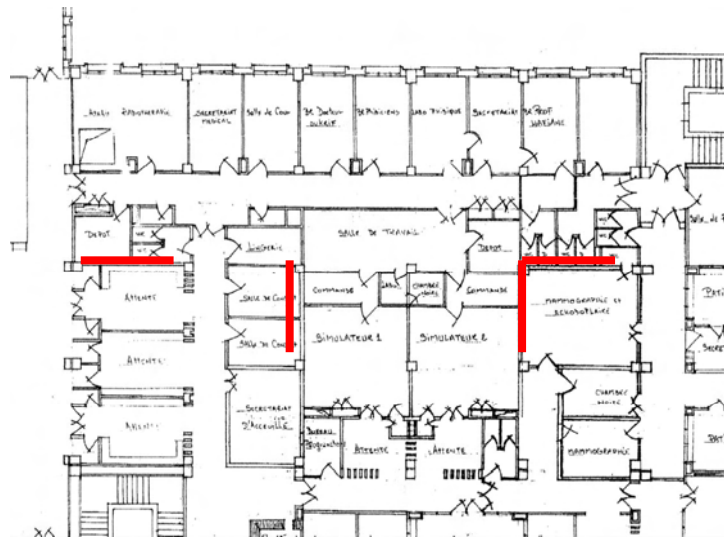


Figure 10-29 Relation de l'indice d'effort avec l'indice de ductilité en direction x du 1er niveau

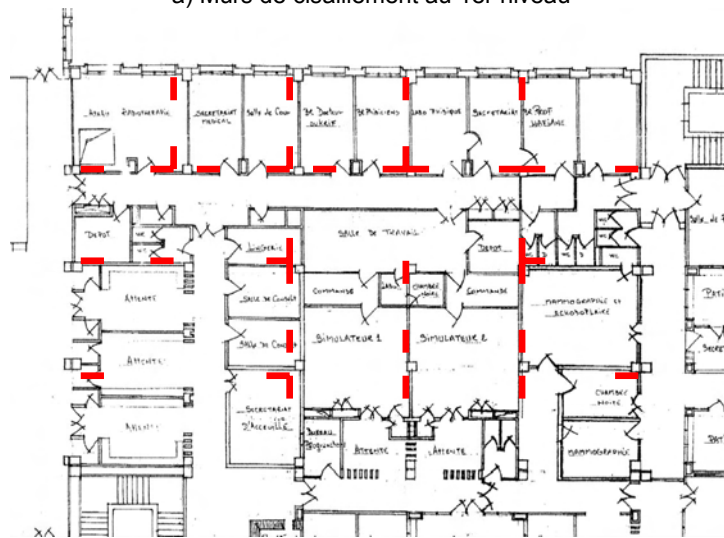


(Figure 3.3.4-2 et 3.1-4 de la version anglaise de la Référence1)

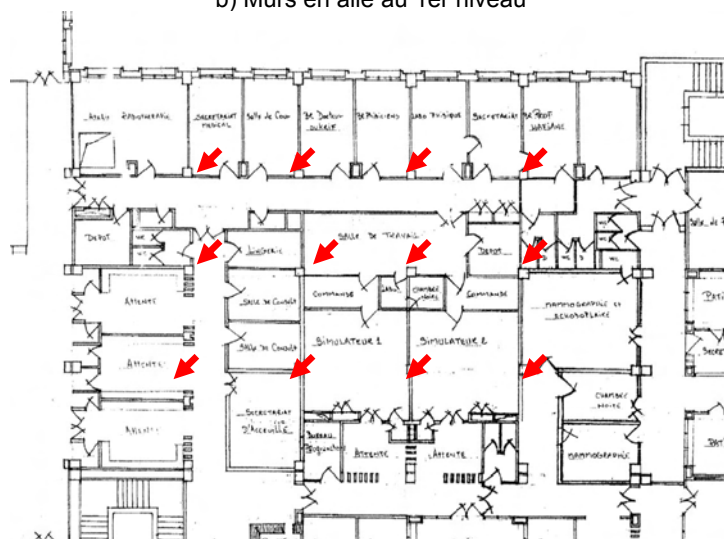
Figure 10-30 Détail standard du chemisage des poteaux



a) Murs de cisaillement au 1er niveau



b) Murs en aile au 1er niveau



c) Chemisage des poteaux au 1er niveau

Figure 10-31 Plan de renforcement au 1er niveau utilisant 3 différentes méthodes

(4) Recommandations

1) Cibles de renforcement

Comme l'a expliqué le Chapitre 10-3-3 (2), l'indice de demande sismique I_{so} et l'indice d'effort cumulatif x , l'indice d'irrégularité $C_T S_D$ suivants sont recommandés en tant que cibles de renforcement des bâtiments en béton armé existants à Alger.

$$I_{so} = (0,50 \sim 0,60) ZGU$$

$$C_T S_D \geq (0,20 \sim 0,30) ZGU$$

U : Indice d'usage, 1,0, 1,25, et 1,5

Z = G=1,0 en cas typique

2) Mesures de renforcement

Comme le montre le Chapitre 10-3-3 (3), les mesures principales à prendre pour le renforcement des bâtiments en BA consistent à pourvoir des murs en BA, des murs en aile et des poteaux enveloppés.

Les matériaux adoptés à ces mesures sont disponibles en règle générale à Alger et aucun atelier de fabrication n'est requis pour les trouver sauf les ancrages chimiques et mécaniques. Il est aussi utile de remplacer les murs de brique existants afin de prévoir la rupture par fragilité des poteaux courts du bâtiment scolaire. Il est essentiel de pourvoir les éléments structurels appropriés de nature à combiner la résistance et la ductilité suivant les types de structure du bâtiment à renforcer.

3) Règles parasismique et renforcement

L'évaluation et la conception de base de renforcement des maisons d'habitation existantes ont engendré les conclusions suivantes :

- (A) Les maisons d'habitation non parasismiques construites en béton de faible résistance peuvent se ranger parmi les valeurs I_s de 0,13 à 0,15. Elles devraient être donc démolies puisque le renforcement parasismique est techniquement difficile et dont le coût sera prohibitif. Il est techniquement possible de renforcer un bâtiment non parasismique construit en béton de résistance normale dont la valeur I_s de 0,25 ou plus mais le coût sera élevé.
- (B) En général, une maison d'habitation conçue selon les RPA81 (83) ou 88 fait l'objet de renforcement parasismique.
- (C) Une maison d'habitation conçue selon les règles RPA99 fait l'objet d'évaluation sismique pour déterminer s'il est nécessaire de la renforcer.
- (D) Une maison d'habitation conçue selon les RPA99 ver 2003 et construite en matériaux et ouvrages de qualité raisonnable a une capacité parasismique raisonnable.

En tout cas, la résistance du béton affectera la capacité parasismique d'un bâtiment. Par conséquent, il est recommandé d'évaluer la résistance du béton actuel au moyen d'essai par carottage ou d'une quelconque méthode fiable.

Annexe 1 : Indice parasismique de la structure, I_s , et C_1S_D , et intensité sismique et dommage sismique

(1) Intensité sismique estimée à Alger

L'intensité sismique EMS estimé à Alger dans les séismes de scénario se range autour de 8 à 9. Il est recommandé de prendre les mesures pour prévenir tout dommage structurel sérieux et/ou effondrement de bâtiment causé par des efforts d'un événement d'intensité sismique EMS 9.

MMI	JMA	MSK	EMS
I	0	I	I
II	I	II	II
III		III	III
IV		IV	IV
V	II	V	V
VI	III	VI	VI
VII	IV	VII	VII
VIII	V	VIII	VIII
IX	VI	IX	IX
X		X	X
XI	VII	XI	XI
XII		XII	XII

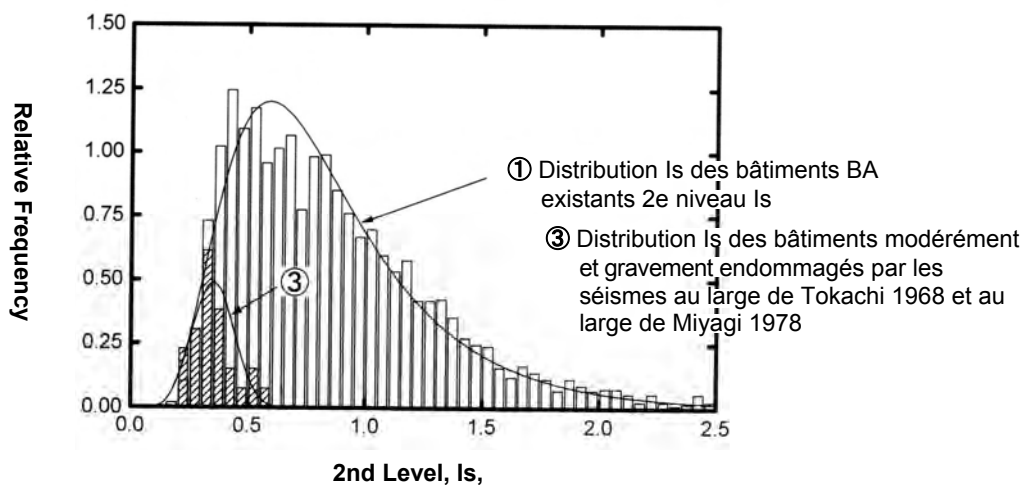
Annotations de la figure 10-A1 :

- Séismes au large de Tokachi 1968 et au large de Miyagi 1978 : pointent vers les cellules (VII, V) et (VIII, V).
- Séisme de Hyogoken Nanbu (Kobe) 1995 : pointe vers la cellule (X, VI).
- Séismes de scénario à Alger : encadrent les cellules (VIII, VI) et (IX, VI).

(Figure 2-1 de l' « Évaluation de la vulnérabilité et dommages de scénario dans l'évaluation du risque sismique » par Dr. S. Giovinazzi)

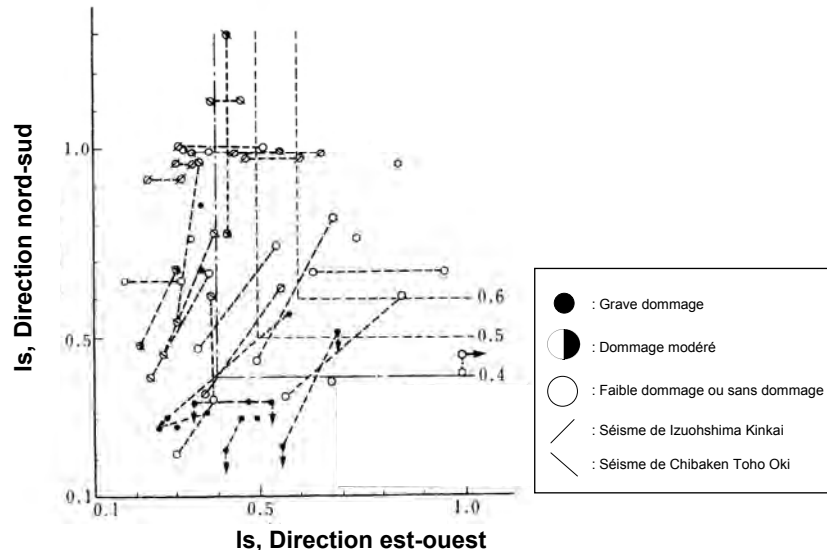
Figure 10-A1 Comparaison entre EMS (MSK) et JMA

(2) Indice parasismique de la structure, I_s , et dommage sismique



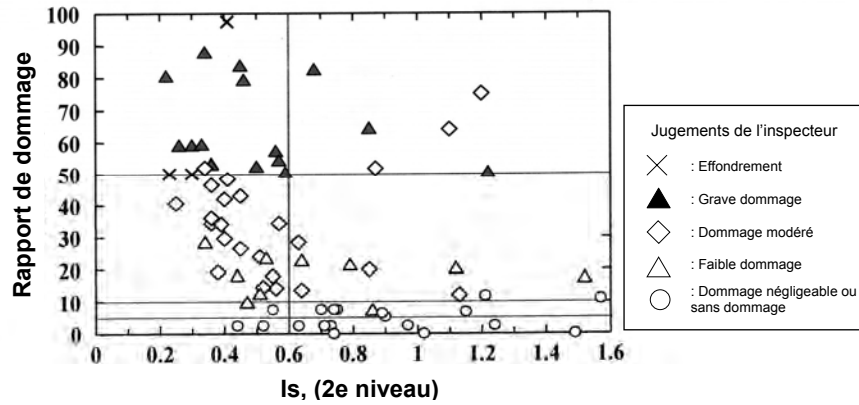
(Figure A5.2-3 de la Référence 1)

Figure 10-A2 Indice parasismique de la structure, I_s , et dommage sismique au Japon



(Figure A5.2-2 de la Référence 1)

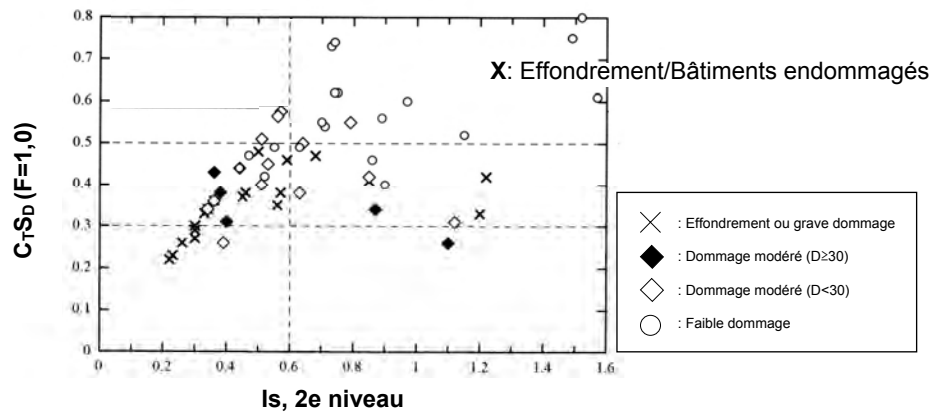
Figure 10-A3 Indice parasismique de la structure, I_s , et dommage sismique



(Figure A5.2-4 de la Référence 1)

Figure 10-A4 Indice parasismique de la structure, I_s (2e niveau), et rapport des dommages des bâtiments causés par le séisme de Kobe 1995

(3) Indice parasismique de la structure (2e niveau), I_s , et C_{TS_D} , et bâtiments endommagés



(Figure A5.2-5 de la Référence 1)

Figure 10-A5 Indice parasismique de la structure (2e niveau), I_s , et C_{TS_D} et bâtiments endommagés par le séisme de Kobe 1995

10-4 Infrastructure et réseaux vitaux

10-4-1 Infrastructure

L'infrastructure inclut les équipements de base tels que les routes, les ponts, les ports et les aéroports, etc., qui sont tous indispensables au centre de la population de fonctionner correctement en tant que base de transport.

Même si tous les plans éventuels des activités de secours et d'assistance sont bien préparés, si l'infrastructure était détruite par un grand séisme, par exemple, ces plans ne seraient plus capables de se réaliser. A cet égard, il est crucial de maintenir et d'assurer l'infrastructure pour toute activité de secours.

La présente section a pour but de résumer l'étendue des dommages sur l'infrastructure causés par les séismes du passé et de décrire en grandes lignes les mesures et les étapes engagées dans la contribution à concevoir les plans de préventions des catastrophes futurs.

(1) Routes

Un réseau routier fait partie importante de l'infrastructure pour protéger la vie humaine et assurer les activités économiques. Une fois qu'il perd sa fonction, cela perturberait extrêmement les activités de secours et d'assistance ainsi que les efforts de reprise dans les zones frappées par les catastrophes. Ce qu'il y a de plus, c'est le dommage sur la route qui présente un vrai impact direct non seulement sur la région directement frappée par les catastrophes mais aussi sur les régions avoisinantes. Dans ce sens, il est indispensable de renforcer la sûreté parasismique du réseau routier et surtout une attention particulière doit être prêté à la protection de tout système en réseau existant contre toute déconnexion éventuelle.

1) Caractéristiques des dommages sur la route

Les caractéristiques des dommages sur la route causés par un séisme peuvent être classées en les catégories présentées à la Figure 10-32.

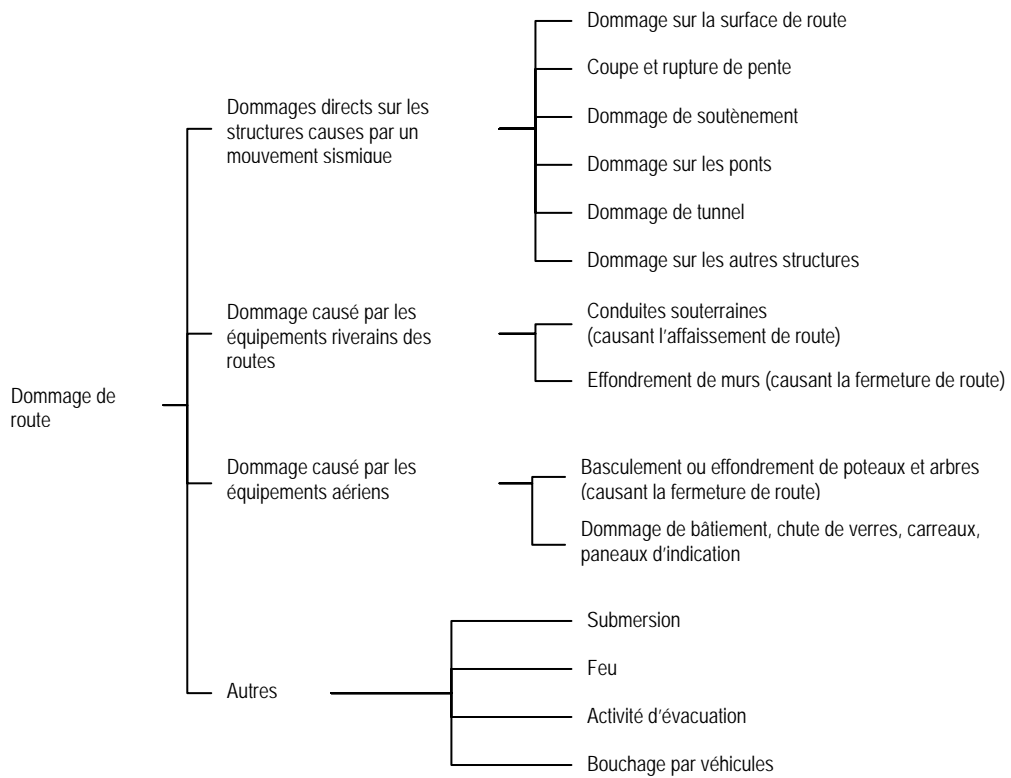
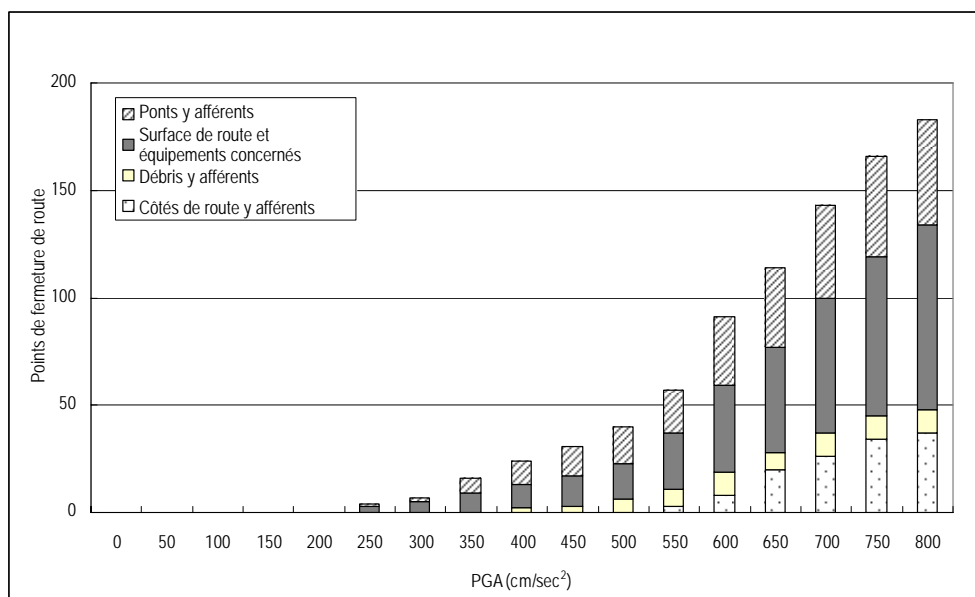


Figure 10-32 Caractéristiques des dommages sur la route causés par un séisme

Le séisme de Kobe en 1995 a causé un effet nuisible au trafic sur 230 points des routes sous la gestion nationale ou municipale dont 67% (155 points) dus au dommage sur le pont et 33% (77 points) au dommage sur la structure de route. Parmi les dommages sur la structure des routes, 62% (48 points) sont attribués au dommage sur les ouvrages structurels au bord de la route tels que les poteaux d'utilités et les bâtiments. Selon une enquête de la relation entre le dommage sur la route et l'accélération au sol, la route devient des ruines quand l'accélération sismique dépasse 250 gal et le nombre d'incidents de dommage sur la route augmente brusquement quand elle dépasse 600 gal (voir la Figure 10-33).



Source: Japan Road Association / Association japonaise des routes, 2002

Figure 10-33 Relation entre le dommage sur la route et l'accélération au sol

2) Recommandations / Mesures de renforcement parasismique contre le séisme du réseau routier

Vu qu'un réseau routier inclut les ponts et les autres équipements connexes, les facteurs autres que la route doivent être pris en compte en considérant d'éventuelles mesures de renforcement et d'amélioration de la résistance contre le séisme du réseau : par exemple, tout dommage sur un pont interrompra directement la fonction du réseau routier. Par conséquent, il est nécessaire quand on envisage de renforcer un réseau routier ou de le rendre parasismique de concevoir et d'établir un plan qui couvre aussi bien toute la route que tout autre équipements connexe.

(2) Ponts

Comme le montrent les sections précédentes, pour rendre sûre la fonction d'un réseau routier, il est crucial de prévoir un quelconque dommage sur le pont.

Donc, là où les ponts qui paraissent hautement ou modérément susceptibles de tomber à cause d'une secousse sismique de différents degrés (Haute probabilité et probabilité modérée telle que montée au Tableau 10-33), une enquête doit être soigneusement effectuée au point que les conditions des sols et des structures des ponts en question soient étudiées.

Tableau 10-33 Résumé de l'estimation des dommages sur les ponts

Classification des degrés de dommage	Khair al Din	Zemmouri
Haute probabilité	3	4
Probabilité modérée	19	7

1) Caractéristiques des dommages sur le pont

L'effondrement des ponts est nuisible au réseau routier en particulier et leur reconstruction prendra du temps. Le dommage sur le pont observé lors des événements sismiques dans le passé consiste en chute de pont, dommage ou effondrement des colonnes en béton armé à cause des variations des quantités variant de barres d'armature, des dommages sur les fondations et dans ses environs, des déformations de culées (Photo 10-1: Pont aérien effondré dans le séisme de Kobe).



Extrait du site domestique de la ville de Kobe (<http://www.city.kobe.jp>)

Photo-10-1 Pont aérien endommagé par un mouvement très fort

Le dommage sur les ponts paraît être largement attribué à la faible résistance parasismique de leurs structures et à la déformation de sol causées par la liquéfaction. Dans ce contexte, les sections suivantes introduisent les mesures recommandées pour améliorer aussi bien la résistance parasismique d'une structure de pont elle-même que le sol concerné.

2) Recommandations / Mesures de renforcement parasismique contre le séisme

Une structure de pont peut être divisée en deux parties : superstructure incluant des poutres et des sous-structure incluant des colonnes. Différentes méthodes d'amélioration de la résistance parasismique ont été suggérées pendant ces dernières années. La présente section prévoit certaines méthodes représentatives.

La Figure 10-34 montre les méthodes d'amélioration typiques largement adoptées au Japon.

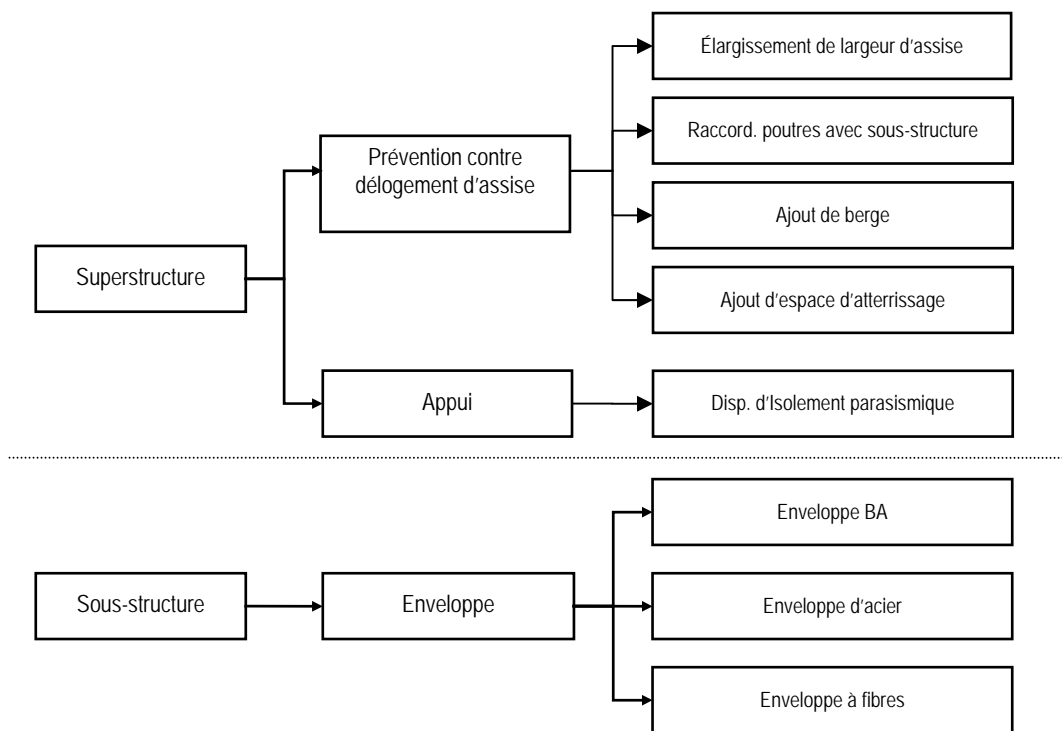


Figure 10-34 Méthodes d'amélioration de la résistance parasismique de la structure de pont

Au Japon, les ponts sur autoroute sont conçus conformément aux « Spécifications des ponts sur les grandes routes » établies en 1923. Donc, les ponts au Japon seraient capables de résister contre un séisme équivalent au Grand Séisme de Kanto (M7,9). Malgré tout, le séisme de Kobe (M7,2) a endommagé un grand nombre de ponts à cause des efforts sismiques horizontaux qui ont été régénérés à l'improviste. D'après ce séisme, lesdites spécifications ont été passées en revue avant de mener les travaux de renforcement sur un grand nombre de ponts.

(A) Mesures parasismique pour la superstructure

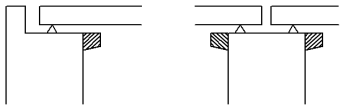





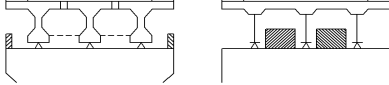
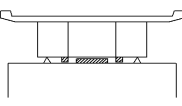
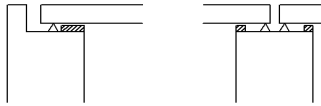
A) Système de prévention du délogement d'assise

Tel que décrit plus haut, le scénario le pire du dommage sur le pont concerne le délogement d'assise (chute) de poutre. La prévention du délogement d'assise contribuera aux activités de secours.

Une mesure de base d'amélioration de la sûreté parasismique concerne la protection de la superstructure contre toute chute : il y a trois mesures préventives spécifiques comme suit :

- Extension de largeur d'assise sur le sommet de la colonne ;
- Contrôle de déplacement relatif entre poutre et colonne/culée ;
- Contrôle de déplacement relatif entre poutre et poutres attachées ;

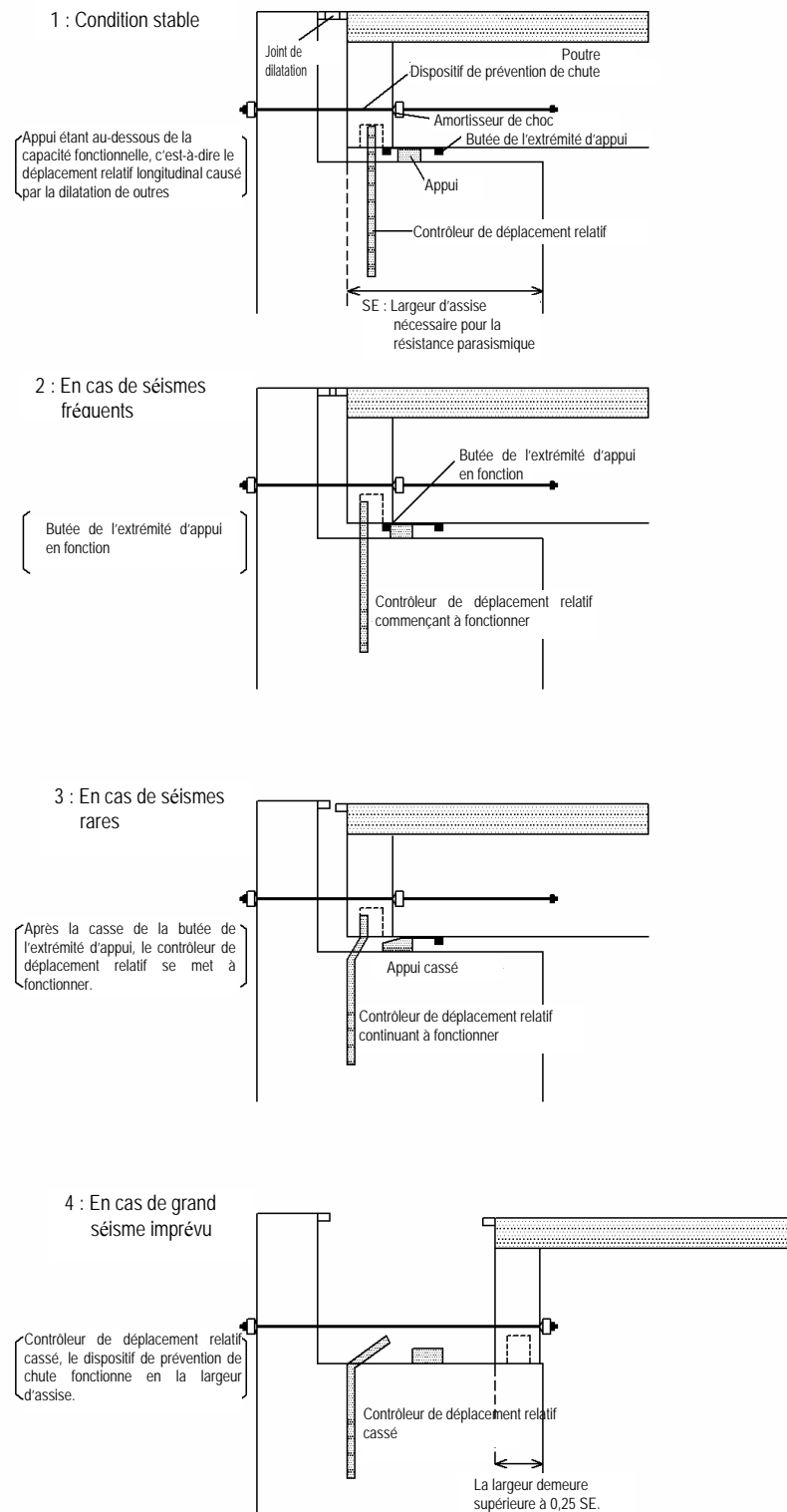
La Figure 10-35 montre un schéma du “système de prévention du délogement d’assise” largement utilisé au Japon.

		Matériaux	Configuration schématisée	Remarque		
Pour la direction longitudinale	Dispositif de prévention de chute	Élargissement de largeur d'assise	Plaque de béton ou d'acier		Ajout de console	
		Dispositif de raccordement et ajout de poutres	Frange de béton préfabriqué ou chaîne d'acier			
	Raccordement des poutres avec la sous-structure	Culée				
		Colonne			Fixer du côté poutres ou au-dessous de la surface	
	Direction transversale	Dispositif de prévention de chute et contrôle de déplacement relatif		Renflement	Renflement sur sous-structure	
			Combinaison de renflement			
		Raccordement des poutres avec la sous-structure	Colonne	Plaque de béton ou d'acier		Extérieur ou intérieur de poutre
			Culée			
	Ajout d'espace d'appontement	Espace d'appontement la sous-structure				

Source: Japan Road Association / Association japonaise des routes, 2002

Figure 10-35 Exemple typique du “Système de prévention du délogement d’assise »

La Figure 10-36 présente un résumé des diagrammes des effets de mesures en accord avec l'intensité sismique.



Source: Japan Road Association / Association japonaise des routes, 2002

Figure 10-36 Effets de mesures en accord avec les différents degrés de l'intensité sismique

La Figure 10-37 montre un simple dispositif amortisseur contrôlant le déplacement relatif d'entre les poutres en matériaux élastiques attachées dans lesquelles le déplacement relatif entre poutres et poutres attachées est contrôlé par un amortisseur spécialement équipé de matériaux visqueux.



Figure 10-37 Exemple de contrôle par amortisseur du déplacement

B) Paliers

L'installation des paliers sur les dispositifs d'isolement sismique est très efficace pour contrôler le mouvement horizontal des poutres. La Figure 10-38 présente une image d'un dispositif d'isolement sismique et la Figure 10-39 montre de différents comportements d'un dispositif d'isolement ainsi que d'un palier ordinaire à titre comparatif.

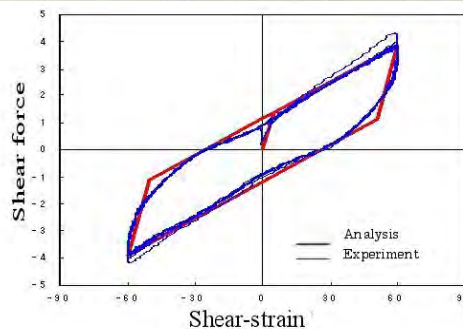
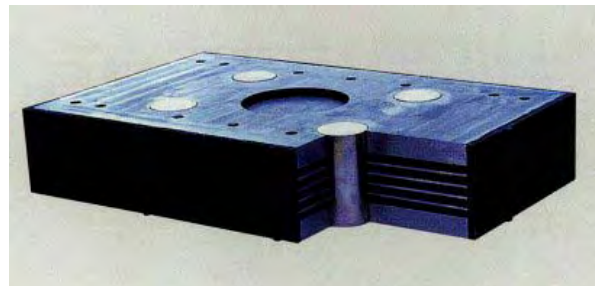


Figure 10-38 Un dispositif d'isolement (Palier en élastique plombé)

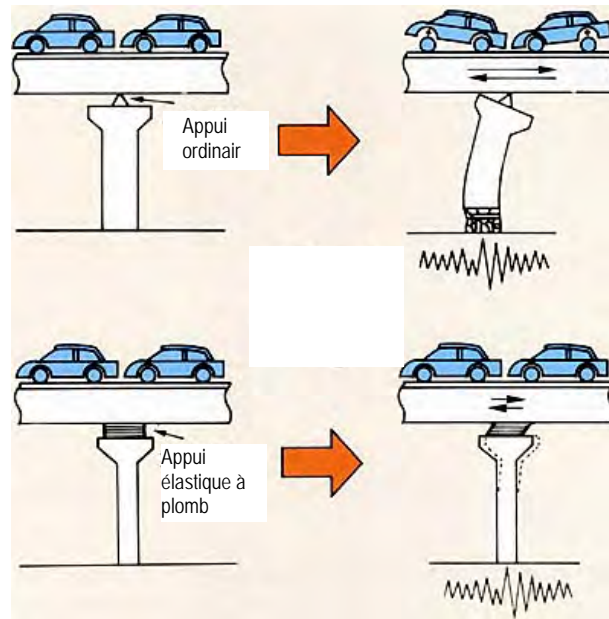


Figure 10-39 Comportement du dispositif d'isolation sismique

(B) Mesures parasismiques pour la sous-structure

Une méthode d'amélioration typique de la résistance parasismique d'une structure est la méthode appelée « chemisage ». L'idée de cette méthode consiste à chemiser les tours des colonnes de différents matériaux afin de rendre parasismique la sous-structure concernée. Au Japon, trois types de méthodes de chemisage sont adoptés.

- Un « chemisage en BA » où sont installées les barres d'armature dans lequel est versé du béton supplémentaire autour des colonnes existantes afin de construire un mur supplémentaire (voir la Figure 10-40).

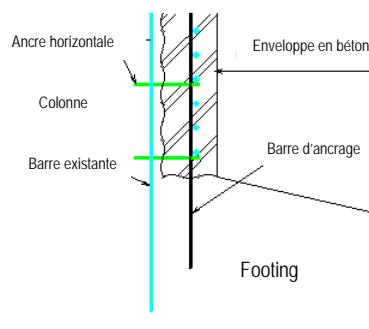


Figure10-40 Méthode de chemisage en BA

- Un « chemisage d'acier » où sont enveloppées les colonnes existantes de plaques d'acier avec un espace entre colonne et plaque rempli de mortier (voir la Figure 10-41)

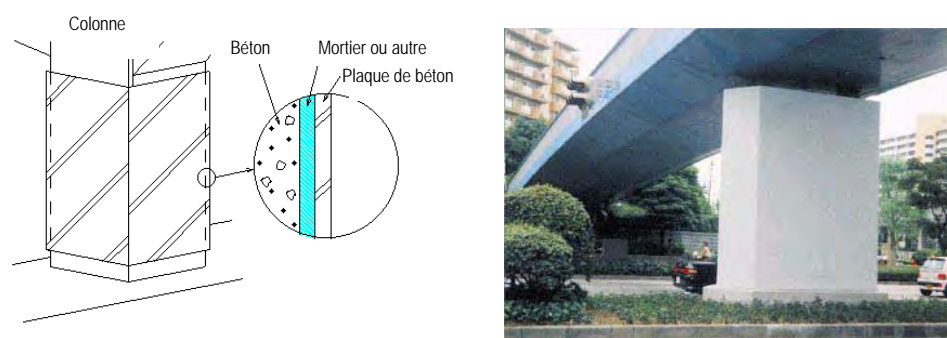


Figure 10-41 Méthode de chemisage d'acier

- Un « chemisage à fibres » où sont enveloppées les colonnes existantes de ficelles ou de feuilles de fibres au sommet desquelles est appliquée la finition (voir la Figure 10-42). Cette méthode est efficace en prévision du flambement de colonnes.

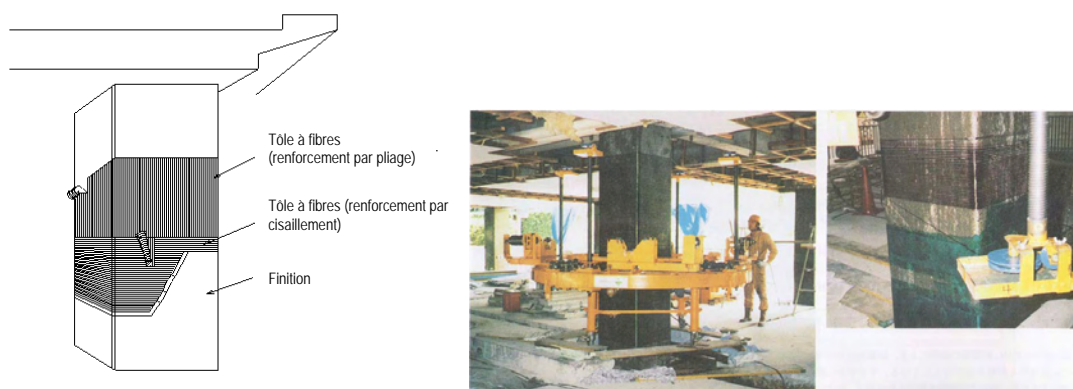


Figure 10-42 Méthode de chemisage à fibres

3) Amélioration de sol

Si la liquéfaction a lieu au-dessous des ponts, le déplacement horizontal et/ou vertical du sol a lieu, ce qui provoquera éventuellement un impact sur les ponts tel que la déformation de colonne et la dénivellation de culée. Cette déformation aboutit sur le dysfonctionnement des ponts. Par conséquent, il faut mener une enquête géotechnique détaillée et si nécessaire, prendre les mesures nécessaires en faveur des ponts situés sur les endroits où le sol est considéré liquéfiable.

La Figure 10-43 présente une liste des étapes à réduire ou à prévenir la liquéfaction.

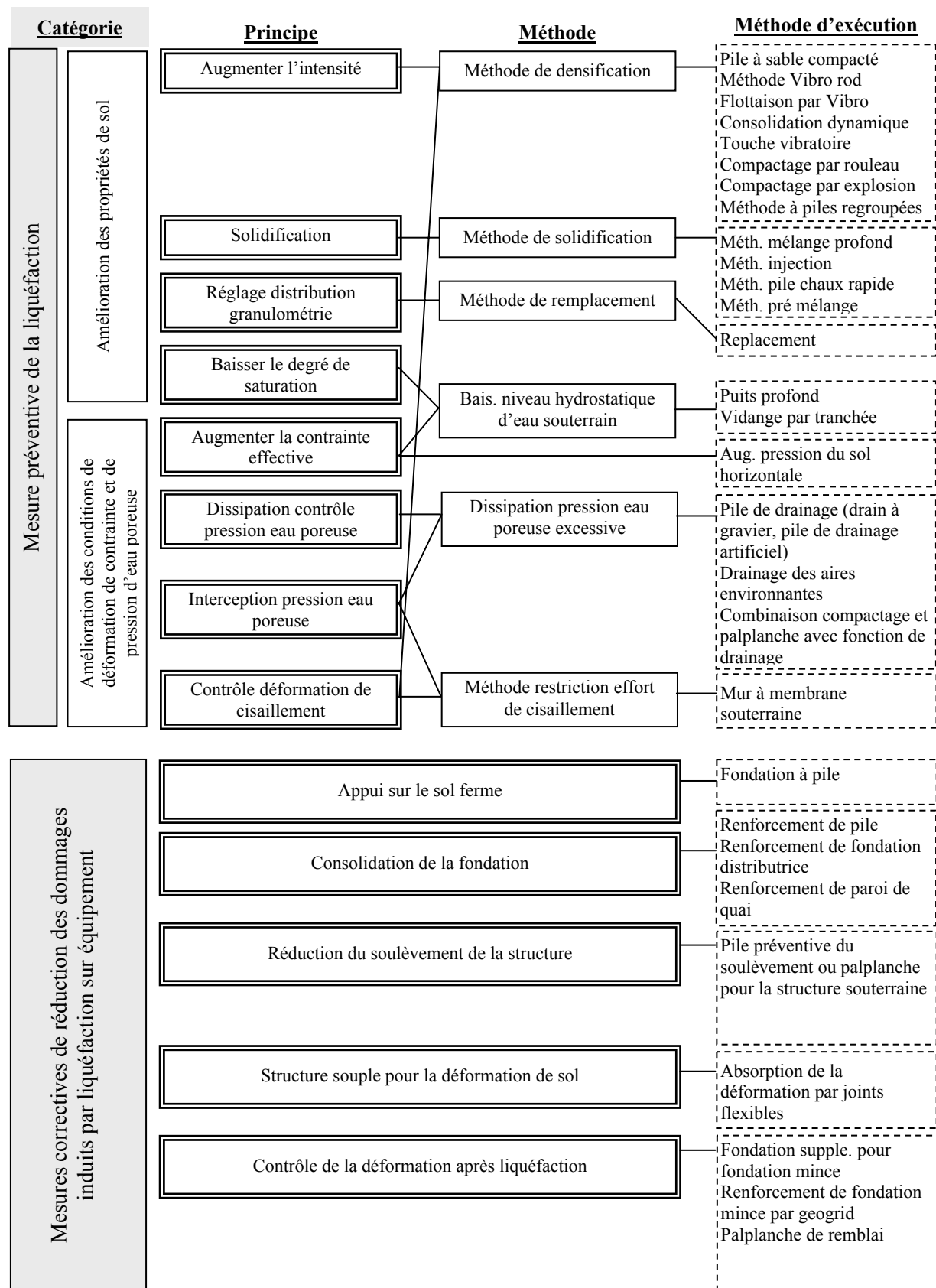


Figure 10-43 Résumé des mesures de réduction ou prévention de la liquéfaction

(3) Ports

Les équipements portuaires tels que montrés ci-dessous jouent un rôle crucial dans les activités après séisme. Ils doivent donc maintenir leurs fonctions :

- Réception des articles de secours provenant de l'étranger par voie maritime;
- Transport des articles de secours aux zones frappées par les catastrophes;
- Stockage temporaire des articles de secours;
- Stockage temporaire des débris et des déchets.

Les équipements portuaires ont besoin des structures résistantes contre le séisme de manière à continuer de fonctionner en tant que terminal immédiatement après l'occurrence d'un séisme. En même temps, il convient d'étudier non seulement les équipements de stockage et d'atterrissage mais aussi les routes d'accès au port.

1) Caractéristiques des dommages au port

Dans les séismes du passé, on n'observe que peu d'équipements portuaires ayant subi de phénomène de liquéfaction. La nature de dommage observée dans le passé est listée comme suit :

- Fêlures et dénivellations des poteaux résultant de la liquéfaction;
- Chute de grues portiques;

Quant au séisme de Kobe de 1995, les types de dommage suivants ont été rapportés :

- La plupart des dommages aux équipements portuaires provenaient de la liquéfaction et de l'expansion latérale. Un grand nombre de fondations gravitaires des caisses de paroi du quai ont tourné le fond sur le sommet ou glissé vers la mer. Les sols du derrière immédiat des caissons a baissé de 3 mètres de profond et l'affaissement de terrain était autant moins profond que le terrain s'est déplacé à l'intérieur (voir Photo 10-2). Alors que les ouvrages structurels supportés par les pieux restaient au niveau original, les sols de leurs environs se sont tassés substantiellement. La quantité significative de sables a été éjectée à cause de la liquéfaction et couvert une grande partie du dallage. Le majorité des grues portiques ont été endommagés et dont quelques uns effondrés à cause du déplacement des caissons de paroi du quai.



Extrait du site domestique de la ville de Kobe (<http://www.city.kobe.jp>)

Photo 10-2 Affaissement derrière la paroi du quai

- Quant aux grues portiques effondrés (voir Photo 10-3), les colonnes et les poutres transversales sont tordues et les roues sont détruites. Le degré de dommage des colonnes tordues et des poutres transversales varie mais la cause primaire en est le mouvement horizontal des caissons. Quelques grues portiques sont déraillées des pistes alors que les autres sont tombés à cause du dommage structural causé par les forces d'inertie du séisme.



Extrait du site domestique de la ville de Kobe (<http://www.city.kobe.jp>)

Photo 10-3 Grues portiques effondrée

- Le déplacement des caissons de paroi du quai est considéré dommage sérieux sur les équipements portuaires et imputable à plusieurs phénomènes. L'accélération sismique affectant les caissons remplis de sables concentrés a donné lieu à un grand effort horizontal éventuellement plus élevé que la résistance de la base contre le glissement. Il paraît que l'accélération sismique a régénéré un mouvement de secousse des caissons dépassant probablement la pression portante du pied de la base et déstabilisé la situation d'avantage par conséquent.
- Le dommage sur les pieux et leurs parois du quai autres que ceux décrits ci-dessus a été aussi confirmé. Au niveau des vieux équipements portuaires en particulier situés dans le sud de la partie centrale de la ville de Kobe comme la jetée de Hyogo, une grande partie des pieux a été submergée à la suite d'un tassement sérieux de terrain dont l'importance observée supérieure à 2 ou 3 mètres. Quelques magasins de stockage et les autres équipements ont été aussi submergés et endommagés sérieusement.

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour les équipements portuaires

Pour assurer la sûreté des équipements portuaires, il est nécessaire de prendre les mesures appropriées à l'amélioration de la résistance parasismique du port d'Alger. Afin de maintenir sa capacité stable dans le transport maritime, le port est souhaité de fonctionner continuellement même s'il se produit un grand séisme.

Dans ce cas, les ports de refuge sont considérés comme équipement crucial pour le plan de prévention des catastrophes et toute mesure nécessaire à l'amélioration de la résistance parasismique devra être prise.

(A) Développement des quais résistants contre le séisme

L'estimation de dommage suggère que, en cas de grand séisme comme celui du modèle Khair al Din ou Zemmouri, les parties centrale et du sud du port d'Alger seront gravement endommagées. Quant aux équipements dans l'enceinte du port d'Alger, il est nécessaire d'établir un plan de construction des quais parasismiques de manière à assurer sa fonction de transport au point qu'il soit capable de s'occuper des mouvements des articles de secours. Toutefois, il paraît irréaliste, si l'on tient compte des contraintes de temps et de coût, de rendre parasismique tous les quais. Ainsi, il est recommandé de créer au moins un quai parasismique dans le port pendant qu'une attention particulière est prêtée aux plans de développements existants.

(B) Amélioration des ponts et des routes aboutissant aux équipements portuaires

Une route d'accès raccordant le quai parasismique aux routes principales devrait être en construction parasismique pour faire en sorte que le dommage causé par un risque ne constitue aucun obstacle contre le transport sans problème des articles de secours. Afin de prévenir tout dommage sur le réseau routier, il faudrait considérer la nécessité des examens diagnostiques sismiques et du renforcement des ouvrages structurels relevant des ponts y afférents.

(4) Aéroport

Quand une zone est frappée par un séisme, les équipements aéroportuaires sont inévitablement souhaités de servir de base vitale dans les activités de secours rapides et efficaces, en plus de leurs rôles habituels. Afin d'empêcher ces équipements de tout dysfonctionnement, il faudrait prendre les mesures d'amélioration de leur résistance au séisme. Les rôles éventuels qu'on attend des équipements aéroportuaires en cas de séisme sont listés ci-dessous :

- Accueil des équipes de secours d'urgence et des articles de secours provenant de l'étranger;
- Terminal alternative de transport domestique pour le transport à l'intérieur;
- Stockage temporaire des articles de secours;
- Traitement et transport de débris et des déchets.

Afin que les équipements puissent jouer lesdits rôles, il faudrait établir au préalable l'ensemble des directives ou des plans des contingences.

1) Caractéristiques des dommages sur l'aéroport

Bien qu'il y ait quelques rapports concernant les dommages des séismes passés sur les équipements aéroportuaires, il n'y en a aucun qui rapporte qu'ils étaient tellement graves qu'un équipement aéroportuaire endommagé n'a pu plus continuer ses opérations. La nature desdits dommages observés dans le passé est représentée par les suivants :

- Dommage mineur sur les terminaux de passagers ;
- Dommage mineur sur les tours de contrôle ;
- Déplacement irrégulier du dallage entre les pistes de décollage et d'atterrissage ;
- Dommage sur la surface des pistes de décollage et d'atterrissage à cause de la liquéfaction.

Dans le cas du séisme de Loa Prieta en 1989 à San Francisco, la plupart des dommages étaient mineurs et les types spécifiques des dommages rapportés étaient comme suit :

- A l'aéroport international de San Francisco, les équipements de la centrale ont été endommagés, les carreaux du plafond sont tombés et les fenêtres ont été détruites dans la tour de contrôle, à cause de quoi l'aéroport a dû arrêter ses opérations pendant environ 13 heures. Aux terminaux de passagers, des carreaux de plafond et des moniteurs vidéo sont tombés et quelques équipements internes ont été écrasés. À cause de la panne des pulvérisateurs et de la tuyauterie, le terminal international a été victime d'une inondation de petite envergure et le terminal du nord d'une envergure relativement sérieuse. L'un des terminaux de cargaisons était contraint à se fermer puisqu'il souffrait de dommages graves et restait dans un état d'effondrement. Quant aux autres terminaux, la reprise a été faite sans problème au point que l'aéroport ait pu reprendre ses opérations le lendemain.
- C'était sur la piste d'atterrissage que le dommage était le plus grave à l'aéroport international d'Oakland (voir Photo 10-4). Sur la piste d'atterrissage de 10 000 pieds de long, une partie de 3 000 pieds de long a été mise en hors service. Les aires en dur et de tour complet des avions avaient des fêlures extensives mais restaient opérationnels. La canalisation d'eau est tombée en panne. Dans le vieux bâtiment du terminal 1, les éléments structurels supportant les lieux de rassemblement ont été endommagés. Au terminal 2, construit en 1985 d'ailleurs, le dommage confirmé se limitait à quelques fêlures dans les murs du couloir.



Extrait du site domestique USGS (<http://walrus.wr.usgs.gov>)

Photo 10-4 Extrémité nord-ouest de la piste d'atterrissage (bas) principale et la piste de décollage adjacente (bas) à l'aéroport international d'Oakland

- À l'aéroport international de San Jose, quelques fenêtres de la tour de contrôle ont été légèrement endommagées et, en plus, une conduite d'eau s'est éclatée et a inondé l'aire de parking pourtant légèrement. L'aéroport lui-même a pu continuer ses opérations grâce à la centrale de secours.

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour les équipements aéroportuaires

Afin d'assurer les fonction des équipements aéroportuaires sur une base constante, il faudrait prendre les mesures nécessaires pour rendre parasismique l'aéroport d'Alger tout au long des vieux bâtiments. De plus, les vieux bâtiments de terminal de passagers devraient être renforcés en vue d'amélioration de la résistance au séisme. Quant aux dommages secondaires causés par les fournitures des équipements et les autres ouvrages tombant ou se déplaçant, il faudrait les prévoir de manière à ce que le processus d'évacuation ne soit affecté aucunement.

Selon le résultat de l'analyse du mouvement sismique (des modèles Khair al Din et Zemmouri) effectuée au cours de la présente étude, l'aéroport d'Alger se situe dans une zone de grande accélération. Donc, il est recommandé que tout essai diagnostique sismique soit réalisé sur les équipements aéroportuaires afin de confirmer sa sûreté.

En outre, la rupture d'alimentation en électricité affectera sérieusement toute opération de l'aéroport. Il faudrait examiner aussi le renforcement nécessaire de la centrale de secours.

10-4-2 Réseaux vitaux

Les dommages sur les systèmes d'eau, d'assainissement, d'électricité, de gaz, de télécommunications et des autres équipements des réseaux vitaux présentent un impact considérable non seulement sur la gestion de ces équipements eux-mêmes mais aussi sur les différents aspects de la vie quotidienne. Une caractéristique éminente des dommages aux utilités essentielles est liée au fait que l'arrêt d'un système ou d'un équipement d'utilité particulier peut provoquer une réaction en chaîne de défaillances des autres systèmes ou équipements.

En cas de grand séisme, les équipements restant sain et sauf joueront un rôle crucial dans les activités de secours, d'assistance, de reprise et de réhabilitation de la région frappée par les catastrophes.

Le présent chapitre considère les impacts des dommages sur les équipements des réseaux vitaux ainsi que d'éventuelles mesures à prendre pour leur renforcement parasismique.

(1) Système d'alimentation en eau potable

1) Effets des dommages sur les équipements AEP

Le Tableau 10-34 montre les effets principaux des dommages sismiques sur les équipements AEP.

Tableau 10-34 Effets des dommages sismiques sur les équipements AEP

Effets	Problèmes prévus, etc.
Localisation du réseau	- Souterrain
Effets directs des dommages sur les équipements	- Inondation ou affaissement des routes causés par la fuite d'eau
Effets sur le transport routier	- Fermeture des routes causée par l'affaissement - Dommages sur les équipements souterrains et blocage causés par les travaux de reprise
Effets sur la vie quotidienne	- Pénurie d'eau potable - Pénurie d'eau de toilettes - Équipements de cuisine et de lavage invalidés - Salle de bain invalidée
Effets sur les activités dans les catastrophes sismiques	- Effet sur les activités médicales - Effet sur les activités de lutte contre l'incendie
Méthodes alternatives	- Puits - Camion citerne d'eau

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour les équipements AEP

Dans la zone d'étude, neuf (9) types de matériaux au total sont utilisés pour le réseau AEP et dont la conduite de fonte d'acier est employée le plus fréquemment (de 977,57 km sur la longueur totale de 2 148,35 km, voir le Tableau 10-35). L'étude a fait savoir que, dans le modèle Khair al Din, la fonte d'acier est la plus touchée en nombre de points endommagés (1 483 points sur 3 965 endommagés d'ensemble) et l'amiante ciment est le plus touché par rapport à la longueur endommagée (4,32 points par km).

Tableau 10-35 Résumé de l'estimation des dommages sur le système AEP

Matériaux	Longueur (km)	Khair al Din		Zemmouri	
		Points de dommage	Rapport de dommage (points/km)	Points de dommage	Rapport de dommage (points/km)
Amiante ciment	188,84	815	4,32	526	2,79
Acier galvanisé	171,47	510	2,97	310	1,81
Béton	0,01	0	0,00	0	0,00
Béton préfabriqué	218,21	0	0,00	0	0,00
Fonte d'acier	977,57	1 483	1,52	538	0,55
Fonte ductile	278,47	25	0,09	4	0,01
Fonte d'acier gris	297,96	1 119	3,76	249	0,84
Polyéthylène	4,44	0	0,00	0	0,00
PVC	10,59	11	1,04	7	0,66
Inconnu	0,79	2	2,53	2	2,53
Total	2 148,35	3 965	1,85	1 636	0,76

Il est recommandé que les matériaux particulièrement vulnérables aux mouvements sismique tels que l'amiante ciment, l'acier galvanisé, la fonte d'acier et la fonte d'acier gris devraient être remplacés conformément aux plans de projets existants en vue

d'améliorer le système d'alimentation en eau potable par les conduites en polyéthylène, un matériau de résistance parasismique élevée, etc. Là où sont concernés la jonction des conduites principales et le raccordement du réseau avec les équipements vitaux, il paraît efficace d'adopter des raccords flexibles pour améliorer la résistance parasismique.

(2) Système d'assainissement

1) Effets des dommages sur le système d'assainissement

Le Tableau 10-36 montre les effets principaux des dommages sur le système d'assainissement.

Tableau 10-36 Effets des dommages sismiques sur le système d'assainissement

Effets	Problèmes prévus, etc.
Localisation du réseau	- Souterrain
Effets directs des dommages sur les équipements	- Dégradation de l'environnement d'hygiène
Effets sur le transport routier	- Risque de blocage du trafic à cause de flux d'eau pluviale - Dommage sur les équipements souterrains causé par les travaux de reprise
Effets sur la vie quotidienne	- Toilettes invalidées - Cuisine et lavage invalidés - Salle de bain invalidée
Effets sur les activités dans les catastrophes sismiques	- Dégradation des conditions sanitaires publiques
Méthodes alternatives	- Toilettes temporaires

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour le système d'assainissement

Dans la zone d'étude, un vieux réseau d'assainissement en maçonnerie installé pendant la période coloniale est encore en service. Il n'est pas certain de vérifier s'il est en forme propre mais il se peut que la résistance parasismique en soit moins élevée que celle de calcul initial à cause de vieillissement. Il est donc nécessaire de le remplacer par un nouveau réseau au profit aussi bien de la gestion normale que de la gestion d'urgence en cas de séisme.

Entre temps, les parties principales du réseau d'assainissement ont été digitalisées en adoptant le système SIG à travers de l'enquête, alors que les conduites du réseau n'ont pas pu être intégrées dans le SIG. Il est donc recommandé que l'ensemble du réseau d'assainissement devrait être enquêté de manière à construire une base compréhensive de données avant d'établir un plan parasismique.

(3) Système d'alimentation en électricité

1) Effets des dommages sur le système d'alimentation en électricité

Le Tableau 10-37 montre les effets principaux des dommages sur les équipements d'alimentation en électricité.

Tableau 10-37 Effets des dommages sismiques sur le système d'alimentation en électricité

Effets	Problèmes prévus, etc.
Localisation du réseau	- Aérien / Souterrain
Effets directs des dommages sur les équipements	- Danger de court-circuit et effondrement des poteaux d'utilités - Incendie après la reprise d'alimentation en électricité
Effets sur les routes de transport	- Risque de blocage du trafic à cause de dysfonctionnement des éclairages - Manque d'éclairage dans la nuit - Dommage sur les équipements et blocage à cause des travaux de reprise
Effets sur la vie quotidienne	- Rupture d'alimentation en électricité - TV, réfrigérateurs, etc. invalidés - Ascenseurs invalidés - Panique causée par la rupture d'alimentation en électricité - Effet sur les activités médicales
Effets sur les activités dans les catastrophes sismiques	- Ordinateurs invalidés - Équipements de fonctionnement électrique invalidés - Équipements électriques comme TV, vidéo, etc. invalidés - Outils de communication invalidés
Méthodes alternatives	- Groupe de secours - Groupe privé - Véhicules d'alimentation de secours - Chaîne de commutation de distribution - Torches électriques, bougies

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour le système d'alimentation en électricité

Là où est concerné l'alimentation en électricité à moyenne tension dans la zone d'enquête, les câbles aériens sur poteaux desservent les zones rurales et les câbles souterrains les zones urbaines. Une enquête des dommages sur les équipements d'alimentation en électricité à moyenne tension dans le modèle Khair al Din estime que 199 m (sur la longueur totale de 123 797 m) de câbles aériens et 1 465 m (sur la longueur totale de 671 326 m) de câbles souterrains sont apparemment endommagés. La proportion des câbles endommagés – deux types de câbles – présente de manière générale environ 0,2%. Il est dit en général que les câbles souterrains sont moins vulnérables au séisme ou aux autres types de catastrophes que les câbles aériens du fait que les premiers sont revêtus de matériaux protecteurs. Néanmoins, une majorité de câbles souterrains de la région enquêtée est directement ensevelie de sorte qu'ils sont très disposés à toute déformation du sol, ce qui fait que d'éventuels dommages sur les câbles souterrains peuvent être autant importants que ceux sur les câbles aériens. Entre temps, tout poteau d'utilités à risque de tomber avec un grand séisme sont significativement susceptible de bloquer les routes.

Donc, afin de minimiser tout dommage sur les câbles électriques, les câbles à moyenne tension existants devraient être déplacés dans les conduites souterraines à usages multiples qui n'ont été endommagés que rarement par les catastrophes naturelles, bien qu'il reste la nécessité de tenir compte en même temps de l'efficacité économique de cette mesure.

(4) Alimentation en gaz

1) Effet des dommages sur les équipements d'alimentation en gaz

Le Tableau 10-38 montre les effets principaux causés par les dommages sur les équipements d'alimentation en gaz.

Tableau 10-38 Effets des dommages sur les équipements d'alimentation en gaz

Effets	Problèmes prévus, etc. etc.
Localisation du réseau	- Souterrain
Effets directs des dommages sur les équipements	- Possibilité d'entraîner l'explosion de gaz causée par un réservoir de stockage / conduite effondré
Effets sur les routes de transport	- Risque de blocage du trafic à cause d'explosions - Dommage sur les équipements souterrains et blocage à cause des travaux de reprise
Effets sur la vie quotidienne	- Équipements de cuisine invalidés - Appareils de chauffage invalidés (surtout important en hiver)
Effets sur les activités dans les catastrophes sismiques	- Préparation inefficace des repas au dehors
Méthodes alternatives	- Gaz propane

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour le système d'alimentation en gaz

Il y a trois types de matériaux de conduite (acier, polyéthylène et cuivre) pour le réseau à moyenne pression dans la zone d'étude. La conduite de cuivre était posée au début de la période de développement d'infrastructure et utilisée aussi pour l'alimentation en gaz à basse pression. Cet effet suggère que la conduite de cuivre sera endommagée assez sérieusement en cas de grand séisme (3,06 points/km en cas de séisme de scénario de Khair al Din). Par ailleurs, il est prévu que le dommage sur la conduite d'acier ou de polyéthylène ne sera pas aussi sérieux.

Actuellement, SONELGAZ est en train de lancer un projet de remplacement des conduites de cuivre par celles de polyéthylène. Du point de vue du renforcement parasismique de la structure, il est espéré que ce projet de remplacement sera accompli sans aucune difficulté.

La canalisation verticale, constituée des conduites raccordant les conduites souterraines avec les résidences individuelles des consommateurs, est l'un des équipements les plus cruciaux du système d'alimentation en gaz au point qu'elles puissent être endommagées autant sérieusement que les résidences en cas de grand séisme. Une fois qu'un bâtiment est tombé et que la canalisation verticale concernée est endommagée, la fuite de gaz serait immédiatement entra si les mesures actuelles

n'étaient pas suffisantes pour ne pas provoquer une catastrophe secondaire. À cet égard, il est nécessaire de considérer le lancement des mesures parasismiques pour la canalisation verticale de gaz qui sont, par exemple, la mise en place d'un système d'arrêt automatique d'alimentation en gaz en cas de grand séisme et ce avec les mesures d'amélioration de la résistance parasismique des bâtiments.

(5) Télécommunications

1) Effet des dommages sur les télécommunications

Le Tableau 10-39 montre les effets principaux des dommages sur les équipements de télécommunications.

Tableau 10-39 Effets des dommages sismiques sur les télécommunications

Effets	Problèmes prévus, etc.
Localisation du réseau	- Aérien / Souterrain
Effets directs des dommages sur les équipements	- Danger d'effondrement des poteaux d'utilités
Effets sur les routes de transport	- Dommages sur les équipements souterrains et blocage à cause des travaux de reprise
Effets sur la vie quotidienne	- Téléphone invalidé
Effets sur les activités dans les catastrophes sismiques	- Partage d'informations réduit - Machine de fac-similé invalidée
Méthodes alternatives	- Radio sans file communautaire - Téléphone satellitaire - Talkie-walkie (émetteur à distance)

2) Recommandations / Mesures parasismiques pour les télécommunications

Dans la présente étude, aucune estimation n'a été effectuée sur d'éventuels dommages de télécommunications. Toutefois, il est certainement efficace d'utiliser les conduites souterraines à usages multiples pour les télécommunications comme le cas desdits câbles d'alimentation en électricité.

Le nombre d'abonnés de téléphone mobile a brusquement augmenté dans ces dernières années de sorte que les téléphones mobiles sont considérés efficaces comme moyens de télécommunication (bien qu'il soit encore nécessaire de s'occuper du contrôle d'embouteillage en cas de grand séisme). Par conséquent, il est important de minimiser tout dommage sur les antennes de téléphone mobile dans le but d'assurer le réseau de télécommunications même après l'occurrence d'un événement catastrophique.