

## **CHAPITRE 9**

# **ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ URBAINE**

## Chapitre 9. Évaluation de la vulnérabilité urbaine

### 9-1 Évaluation sismique des bâtiments existants

Le CGS et l'équipe d'étude JICA ont discuté et sélectionné les bâtiments cibles à l'évaluation sismique et au renforcement de bâtiments existants contenant trois bâtiments stratégiques et deux bâtiments typiques. Le CGS et l'équipe d'étude JICA ont effectué les inspections de tous les bâtiments stratégiques et de leur site et sélectionné les données détaillées existantes de tous les bâtiments cibles tels que montrés au Tableau 9-1.

Tableau 9-1 Données détaillées collectées pour l'évaluation sismique des bâtiments

Nom de bâtiment	Année de construction / Règles parasismiques	Type de structure principale	Nombre de niveaux	Données collectées
Hôpital MUSTAPHA/CMPC	1990/ RPA81 ver 83 (conçu en 1988)	Béton armé à portiques	3N/B1N	Plans d'architecture Plans de structures
Institution de sénateur SENAT	Avant 1912, Extension 1912 à 1915/ N.A.	Maçonnerie de pierre	4N/B1N	Plans d'architecture Plans de structure (avec détails des systèmes de niveaux)
Palais du peuple	1830 et 1915/ N.A.	Maçonnerie de pierre	3N/B1N et 2N/B1N	Plans d'architecture Photos des travaux de réparation Détails des systèmes de niveaux
Maison d'habitation	2000/ RPA88 (conçue en 1999)	Béton armé à portiques	5N	Plans d'architecture Plans de structure Fiches de calcul structurel Rapport d'essais par carottage
École	RPA88	Béton armé à portiques	2N	Dessins de structure

Ces données collectées seront utilisées pour l'évaluation sismique et la conception de renforcement dans le travail collaborateur de CGS avec l'équipe d'étude JICA. Vu que la maison d'habitation et l'école sont occupées actuellement par les personnes, l'évaluation sismique de ces deux bâtiments sera effectuée seulement sur la base des données collectées et les inspections sur le terrain seront organisées en phase d'étude de renforcement. Chaque niveau du travail d'évaluation sismique des bâtiments existants rencontre de nombreuses difficultés avec les propriétaires y habitant, les habitants les utilisant, les problèmes financiers et/ou émotionnels des propriétaires, etc.

#### 9-1-1 Bâtiments en maçonnerie

L'équipe d'étude CGS et JICA ont effectué une série d'enquêtes des bâtiments et de leur site en collaboration avec les architectes ou les ingénieurs des propriétaires et obtenu quelques uns des

derniers plans et informations présentant leurs circonstances historiques. Vu que les deux bâtiments stratégiques sélectionnés sont très anciens, on ignore certaines des caractéristiques des méthodes de construction appliquées aux murs porteurs et la résistance des matériaux des joints, en particulier. L'équipe d'étude CGS et JICA ont discuté et convenu la méthode, la politique et les critères d'évaluation à adopter à la phase d'évaluation sismique par référence aux plans et recommandations obtenus pour la phase d'étude de renforcement des bâtiments du Palais du peuple (ci-après désigné « PALAIS ») et du SENAT comme suit :

(1) Éléments généraux de l'évaluation sismique du PALAIS et du SENAT

1) Méthode et politique d'évaluation

Pour l'évaluation de la force de cisaillement, on a suivi les « règles parasismiques algériennes RPA99/Version 2003 » pour les critères de jugement et l'analyse structurelle. La méthode d'évaluation sismique relève essentiellement du « FEMA : Federal Emergency Management Agency -178 et 310, juin 1992 : NEHRP, manuel d'évaluation sismique des bâtiments existants ».

Les composants de structure ignorés à cause du manque de plans complets sont supposés par l'ingénieur. Comme il y a de nombreux soutènements dans le système structurel du sous-sol, il n'est pas nécessaire de prévoir l'évaluation sismique.

Le calcul du poids d'un bâtiment a pour but de déterminer la charge morte des toits ou planchers et des murs entre le niveau supérieur et le fond des murs porteurs du plancher concerné en cas de structure en maçonnerie. La charge effective de chaque plancher pour l'évaluation sismique est de 20% de 2,5 kN/ m<sup>2</sup> (0,5 kN/ m<sup>2</sup>), mais la charge effective sur le toit est négligeable dans l'évaluation sismique. Le poids des murs sera calculé à chaque ligne selon les conditions telles que la hauteur du mur, le rapport d'ouverture, la condition de planchers et la toiture de poids unitaire moyen.

2) Critères de jugement

Le jugement définitif de l'évaluation sismique sera basé sur l'accord entre le CGS et l'équipe d'étude JICA. Il implique que le facteur de sûreté doit être d'au moins « 1,15 » et que la contrainte de cisaillement moyenne supposée d'un mur porteur doit être de « 0,056 Mpa (0.056 N/mm<sup>2</sup>) ». La résistance moyenne à la compression du mur porteur est de 1,50 Mpa (1.50 N/mm<sup>2</sup>). La force totale de cisaillement du mur porteur en maçonnerie est à calculer sur la base des règles parasismiques algériennes RPA99/Version 2003.

(2) Le PALAIS

1) Vue d'ensemble des propriétés

- Nom de bâtiments : « PALAIS DU PEUPLE »
- Localisation : Rue Franklin ROOSVELT, Alger
- Critères de bâtiment : Équipement gouvernemental ; maison des hôtes VIP
- Type de construction: Maçonnerie de pierre avec un seul renforcement structurel par voûte d'acier
- Matériau principal: Pierre; Densité 27 kN/m<sup>3</sup>, Poids des murs porteurs 22 kN/m<sup>3</sup>

- Fondation/Sols portants: Fondation distributrice / Capacité du sol de calcul; Inconnu
- Nombre de niveaux: « Ancien palais »; à 2 niveaux avec sous-sol à 1 niveau, « Nouveau palais »; à 3 niveaux avec sous-sol à 1 niveau et entresol à 1 niveau
- Surface bâtie: « Ancien palais »: 349,89 m<sup>2</sup> « Nouveau palais » 957,66 m<sup>2</sup>
- Surface totale: « Ancien palais. »: 703,64 m<sup>2</sup>, « Nouveau palais »: 2 895,92 m<sup>2</sup>, Grand total: 3 599,56 m<sup>2</sup>
- Hauteur de la structure: « Ancien palais »: 9,82 m, « Nouveau palais »: 17,73 m
- Hauteur du niveau: Sous-sol1; 3,61 m, Rez-de-chaussée; 4,95 ~ 5,98m, 1er étage; 4,48 ~ approx. 10,30 m
- Année d'achèvement: « Ancien palais »; avant 1830, « Nouveau palais »; 1915
- Topographie: Surface bâtie plate et essentiellement en pente modérée descendant vers le sud-est

2) La base et l'hypothèse d'évaluation dans l'enquête du bâtiment y compris son site ainsi que la vérification détaillée de la conception sont présentées comme suit : (l'enquête du bâtiment et du site conduite par M. Med Lamine KHIAR, directeur du Palais du peuple et Mme. BRAHIMI, architecte).

- (A) L'ancien palais est construit avant les années 1830 en maçonnerie de pierre à joints de mélange chaud/sable quelques fois. Le système de plancher est construit en bois. Plus tard, ceci a été partiellement modifié et remplacé par un plancher en béton armé avec poutres de soutien.
- (B) Le nouveau palais a été ajouté du côté sud-est de l'ancien palais et partiellement connecté à l'extrémité sud-ouest seulement avec la maçonnerie de pierre à joints de mélange chaud/sable en 1915. Le système de plancher est construit en bois. Plus tard, ceci a été modifié et remplacé par un plancher en béton armé à poutres de soutien. La toiture de la salle principale est soutenue par les poutres d'acier en treillis recouverts de plaques d'amiante striées.
- (C) Essentiellement, aucun bâtiment avant 1915 n'utilise de joints de mortier de ciment dans les murs en maçonnerie de pierre. Les joints de mortier de ciment sont prévus pour les murs porteurs mais seulement en cas de travaux de réparation par une méthode de remplissage équilibré.
- (D) Le PALAIS dispose de planchers et de toitures à membrane rigide excepté le cas de toitures à poutres d'acier en treillis de la salle principale et de poutres d'acier transversales à simple support dans les autres parties du nouveau palais. Chaque ossature de ce système de toiture non rigide a été évaluée indépendamment.
- (E) Les voûtes de la salle principale du nouveau palais sont construites par les arcs en treillis et supportées par les poteaux de marbre. Elles étaient recouvertes de briques solides en phase initiale de construction.
- (G) On observe dans le nouveau palais au niveau de planchers quelques fêlures peu importantes causées par le séisme de Boumerdes 2003. Elles ne sont pourtant pas nuisibles à la capacité parasismique. Les autres fêlures qu'on observe dans les murs extérieurs du nouveau palais sont en réparation par un constructeur chinois.

(H) Les photos du PALAIS sont montrées comme suit:



Photo 9-1 Entrée de l'ancien et du nouveau palais



Photo 9-2 Nouveau palais: Vue derrière



Photo 9-3 Ancien palais: Espace patio dans le hall



Photo 9-4 Nouveau palais: Salle principale au 1er étage



Photo 9-5 Ancien palais: Couloir d'entrée au 1er étage



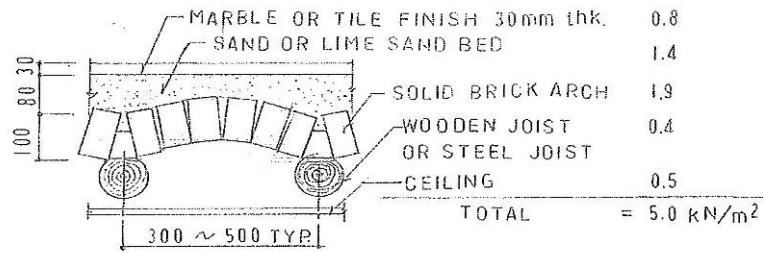
Photo 9-6 Nouveau palais: Toiture d'amiante de la salle principale

### 3) Poids unitaire de chaque élément

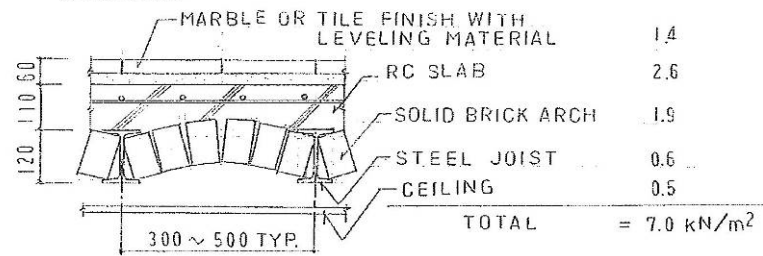
Selon les informations recueillies au niveau des personnes travaillant au PALAIS, le CGS et l'équipe d'étude JICA ont confirmé le poids unitaire de chaque partie comme le montre la Figure 9-1.

Typical Roof and Floor System

TYPE - A



TYPE - B



TYPE - C

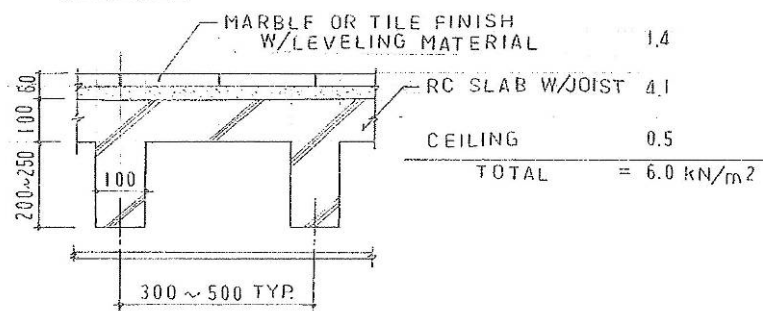


Figure 9-1 Poids unitaire de la toiture typique et du système de plancher

- (A) Mur porteur en maçonnerie fini par revêtement de plâtre ou de mortier: 26 kN/m<sup>3</sup>
- (B) Cloison de brique creuse (demi épais.) fini par revêtement de plâtre: 2,0 kN/m<sup>2</sup>
- (C) Plancher fini par revêtement de marbre avec dalles et poutres transversales BA (Type C): 6,0 kN/m<sup>2</sup>
- (D) Plancher fini par carrelage avec dalles et poutres transversales BA (Type C): 5,0 kN/m<sup>2</sup>
- (E) Plancher fini par revêtement de marbre avec dalles BA et poutres d'acier transversales (Type B): 7,0 kN/m<sup>2</sup>
- (F) Plancher fini par carrelage avec dalles BA et poutres d'acier transversales (Type B): 6,0 kN/m<sup>2</sup>
- (G) Plancher fini par revêtement de marbre avec arcs de briques et poutres d'acier transversales (Type A): 5,0 kN/m<sup>2</sup>
- (H) Plancher fini par carrelage avec arcs de briques et poutres d'acier transversales (Type A): 4,0 kN/m<sup>2</sup>
- (I) Toit plat avec dalles et poutres transversales BA (Type C): 6,0 kN/m<sup>2</sup>
- (J) Toit plat avec dalles BA sur arcs de briques et poutres d'acier transversales (Type B): 7,0 kN/m<sup>2</sup>

- (K) Toit plat avec arcs de briques et poutres d'acier transversales (Type A): 5,0 kN/m<sup>2</sup>
- (L) Toit en plaque d'amiante cimentée striée avec poutres d'acier en treillis: 1,0 kN/m<sup>2</sup>
- (M) Voûte de briques finie par plâtre et mortier: 6,0 kN/m<sup>2</sup> (en surface plane)
- (N) Toit vitré avec poutres d'acier en treillis: 1,0 kN/m<sup>2</sup> (en surface plane)

4) Charges totales de l'ancien palais et du nouveau palais

Les charges totales de l'ancien palais et du nouveau palais sont calculées au Tableau 9-2.

Tableau 9-2 Charges totales de l'ancien palais et du nouveau palais

Locaux	Étage	Surface de plancher (m <sup>2</sup> )	Charge de plancher (kN)	Poids de mur (kN)	Som. Charge (kN)	Charge totale (kN)
Ancien palais	1er étage.	429,3	3 026	9 623	12 649	12 649
	Rez-de-chaussée.	349,9	1 968	12 071	14 039	26 688
Bloc d'entrée du Nouveau palais	1er étage.	330,9	1 694	8 412	10 106	10 106
	Rez-de-chaussée.	316,8	1 742	7 665	9 407	19 513
Bloc de salle principale du nouveau palais	2e étage.	630,1	2 300	9 492	11 792	11 792
	1er étage.	784,5	7 056	19 880	26 936	38 728
	Rez-de-chaussée.	848,8	6 281	19 723	26 004	64 732
Combinaison du nouveau palais	2e étage.	630,1	2 300	9 492	11 792	11 792
	1er étage.	1 115,4	8 750	28 292	37 042	48 834
	Rez-de-chaussée.	1 165,6	8 023	27 388	35 411	84 245
Nouveau et ancien palais combinés	2e étage.	630,1	2 300	9 492	11 792	11 792
	1er étage.	1 544,7	11 776	37 915	49 691	61 483
	Rez-de-chaussée.	1 515,5	9 991	39 459	49 450	110 933

5) Surfaces en coupe de l'ancien palais et du nouveau palais

Les surfaces en coupe de l'ancien palais et du nouveau palais sont calculées au Tableau 9-3.

Tableau 9-3 Surfaces en coupe de l'ancien palais et du nouveau palais

Locaux	Direction	2e étage (m <sup>2</sup> )	1er étage (m <sup>2</sup> )	Rez-de-chaussée (m <sup>2</sup> )
Ancien palais	X	---	42,84	62,60
	Y	---	34,49	56,96
Bloc d'entrée du Nouveau palais	X	---	18,29	23,94
	Y	---	27,15	37,61
Bloc de salle principale du nouveau palais	X	42,11	51,93	66,51
	Y	42,59	53,01	68,51
Entrée combine et Bloc de salle principale du nouveau palais e	X	42,11	70,22	90,46
	Y	42,59	80,16	106,12
Nouveau et ancien palais combinés	X	42,11	113,06	153,05
	Y	42,59	114,65	163,08

6) Force de cisaillement dans l'évaluation basée sur les RPA 99/Version 2003

La force de cisaillement dans l'évaluation est calculée sur la base de la formule suivante :

$$V = A D Q W / R = 0,4 \times 1,9 \times 1,0 W / 2,5 = 0,304 W$$

Où;

$A = 0,4$ ; Coefficient d'accélération au sol

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{\xi + 2}} = 0,76 \quad \text{avec } \xi = 10 \%$$

$$D = 2,5\eta = 1,9$$

$Q = 1,0$  ; Facteur de qualité

$R = 2,5$  ; Facteur de ductilité

$W = m g$ ; Poids de bâtiment

La contrainte moyenne de cisaillement d'un mur porteur est calculée par la formule suivante :

$$\tau = 0,304 \times \Sigma W / \Sigma W_a$$

Où ;

$\Sigma W$  : Charge totale (kN)

$\Sigma W_a$  : Surface totale en coupe du mur (mm<sup>2</sup>)

7) Évaluation sismique du PALAIS

L'évaluation sismique effectuée selon la formule suivante apporte le résultat montré au Tableau 9-4.

$$\tau_0 \geq F \tau \rightarrow \tau_0 / F \tau \geq 1,0 \quad \text{---Le bâtiment est une « construction sûre »}$$

$$\tau_0 < F \tau \rightarrow \tau_0 / F \tau < 1,0 \quad \text{---Le bâtiment est une « construction peu sûre »}$$

Où ;

$\tau_0 = 0,056 \text{ MPa (N / mm}^2)$  : Force de cisaillement supposée du mur porteur

$F = 1,15$  : Facteur de sûreté



Tableau 9-4 Évaluation sismique du PALAIS

Locaux		Valeur numérique					Jugement
		T <sub>0</sub>	Direction X		Direction Y		
			F <sub>τ</sub>	τ <sub>0</sub> /F <sub>τ</sub>	F <sub>τ</sub>	τ <sub>0</sub> /F <sub>τ</sub>	
Ancien palais	1er étage,	0,056	< 0,104	0,54	< 0,128	0,44	Construction peu sûre
	Rez-de-chaussée,	0,056	< 0,149	0,38	< 0,164	0,34	Construction peu sûre
Bloc d'entrée du nouveau palais	1er étage,	0,056	< 0,193	0,29	< 0,130	0,43	Construction peu sûre
	Rez-de-chaussée,	0,056	< 0,285	0,20	< 0,181	0,31	Construction peu sûre
Bloc de salle principale du nouveau palais	2e étage,	0,056	< 0,098	0,57	< 0,097	0,58	Construction peu sûre
	1er étage,	0,056	< 0,261	0,21	< 0,255	0,22	Construction peu sûre
	Rez-de-chaussée,	0,056	< 0,340	0,16	< 0,330	0,17	Construction peu sûre
Bloc combine d'entrée et de salle principale du nouveau palais	2e étage,	0,056	< 0,098	0,57	< 0,097	0,58	Construction peu sûre
	1er étage,	0,056	< 0,243	0,23	< 0,213	0,26	Construction peu sûre
	Rez-de-chaussée,	0,056	< 0,326	0,17	< 0,277	0,20	Construction peu sûre
Ancien et nouveau palais combiné	2e étage,	0,056	< 0,098	0,57	< 0,097	0,58	Construction peu sûre
	1er étage,	0,056	< 0,190	0,29	< 0,187	0,30	Construction peu sûre
	Rez-de-chaussée,	0,056	< 0,253	0,22	< 0,238	0,24	Construction peu sûre
Conclusion de l'évaluation sismique:							
La construction du palais du peule est jugée peu sûre.							
Le palais nécessitera donc une étude de renforcement y compris des travaux.							
Se référer aux recommandations pour le plan de renforcement (Chapitre 10-3-2 (2)).							
Vu que ladite évaluation sismique a été effectuée sur la base de la « force de cisaillement supposée du mur porteur de 0,056 Mpa (N/mm <sup>2</sup> ) », il est à confirmer si elle est la force de cisaillement réelle des matériaux de joints de murs porteurs existants avant de donner la décision définitive. En règle générale, la force de cisaillement d'un mur en maçonnerie est limitée par les matériaux de joints. Cette information peut être obtenue à travers la méthode de carottage ou d'autres méthodes efficaces.							
En cas d'application de la méthode de carottage, le nombre d'échantillons recommandé est comme suit :							
Pour l'ancien palais: 5-échantillons du rez-de-chaussée et du 1er étage; total 10-échantillons							
Pour le bloc d'entrée du nouveau palais: 3-échantillons du rez-de-chaussée et du 1er étage; 6-échantillons							
Pour le bloc de salle principale du nouveau palais: 5-échantillons du rez-de-chaussée et du 1er étage, 3-échantillons du 2e étage; 15-échantillons							
Total 29-échantillons							

### (3) Le SENAT

#### 1) Vue d'ensemble des propriétés

- Nom de bâtiment: « Le SENAT »
- Localisation: Boulevard ZIROUT Youcef, Alger
- Critères de bâtiment: Équipement gouvernemental
- Type de construction: Maçonnerie de Pierre découpée ronde
- Matériau principal: Pierre; Densité 27 kN/m<sup>3</sup>, Poids du mur porteur B 22 kN/m<sup>3</sup>
- Fondation/Sols portants: Fondation distributrice (continue) / Capacité du sol de calcul; Inconnue
- Nombre de niveaux: à 5 niveaux avec sous-sol à 1 niveau
- Surface bâtie: 2,171 m<sup>2</sup>

- Surface totale: 8 683 m<sup>2</sup>
- Hauteur de la structure: 21,95 m
- Hauteur de niveau: Sous-sol; N.A., 1er N; 4,20 et 7,60m, Entresol; 3,40 m, 2e N; 5,65 m et 9,70 m, 3e N; 4,05 m, 4e N; 4,65 m
- Année d'achèvement: Sous-sol ~ 2e N: avant 1912, Extension: 3e et 4e N: 1912 ~ 1915
- Topographie: Terrain plat du bâtiment avec un niveau de piédestal en pente descendante vers l'est.

2) La base et l'hypothèse d'évaluation dans l'enquête du bâtiment y compris son site ainsi que la vérification détaillée de la conception sont présentées comme suit : (l'enquête du bâtiment et du site conduite par M. Kheiredine BOUKHERISSA, architecte et M. Omar BENAOUA, ingénieur).

- (A) Le premier bâtiment à 2 niveaux avec sous-sol à 1 niveau a été construit en maçonnerie de pierre avant 1912 en tant que « bâtiment de bureau de poste ». Plus tard, trois niveaux ont été ajoutés entre 1912 et 1915 et après 1915 il a été transformé en Le SENAT.
- (B) Les matériaux de mur sont essentiellement des pierres rondes avec joints de mortier ou de mélange mortier/sable, finis par revêtement de plâtre ou de plaque de plâtre. On observe partiellement des poteaux et poutres d'acier servant de simple support sans résistance parasismique. La toiture de la salle de l'assemblée est construite en treillis d'acier fini vitré et le plafond préfabriqué en plâtre de la salle de l'assemblée est supporté par un treillis de bois.
- (C) Le système de toiture et de plancher est constitué par la couche de tuf sur un système aux arcs de briques avec joints d'acier. La couche de tuf de toiture et de plancher a été remplacée par la couche de mortier telle que montrée à la Figure 9-3.
- (D) La toiture vitrée avec treillis d'acier couvre l'espace patio au centre d'un bâtiment. Elle est supportée sur le 3e niveau.
- (E) Aucun dommage n'est observé sur les murs porteurs sauf quelques fêlures dans certains cloisons et dalles de plancher à cause des conditions invariables et du séisme de Boumerdes 2003.
- (F) Vu qu'il y a nombreux soutènements dans le système structurel du sous-sol, il n'est pas nécessaire de prévoir l'évaluation sismique.
- (G) Le bâtiment dispose de planchers à membrane rigide avec couche de mortier et de toits aux aisseliers d'acier.
- (H) Les photo du SENAT sont montrées comme suit:

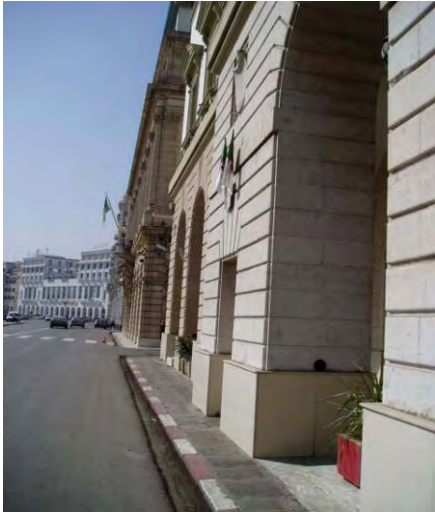


Photo 9-7 Vue de face et route en face



Photo 9-8 Façade derrière (ouest)



Photo 9-9 Lucarne et toiture de la salle de l'assemblée



Photo 9-10 Salon du 1er étage et peinture murale

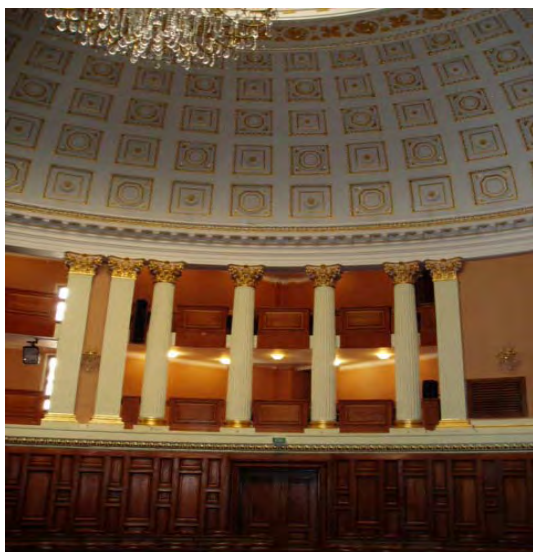


Photo 9-11 Espace galerie à la salle de l'assemblée



Photo 9-12 Cour centrale avec peinture murale

3) Poids unitaire de chaque élément

Selon les informations de l'enquête du bâtiment et du site, le CGS et l'équipe d'étude JICA ont confirmé le poids unitaire de chaque partie comme suit tel que montré aux Figure 9-2 et Figure 9-3.

- (A) Mur porteur en maçonnerie de pierre fini par revêtement de plâtre ou de mortier: 22 kN/m<sup>3</sup>
- (B) Plancher fini par revêtement de marbre ou par carrelage avec système de poutres d'acier transversales (Type D): 5,0 kN/m<sup>2</sup>
- (C) Salle de l'assemblée finie avec plancher de bois couvert de moquette (Type E): 6,0 kN/m<sup>2</sup>
- (D) Ensemble de l'escalier composé de plancher et de marches finies par revêtement de marbre ou de terrasse avec dalles BA (Type F): 8,0 kN/m<sup>2</sup>
- (E) Toiture étanche (Type A): 6,0 kN/m<sup>2</sup>
- (F) Toiture vitrée sur la salle de l'assemblée avec plafond de plâtre préfabriqué (Type B): 2,0 kN/m<sup>2</sup>
- (G) Toiture vitrée avec treillis d'acier (Type C): 1,0 kN/m<sup>2</sup> (surface plate)
- (H) Toiture en dalles BA de la galerie étanche (Type G): 5,0 kN/m<sup>2</sup>
- (I) Toiture en BA de la galerie avec plafond extérieur (Type H): 5,0 kN/m<sup>2</sup>
- (J) Charge mobile de calcul parasismique du plancher: 20 % de 2,5 kN/m<sup>2</sup> = 0,5 kN/m<sup>2</sup>, pourtant, la charge mobile sur le plancher était négligée dans le calcul parasismique.

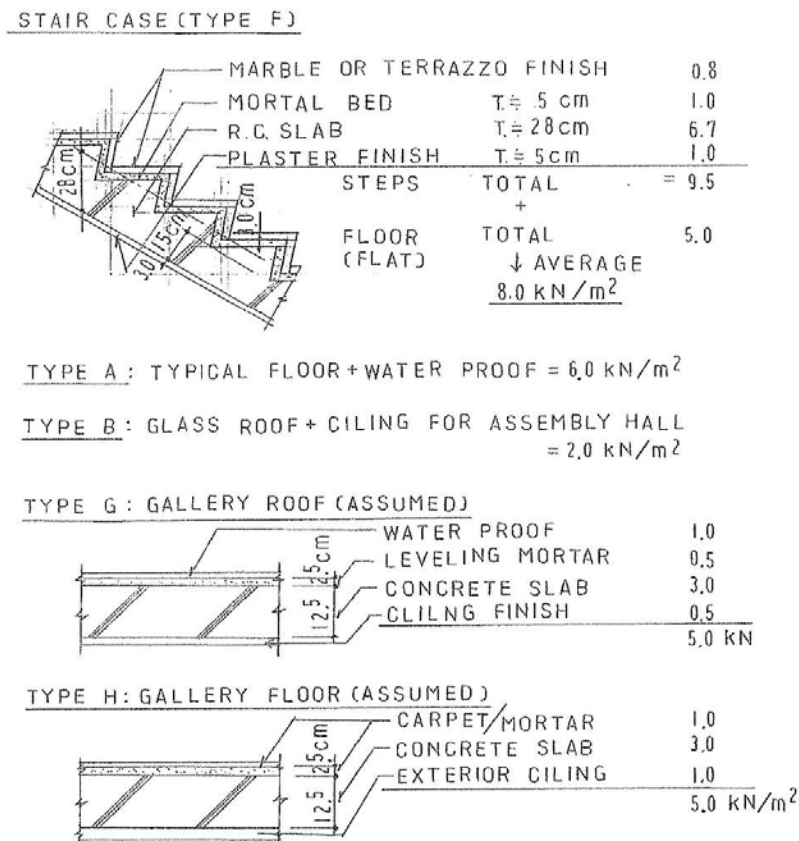


Figure 9-2 Poids unitaire typique de chaque élément (1/2)

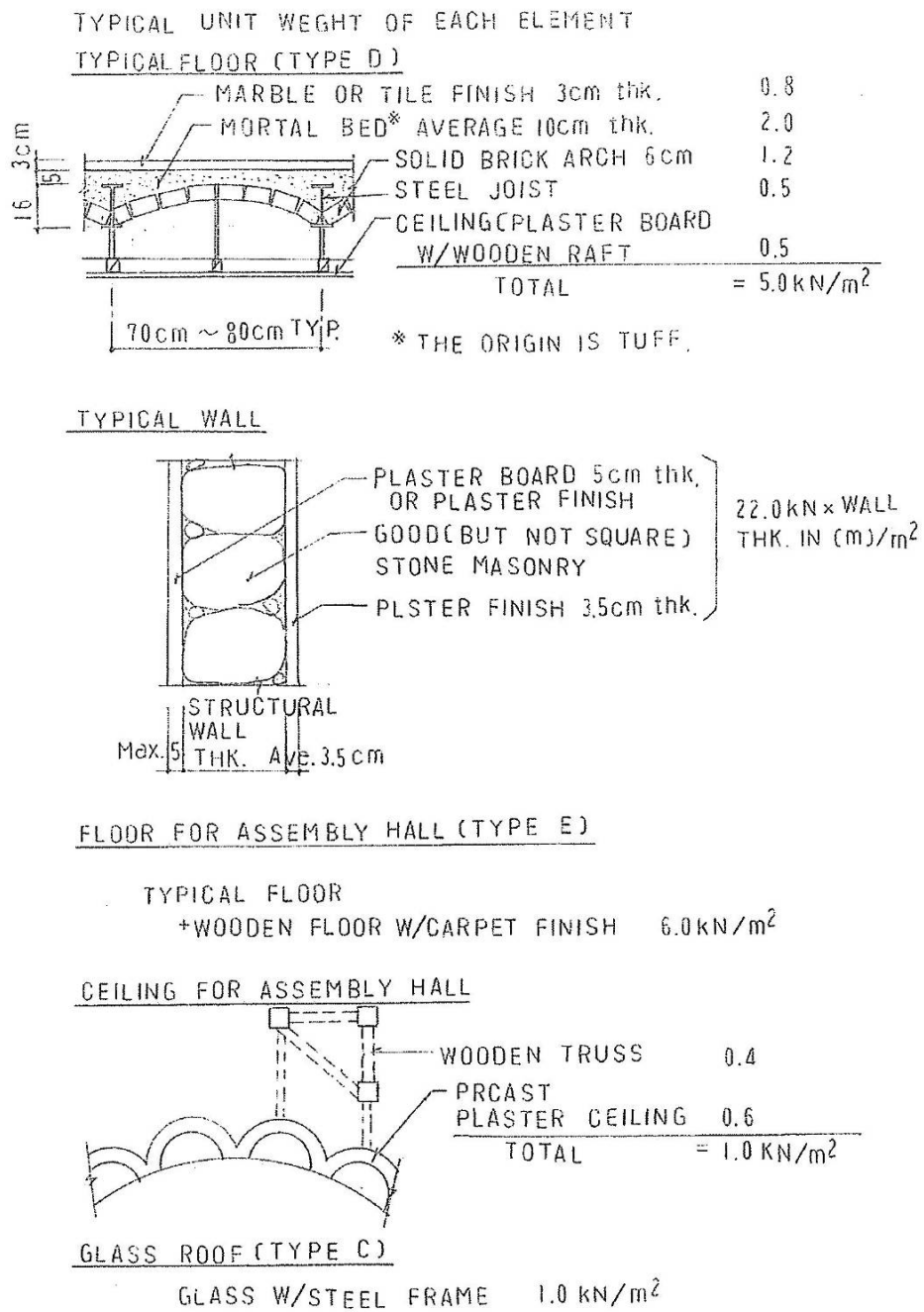


Figure 9-3 Poids unitaire typique de chaque élément (2/2)

4) Charge totale du SENAT

La charge totale calculée du SENAT est montrée au Tableau 9-5.

Tableau 9-5 Charge totale du SENAT

Étage	Surface de plancher (m <sup>2</sup> )	Charge de plancher (kN)	Poids de mur (kN)	Somme de la charge (kN)	Charge totale (kN)
3e étage	1 447	9 556	22 211	31 767	31 767
2e étage	1 589	9 384	21 205	30 589	62 356
1er étage	1 501	8 658	32 258	40 916	103 272
Entresol	2 029	11 660	25 859	37 519	140 791
Rez-de-chaussée	1 165	6 741	29 923	36 664	177 455

5) Surface en coupe de mur du SENAT

La surface en coupe de mur du SENAT est montrée au Tableau 9-6.

Tableau 9-6 Surface en coupe de mur du SENAT

Direction	3e étage (m <sup>2</sup> )	2e étage (m <sup>2</sup> )	1er étage (m <sup>2</sup> )	Entresol (m <sup>2</sup> )	Rez-de-chaussée (m <sup>2</sup> )
X	119,80	147,83	159,48	179,22	187,03
Y	91,82	119,76	130,91	191,85	203,31

6) Force de cisaillement dans l'évaluation basée sur les RPA 99/Version 2003

La force de cisaillement dans l'évaluation est calculée sur la base de la formule suivante :

$$V = A D Q W / R = 0,4 \times 1,9 \times 1,0 W / 2,5 = 0,304 W$$

Où;

$$A = 0,4; \text{ Coefficient d'accélération au sol}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{\xi + 2}} = 0,76 \text{ avec } \xi = 10 \%,$$

$$D = 2,5\eta = 1,9$$

$$Q = 1,0 ; \text{ Facteur de qualité}$$

$$R = 2,5; \text{ Facteur de ductilité}$$

$$W = m g; \text{ Poids de bâtiment}$$

La contrainte moyenne de cisaillement d'un mur porteur est calculée par la formule suivante :

$$\tau = 0,304 \times \Sigma W / \Sigma W_a$$

Où;

$$\Sigma W : \text{ Charge totale (kN)} \quad \Sigma W_a : \text{ Surface totale en coupe de mur (mm}^2\text{)}$$

### 7) Évaluation sismique du SENAT

L'évaluation sismique effectuée selon la formule suivante apporte le résultat montré au Tableau 9-7.

$$\tau_0 \geq F \tau \rightarrow \tau_0/F \tau \geq 1,0 \text{ ---Le bâtiment est une « construction sûre »}$$

$$\tau_0 < F \tau \rightarrow \tau_0/F \tau < 1,0 \text{ ---Le bâtiment est une « construction peu sûre »}$$

Où;

$$\tau_0 = 0,056 \text{ MPa (N / mm}^2\text{)} : \text{ Force de cisaillement du mur porteur}$$

$$F = 1,15 : \text{ Facteur de sûreté}$$

Tableau 9-7 Évaluation sismique du SENAT

Locaux	Valeur numérique				Jugement	
	$\tau_0$	Direction X		Direction Y		
		$F\tau$	$\tau_0/F\tau$	$F\tau$		$\tau_0/F\tau$
3e étage	0,056	< 0,093	0,60	< 0,121	0,46	Construction peu sûre
2e étage	0,056	< 0,147	0,38	< 0,182	0,31	Construction peu sûre
1er étage	0,056	< 0,226	0,25	< 0,276	0,20	Construction peu sûre
Entresol	0,056	< 0,275	0,20	< 0,256	0,22	Construction peu sûre
Rez-de-chaussée	0,056	< 0,332	0,17	< 0,305	0,18	Construction peu sûre
Conclusion de l'évaluation sismique: Le bâtiment du SENAT est une « Construction peu sûre ». Le bâtiment du SENAT nécessitera donc une étude de renforcement y compris des travaux. Se référer aux recommandations pour le plan de renforcement.						
Vu que ladite évaluation sismique a été effectuée sur la base de la « force supposée de cisaillement du mur porteur de 0,056 Mpa (N/mm <sup>2</sup> ) », il est à confirmer si elle est la force de cisaillement réelle des matériaux de joints des murs porteurs existants avant de donner la décision définitive. En règle générale, la force de cisaillement d'un mur en maçonnerie est limitée par les matériaux de joints. Cette information peut être obtenue à travers la méthode de carottage ou d'autres méthodes efficaces. En cas d'application de la méthode de carottage, le nombre d'échantillons recommandé est comme suit : Pour l'ensemble du bâtiments: 5 échantillons au rez-de-chaussée et au 1er étage (3-niveaux) et 3 échantillons de chaque des 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> étages ; 21 échantillons au total						

### 9-1-2 Bâtiments en BA

Plus de la moitié des bâtiments existants dans la zone d'étude de la Wilaya d'Alger est construite en portiques auto stables en béton armé tel qu'indiqué au Tableau 6-2 « Rapport de types de structure de chaque commune » du Chapitre 6. Dans la présente section, il sera évalué la vulnérabilité des bâtiments existants du type portiques auto stables en béton armé à travers l'évaluation sismique des trois bâtiments typiques, une maison d'habitation, une école et un hôpital.

(1) Méthodologie d'évaluation sismique d'un bâtiment en béton armé

L'évaluation sismique des bâtiments existants en béton armé a été réalisée sur la base du

*Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001 (English version, 1st edition)* de The Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, Japan / Association japonaise de la prévention des catastrophes des bâtiments, Tokyo, Japon.

La présente méthode propose trois niveaux d'investigation sismique dans les procédures de prévention du risque sismique. Le premier niveau d'investigation sismique est simple, mais très restrictif, et le résultat est très conservatif. Il consiste à faire une évaluation globale et non approfondie de la capacité portante de la structure. Ceci premier niveau d'investigation n'est présenté dans ce rapport. Le deuxième niveau d'investigation exige la connaissance des caractéristiques des matériaux en place et la définition du mode de ruine de la structure (mode d'effondrement des poteaux) qui suppose que les poutres de plancher sont plus rigides que les éléments verticaux. Cette supposition peut être raisonnable selon l'observation des dommages sismiques montrés en annexe 2 « Dommages sismiques ». Le troisième niveau d'investigation prend en compte tous les éléments verticaux et horizontaux pour l'évaluation de la capacité de la structure. Le volume de calcul est énorme et la nécessité d'utiliser un outil informatique est indispensable.

Il en résulte que la procédure du deuxième niveau d'investigation est la procédure qui a été appliquée. Une liste de l'errata du dit standard (version anglaise) est montrée en annexe 3 à titre d'information.

Les indices et les formules clefs du deuxième niveau d'investigation sont indiqués comme suit à titre d'information :

Indice parasismique de la structure,

$$I_s = E_o S D T \dots\dots\dots(1)$$

$E_o$  : Indice parasismique de la structure de base.

$S D$  : Indice d'irrégularité.

$T$  : Indice de temps.

$E_o$  de la structure à ductilité dominante,

$$E_o = n+1/n+i \sqrt{(C1F1)^2 + (C2F2)^2 + (C3F3)^2} \dots\dots\dots(4)$$

$E_o$  de la structure à résistance dominante,

$$E_o = n+1/n+i (C_1 + \sum \alpha_j C_j) F_1 \dots\dots\dots(5)$$

$C$  : Indice de résistance,

$F$  : Indice de ductilité, celui-ci est estimé principalement en fonction des déplacements limites des éléments par rapport à la rupture de cisaillement.

$n+1/n+i$  : Facteur de correction de cisaillement par niveau

$\alpha$  : Facteur de résistance.

$$C = Q_u / \Sigma W \dots\dots\dots(12)$$

$Q_u$  : Capacité ultime de transfert des efforts des éléments verticaux du niveau concerné.

$\Sigma W$  : Poids total supporté par le niveau concerné.



Jugement sismique

$$I_s \geq I_{so} \dots\dots\dots(37)$$

*I<sub>so</sub>* : Indice de demande sismique de la structure.

$$I_{so} = E_s Z G U \dots\dots\dots(38)$$

*E<sub>s</sub>* : Indice de demande sismique de base de la structure.

*Z* : Indice de zone (1,0, cas typique)

*G* : Indice de sol (1,0, cas typique)

*U* : Indice d'usage (1,0, 1,25, 1,5)

En ce qui concerne l'indice de demande sismique de la structure, *E<sub>s</sub>*, une rangée de 0,50 à 0,60 est recommandée en tenant compte de l'intensité sismique de la zone d'étude et la valeur minimum de 0,50 a été utilisée dans l'évaluation de la vulnérabilité sismique.

Une autre équation de jugement est nécessaire et qui est la suivante :

$$CTU S_d \geq (0,2 \sim 0,3) Z G U \dots\dots\dots(39)$$

*CTU*: Indice de résistance cumulatif à la déformation ultime de la structure

(0,2~0,3) est la rangée recommandée pour la dite équation et 0,2 a été utilisé pour le jugement. Il convient de se référer à la section 3-2 du Chapitre 10 « Recommandations pour la réduction de l'impact sismique » pour plus d'informations.

Il y a certaines similarités entre les règles japonaises et les RPA99ver.2003 en cas d'évaluation sismique comme suit :

- $C (= Q/W) \cdot F \cdot (S_D \cdot T) \geq (E_s \cdot Z \cdot G \cdot U)$   
 $Z=1.0, G=1.0, \text{Typical, Japanese Standard}$
- $(V/W) \cdot R \cdot 1/Q \geq (A \cdot D)$       RPA99 ver. 2003  
*A* : Zone acceleration coefficient  
*D*: Dynamic amplification factor

(2) Évaluation sismique des bâtiments existants en BA

Les grandes lignes des trios bâtiments en BA destinés à l'évaluation sont montrées au Tableau 9-1 « Données détaillées collectées pour l'évaluation des bâtiments ». L'évaluation sismique a été réalisée pour les trois bâtiments suivants :

- Maison d'habitation à cinq niveaux, conçue selon les RPA 88.
- École élémentaire à deux niveaux, conçue selon les RPA88.
- Bâtiment du Centre de cancérologie (chimio thérapie) Pierre et Marie Curie, Hôpital Mustapha, conçu selon les RPA83. Ce bâtiment hospitalier est considéré comme étant d'une importance stratégique. Une vue d'ensemble en est montrée dans la Photo 9-13.

Les structures des trois bâtiments sont portiques auto stables en béton armé.

En plus, l'évaluation sismique d'une maison d'habitation non parasismique à cinq niveaux a été effectuée pour l'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment soumis aux variations de la résistance du béton comme le montre l'annexe 1:



Photo 9-13 Vue générale de l'Hôpital Mustapha

1) Maison d'habitation à cinq niveaux

(A) Généralités

Le bâtiment est une maison d'habitation typique à cinq niveaux du type à portiques en béton armé. Sa conception est basée sur les règles parasismiques RPA88.

(B) Bâtiment

Les grandes lignes de ce bâtiment sont comme suit :

- a) Hauteur de niveau constante: du 1er au 5e niveau, 2,9 m.
- b) Travée entre poteaux: dans la direction X est de 5.1 m, direction Y de la maille A à la maille D 3,6 m, 4,8 m.
- c) Le joint de dilatation étroit entre les bâtiments adjacents est évalué par l'indice d'irrégularité.

Les plans des planchers typiques et d'ossatures typiques de calcul sont montrés à la Figure 9-5. L'ossature structurelle est montrée à la Figure 9-6.

(C) Matériaux

Les matériaux utilisés sont les suivants:

Barre d'armature principale  $\sigma_y$   
= 420 N/mm<sup>2</sup> (400 x 1,05), Anneau  $\sigma_y$  = 240N/ mm<sup>2</sup> (230 x 1,05)

Béton 27,5 N/mm<sup>2</sup> (Le résultat des essais par carottage de 4 noyaux pendant la construction est montré. La résistance de calcul est de 25 N/mm<sup>2</sup>)

(D) Poteaux

Les sections des poteaux sont les suivantes:

1er et 2e niveaux dans les mailles C et D seulement; largeur x profondeur; 35 cm x 35 cm, Barre d'armature principale; 16 mm x 4 (coins),  $\phi 14$  mm x 4 (intermédiaire), Anneau;  $\phi 8$  mm @100 mm, Diagonal  $\phi 8$  mm @100 mm

Autres; largeur x profondeur, 30 cm x 30 cm, renforcement étant le même que ci-dessus

(E) Charges

Les poids unitaires dans l'estimation du poids de bâtiment sont les suivants :

Les poids unitaires sont de 10 kN/m<sup>2</sup> en cas de toiture, de 12 k N/m<sup>2</sup> en cas de plancher typique et 6 kN/m<sup>2</sup> en cas de balcon.

(F) Jugement sur la sécurité sismique

L'indice de demande sismique  $I_{so} = 0,50$  (indice d'usage de 1,0), et  $C_{TSD} \geq 0,20$  est appliqué.

(G) Résultat d'évaluation sismique

Le résultat de l'évaluation est résumé au Tableau 9-8 et à la Figure 9-4. Ce bâtiment a été jugé « peu sûr » tel que montré ci-dessous.

a) Les valeurs d' $I_s$  des 1er et 3e niveaux étaient inférieures à l'indice de demande sismique,  $I_{so}$ , de 0,50.

$I_s$  du 1er niveau était de 80% de l'indice de demande sismique. L'indice de ductilité du 1er niveau était de 2,25, peu élevée, à cause du rapport élevé de l'effet axial sur poteaux.

b)  $C_{TSD}$  des 1er, 2e, 3e et 4e niveaux était moins élevé que la valeur requise de 0,20.

c)  $I_s$  et  $C_{TSD}$  du 5e niveau seul étaient plus élevés que la valeur requise.

Tableau 9-8 Indice parasismique de la structure,  $I_s$ , (directions X, Y)

Niveau	$\Sigma W(kN)$	C	F	$n+1/n+i$	$E_o$	$I_s$	$C_{TSD}$
5	2090	0,57	3,2	0,545	1,10	1,02	0,32
4	4557	0,30	3,2	0,667	0,65	0,60	0,19
3	7024	0,22	3,0	0,75	0,50	0,47	0,16
2	9491	0,22	3,0	0,857	0,57	0,53	0,18
1	11958	0,19	2,25	1,0	0,43	0,40	0,18

$S_D$ ; 0,95 (manque d'espace dans les joints de dilatation)

T; 0,975 ayant été utilisé

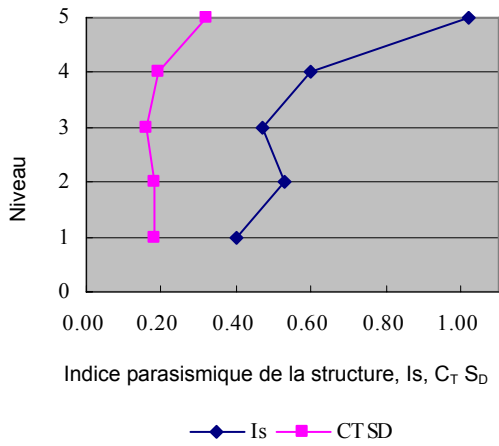


Figure 9-4 Résultat d'évaluation sismique

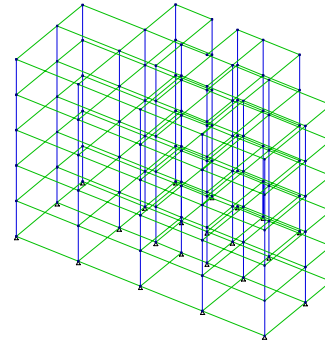
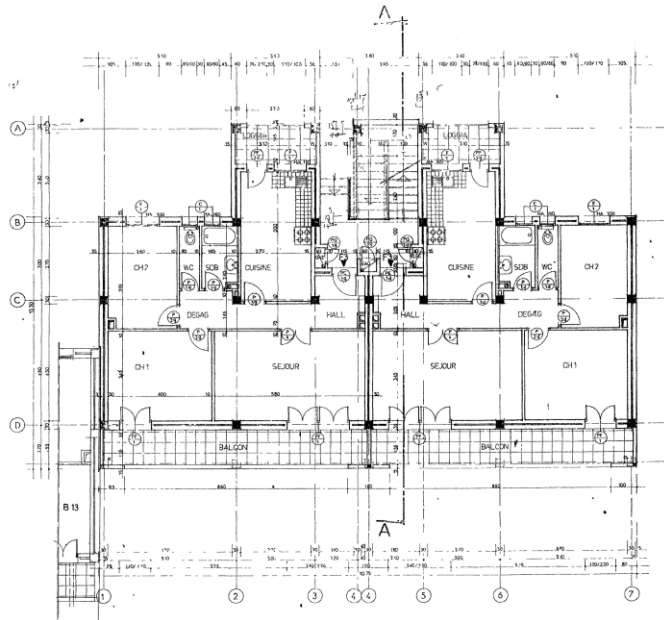
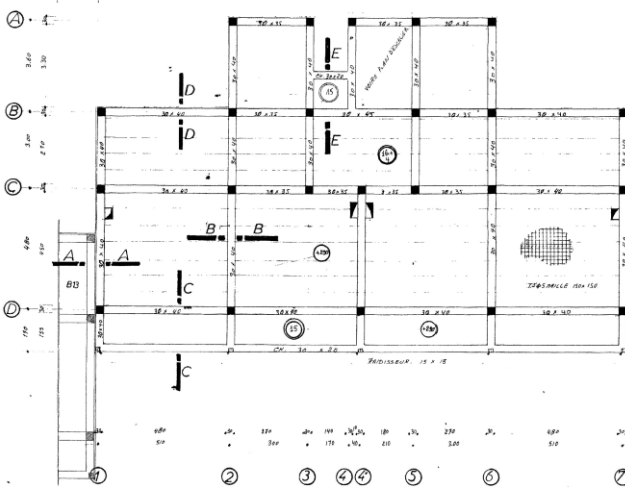


Figure 9-6 Ossature structurale



a) Plan de planchers typiques



b) Plan d'ossatures typiques

Figure 9-5 Plans de calcul

2) École à deux niveaux conçue selon les RPA88

(A) Généralités

C'est un bâtiment typique à deux niveaux du type à portiques en béton armé dont la conception parasismique a été prévue selon les RPA88.

(B) Bâtiment

Les grandes lignes de ce bâtiment sont les suivantes :

- a) 6 travées de 4,5 m de long en direction X.
- b) 2 travées de 2,0 m et de 7,0 m en direction Y.
- c) Hauteur de niveau 3,5 m pour 1er et 2e niveaux.
- d) Les poteaux en direction X de la travée A ont été évalués courts à cause de murs épais de briques solides.

Le plan d'ossatures structurelles et le plan d'élévation sont montrés à la Figure 9-7.

(C) Éléments et matériaux de poteaux

Les éléments et les matériaux de poteaux utilisés sont les suivants :

Travées A et B, largeur x profondeur, 600 mm (direction Y) x 300 mm (direction X)  
Barre d'armature principale,  $\varnothing 16$  mm x 10 (3 en direction Y, 4 en direction X)

Travée C, 300 mm x 300 mm, barre d'armature principale,  $\varnothing 16$  mm x 8  
Cadre,  $\varnothing 8$  mm @100 mm au sommet et au fond, @150 mm au centre  
Cadre diagonal, idem

Barre d'armature principale;  
 $\varnothing 16$  mm 400 Mpa (400 N/mm<sup>2</sup>, limite d'élasticité)

Cadre;  $\varnothing 8$  mm 240 Mpa (240 N/mm<sup>2</sup>, limite d'élasticité)

Note: L'intervalle minimum entre les cadres est de 150mm à Alger, zone II, selon les RPA 81(83) et 88. Mais selon le CGS, l'intervalle de 100mm est habituellement utilisée au sommet et au fond.

Béton  $f_{c28} = 20$  Mpa (200 kg/cm<sup>2</sup>, résistance de 28 jours)

(D) Poids unitaires et surface de plancher

Les poids unitaires dans l'estimation du poids de bâtiment sont les suivants :

Le poids de chaque niveau incluant les charges permanentes et les charges d'exploitation est estimé à :13 kN/m<sup>2</sup> en cas de toiture et de deuxième niveau.

L'effet axial sur poteau à la charge verticale est utilisée pour la résistance du poteau et la variation de l'effet axial suivant la charge sismique est ignorée parce qu'elle est faible. La conversion de l'unité de 1kgf=10 N a été utilisée pour souci de simplicité au lieu de 1 kgf=9,8 N.

Surface de plancher deuxième niveau 27 m x 9 m = 243 m<sup>2</sup>, premier niveau 27 m x 9 m = 243 m<sup>2</sup>

(E) Indice d'irrégularité et indice de temps

L'indice d'irrégularité dans la direction X est estimé en tenant compte l'excentricité de l'ossature.

Excentricité L de la direction X;

$E = 4,5\text{m}$  (distance supposée entre le centre de gravité et le centre de rigidité)

$B = 9,0\text{m}$ ,  $D = 27,0\text{m}$

$L = E / \sqrt{(B^2+D^2)} = 4,5 / \sqrt{(92 + 272)} = 0,158 > 0,15$

$S_D = 0,8$  est appliqué à la direction X

Indice de temps,  $T = 0,95$  est utilisé.

(F) Jugement sur la sécurité

L'indice parasismique  $I_{so} = 0,50$  (indice d'usage de 1,0), et  $C_T S_D \geq 0,20$  sont appliqués.

(G) Résultat d'évaluation sismique

Le résultat est résumé au Tableau 9-9. Les poteaux de la travée A sont évalués extrêmement fragiles dans la direction X et l'irrégularité due à l'excentricité qui réduit la capacité parasismique. Les premier et deuxième niveaux de ce bâtiment d'école sont jugés « peu sûres » dans la direction X et « sûres » dans la direction Y.

Tableau 9-9 Résumé de l'évaluation sismique

Résumé de l'évaluation sismique

Nom du bâtiment:	Année de construction:	1990 (RPA88)	Date:	2006/6/17
Niveau de dépistage:	2	Usage:	Ecole	Ingénieur:

Direction	Niveau	$C_T$	F	Mode de ruine	$E_o$	$S_D$	T	$I_s$	$C_{TU} S_D$	Jugement
X	2	0.495	0.80	Ext.Brittle	0.474	0.80	0.95	0.36	0.37	NG
		0.253	3.20	Flexural						
	1	0.346	0.80	Ex.Brittle	0.338	0.80	0.95	0.26	0.27	NG
		0.152	3.20	Flexural						
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

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

$C_{TU}$  at ultimate of F1 index

Il est à noter que l'indice de ductilité, F, est réduit de 3,2 à 2,6 en cas d'intervalle d'anneau de @ 150 mm. L'indice parasismique de la structure,  $I_s$ , est donc également réduit inévitablement.

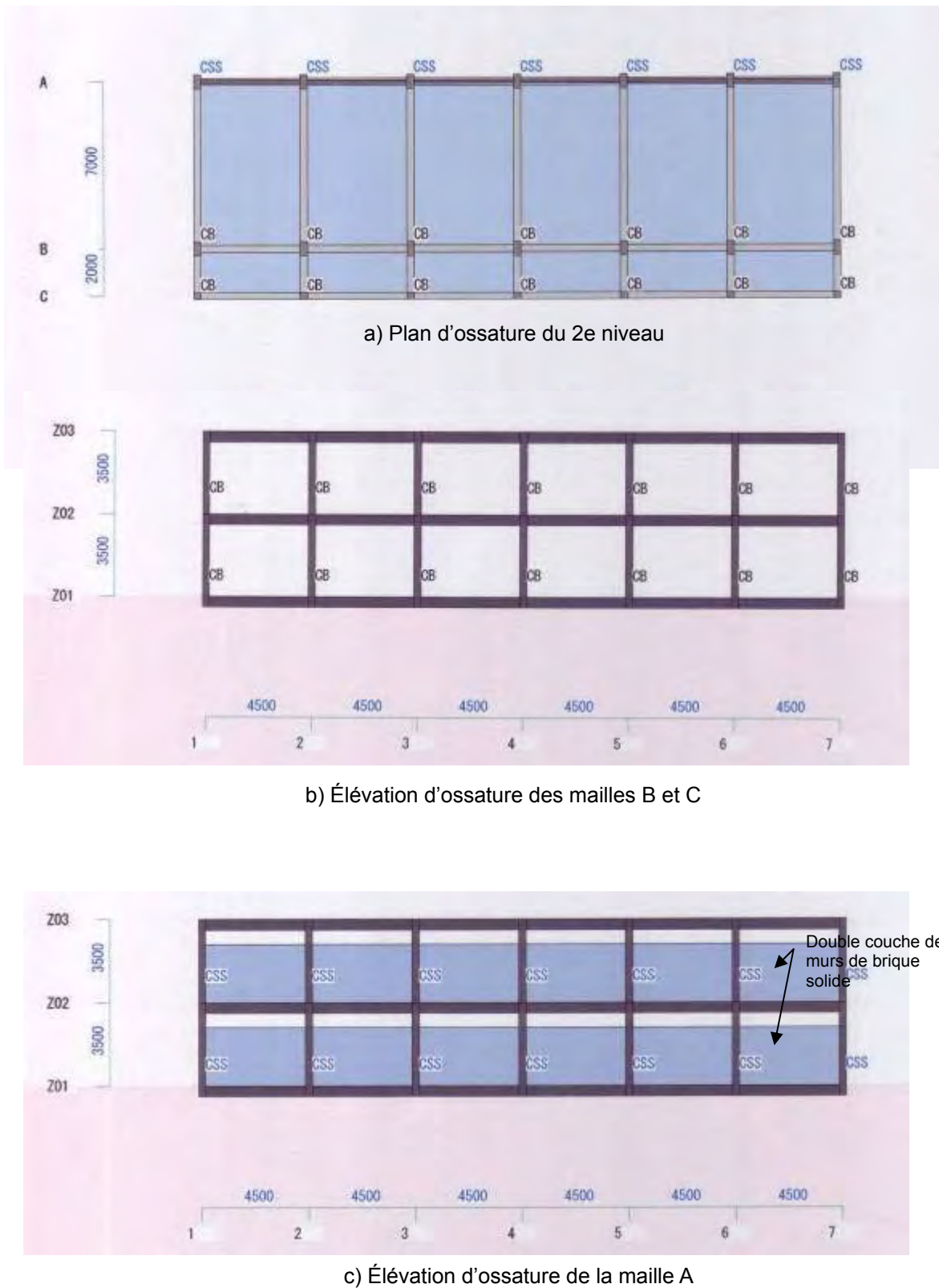


Figure 9-7 Plan d'ossatures et d'élévation

3) Centre de cancérologie Pierre et Marie Curie de l'Hôpital Mustapha

(A) Généralités

L'hôpital est une construction du type à portiques en béton armé conçue selon les règles parasismiques RPA83.

Le bâtiment de cet hôpital est désigné en tant que bâtiment d'importance stratégique.

(B) Bâtiment

Les caractéristiques de ce bâtiment sont les suivantes :

- a) Le bâtiment de cet hôpital est divisé en 4 blocs avec des joints de 4 cm entre chaque bloc.
- b) 1 bloc typique séparé par les joints de dilatation a fait l'objet de l'évaluation.
- c) Niveaux: 3 niveaux au dessus du sol et 1 niveau en sous-sol
- d) Type de structure: Portiques auto stable en béton armé
- e) 5 travées dans la direction X @ 6.0 m, 4 travées en direction Y @ 5.1 m
- f) Hauteur de niveau, 1er niveau 4,5 m, 2e 3,0 m, 3e 3,0 m

Les plans de niveaux et d'ossatures sont montrés à la Figure 9-8.

(C) Matériaux

Les matériaux utilisés sont les suivants:

Barre d'armature principale 400 kN/mm<sup>2</sup>, cadre 235 kN/mm<sup>2</sup>, Béton 27 N/mm<sup>2</sup> (résistance de calcul)

(D) Poteaux

Les sections de poteaux du 1<sup>er</sup> niveau au 3<sup>e</sup> niveau sont les suivantes :

Largeur x profondeur; 50 cm x 50 cm, Barre d'armature principale; 25 mm x 4 (coins), ø20 mm x 4 (intermédiaire)

cadre; ø 10 mm @100 mm, Diagonal ø 10 mm @100 mm

(E) Condition de chargement

Les poids unitaires dans l'estimation du poids de bâtiment sont les suivants :

Poids unitaires; Toiture, 11 kN/m<sup>2</sup>, 3e et 2e niveaux, 14 kN/m<sup>2</sup> selon l'estimation des charges des surfaces typiques.

(F) Jugement sur la sécurité sismique

L'indice de demande sismique  $I_{so} = 0,50 \times 1,5 = 0,75$ , et  $C_{TS_D} \geq 0,20 \times 1,5 = 0,30$  est appliqué (indice d'usage 1,5 utilisé).



(G) Résultat d'évaluation sismique

Le résultat est résumé au Tableau 9-10. Le 1<sup>er</sup> niveau de ce bâtiment est jugé « peu sûr » en tant que bâtiment hospitalier d'importance stratégique.

- a) La valeur  $I_s$  du 1er niveau est légèrement inférieure à  $I_{so}$ , et  $C_T S_D$  moins élevé que la valeur requise. Ceci montre que la résistance horizontale au 1<sup>er</sup> niveau est inadéquate.
- b) Les valeurs  $I_s$  et  $C_T S_D$  aux 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> niveaux sont supérieures à la valeur requise.
- c) Ce bâtiment dispose d'un sous-sol à 1 niveau qui augmente la capacité parasismique, mais le rapport de rigidité/masse au 1<sup>er</sup> niveau réduit la capacité parasismique telle que montrée par l'indice d'irrégularité.

Tableau 9-10 Indice parasismique de la structure,  $I_s$ , et  $C_T S_D$  (2e niveau)

Niveau	Direction Y								Direction X	
	C	F	n+1/n+i	Eo	$S_D$	T	$I_s$	$C_T S_D$	$I_s$	$C_T S_D$
3	0,76	3,2	0,67	1,61	1,11	0,95	1,72	0,84	1,74	0,85
2	0,42	3,2	0,80	1,07	1,11	0,95	1,13	0,46	1,15	0,47
1	0,24	3,2	1,00	0,76	1,00	0,95	0,72	0,24	0,72	0,24

$S_D$  1,11 (3e et 2e niveaux), 1,0 (1er niveau), T: Indice de temps (0,95 utilisé)  
 $S_D$ : Indice d'irrégularité (Joint de dilatation, x 0,95, Uniformité de niveau en hauteur, x 0,975, Niveau sous-sol, x 1,20, Rapport de rigidité/masse, x 1,0 (3e et 2e niveaux), 0,9 (1er niveau) ),

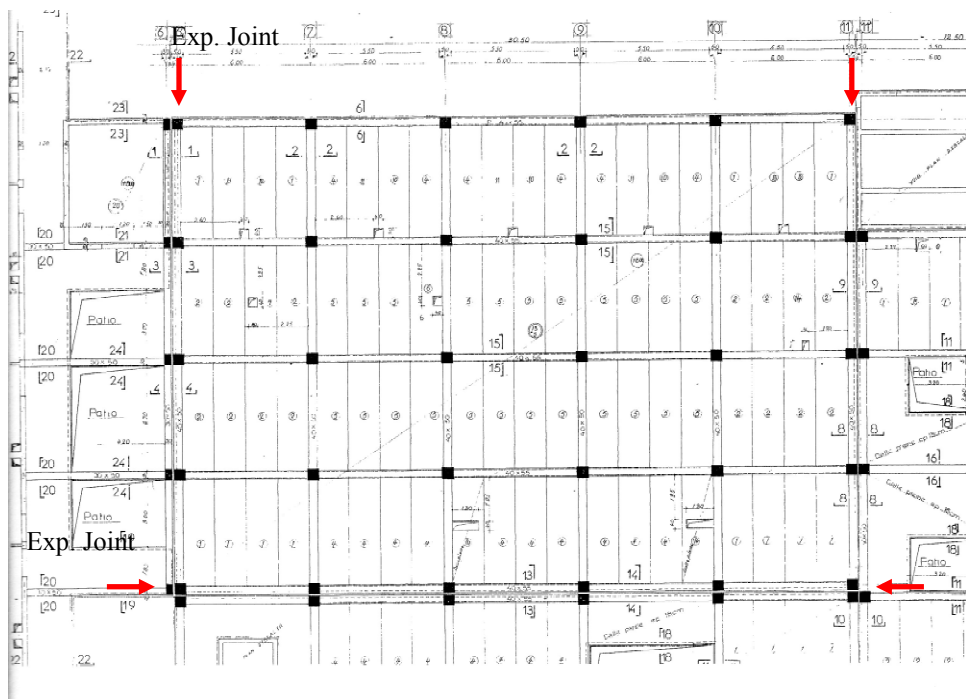
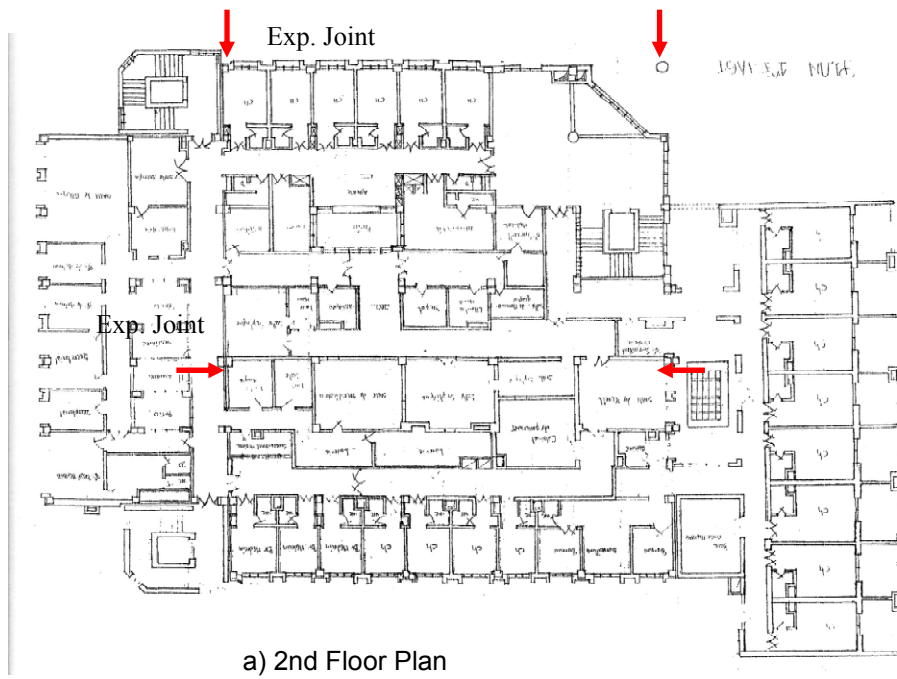


Figure 9-8 Plans de coffrage

## Annexe 1 : Évaluation sismique d'une maison d'habitation à cinq niveaux non parasismique

### A) Généralités

L'évaluation sismique a été effectuée dans le but d'évaluer la vulnérabilité d'une maison d'habitation à cinq niveaux qui semble typique parmi les bâtiments ayant souffert de dommages sérieux ou effondrés lors des récents séismes en Algérie. La maison d'habitation est supposée avoir été construite durant les années 1970 sans calcul parasismique.

L'effet de la faible résistance de béton sur l'indice parasismique de la structure a été évalué. La résistance du béton avec une moyenne de  $16 \text{ N/mm}^2$  a été rapportée par le CGS en tant que résultat du prélèvement par carottage des noyaux des maisons effondrées.

Il a été sélectionné un bâtiment ayant une structure en portiques auto stables en béton armé avec 4 travées par 2 travées et 5 niveaux considéré comme maison d'habitation typique. L'évaluation sismique par la procédure du deuxième niveau a été appliquée au premier niveau.

Les dimensions des éléments et des aciers ont été estimées sur la base des rapports de l'ingénieur du CGS et du chef de projet engagés dans la reconstruction des maisons d'habitation à Boumerdes.

Le plan d'ossatures typiques et l'ossature structurelle sont montrés à la Figure 9-A2 et à la Figure 9-A3 respectivement.

### B) Poids unitaires, matériaux et sections de poteaux :

#### a) Poids unitaires de bâtiment supposés

Toiture;  $10 \text{ kN/m}^2$ , Plancher typique,  $13 \text{ kN/m}^2$ , Balcon,  $6.5 \text{ kN/m}^2$

#### b) Matériaux

Barre d'armature

Principale  $400 \text{ N/mm}^2$

Anneau  $235 \text{ N/mm}^2$

Béton longueur standard  $25 \text{ N/mm}^2$

#### c) Sections de poteaux supposées

Largeur x profondeur  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$

Barre d'armature principale: 8-D16

Cadre 8 mm@150 mm

Poutres  $35 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$  (40 cm utilisés pour le calcul de la hauteur libre du poteau)

#### d) Effet axial supplémentaire pendant le séisme

L'effet axial supplémentaire sur les poteaux pendant le séisme a été estimé par l'analyse d'élasticité en utilisant les charges sismiques avec le coefficient de cisaillement de base  $C = 0,15$ .

C) Résultat de l'évaluation sismique

L'indice parasismique de la structure au 1er niveau est montré à la Figure 9-A1 avec les différentes résistances du béton.

- a) L'indice parasismique de la structure,  $I_s$ , pour une résistance standard du béton est égal ou supérieur à 0,25
- b) L'indice parasismique de la structure,  $I_s$ , pour une faible résistance du béton est égal ou inférieur à 0,15.

Ceci relève essentiellement de l'indice de ductilité faible par rapport au rapport de l'effet axial élevé des poteaux.

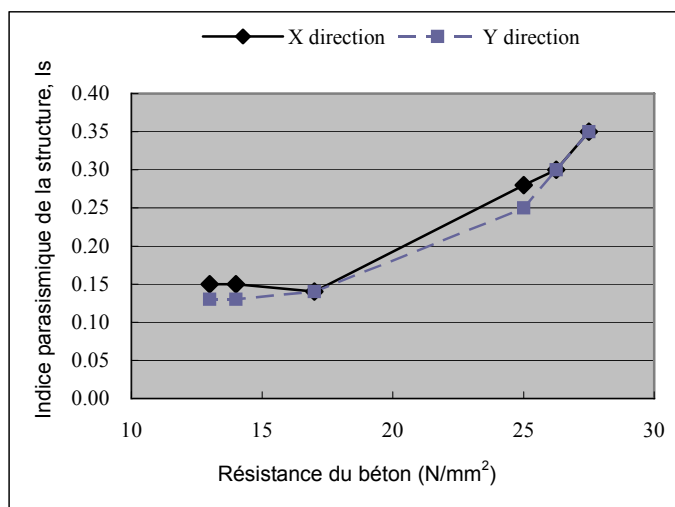


Figure 9-A1 Indice parasismique de la structure,  $I_s$ , et la résistance du béton

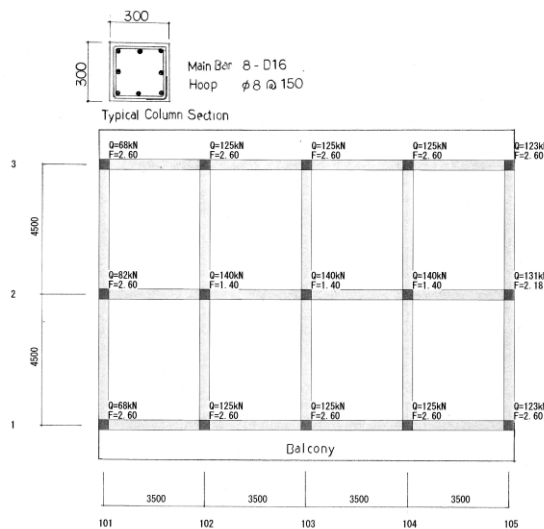


Figure 9-A2 Plan d'ossatures typiques

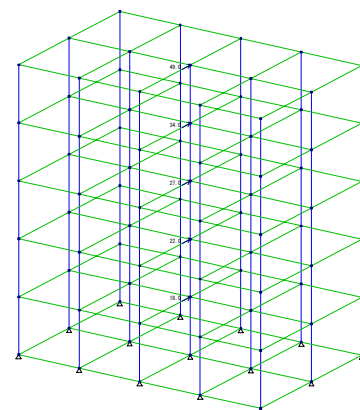


Figure 9-A3 Ossature structurelle

## Annexe 2 : Dommages sismiques



a) Dommages graves non structurels au 1er niveau



b) Destruction par effondrement de poteaux



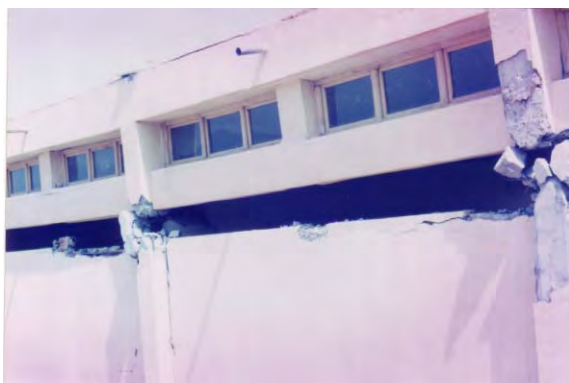
c) Destruction par effondrement de poteaux



d) Destruction par effondrement de poteaux

Source: CGS

Figure 9-A4 Maison d'habitation endommagée par le séisme de Boumerdes 2003



a) Rupture de cisaillement des poteaux courts



b) Rupture d'inflexion/cisaillement des poteaux

Source: CGS

Figure 9-A5 École endommagée par le séisme de Mascara en 1994

## Annexe 3 : Errata de l'évaluation sismique standard (version anglaise)

La liste suivante concerne la correction des erreurs de l'évaluation sismique standard (version anglaise) observées pendant l'étude en comparaison avec la version japonaise (ceci ne peut pas être supposé s'accomplir) :

Tableau 9- A1 List d'errata de l'évaluation sismique standard (version anglaise)

Page	Section	Original	Correction
1-11	(a) Ductility-dominant basic index of structure	The index F of the first group shall be taken as <b>larger than</b> 1.0 ...	The index F of the first group shall be taken as <b>larger than or equal to</b> 1.0 ...
1-20	(d) flexural column	(i) Incase $R_{mn} < R_y$ (ii) Incase $R_{mn} \square R_y$	(i) Incase $R_{mu} < R_y$ (ii) Incase $R_{mu} \square R_y$
1-46	(3) Upper limit of the drift angle of flexural columns	$n'=(\eta-\eta_L)/(\eta_H-\eta_L)$	$n'=(\eta-\eta_L)/(\eta_H-\eta_L)$
2-25	(b) Shear strength of column	$Q_{su}=\Phi(\dots\dots)$	$Q_{su}=(\dots\dots)$
3-23	Table 1.1.A-10	Current F of Y2 frame at 4 storey, <b>3.17</b>	Current F of Y2 frame at 4 storey, <b>3.16</b>
3-27	Tableau 1.1.A-13	Current F of Y2 frame at 4 storey, <b>3.14</b>	Current F of Y2 frame at 4 storey, <b>3.16</b>
3-29	Tableau 1.1.A-17	C at 4 storey, <b>0.442, 0.473, 0.783</b> F of Y2 frame at 4 storey, <b>3.14</b>	C at 4 storey, <b>0.450, 0.480, 0.796</b> F of Y2 frame at 4 storey, <b>3.16</b>
3-29	Table 1.1.A-17	F1 and $E_{01}$ of Y2 frame at 4 storey by Eq.(5), <b>3.14, 0.94</b> F3 and $E_{02}$ of Y2 frame at 4 storey by Eq.(4), <b>3.14, 1.13</b> One low at 1 storey by Eq.(5) is missing	F1 and $E_{01}$ of Y2 frame at 4 storey by Eq.(5), <b>3.16, 0.95</b> F3 and $E_{02}$ of Y2 frame at 4 storey by Eq.(4), <b>3.16, 1.14</b> <b>1.86, 0.185, --, --, --, --, 0.34</b>
3-30	Table 1.1.A-18	Current F of 3 group at 4 storey, <b>3.14</b>	Current F of 3 group at 4 storey, <b>3.16</b>
3-32	Table 1.1.A-21	Max.F at 4 storey, <b>3.14</b> $E_0$ by Eq.(5), <b>0.94</b>	Max.F at 4 storey, <b>3.16</b> $E_0$ by Eq.(5), <b>0.95</b>

## 9-2 Vulnérabilité urbaine au risque sismique

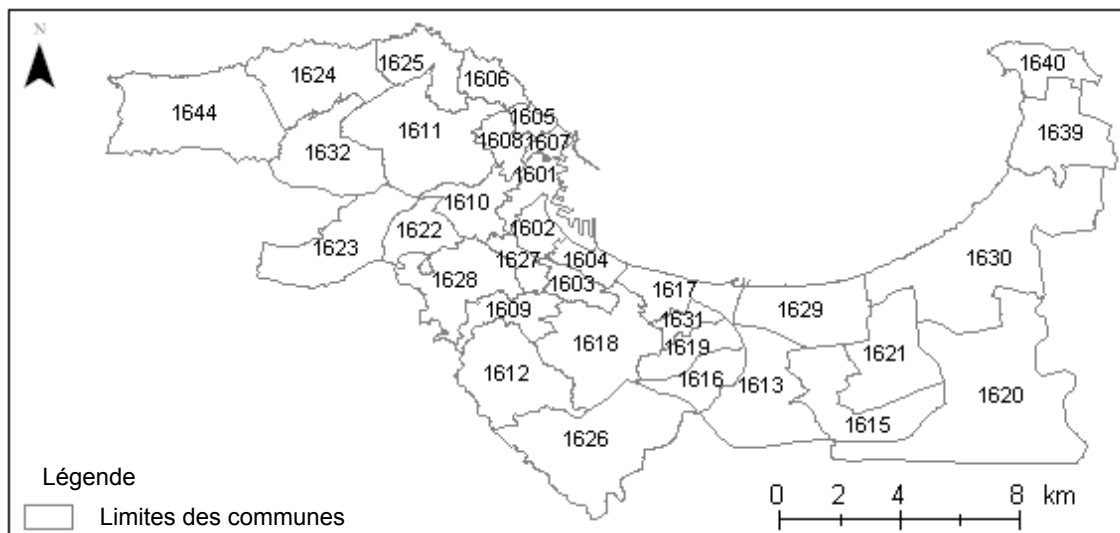
### 9-2-1 Vulnérabilité urbaine au risque sismique

La vulnérabilité au risque sismique des zones urbaines dans 34 communes de la zone d'étude a été évaluée par analyse des données du SIG préparées par l'équipe d'étude.

La vulnérabilité a été évaluée selon les critères suivants:

- Densité de population
- Âge de bâtiment
- Valeur économique
- Potentiel de mouvement de la surface de sol
- Risque de rupture de terrains en pente
- Facilité d'évacuation et de secours en cas d'urgence

Cette évaluation est statique parce qu'aucun "séisme de scénario" n'est pris en compte. La Figure 9-9 montre 34 communes situées dans la zone d'étude.



1601: ALGER CENTRE, 1602: SIDI M'HAMMED, 1603: EL MADANIA, 1604: HAMMA EL ANNASSER, 1605: BAB EL OUED, 1606: BALOGHINE, 1607: CASBAH, 1608: OUED KORICHE, 1609: BIR MOURAD RAIS, 1610: EL BIAR, 1611: BOUZAREAH, 1612: BIRKHADEM, 1613: EL HARRACH, 1615: OUED SMAR, 1616: BOUROUBA, 1617: HUSSEIN DEY, 1618: KOUBA, 1619: BACH DJERAH, 1620: DAR EL BEIDA, 1621: BAB EZZOUAR, 1622: BEN AKNOUN, 1623: DELY BRAHIM, 1624: HAMMAMET, 1625: RAIS HAMIDOU, 1626: DJASR KACENTIANA, 1627: EL MOURADIA, 1628: HYDRA, 1629: MOHAMMADIA, 1630: BORDJ EL KIFFAN, 1631: EL MAGHARIA, 1632: BENI MESSOUS, 1639: BORDJ EL BAHRI, 1640: EL MARSA

Source: INCT et Équipe d'étude

Figure 9-9 Communes situées dans la zone d'étude

### 9-2-2 Vulnérabilité urbaine de la zone d'étude

Il n'existe aucun standard global régissant l'évaluation de la vulnérabilité au risque sismique d'une zone urbaine. L'évaluation de la vulnérabilité au risque sismique de zones dans une région donnée est donc souvent effectuée en tenant compte de différentes conditions spécifiques locales. Il est noté que la JICA exerce une série d'études d'évaluation de la vulnérabilité urbaine au risque

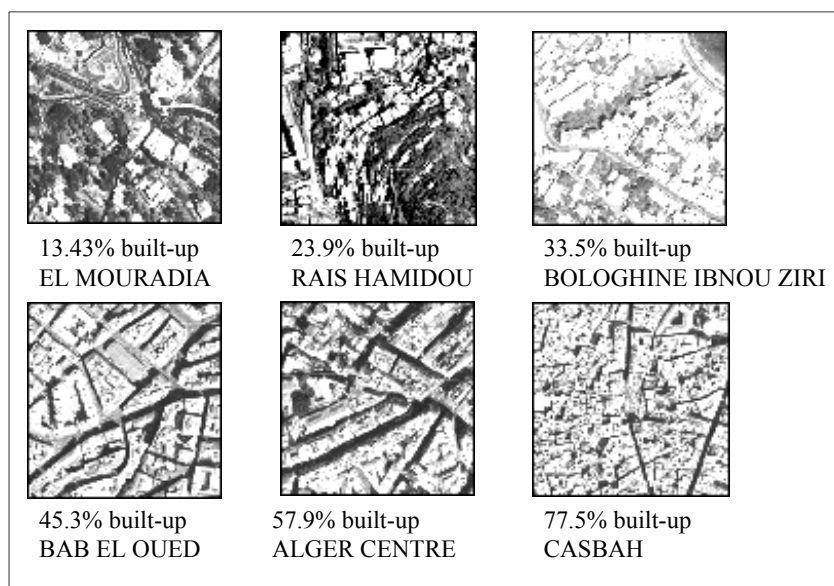
sismique de certaines villes dans le monde. Cependant, les différentes méthodologies d'évaluation adoptées à ces études n'étaient pas toujours satisfaisantes. Même dans la présente étude dans le cadre de la coopération technique de la JICA, la méthode d'évaluation en vue de déterminer la vulnérabilité urbaine au risque sismique est différente de celles appliquées à ses études précédentes. La raison essentielle de cette insuffisance en méthodologie est que la qualité et la quantité des données disponibles et étudiées étaient toujours différentes d'une ville à l'autre.

### 9-2-3 Identification des zones "Urbaines" dans la zone d'étude

Deux (2) couches de données du SIG suivantes ont été utilisées pour la détermination de l'étendue des zones urbanisées :

- Polygones représentant les bâtiments à vue plane (bâtiment "foot-prints (empreinte du pied)"); et
- Polygones représentant les cellules de maillage de microzonage.

Ces deux couches sont enregistrées ensemble dans le SIG, ce qui permet le calcul des pourcentages des zones de chaque cellule de microzonage occupée par les bâtiments. Le résultat de ce calcul est comparé avec la photo aérienne de la zone d'étude. Sur la base de cette comparaison, il est déterminé que, si les zones à masse construite couvrent 10% ou plus des cellules de microzonage, ces dernières peuvent être généralement classé en zones à masse construite (zones urbanisées) dans la zone d'étude. La Figure 9-10 montre les exemples de différentes densités des zones à masse construite pouvant être observées dans les photos aériennes.

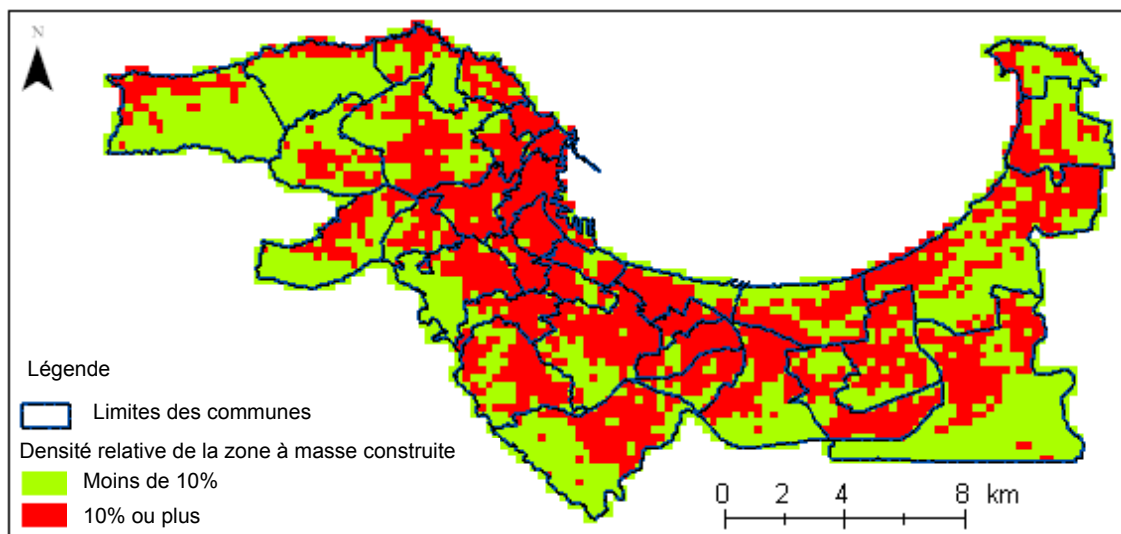


Source: INCT

Figure 9-10 Exemples de photos aériennes des zones à masse construite

La Figure 9-11 montre la densité relative des zones à masse construite dans la zone d'étude.



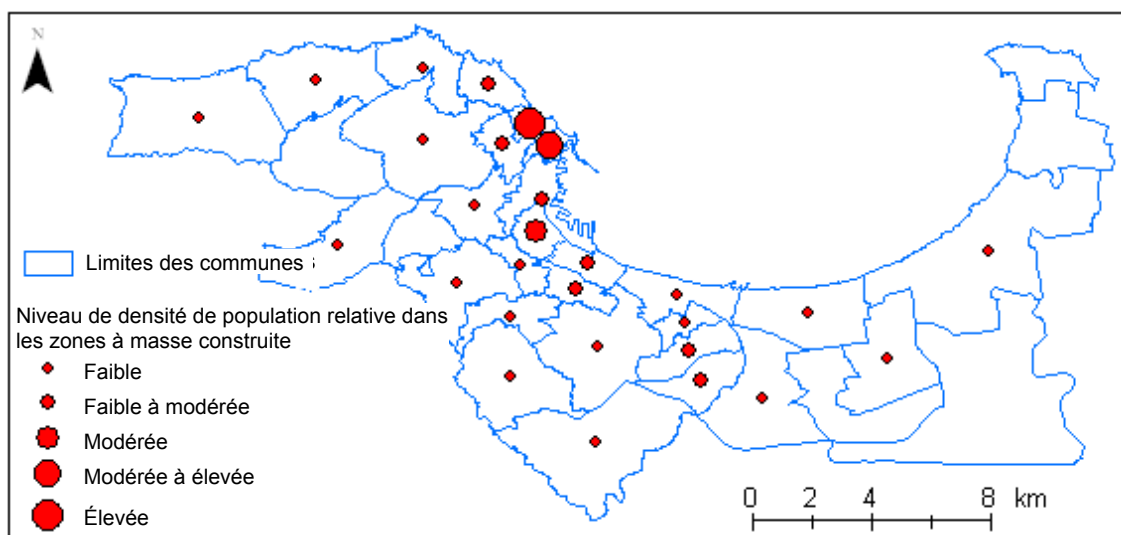


Source: Équipe d'étude

Figure 9-11 Densité relative des zones à masse construite dans la zone d'étude

#### 9-2-4 Densité de population

La densité démographique relative est un facteur important lié à la perte en vie humaine en cas de grand séisme. La surface totale des cellules urbanisées (dont la densité de la masse construite de 10% ou plus) de chaque commune est calculée en utilisant le SIG et la densité démographique relative est calculée en utilisant la formule simplifiée suivante :  $[Densité\ de\ population\ relative] = [Population^1] / [Surface\ (ha)\ d'urbanisation]$ . Le niveau de la densité de population relative est classifié en cinq (5) catégories comme le montre la Figure 9-12. Le Tableau 9-11 montre la densité de population relative de chaque commune.



Source: Équipe d'étude

Figure 9-12 Densité de population relative des zones à masse construite

<sup>1</sup> Annuaire statistique de la Wilaya d'Alger 2003

Tableau 9-11 Densité de population relative

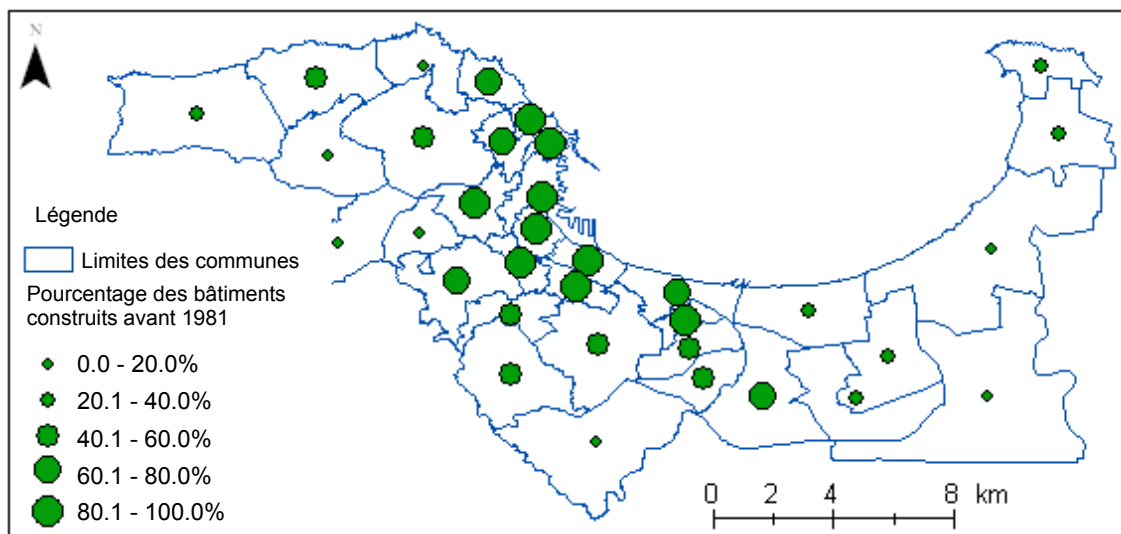
Code	Commune	Densité de population relative (Personnes/ha)	Evaluation
1605	BAB EL OUED	76315	5: Élevé
1607	CASBAH	55692	4: Modéré à élevé
1602	SIDI M'HAMED	46785	3: Modéré
1604	HAMMA EL ANNASSER	38032	3: Modéré
1616	BOUROUBA	33800	3: Modéré
1603	EL MADANIA	33600	3: Modéré
1608	OUED KORICHE	32850	2: Faible à modéré
1601	ALGER CENTRE	30786	2: Faible à modéré
1619	BACH DJARAH	30424	2: Faible à modéré
1606	BOLOGHINE IBNOU ZIRI	25731	2: Faible à modéré
1631	EL MAGHARIA	21137	2: Faible à modéré
1621	BEB EZZOUAR	19251	2: Faible à modéré
1627	EL MOURADIA	17522	1: Faible
1617	HUSSEIN DEY	17268	1: Faible
1618	KOUBA	17156	1: Faible
1644	AIN BENIAN	16649	1: Faible
1609	BIR MOURAD RAIS	16452	1: Faible
1610	EL BIAR	15046	1: Faible
1624	EL HAMMAMET	14747	1: Faible
1626	DJASR KASANTINA	13977	1: Faible
1625	RAIS HAMIDOU	12014	1: Faible
1611	BOUZAREAH	11828	1: Faible
1628	HYDRA	11452	1: Faible
1612	BIRKHADEM	11239	1: Faible
1630	BORDJ EL KIFFAN	10628	1: Faible
1613	EL HARAACH	10423	1: Faible
1623	DELY BRAHIM	10121	1: Faible
1629	MOUHAMMADIA	9719	1: Faible
1622	BEN AKNOUN	9041	1: Faible
1639	BORDJ EL BAHRI	8911	1: Faible
1640	EL MARSA	7949	1: Faible
1632	BENI MESSOUS	7478	1: Faible
1620	DAR EL BEIDA	6649	1: Faible
1615	OUED SMAR	4195	1: Faible

Source: Équipe d'étude

### 9-2-5 Âge de bâtiment

Les bâtiments relativement anciens sont considérés plus fragiles et moins résistants contre le choc sismique que les bâtiments relativement neufs et construits selon les nouvelles règles parasismiques. Ces nouvelles règles parasismiques tiennent en compte plus de résistance parasismique. Le résultat de l'enquête d'inventaire des bâtiments effectués par l'équipe d'étude a utilisé l'ensemble des données d'analyse des âges de bâtiments.

Le rapport des vieux bâtiments (construits avant 1981) avec ceux modernes (construits en et après 1981) est déterminé pour chaque commune en utilisant le SIG. Ces données sont classifiées en cinq (5) catégories suivantes comme le montrent la Figure 9-13 et le Tableau 9-12.



Source: Équipe d'étude

Figure 9-13 Pourcentage des bâtiments construits avant 1981 de chaque commune

Tableau 9-12 Pourcentage des bâtiments construits avant 1981

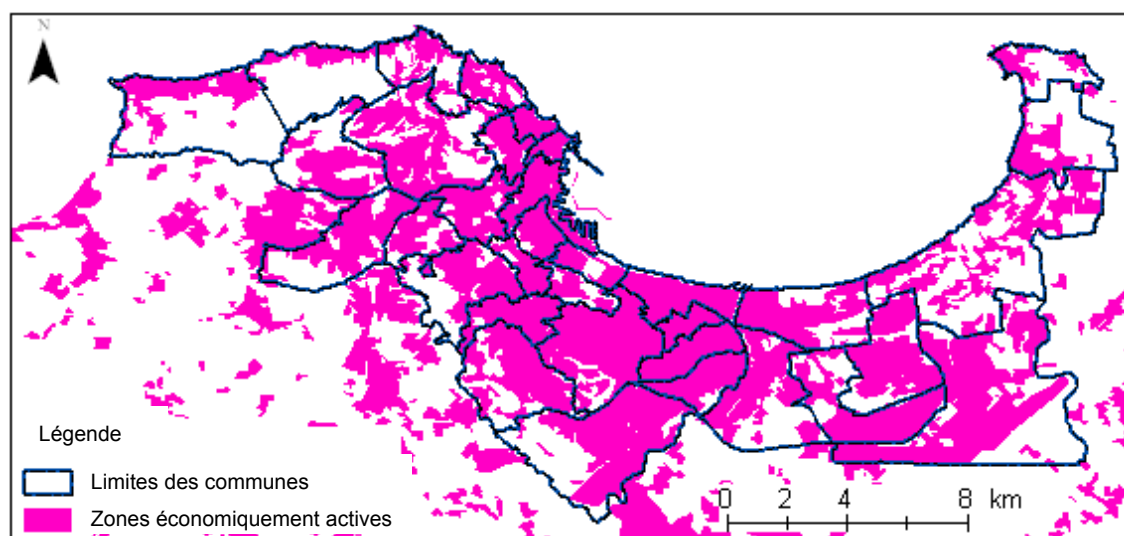
Code	Commune	Pourcentage des bâtiments construits avant 1981	Evaluation
1604	HAMMA EL ANNASSER	80.1-100%	5: Élevé
1602	SIDI M'HAMED	80.1-100%	5: Élevé
1605	BAB EL OUED	80.1-100%	5: Élevé
1601	ALGER CENTRE	80.1-100%	5: Élevé
1607	CASBAH	80.1-100%	5: Élevé
1603	EL MADANIA	80.1-100%	5: Élevé
1610	EL BIAR	80.1-100%	5: Élevé
1631	EL MAGHARIA	80.1-100%	5: Élevé
1627	EL MOURADIA	80.1-100%	5: Élevé
1617	HUSSEIN DEY	60.1-80.0%	4: Modéré à élevé
1613	EL HARAACH	60.1-80.0%	4: Modéré à élevé
1606	BOLOGHINE IBNOU ZIRI	60.1-80.0%	4: Modéré à élevé
1608	OUED KORICHE	60.1-80.0%	4: Modéré à élevé
1628	HYDRA	60.1-80.0%	4: Modéré à élevé
1612	BIRKHADEM	40.1-60.0%	3: Modéré
1619	BACH DJARAH	40.1-60.0%	3: Modéré
1618	KOUBA	40.1-60.0%	3: Modéré
1616	BOUROUBA	40.1-60.0%	3: Modéré
1609	BIR MOURAD RAIS	40.1-60.0%	3: Modéré
1611	BOUZAREAH	40.1-60.0%	3: Modéré
1624	EL HAMMAMET	40.1-60.0%	3: Modéré
1640	EL MARSA	20.1-40.0%	2: Faible à modéré

Code	Commune	Pourcentage des bâtiments construits avant 1981	Evaluation
1644	AIN BENIAN	20.1-40.0%	2: Faible à modéré
1615	OUED SMAR	20.1-40.0%	2: Faible à modéré
1639	BORDJ EL BAHRI	20.1-40.0%	2: Faible à modéré
1629	MOUHAMMADIA	20.1-40.0%	2: Faible à modéré
1621	BEB EZZOUAR	20.1-40.0%	2: Faible à modéré
1626	DJASR KASANTINA	0-20%	1: Faible
1630	BORDJ EL KIFFAN	0-20%	1: Faible
1620	DAR EL BEIDA	0-20%	1: Faible
1623	DELY BRAHIM	0-20%	1: Faible
1625	RAIS HAMIDOU	0-20%	1: Faible
1632	BENI MESSOUS	0-20%	1: Faible
1622	BEN AKNOUN	0-20%	1: Faible

Source: Équipe d'étude

### 9-2-6 Valeur économique

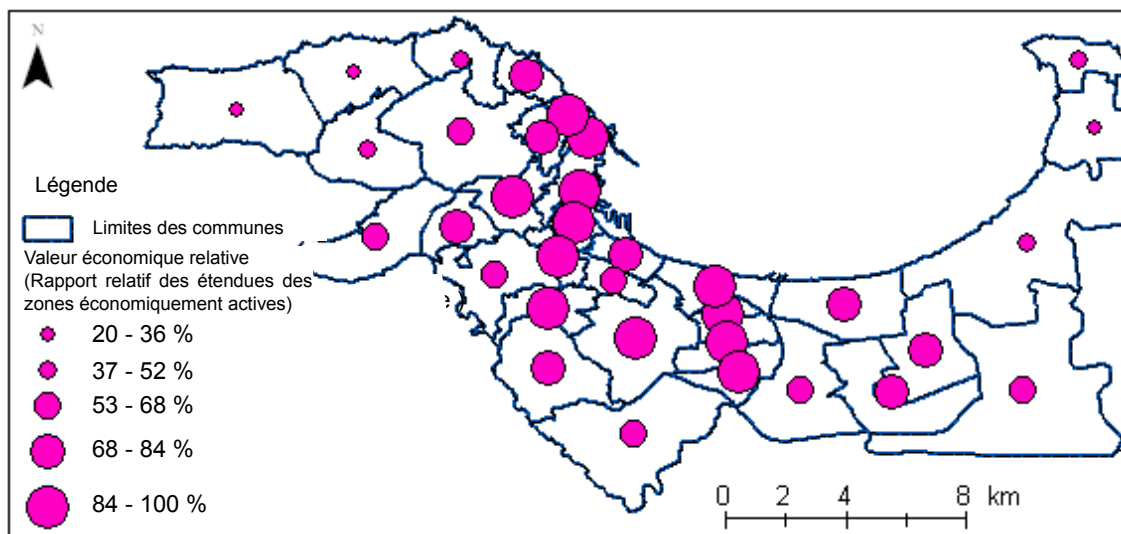
L'étendue des zones principales économiquement actives de chaque commune a été déterminée en utilisant le SIG en vue de mesurer la surface d'urbanisation de chaque cellule de microzonage sismique. Ceci inclut les zones urbaines et industrielles ainsi que les grandes infrastructures telles que les aéroports. Ces trois (3) classes d'occupation des sols sont sélectionnées dans les cartes d'occupation des sols préparées pour 2000/2001. La Figure 9-14 montre la distribution des zones urbaines et industrielles ainsi que des infrastructures dans la zone d'étude.



Source: Équipe d'étude

Figure 9-14 Zones économiquement actives dans la zone d'étude

La valeur économique relative de chaque commune est calculée en utilisant la formule simplifiée suivante : [Valeur économique relative] = [Surface de la zone économiquement active] / [Surface de la commune]. La valeur économique relative est classifiée en cinq (5) catégories comme le montre la Figure 9-15. Le Tableau 9-13 montre le rapport relatif des étendues (surfaces) des zones économiquement actives de chaque commune.



Source: Équipe d'étude

Figure 9-15 Rapport relatif des étendes des zones économiquement actives de chaque commune

Tableau 9-13 Pourcentage de la surface des zones économiquement actives de chaque commune

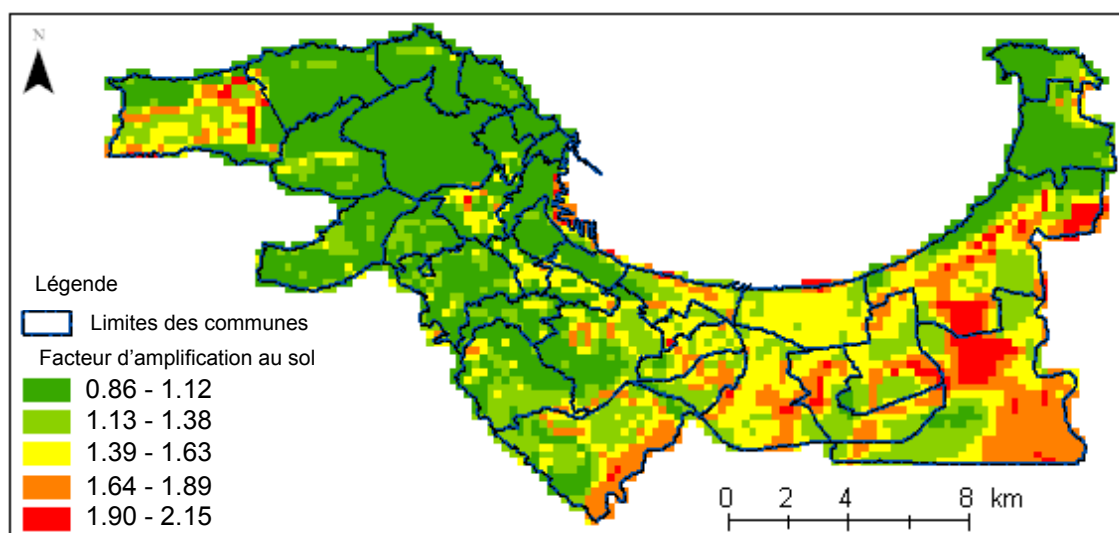
Code	Commune	Pourcentage de la surface des zones économiquement active	Valeur économique
1631	EL MAGHARIA	100	5: Élevé
1619	BACH DJARAH	100	5: Élevé
1607	CASBAH	99	5: Élevé
1609	BIR MOURAD RAIS	95	5: Élevé
1602	SIDI M'HAMED	93	5: Élevé
1601	ALGER CENTRE	93	5: Élevé
1617	HUSSEIN DEY	91	5: Élevé
1616	BOUROUBA	91	5: Élevé
1605	BAB EL OUED	91	5: Élevé
1618	KOUBA	90	5: Élevé
1610	EL BIAR	87	5: Élevé
1627	EL MOURADIA	85	5: Élevé
1608	OUED KORICHE	84	4: Modéré à élevé
1621	BEB EZZOUAR	76	4: Modéré à élevé
1615	OUED SMAR	74	4: Modéré à élevé
1604	HAMMA EL ANNASSER	73	4: Modéré à élevé
1606	BOLOGHINE IBNOU ZIRI	71	4: Modéré à élevé
1629	MOUHAMMADIA	70	4: Modéré à élevé
1622	BEN AKNOUN	69	4: Modéré à élevé
1612	BIRKHADEM	69	4: Modéré à élevé
1626	DJASR KASANTINA	66	3: Modéré
1623	DELY BRAHIM	64	3: Modéré
1603	EL MADANIA	64	3: Modéré

Code	Commune	Pourcentage de la surface des zones économiquement active	Valeur économique
1611	BOUZAREAH	63	3: Modéré
1620	DAR EL BEIDA	62	3: Modéré
1613	EL HARAACH	62	3: Modéré
1628	HYDRA	59	3: Modéré
1632	BENI MESSOUS	51	2: Faible à modéré
1625	RAIS HAMIDOU	47	2: Faible à modéré
1630	BORDJ EL KIFFAN	46	2: Faible à modéré
1640	EL MARSА	43	2: Faible à modéré
1639	BORDJ EL BAHRI	35	1: Faible
1644	AIN BENIAN	31	1: Faible
1624	EL HAMMAMET	20	1: Faible

Source: Équipe d'étude

### 9-2-7 Potentiel de mouvement de la surface de sol

Les facteurs d'amplification du sol indiquent l'importance du mouvement de sol (secousse) pouvant résulter des secousses sismiques. Les valeurs élevées indiquent qu'il peut y avoir un mouvement de sol plus important et que les bâtiments et les infrastructures subiront éventuellement des dommages plus étendus par conséquent. Les valeurs des facteurs d'amplification du sol ont été déterminées en utilisant les résultats des investigations géologiques et de la modélisation géologique réalisées par l'équipe d'étude. Les facteurs d'amplification du sol déterminés des 34 communes sont regroupés dans cinq classes comme le montre la Figure 9-16.



Source: Équipe d'étude

Figure 9-16 Distribution des facteurs d'amplification du sol de la zone d'étude

Le Tableau 9-14 montre le facteur d'amplification du sol moyen des zones à masse construite de chaque commune.

DAR EL BEIDA, EL HARAACH, BEB EZZOUAR, BOUROUBA et OUED SMAR ont les facteurs d'amplification du sol relativement élevés. MOUHAMMADIA, DJASR KASANTINA et les autres communes suivent ces cinq (5) communes. Les communes dont les facteurs d'amplification du sol relativement élevés se situent sur la plaine de la Mitidja. Les communes situées dans les zones collinaires de Sahel ont les facteurs d'amplification du sol relativement faible.

Tableau 9-14 Facteur d'amplification du sol moyen des zones à masse construite de chaque commune

Code	Commune	Facteur d'amplification du sol	Estimation
1620	DAR EL BEIDA	1.6055	5: Élevé
1613	EL HARAACH	1.5403	5: Élevé
1621	BEB EZZOUAR	1.5328	5: Élevé
1616	BOUROUBA	1.5024	5: Élevé
1615	OUED SMAR	1.4621	5: Élevé
1629	MOUHAMMADIA	1.4600	4: Modéré à élevé
1626	DJASR KASANTINA	1.4287	4: Modéré à élevé
1630	BORDJ EL KIFFAN	1.4002	4: Modéré à élevé
1619	BACH DJARAH	1.3837	4: Modéré à élevé
1631	EL MAGHARIA	1.3546	4: Modéré à élevé
1617	HUSSEIN DEY	1.3342	4: Modéré à élevé
1603	EL MADANIA	1.2860	3: Modéré
1618	KOUBA	1.2425	3: Modéré
1627	EL MOURADIA	1.2261	3: Modéré
1644	AIN BENIAN	1.2094	3: Modéré
1601	ALGER CENTRE	1.2075	3: Modéré
1610	EL BIAR	1.1953	3: Modéré
1612	BIRKHADEM	1.1501	2: Faible à Modéré
1623	DELY BRAHIM	1.1086	2: Faible à Modéré
1622	BEN AKNOUN	1.0947	2: Faible à Modéré
1632	BENI MESSOUS	1.0943	2: Faible à Modéré
1604	HAMMA EL ANNASSER	1.0838	2: Faible à Modéré
1639	BORDJ EL BAHRI	1.0772	2: Faible à Modéré
1609	BIR MOURAD RAIS	1.0709	2: Faible à Modéré
1628	HYDRA	1.0706	2: Faible à Modéré
1602	SIDI M'HAMED	1.0541	2: Faible à Modéré
1608	OUED KORICHE	0.9993	1: Faible
1640	EL MARSA	0.9686	1: Faible
1625	RAIS HAMIDOU	0.9432	1: Faible
1606	BOLOGHINE IBNOU ZIRI	0.9039	1: Faible
1611	BOUZAREAH	0.8964	1: Faible
1607	CASBAH	0.8953	1: Faible
1624	EL HAMMAMET	0.8850	1: Faible
1605	BAB EL OUED	0.8838	1: Faible

Source: Équipe d'étude