

Dans la présente section, le glissement superficiel est considéré pour les raisons suivantes :

- 1) Le début d'un glissement superficiel se déclenche immédiatement et il est impossible de l'évacuer une fois qu'il commence. Par conséquent, le potentiel de cet aléa doit être compris.
- 2) Ce type d'aléa est considéré remarquable à Alger
- 3) En général, les mesures préventives à prendre pour les zones à risque de glissement de terrain remarquable ou de flux de débris sont essentiellement les mêmes que celles prises contre la pluie telles qu'elles ont été effectuées pour d'autres projets.
- 4) Quant à l'avalanche de débris, les zones à topographie en pente raide d'élévation importante sont essentiellement menacées du grand risque. Sans aucune idée de la localité sinistrée dans le futur, on peut présumer toutefois que la possibilité d'occurrence d'un glissement de terrain est importante.

Le glissement de terrain superficiel est essentiellement occasionné par le sol instable en pente, l'angle de pente, les propriétés géotechniques et le mouvement sismique.

5-5-2 Méthodologie

Tels que discutés précédemment, deux types de terrains en pente sont généralement observés. Ils sont en pente raide ou faible. Le type dépend de la géologie : des schistes et des grès calcaires forment en général une pente raide et les autres une pente faible. On peut présumer que la première relève de l'effondrement et la dernière du glissement.

Par conséquent, « mi » et « p21 » sont évalués sur la base de la méthode de Wilson alors que les autres types de sol par la méthode de Siyahi.

- 1) Méthode proposée par Wilson et al.

Wilson et al. (1979) a présumé que dans une couche mince comme le montre la Figure 5-28 un phénomène de glissement pourrait avoir lieu à cause de charge initiale. La comparaison du glissement avec les forces résistantes donne :

$$a_c = g \left[\frac{c}{\gamma h} + (\cos \theta \tan \phi - \sin \theta) \right] \dots\dots\dots (5.1)$$

Où

- ac: accélération critique incluant le glissement
- g: accélération de gravité
- c: cohésion du sol
- γ: poids unitaire du sol
- h: épaisseur de la couche glissante
- θ: angle de pente
- φ angle de frottement interne de la couche

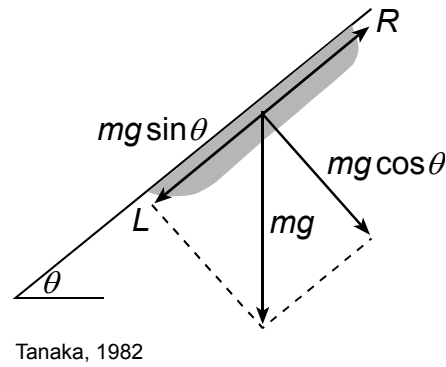


Figure 5-28 Modèle de masse potentielle de glissement

Vus les distributions des angles de pente, paramètres de force c et ϕ et accélérations latérales, la prédiction de la distribution de la vulnérabilité de pente peut être obtenue.

2) Méthode proposée par Ansal et Siyahil

Ansal et Siyahi (1994) a développé une méthode de zonage pour l'instabilité de pente en modifiant la méthode proposée par Koppula (1984). La méthode originellement proposée était l'évaluation pseudo-statique de la stabilité de pente en utilisant le coefficient sismique A afin de rendre compte des forces horizontales induites par un séisme. La variation par profondeur de la force de cisaillement est supposée linéaire et la surface à risque de rupture est considérée comme étant un arc circulaire telle que montrée à la Figure 5-29.

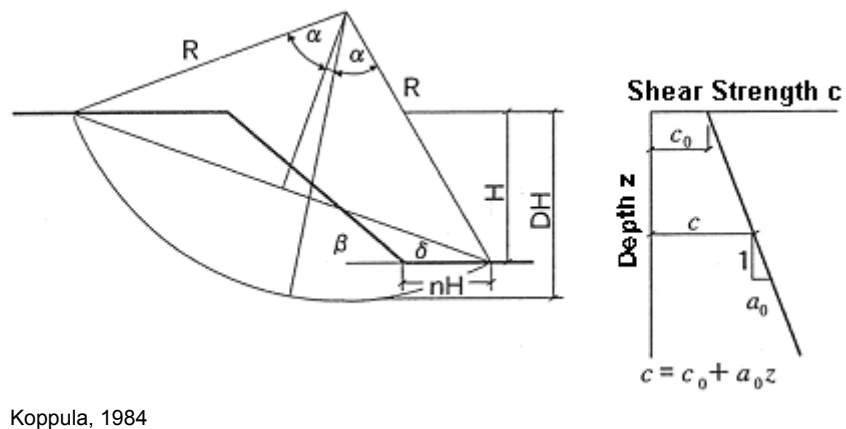


Figure 5-29 Section de pente typique

Les paramètres α , β , δ , et n sont liés à la géométrie de la pente et la configuration de la surface de glissement. Tel que montré ci-après, le facteur de sûreté F_s peut être défini comme suit :

$$F_s = \frac{a_0}{\gamma} N_1 + \frac{c_0}{\gamma H} N_2 \dots\dots\dots (5.2)$$

Où,

$$N_1 = \frac{3(\alpha + \cot \delta - \alpha \cot \alpha \cot \delta)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \delta (D_1 + D_2)}$$

$$N_2 = \frac{6\alpha}{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \delta (D_1 + D_2)}$$

$$D_1 = 1 - 2 \cot^2 \beta - 3 \cot \alpha \cot \beta + 3 \cot \beta \cot \delta + 3 \cot \delta \cot \alpha - 6n \cot \beta - 6n^2 - 6n \cot \alpha + 6n \cot \delta$$

$$D_2 = A(\cot \beta + \cot^3 \delta + 3 \cot \alpha \cot^2 \delta - 3 \cot \alpha \cot \beta \cot \delta - 6n \cot \alpha \cot \delta)$$

Dans ce rapport est supposée la variation linéaire, c'est le cas du cisaillement des sols normalement consolidés :

$$c = a_0 \cdot z, \quad c_0 = 0 \dots\dots\dots(5.3)$$

$$c = \sigma \tan \phi = \gamma z \tan \phi \dots\dots\dots(5.4)$$

Donc,

$$a_0 = \gamma \tan \phi \dots\dots\dots(5.5)$$

$$F_s = \frac{a_0}{\gamma} N_1 = \frac{\gamma \tan \phi}{\gamma} N_1 = \tan \phi N_1 \dots\dots\dots(5.6)$$

Ainsi, le facteur de sûreté dépend de l'angle de la force de cisaillement et du nombre de stabilité N_1 représentant la configuration de la pente et la surface de rupture. Les valeurs minima du nombre de stabilité sont déterminées à l'issue d'une étude paramétrique en matière de α , δ et n afin de trouver la surface de rupture la plus critique comme le montre la Figure 5-30. La variation de N_1 minimum peut être exprimée en tant que fonction de β (angle de pente) et A (accélération sismique). Il devient possible dans la présente phase de compter le facteur de sûreté minimum F_s à l'aide de la Figure 5-30 si ϕ (angle de la force de cisaillement) peut être déterminé ou estimé.

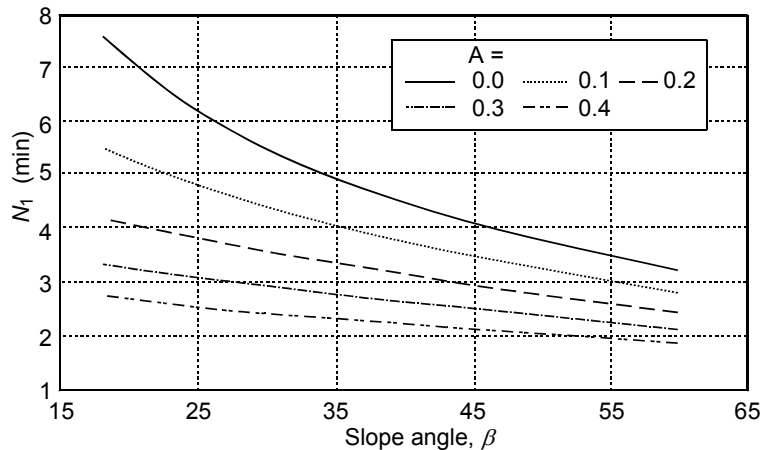


Figure 5-30 Variation de N_1 (min) (Ansal et Siyahi, 1994)

Quant aux aléas de pente, deux points de vue sont nécessaires. L'un est le facteur de déclenchement, le mouvement sismique de sol. L'autre est lié aux facteurs inhérents tels que la résistance de sol ou la profondeur de pente.

Pour les deux méthodes des deux informations essentielles sont à considérer, la première est le PGA (voir la Section 5-3-3) qui est appliquée au facteur de déclenchement. La deuxième est le facteur exprimé par c , ϕ et en tant qu'angle de pente.

Ayant ces facteurs, la procédure à considérer est décrite dans le chapitre qui suit.

5-5-3 Conditions préalables d'analyse

(1) Propriétés géotechniques

Comme décrit en grandes lignes la Section 3-3-2, c et ϕ de chaque couche sont définis au Tableau 5-8. À l'aide de ces données, l'accélération critique par rapport à l'inclinaison de pente est calculée par la méthode de Wilson et celle de Ansal et Siyahi.

Le résultat en est montré à la Figure 5-31. Dans cette figure, « mi » et « p21 » ont été calculés sur la base de la méthode de Wilson. Dans ce cas, l'accélération est l'« accélération critique » et l'épaisseur de la couche glissante devrait être connue. Dans la présente étude, ce paramètre a été estimé à 2 m d'épaisseur (se référer aux Photo 5-5 et Photo 5-6). Les autres types de sol ont été calculés par la méthode Ansal et Siyahi avec l'accélération correspondant à l'« accélération en cas de $F_s=1$ ».

Tableau 5-8 c et ϕ des propriétés géotechniques (se référer à la Section 3-3-2)

Symbole	c (kgf/cm ²)	ϕ (degré)	Symbole	c (kgf/cm ²)	ϕ (degré)
ap	0,6	34	e	0,5	27
a3	0,9	27	a2	0,8	22
q	0,6	25	qt	0,7	28
p2c	0,7	23	p2l	0,4	27
p1	0,7	22	mi	0,4	28

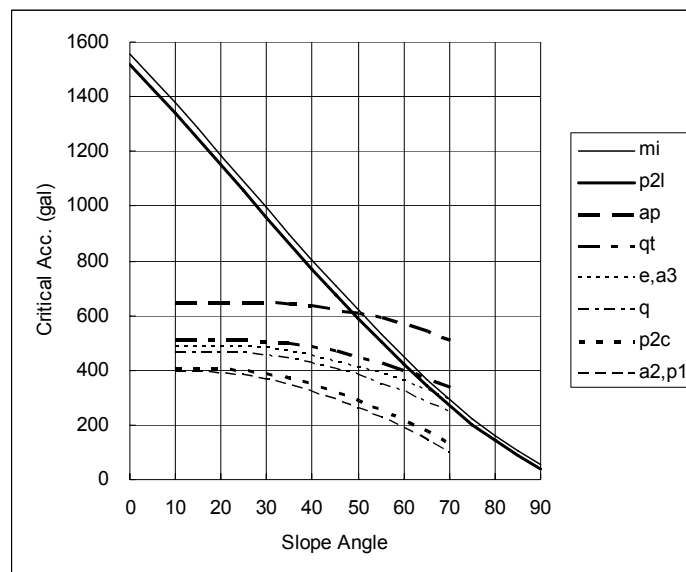


Figure 5-31 Rapport entre l'angle de pente et l'accélération critique

(2) Distribution des angles de pente

L'angle de pente a été calculé à 5 m d'intervalle sur la base des données MNT produits par l'INCT. La distribution des angles de pente est montrée à la Figure 5-32. Cette figure montre que nombreuses pentes raides existent à BOUZAREAH, à RAIS HAMIDOU, le long des bassins versants d'EL MADANIA et de BIR MOURAD RAIS. Cette figure montre aussi plusieurs erreurs, à savoir les pentes des falaises relevant des erreurs des données du MNT. L'un des exemples concerne deux grandes pentes des falaises ; l'une descend du nord au sud partant de l'extrémité ouest d'EL MADANIA jusqu'à DJASR KASANTINA et l'autre de l'est à l'ouest partant de SIDI M'HAMED jusqu'à DAR EL BEIDA. La forme de ces deux faibles pentes reflète en réalité celle des bâtiments ou des grandes routes.

A l'issue de l'exploration précise des données du MNT et de la distribution calculée des pentes, les surfaces cernées par les lignes noires de la Figure 5-32 ont été extraites en tant que « zones utilisables » pour l'analyse des terrains en pente. À l'extérieur des « zones utilisables », les données d'élévation basées sur les cartes topographiques à 1/10 000 ont été utilisées au lieu du MNT de l'INCT. La distribution des angles de pente sur la base des cartes topographiques à 1/10 000 est montrée à la Figure 5-33.

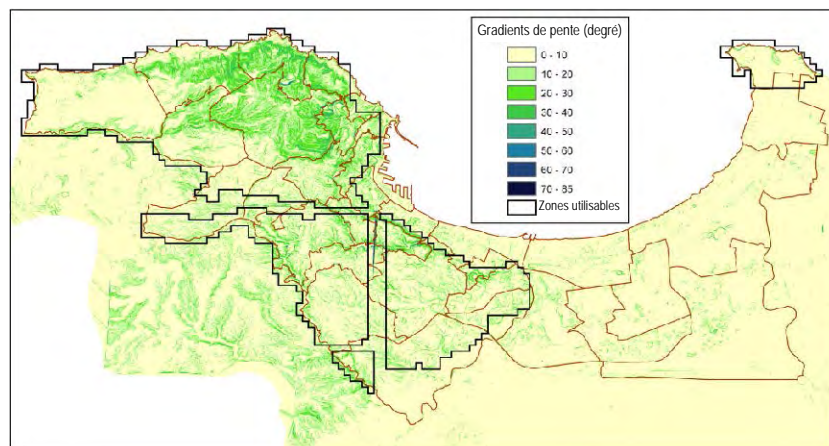


Figure 5-32 Distribution des angles de pente calculés du MNT de l'INCT

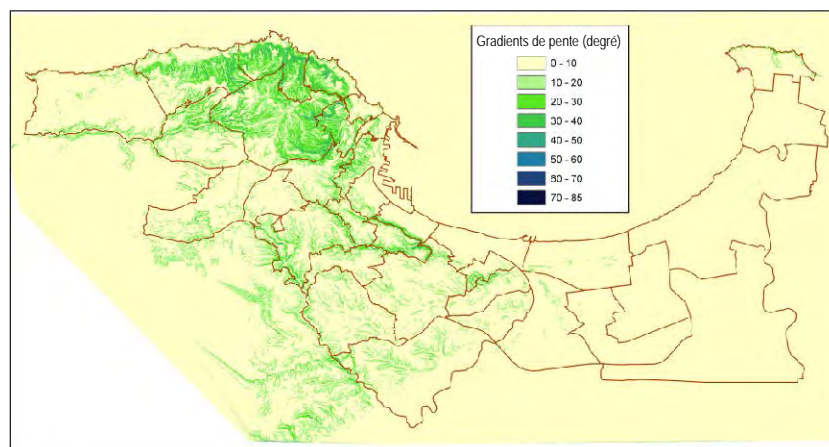


Figure 5-33 Distribution des angles de pente calculés à l'aide des cartes topographiques à 1/10 000

Il y a 2 500 points de données du MNT dans une maille de 250 m. 2 500 angles de pente sont donc calculés dans chaque maille. La distribution de la fréquence des angles de pente à 5 m de pas a été analysée dans chaque maille de 250 m. La Figure 5-34 montre un exemple de mailles à BOUZAREAH.

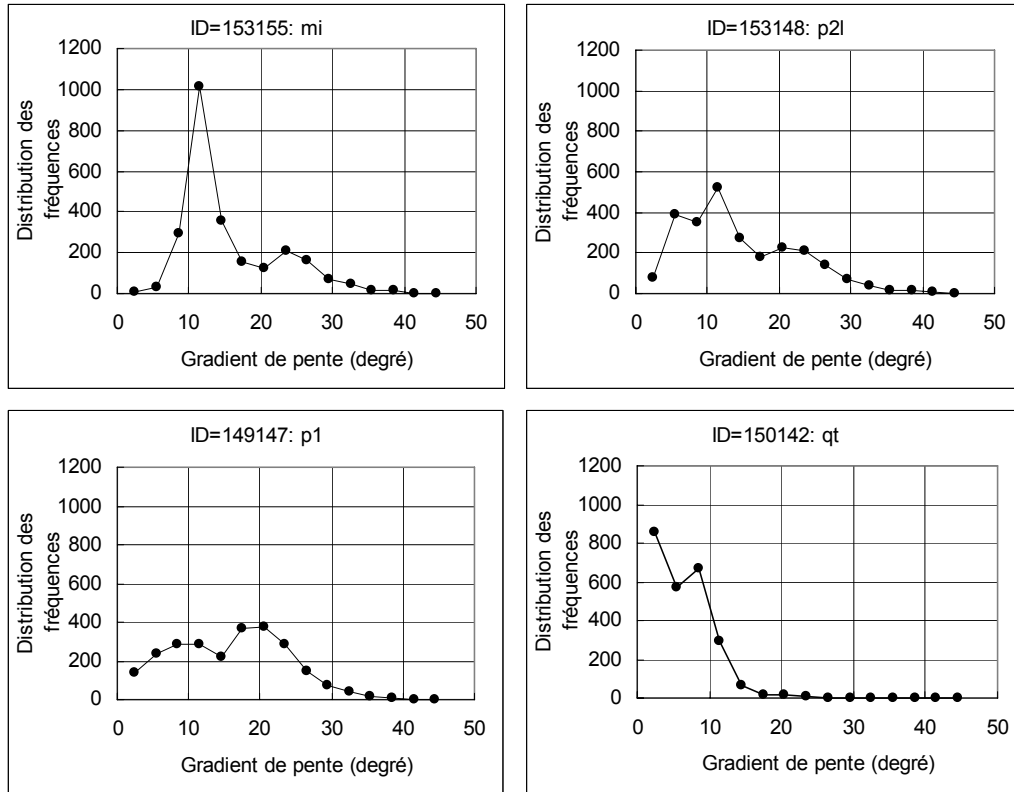


Figure 5-34 Exemple de distribution de la fréquence des angles de pente dans les mailles

(3) Correction des angles de pente

Dans l'utilisation des données du MNT pour l'analyse des terrains en pente, la limitation de la fiabilité imputable aux intervalles de prélèvement devrait être considérée. Par exemple, les angles de pente de a) (90 degrés) et de b) (45 degrés) de la Figure 5-35 ne sont pas les mêmes ; pourtant, si l'intervalle du MNT est supérieur à 3 m, l'élévation dans le MNT peut être identique pour a) et b). La différence entre l'angle de pente actuel et celui calculé du MNT augmente quand il devient raide. La correction de pente a été effectuée sur la base des propriétés des données du MNT à 5 m d'intervalle.

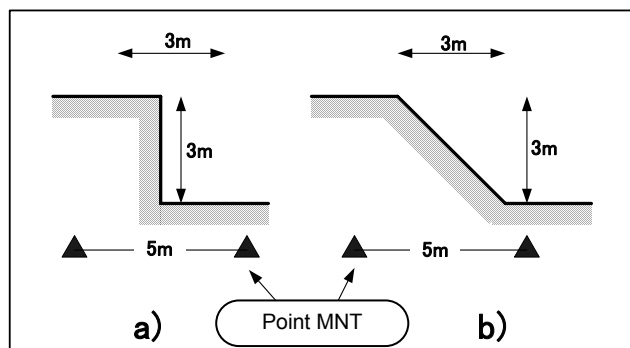


Figure 5-35 Pente actuelle et données du MNT

Tableau 5-9 Considération de la correction des angles de pente

Hauteur de pente (m)	Largeur de pente (m)		Angle de pente (degrés)		Remarques
	Conditions actuelles	à 5m MNT	Conditions actuelles	à 5m MNT	
3	0	5	90,0	31,0	a) in Figure 5-35
	1		71,6		
	2		56,3		
	3		45,0		b) in Figure 5-35
	4		36,9		
	5	31,0			
	6	10	26,6	16,7	
	7	23,2			

Le Tableau 5-9 montre un exemple de correction des angles de pente. Si la hauteur d'une pente est de 3 m et sa largeur est de 3 m, l'angle de pente actuelle est de 45,0 degrés ; pourtant, l'angle de pente calculé à l'aide du MNT à 5 m d'intervalle montre 31,0 degrés parce que la largeur minimum du MNT est de 5 m. L'étude numérique des paramètres a été effectuée pour nombreux terrains en pente de différentes hauteurs et largeurs et le rapport entre l'angle de pente actuel et celui basé sur le MNT a été étudié. Basé sur la présente étude, une formule de correction a été développée comme le montre la Figure 5-36.

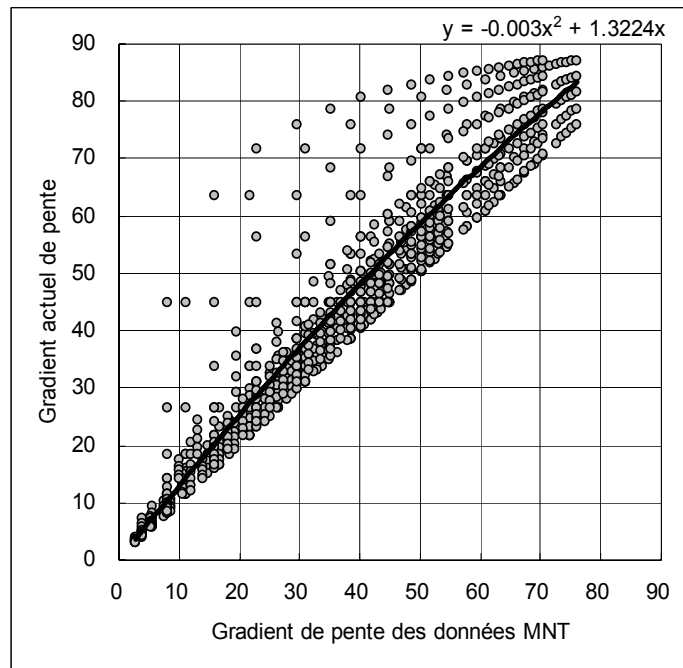


Figure 5-36 Formule de correction des angles de pente

La formule de correction pour l'estimation de l'angle actuel sur la base du MNT à 5 m est la suivante :

$$Sa = -0.003Sd^2 + 1.3224Sd \quad \text{-----} \quad (5.7)$$

Sa : Angle de pente actuel (degré)

Sd : Angle de pente basé sur le MNT à 5m

Autrement dit, un angle de pente du MNT de 40 degrés implique avec une grande probabilité que l'angle actuel est de 48 degrés (voir le Tableau 5-10). Donc, la formule de correction (5,7) a été appliquée à l'estimation de l'angle de pente actuel à l'aide de l'analyse des données du MNT. La valeur de PGA de chaque maille est disponible dans l'étude du mouvement de sol. En comparant la valeur de PGA de chaque séisme de scénario avec l'« accélération critique », le ($Fs \geq 1$) stable ou le ($Fs < 1$) instable a été jugé à chaque point de donnée du MNT à 5 m. Le potentiel de rupture de pente de chaque maille de 250 m a été évalué sur la base du taux de points instables des données du MNT dans chaque maille. La Figure 5-37 montre le schéma du principe de ce processus :

Tableau 5-10 Angles de pente du MNT et angles de pente du MNT corrigés

Angles de pente MNT (degrés)	Angles de pente corrigés (degrés)	Angles de pente MNT (degrés)	Angles de pente corrigés (degrés)
10	13	50	59
20	25	60	69
30	37	70	78
40	48		

Pour 5 m d'intervalles (2500 points dans une maille de 250 m de côté)

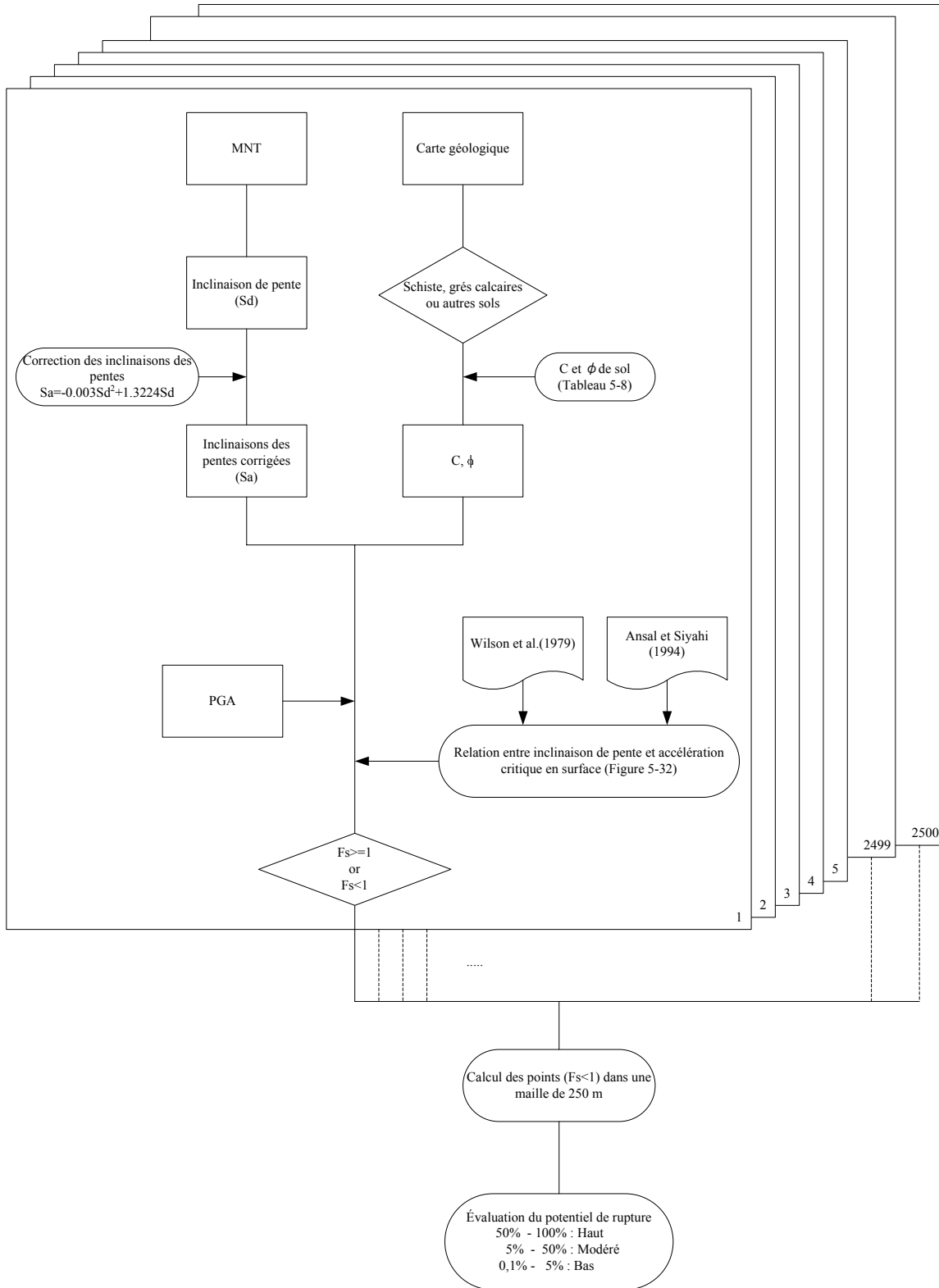


Figure 5-37 Schéma du principe de l'analyse de la stabilité de terrains en pente

5-5-4 Évaluation de la stabilité de terrains en pente

La Figure 5-38 montre le potentiel de rupture de pente obtenu en utilisant la méthode décrite ci-dessus. Dans cette figure, le séisme de Boumerdes a été évalué comme ayant une surface de très faible potentiel de rupture de pente. D'où vient une bonne corrélation avec la description suivante sur les aléas de ce séisme : « Pendant la reconnaissance post-séisme, seulement peu de glissements de terrain et des ruptures des routes mineurs ont été observés. Aucun glissement de terrain majeur n'a été observé » (EERI, 2003).

Pour le séisme de scénario de Khair al Din et celui de Sahel, plusieurs zones sont évaluées comme ayant un grand potentiel. Les zones de grand potentiel se situent généralement le long de la côte allant de BOLOGHINE IBNOU ZIRI jusqu'à EL HAMMAMET.

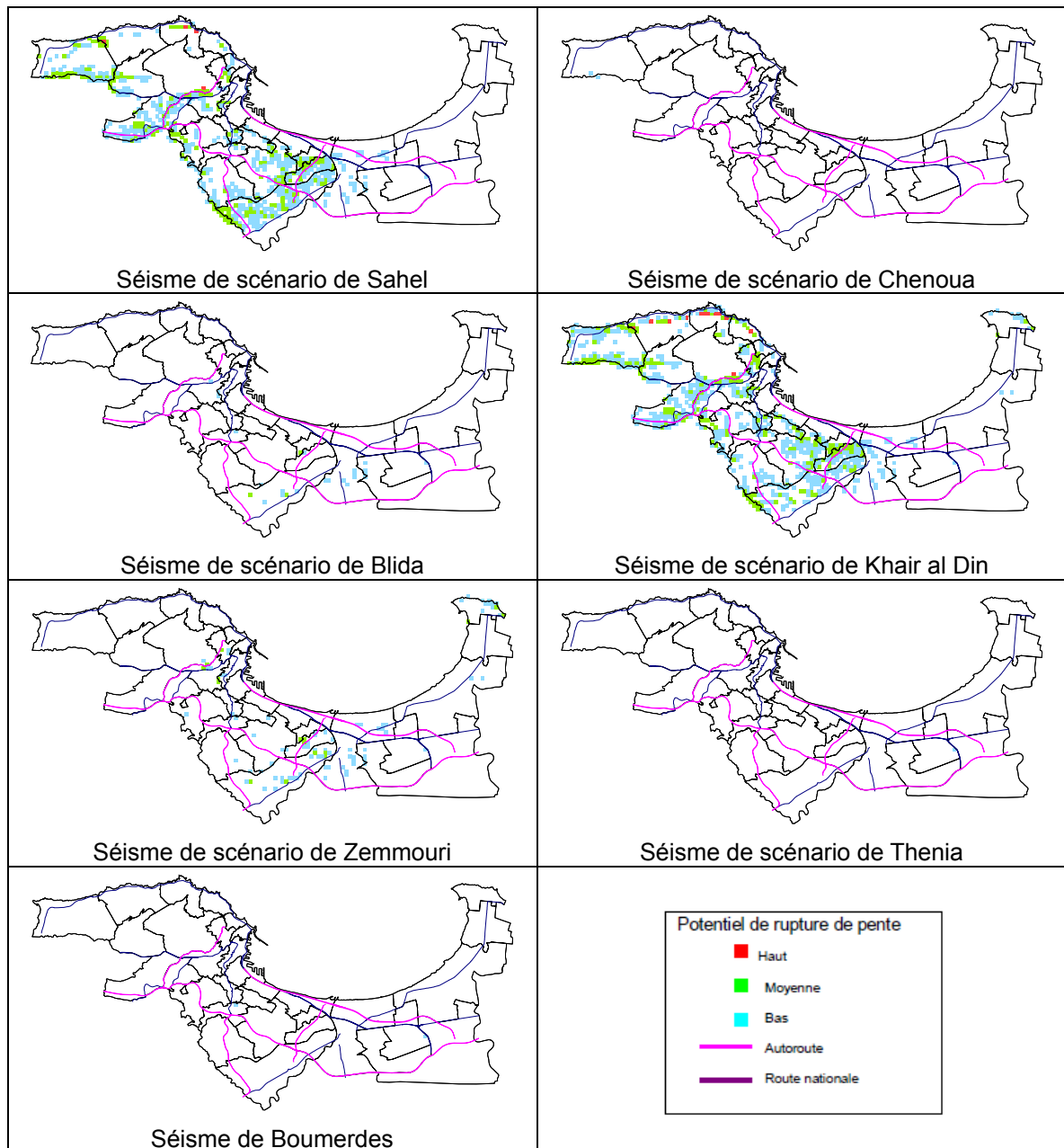


Figure 5-38 Distribution du potentiel de rupture de pente

5-5-5 Inspection des terrains en pente sur le terrain

Dans la section précédente, le potentiel de rupture de pente a été évalué sur la base des angles de pente calculés à l'aide du MNT, des propriétés de sols et du mouvement sismique. Le résultat en montre le potentiel de rupture relatif dans le maillage à 250 mètres carrés. Ces cartes fournissent les informations essentielles pour la gestion des catastrophes et elles peuvent être efficaces pour la formulation des mesures préventives des catastrophes. Entre-temps, les informations supplémentaires sont souhaitées pour prendre des contre-mesures afin de prévenir toute rupture des pentes spécifiques et ce pour la raison que :

- l'évaluation de la stabilité des pentes par maille montre un potentiel relativement grand.
- l'analyse basée sur le maillage ne peut pas déterminer l'étendue des terrains en pente.
- Les terrains en pente supportant de nombreuses maisons et/ou un grand nombre d'infrastructures et pouvant bloquer les routes principales, devraient être considérés en priorité sur le plan de contre-mesures.

Par conséquent, pour l'étape suivante, l'inspection individuelle des terrains en pente est recommandée quand il s'agit des mailles de grand potentiel basées sur l'analyse basée sur le maillage. Les principes suivants sont retenus pour l'inspection des terrains en pente proposée :

- Déterminer l'étendue des terrains en pente.
- Évaluer la stabilité des terrains en pente.
- Déterminer les types et les quantités des infrastructures pouvant être affectées.

Dans la présente étude, en tant qu'étude de cas, l'équipe d'étude a sélectionné 25 terrains en pente (S1 à S25) dans les mailles de grand et moyen potentiel pour le cas du séisme de scénario de Khair al Din. Ces terrains en pente ont été sélectionnés sur la base des angles de pente et des distributions des bâtiments à l'aide des ortho photos. Le Tableau 5-11 montre une fiche d'inspection sur le terrain conçue pour la présente étude sur la base des procédures d'inspection des terrains en pente prédominants au Japon (Tableau 5-12).

L'inspection des terrains en pente sur le terrain a été menée par l'équipe d'étude CGS-JICA. Les terrains en pente inspectés sont montrés à la Figure 5-39. Deux terrains en pente ont été ajoutés sur le terrain par l'équipe d'étude CGS. Le résultat d'inspection par terrain en pente a été compilé dans une base de données ACCESS dont les fiches techniques sont attachées en annexe. Le Tableau 5-13 résume l'ensemble de l'inspection.

Tableau 5-11 Fiche technique d'inspection de terrains en pente

No. _____		Date d'inspection _____			
		Responsabilité _____			
ID de localité	Coordonnée X	Coordonnée Y			
Nom de commune	Longitude	Latitude			
Adresse _____					
Conditions de terrains en pente					
Rubriques	Choix				Commentaires
Hauteur de pente (H)	50m <= H	30m <= H < 50m	10m <= H < 30m	H < 10m	
Gradient de pente (α)	60 <= α	45 <= α < 60	α < 45		
Surplomb	Oui	Non			
Conditions de sol arable	F�lures ouvertes/ Blocs pierre sur la pente	Riche en fissures/ considérablement d� t�ri�r�	Sol graveleux/ Sol sableux	Roche non d�t�ri�r� e Sol cohésif	
�paisseurs de sol arabl	plus de 0.5m	moins de 0.5m			
Infiltration d'eau	Infiltration d'eau	Aucune infiltration			
Enregistrement des catastrophes	Récent	Non récent	Nul		
Conditions des aires de conservation					
Rubriques	Choix				Commentaires
Localisation de la rou	dedans	près	éloigné		
Type de route	Voies express	Route national	Autres routes	NA	
Densité de la constru	Dense	Moyenne	Dispersée	NA	
�quipements importants	�cole	Hôpital	Bâtiment de gouvernement	NA	
Mesures préventives	Oui	Non			
Photographe Attention à ne pas oublier de photographier la pente					

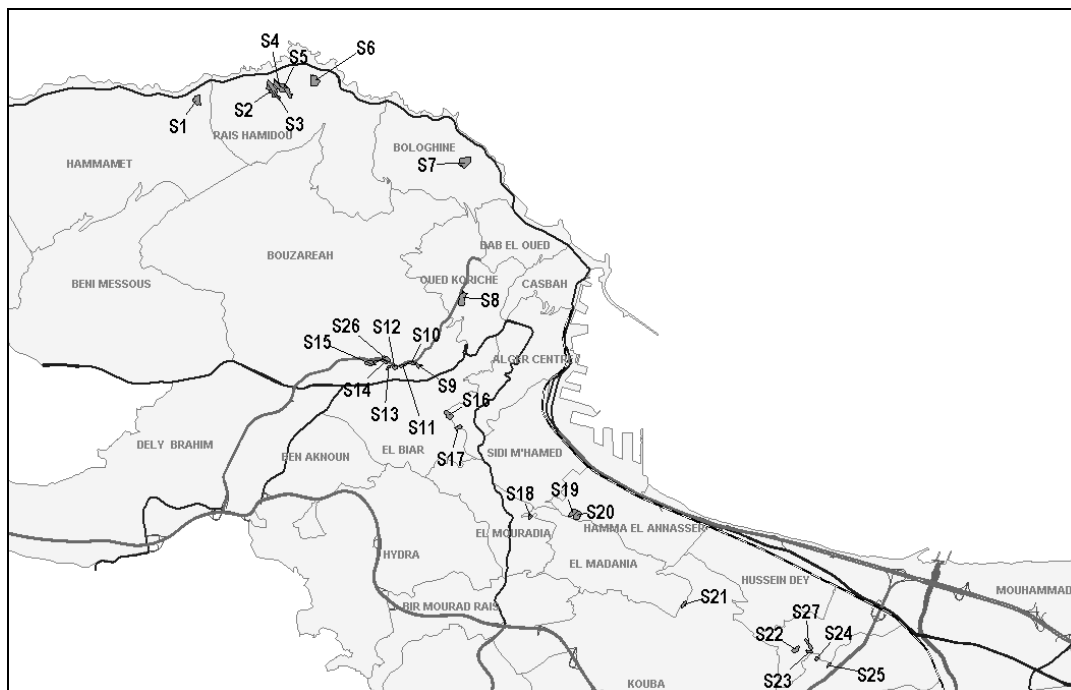


Figure 5-39 Localisations des terrains en pente inspectés

Tableau 5-12 Exemple de procédures d'inspection des terrains en pente au Japon

Stabilité des terrains en pente en cas de séisme

- La « pente raide » signifie une pente plus raide dont l'inclinaison supérieure à 30 degrés et la hauteur supérieure à 5 m.
- Les pentes causant d'éventuels dommages des logements, bureaux du gouvernement, écoles ou hôpitaux en cas d'effondrement seront inspectées.
- Sur la base des conditions de pente et selon les deux Tableaux suivants, la stabilité des terrains en pente est classifiée en trois classes ; **A**: Grand potentiel de rupture, **B**: Potentiel de rupture relativement grand, **C**: Faible potentiel de rupture.

Critères de stabilité des terrains en pente

Rubriques	Choix	Points
1. Hauteur de pente H (m)	$50 \leq H$	10
	$30 \leq H < 50$	8
	$10 \leq H < 30$	7
	$H < 10$	3
2. Angle de pente α (deg.)	$59 \leq \alpha$	7
	$45 \leq \alpha$	4
	$\alpha < 45$	1
3. Surplomb	Oui	4
	Non	0
4. Conditions du sol de surface (Conditions de surface)	Fêlure ouverte / gros cailloux sur pente	10
	Détérioré gravement / Riche en fissures	6
	Sol graveleux / sol sableux	5
	Sol argileux	1
	Non détérioré et aucune fissure	0
5. Épaisseur du sol de surface	Supérieur à 0,5 m	3
	Inférieur à 0,5 m	0
6. Suintement d'eau	Oui	2
	Non	0
7. Fréquence des chutes de roches ou effondrements	Récent	5
	Pas récent	3
	None	0

Stabilité des terrains en pente par rapport à l'intensité sismique

Intensité (MSK)	Score total		
	≤ 13	14 - 23	$24 \leq$
X <	A	A	A
IX - X	B	A	A
VIII - IX	C	B	A
VII - VIII	C	C	B
VI - VII	C	C	C

Source: Tokyo Metropolis Disaster Prevention Council, Damage Assessment in Tokyo Metropolitan Area by the Earthquake Beneath, May 2006.

Tableau 5-13 Résumé de l'inspection des terrains en pente

ID de localisation	Appré- ciation totale	Évaluation de pente par intensité sismique				
		X <	IX - X	VIII - IX	VII - VIII	VI - VII
S1	18	A	A	B	C	C
S2	23	A	A	A	B	C
S3	23	A	A	A	B	C
S4	27	A	A	A	B	C
S5	21	A	A	B	C	C
S6	23	A	A	A	B	C
S7	23	A	A	A	B	C
S8	24	A	A	A	B	C
S9	18	A	A	B	C	C
S10	17	A	A	B	C	C
S11	20	A	A	B	C	C
S12	21	A	A	B	C	C
S13	17	A	A	B	C	C
S14	21	A	A	B	C	C
S15	27	A	A	A	B	C
S16	24	A	A	A	B	C
S17	24	A	A	A	B	C
S18	24	A	A	A	B	C
S19	29	A	A	A	B	C
S20	26	A	A	A	B	C
S21	27	A	A	A	B	C
S22	20	A	A	B	C	C
S23	21	A	A	B	C	C
S24	29	A	A	A	B	C
S25	11	A	B	C	C	C
S26	21	A	A	B	C	C
S27	20	A	A	B	C	C

[Références]

- Ansal, A and B.G. Siyahi, 1994, Microzonation for landslides during earthquakes, 2nd Int. Conf. on Earthquake Resistant Construction & Design, Savidis(ed), Balkema, 151-157.
- EERI, 2003, The Boumerdes, Algeria, Earthquake of May 21, 2003, EERI Learning from Earthquakes Reconnaissance Report.
- Koppula, S.D., 1984, Pseudo-static analysis of clay slopes to earthquakes, Geotechnique, 34, 71-79.
- Tanaka, K., 1982, Seismic Slope Stability Map (Present situation and several mooted points), Journal of Japan Landslide Society, 19-2, 12-19. (in Japanese)
- Wilson, R.C., G.F. Wiczorek, E.L. Horp, 1979, Development of Criteria for regional Mapping of Seismic Slope Stability, Abstract, 1979 Annual Meeting of the Geological Society of America.

CHAPITRE 6

ESTIMATION DES DOMMAGES

Chapitre 6. Estimation des dommages

6-1 Dommages de bâtiments

L'échelle Mercalli-Sieberg EMS (officiellement MSK) a été appliquée à l'estimation des dommages de bâtiments. Les dommages de bâtiments seront estimés sur la base du nombre de bâtiments, de la vulnérabilité de chaque typologie structurelle et de l'intensité de mouvement du sol de chaque maille de 250 mètres de côté. Dans la présente étude, les données du recensement de 1998, des cartes numériques et des enquêtes d'inventaire effectuées par URBANIS sous la direction de l'équipe d'étude ont été adoptées à l'estimation des dommages de bâtiments.

6-1-1 Catégories de bâtiments

Selon l'enquête d'inventaire des bâtiments, l'étude des règles parasismiques algériennes et l'investigation des rapports des dommages occasionnés par les séismes passés dans la zone d'étude, l'équipe d'étude CGS-JICA a identifié 8 catégories de bâtiments qui sont décrites au Tableau 6-1 par type de structure, années de construction et/ou règles parasismiques.

Quant aux catégories de bâtiments montrées au Chapitre 4-1-1, elles ont été réduites de 11 à 8 dans l'enquête d'inventaire des bâtiments pour les raisons suivantes : 1) une étude des dommages sismiques indique qu'il n'y a aucune corrélation entre le nombre de niveaux et le rapport de dommage, 2) la structure à portiques avec murs en béton armé est évaluée identique à celle avec voiles en béton armé et 3) plusieurs types tels que la construction en blocs de béton sont inclus dans la « maçonnerie de pierre et de brique ».

Les catégories des ouvrages à portiques en béton armé construits selon le RPA88, RPA99 et avec le RPA99 ver. 2003 sont incluses pour estimer les améliorations de la capacité parasismique des bâtiments conçus par ces règles parasismiques. Le rapport de chaque type de structure pour chaque commune est montré au Tableau 6-2.

Quant au nombre de bâtiments de chaque commune, il convient de se référer au Tableau 4-1 : Nombre de bâtiments et de logements dans les communes du Chapitre 4.

Tableau 6-1 Catégories de bâtiments pour l'estimation des dommages

Type	Type de Structure	Catégorie de structure	Nombre de niveaux	Année de construction ou règles parasismiques
1	Maçonnerie	Maçonnerie de brique de la CASBAH	tous	tous
2		Maçonnerie de pierre et de brique	tous	tous
3	Béton armé	BA portique Avant le RPA81	tous	Jusqu'à 1980 pour public et jusqu'à 2003 pour majorité de privé
4		BA portique Avec le RPA81 et RPA88	tous	1981 - 99 pour public ou conçu par RPA81 (83), 88
5		BA portique RPA 99	tous	2000 - 02 pour public et privé conçus par RPA99
6		BA portique RPA 99/2003	tous	En et après 2003 pour public et privé, conçus par RPA2003
7		BA murs et mixte	tous	tous
8	Acier	Acier	tous	tous

Tableau 6-2 Rapport de types de structure des bâtiments de chaque commune

Type de structure	ID	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608	1609	1610	1611	1612
	COMMUNE	ALGER CENTER	SÉTIF HAMED	EL MADANIA	HAMMEL ANNASSER	BAB EL OUED	BOLGHINE	CASBAH	OUED KORICHE	BIR MOURAD RAIS	EL BIAR	BOUZAREAH	BIRKHADEM
Ancienne maçonnerie à la Casba	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maçonnerie de pierre et de brique	%	77.4	66.0	72.4	12.5	75.5	37.5	64.3	46.7	25.0	33.3	15.8	31.3
Portique en BA de pré-code	%	20.8	30.0	13.8	75.0	18.4	50.0	0.0	53.3	41.7	56.7	68.4	65.6
Portique en BA de bas-code	%	0.0	4.0	3.4	12.5	4.1	8.3	0.0	0.0	4.2	6.7	2.6	0.0
Acier	%	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mur en BA	%	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	3.3	10.5	3.1
Portique en BA de mi-code	%	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	2.6	0.0
Portique en BA de haut-cod	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Type de structure	ID	1613	1615	1616	1617	1618	1619	1620	1621	1622	1623	1624	1625
	COMMUNE	EL HARRACH	OUED SMAR	BOUROUBA	HUSSEIN DEY	KOUBA	DJARAH	BEIDA	EZZOUAR	BEN AKNOUN	DELY BRAHIM	HAMMAMET	HAMIDOU
Ancienne maçonnerie à la Casba	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maçonnerie de pierre et de brique	%	55.6	0.0	25.6	46.4	25.0	18.0	0.0	3.9	9.1	0.0	18.2	41.7
Portique en BA de pré-code	%	37.0	91.7	62.8	39.3	35.7	48.0	44.0	21.6	54.5	82.4	81.8	41.7
Portique en BA de bas-code	%	0.0	8.3	4.7	3.6	10.7	12.0	32.0	15.7	0.0	5.9	0.0	0.0
Acier	%	0.0	0.0	0.0	3.6	1.8	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mur en BA	%	3.7	0.0	2.3	3.6	26.8	22.0	16.0	49.0	36.4	0.0	0.0	16.7
Portique en BA de mi-code	%	3.7	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Portique en BA de haut-cod	%	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	11.8	0.0	0.0

Type de structure	ID	1626	1627	1628	1629	1630	1631	1632	1639	1640	1644	Total
	COMMUNE	OUASSK KACENTINA	BELOUIDAD	HYDRA	MORAMMADI A	BORDJ EL KIFFAN	EL MAGHARIA	BENT MESSOUS	BORDJ EL BAHRI	EL MARSA	AIN BENIAN	
Ancienne maçonnerie à la Casba	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Maçonnerie de pierre et de brique	%	10.9	84.8	0.0	13.0	15.3	11.8	10.0	13.3	20.0	24.1	33.6
Portique en BA de pré-code	%	37.0	6.1	75.0	34.8	18.6	58.8	50.0	66.7	80.0	44.8	40.6
Portique en BA de bas-code	%	10.9	0.0	0.0	30.4	49.2	5.9	30.0	13.3	0.0	24.1	10.0
Acier	%	2.2	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
Mur en BA	%	39.1	9.1	20.0	21.7	3.4	23.5	10.0	6.7	0.0	6.9	11.9
Portique en BA de mi-code	%	0.0	0.0	5.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
Portique en BA de haut-cod	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4

6-1-2 Dommages de bâtiments depuis le séisme d'El Asnam de 1980 jusqu'au séisme de Boumerdes de 2003

(1) Séisme d'El Asnam de 1980

Le CTC (Contrôle Technique des Constructions) a enquêté les dommages d'environ 10 000 bâtiments en utilisant les « fiches techniques de contrôle » qui classifient les dommages en 5 degrés. Le résultat en a été immédiatement montré aux citoyens dans les bâtiments avec les niveaux de dommage en trois couleurs comme suit :

- Vert: possibilité d'utilisation immédiate
- Rouge: utilisation impossible
- Orange: la possibilité d'utilisation est soumise à la vérification détaillée.

Selon le rapport de l'enquête du « séisme en Algérie de 1980 » effectuée par l'Institut d'architecture du Japon, plus de 80% des bâtiments enquêtés étaient endommagés. Il est rapporté que plus de 40% des bâtiments ont été gravement endommagés ou effondrés, 20% légèrement endommagés et 40% restants devant être soumis à une enquête détaillée afin de déterminer leur sûreté. Plus de 90% des ouvrages en maçonnerie de pierre et de brique ont souffert de dommages sérieux. Nombreux bâtiments en béton armé ont été gravement endommagés et les caractéristiques des causes en sont résumées comme suit :

- a) Déséquilibre des murs sur le plan ou l'élévation comme le cas de pilotis
- b) Rupture par cisaillement des poteaux avec murs fixes ou suspendus
- c) Rupture des poteaux courts de 25 cm carrés des vides sanitaires des maisons à 3 ou 4 niveaux.
- d) Manque d'espace dans les joints de dilatation.

Cependant, la plupart des bâtiments à murs en béton armé restaient légèrement endommagés. On trouve quelques ouvrages en acier et en bois avec très peu de dommages sismiques. La classification des dommages des bâtiments en maçonnerie et en béton armé par l'EMS-98 est montrée au Chapitre 4-1-2.

(2) Séisme de Boumerdes en 2003

Le CGS (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique) et le CTC ont effectué une enquête des dommages sur 400 000 logements à Alger et 16 000 à Boumerdes à l'issue du séisme de Boumerdes en 2003. L'enquête sera analysée en détail par le CGS. L'équipe d'étude a obtenu du CGS les données de quelques études des dommages de bâtiments de quelques communes en tant que rapport initial ainsi qu'un résumé des dommages de logements du CTC Chlef.

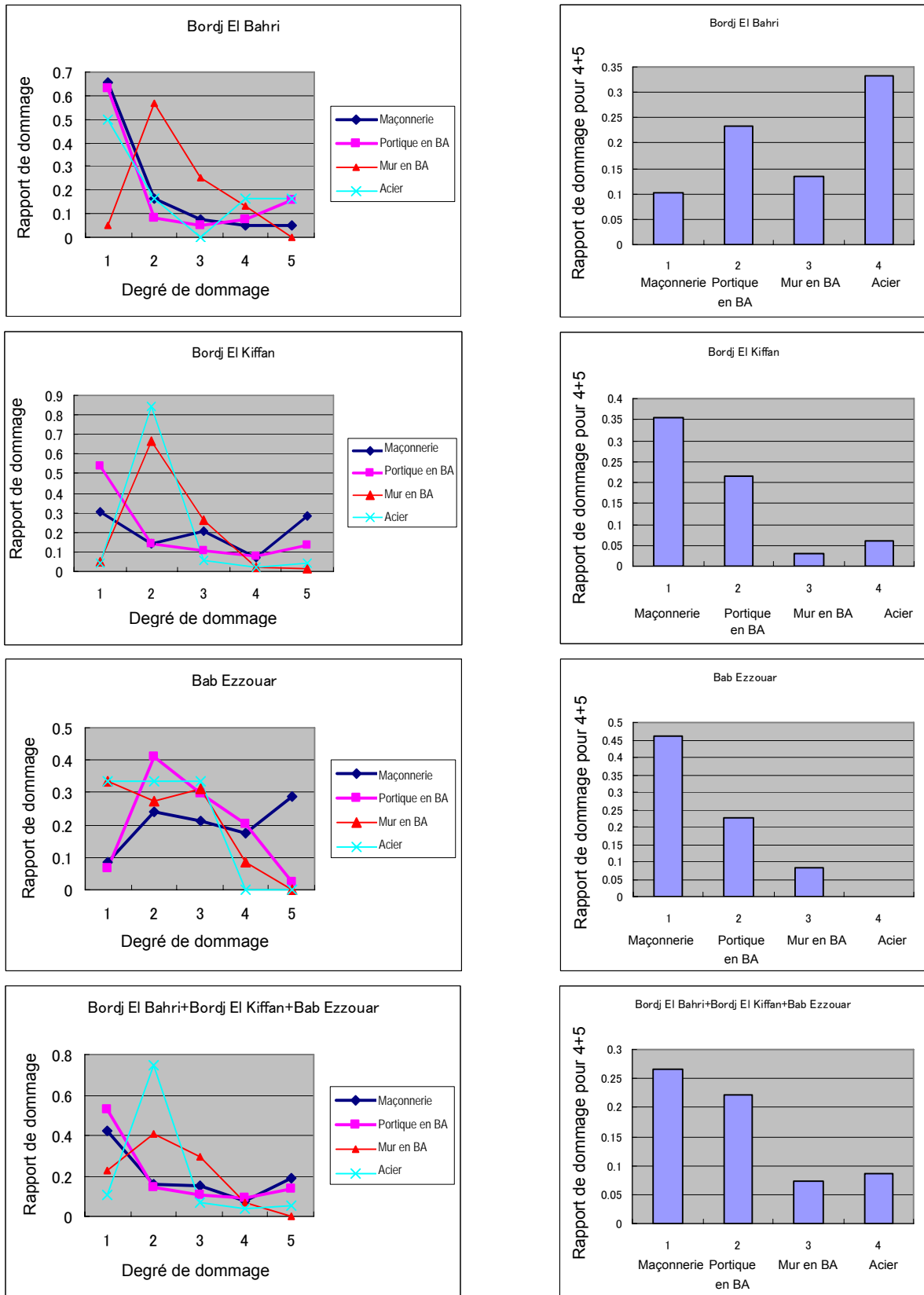
Le résumé des dommages de logements des communes de la zone d'étude occasionnés par le séisme de Boumerdes 2003 est montré au Chapitre 4-1-2.

Dans une enquête des dommages de bâtiments effectuée par le CGS après le séisme de Boumerdes 2003, les données des communes suivantes situées dans la zone d'étude de la Wilaya d'Alger de l'est ont été fournies :

BAB EZZOUAR, BORDJ EL KIFFAN, BORDJ EL BAHRI et EL MARSА

Parmi ces données, celles d'EL MARSА ne sont pas utilisées parce qu'elles sont en quantité mineure. Tous les bâtiments d'une surface et d'un bloc limités ont été enquêtés et non tous les bâtiments de chaque commune. Les types de structure principaux sont : maçonnerie, portique en béton armé, mur en béton armé et charpente métallique. Le rapport de degrés de dommage entre 1 à 5 et celui de 4 à 5 de chaque type de structure est montré à la Figure 6-1. Quant à la classification des degrés de dommage par l'EMS-98, il convient de se référer au Chapitre 4-1-2.

La fonction de vulnérabilité a été discutée et estimée avec le CGS principalement sur la base d'une étude de l'enquête des dommages du séisme de Boumerdes 2003. L'estimation des dommages de bâtiments a été effectuée par chaque séisme de scénario sur la base de la fonction de vulnérabilité.



Source originale; CGS

Figure 6-1 Résultat de l'enquête des dommages

6-1-3 Fonction de vulnérabilité de bâtiment

(1) Généralités

Le principe de la détermination de la fonction de vulnérabilité dans la présente étude est schématisé à la Figure 6-2.

L'intensité sismique de la zone d'étude lors du séisme de Boumerdes 2003 a été estimée dans la présente étude, alors que les données des dommages de bâtiments de la zone d'étude étaient limitées telles que montrées ci-dessous. La capacité sismique de chaque type de structure a été estimée avec suppositions et combinée avec les données des dommages enquêtés dans le but de compléter ce manque de données de dommages. Ainsi, la fonction de vulnérabilité a été obtenue.

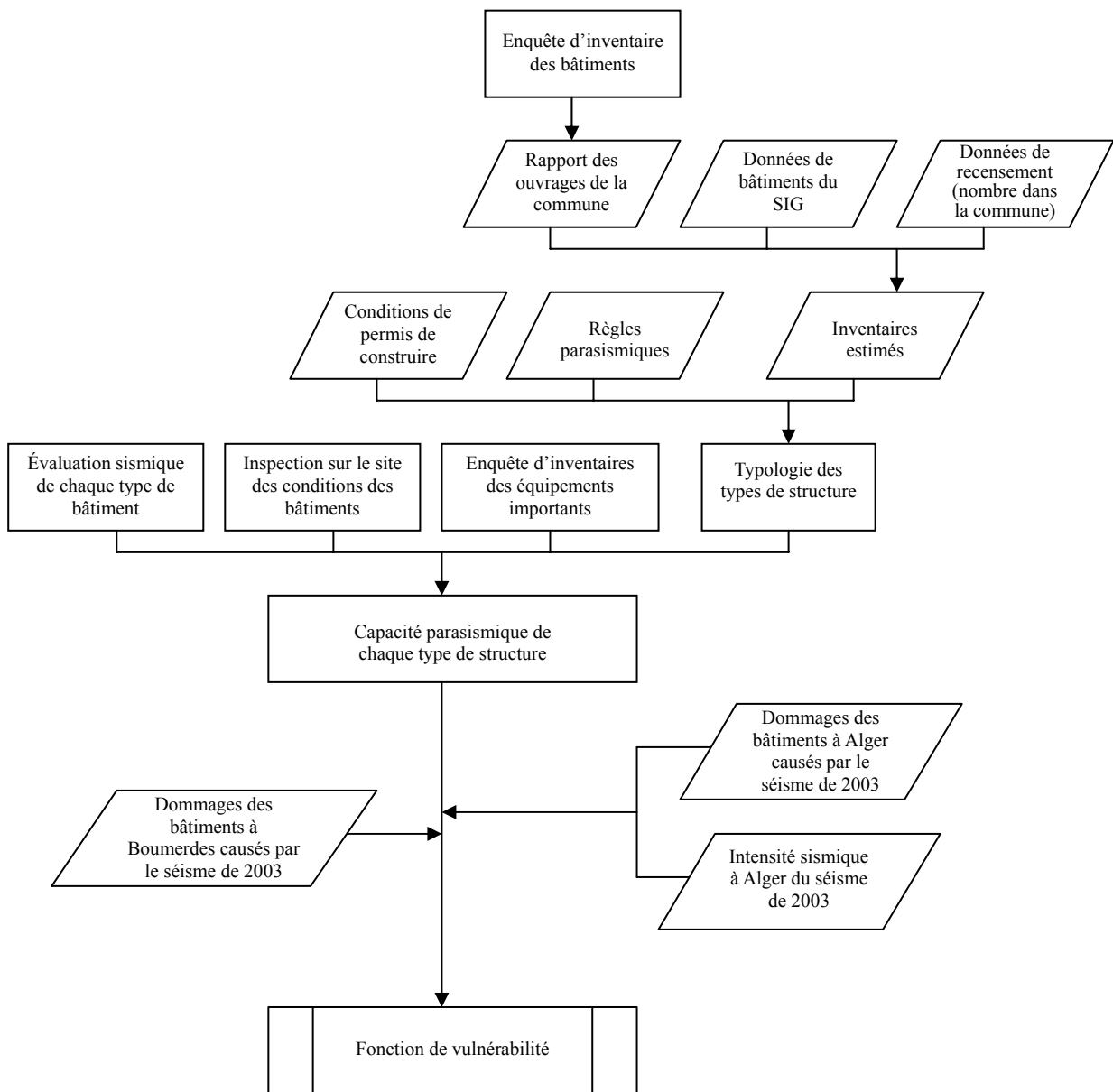


Figure 6-2 Schéma du principe de la détermination de la fonction de vulnérabilité

Le résultat de l'enquête des dommages des quatre types de structures occasionnés par le séisme de Boumerdes 2003 a été fourni par le CGS seulement pour les trois communes suivantes quand il s'agit de la zone d'étude comme le décrit la Section 1-2 :

BAB EZZOUAR, BORDJ EL KIFFAN et BORDJ EL BAHRI

Ces communes se situent dans l'est de la Wilaya d'Alger dont l'intensité sismique estimée par l'EMS (officiellement MSK) lors du séisme de Boumerdes 2003 de l'ordre de 8 et aucune différence claire n'a été remarquées parmi ces trois communes. Comme résultat, il n'était pas possible de mettre en place une fonction de vulnérabilité de bâtiment moyennant les données d'enquête comme le montre la Figure 6-3.

Il a été proposé d'introduire une idée évoquant la distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , de chaque type de structure et de la combiner avec le rapport des dommages enquêtés en vue de développer une courbe de vulnérabilité. C'est une nouvelle méthodologie pour la détermination de la fonction de vulnérabilité des bâtiments. Cette méthodologie moyennant les courbes est montrée comme suit à travers les courbes de la structure à portique en béton armé Avant le RPA81 (non parasismique).

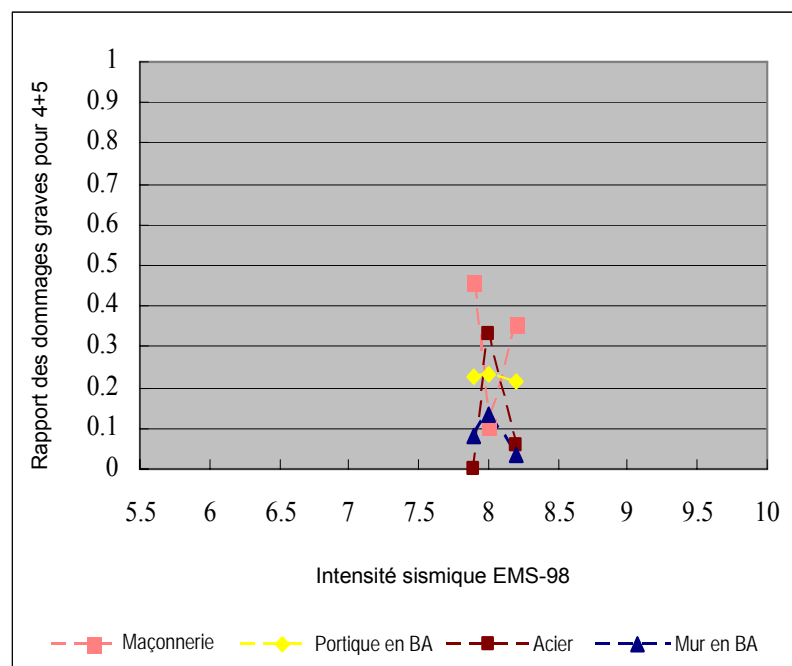


Figure 6-3 Rapport des dommages enquêtés des quatre types de structure et Intensité sismique estimée des trois communes de la zone d'étude dus au séisme de Boumerdes 2003

(2) Rapport de dommage pour la fonction de vulnérabilité

Le rapport de dommage grave, défini par les degrés de 4 à 5 de l'EMS-98, a été appliqué à l'axe vertical de la « fonction de vulnérabilité ». Le degré 4 est le dommage très grave (dommage structurel grave, dommage non structurel grave). Les bâtiments à degré de dommage 4 ne sont plus utilisables après un séisme et le coût de leur renforcement sera très important ou similaire au coût de la nouvelle construction. Le degré 5 correspond à la destruction (dommage structurel très grave). Il convient de se référer au Chapitre 4-1-2 pour les degrés de dommage. Il est bien connu qu'il y a une corrélation entre le rapport de dommage grave et la victime humaine.

(3) Intensité sismique et rapport des dommages enquêtés

L'intensité sismique de l'EMS liée à la PGA est utilisée pour l'axe horizontal de la « fonction de vulnérabilité » (se référer au Chapitre 5 pour l'estimation du mouvement de sol).

L'intensité sismique estimée à chaque secteur de maille d'une commune causée par le séisme de Boumerdes 2003 varie largement. Par exemple, les valeurs entre minimum et maximum, soit 7,4 et 9,0, ont été estimées pour le secteur de maille à 250 m de la commune de BORDJ EL KIFFAN (1630). Le rapport des bâtiments enquêtés avec ceux existants (dans l'enquête d'inventaire des bâtiments) était de 14% à 20% et la localisation des bâtiments enquêtés n'a pas été résumée. Vu que le nombre des bâtiments enquêtés est limité et leur localisation n'est pas claire, il sera présumé que le rapport de dommage des bâtiments enquêtés, montrés à la Section 1-2, est en rapport avec les degrés supérieurs de l'intensité sismique estimée et plus grand que le rapport réel à l'intensité moyenne estimée par commune.

Tableau 6-3 Intensité sismique estimée causée par le séisme de Boumerdes

Nom de commune	Intensité sismique estimée	Rapport des bâtiments enquêtés
BAB EZZOUAR	moyenne 7,9 (min.7.4~max.8.5)	14 %
BORDJ EL KIFFAN	moyenne 8,2 (min.7.4~max.9.0)	22 %
BORDJ EL BAHRI	moyenne 8,0 (min.7.8~max.8.8)	26 %

Le jugement de l'ingénieur indique que les valeurs réduites du rapport des dommages enquêtés devraient être utilisées à une intensité sismique moyenne de 8,0 et celle-ci était combinée avec la distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , de chaque type de structure.

(4) Une méthodologie incorporant l'indice parasismique structurel, I_s

La fonction de vulnérabilité des structures à portique en béton armé pré code (non parasismique, avant le RPA 81) a été estimée comme suit :

- 1) L'indice parasismique structurel, I_s , des structures à portique en béton armé avant le RPA81 (non parasismique).

L'évaluation sismique a été effectuée pour une maison à 5 niveaux calculée avant le RPA81 typique, appelée un «bâtiment non parasismique». Le résultat en est montré à la Figure 6-4. Le résultat détaillé en est montré dans l'annexe du Chapitre 9-1-2.

L'indice parasismique structurel, I_s , a été montré pour les différentes résistances de béton. La résistance de béton standard requis était de 25 N/mm^2 mais elle était entre 14 et 17 N/mm^2 dans les éprouvettes prélevées dans les bâtiments gravement endommagés après le séisme de Boumerdes 2003 selon le rapport préliminaire du CGS. Dans cette figure 6-4, la valeur I_s , 0,28, valeur de résistance du béton satisfaisant au standard, est estimée comme étant une valeur typique et une valeur de pic de la distribution des structures à portique en béton armé de Avant le RPA81 tel que montrée.

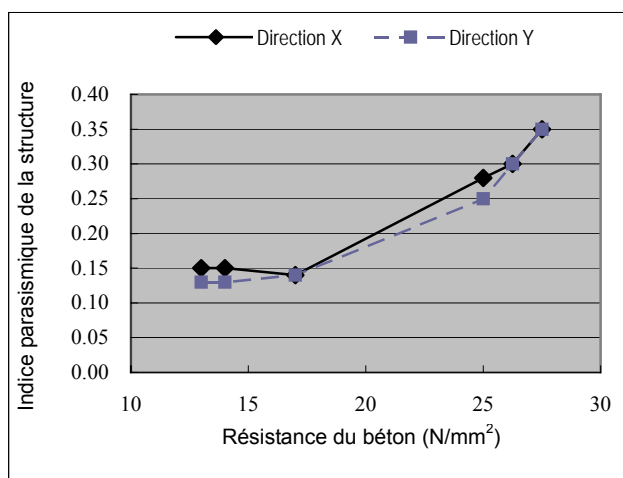


Figure 6-4 Indice parasismique structurel, I_s , et résistance du béton

2) Distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , et dommages sismiques

La distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , des bâtiments en béton armé de la préfecture de Shizuoka, Japon, est montrée à (1) de la Figure 6-5 (Référence 1). La distribution de I_s des bâtiments modérément et gravement endommagés suivant deux séismes est montrée à (3) de la même figure ;

- Séisme au large de Tokachi, 1968, M7.9 Intensité JMA 5+ (to 6-)
- Séisme au large de Miyagi, 1978, M7.4 Intensité JMA 5+ (to 6-)

Comme le montre la Figure 6-5, les détails suivants ont été observés :

- (A) La distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , est rapprochée par une distribution logarithmique normale. (Note; Telle que montrée plus tard, la distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , a été simplifiée et rapproché d'une distribution normale modifiée).
- (B) Assujettis à l'intensité sismique, le bâtiment avec une valeur I_s inférieure est facilement endommagé et celui avec I_s supérieure est endommagé difficilement.

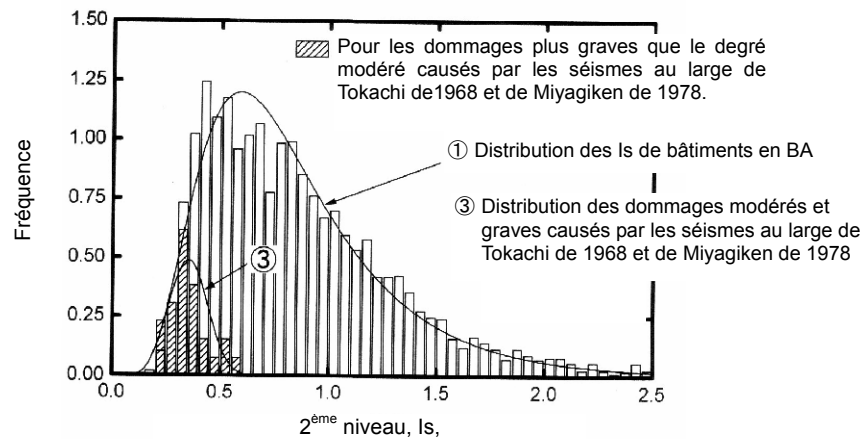


Figure 6-5 Distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , et dommages sismiques

3) Distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , des bâtiments en béton armé de Avant le RPA81 (non parasismique)

La distribution normale avec un pic de 0,28 de l' I_s et la déviation de 0,20 sont supposées. La courbe de distribution est modifiée avec les lignes linéaires des deux côtés de sorte que les surfaces de 1 et 2 soient les mêmes. La surface de la distribution modifiée est aussi de 1,0 (voir l'annexe 1, « Déviation et fonction de vulnérabilité »).

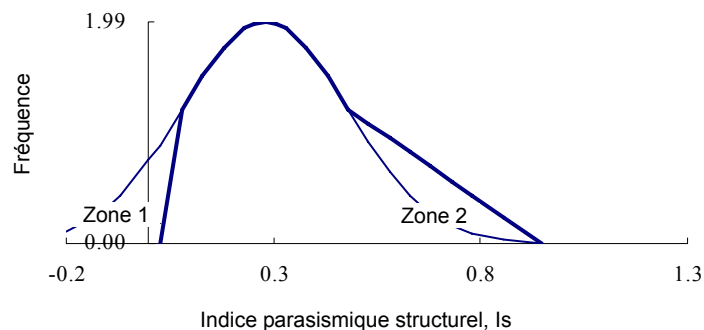


Figure 6-6 Distribution de l'indice parasismique structurel, I_s , des ouvrages à portiques en béton armé de Avant le RPA81

4) Rapport de dommage des bâtiments déterminé par l'enquête

La variation des rapports de dommage des secteurs de maille individuels est importante en comparaison avec le rapport de dommage moyen de l'ensemble des communes. Dans ce cas, tel que décrit à la section précédente, le jugement de l'ingénieur indique qu'environ deux tiers du résultat apporté par l'enquête devraient être impliqués dans la détermination de valeur d'intensité de l'EMS (officiellement MSK) de 8 si elle représentait la moyenne des trois communes.

La surface au-dessous de la courbe des valeurs de l' I_s égale et inférieure à 0,165 est le rapport de dommage grave de 0,137, moyenne des valeurs de « Avant le RPA81

(0,157) » et de « avec le RPA81 (0,117) », et ceci est égal à 62% du rapport de dommage enquêté, tel que montré au Tableau 6-4. Cela permet de supposer que le nombre des bâtiments de « Avant le RPA81 » et de « avec le RPA81 » est similaire à ceux trouvés dans l'enquête d'inventaire des bâtiments.

Il est noté que la valeur limite de l'Is de 0,165 couvre une rangée de valeurs de 0,13 à 0,15, valeurs des bâtiments gravement endommagés telle que montrée à la Section 1-3. (3). Cette valeur Is de 0,165 est aussi appliquée aux autres types de structures dans l'estimation du rapport de dommage apporté par un événement d'intensité sismique de 8.

Tableau 6-4 Rapports de dommage estimé et enquêté des ouvrages en béton armé à portique de Avant le RPA81 et de avec le RPA81

Type de structure	Surface égale et inférieure à 0.165 de la distribution de l'Is : (b)	Rapport de dommage des ouvrages à portique en béton armé dû au séisme de Boumerdes : (a)	(b)/(a)
BA portique Avant le RPA81	0,157	0,222 (max.0,234, min.0,206)	0,62
BA portique Avec le RPA81	0,117		

Note: Il est supposé que la catégorie de « BA à portique » enquêtée consiste en ouvrages à portique en BA de Avant le RPA81 et de avec le RPA81 et qu'ils sont similaires en quantité dans les trois communes enquêtées selon le Tableau 6-2 « Rapport de types de structure des bâtiments de chaque commune »

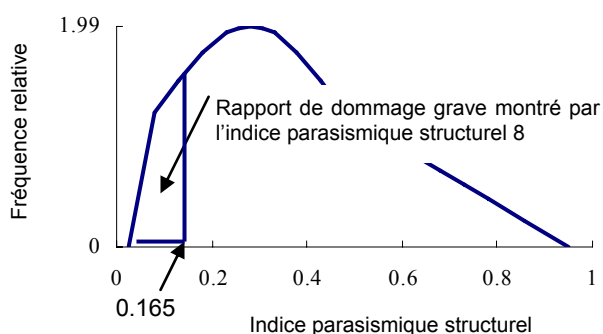


Figure 6-7 Rapport de dommage grave montré par la surface de distribution de Is.

5) PGA et intensité sismique sur l'échelle MSK

La surface au-dessous de la courbe des valeurs Is égale et inférieure à 0,165 (valeur limite de l'Is est de 0,165) est de 0,157 qui est le rapport de dommage apporté par l'intensité de 8 de l'EMS des bâtiments à portique en béton armé de Avant le RPA81 (non parasismique).

Quant aux autres intensités sismiques, l'intensité de mouvement sismique de 7 est 0,48 fois plus grande que celle de 8. Le mouvement sismique de l'intensité de 9 est 2,1 fois plus important que celle de l'intensité de 8. L'intensité de 10 est 4,4 fois plus grande que celle de l'intensité de 8 telle que montrée à la Figure 5-24 « Rapport empirique entre PGA et Intensité sismique dans l'échelle MSK (actuellement EMS) » du Chapitre 5.

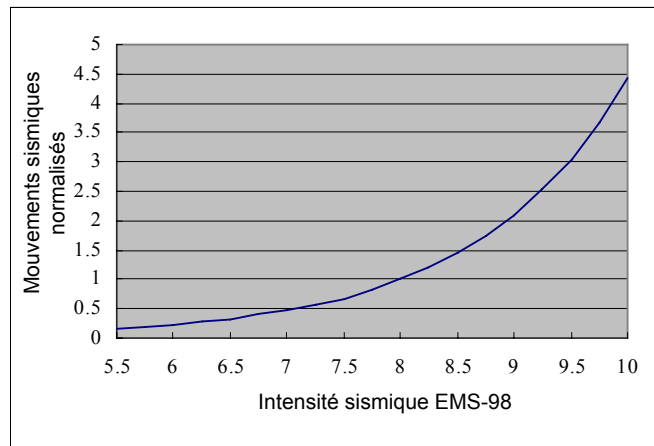


Figure 6-8 Mouvement de sol et intensité sismique normalisés (Normalisés pour l'intensité sismique de 8).

6) Tracé de la fonction de vulnérabilité

Un calcul similaire fait pour la surface de la distribution de l'Is et l'intensité sismique normalisée a permis d'obtenir la « fonction de vulnérabilité » des ouvrages à portique en béton armé de Avant le RPA81

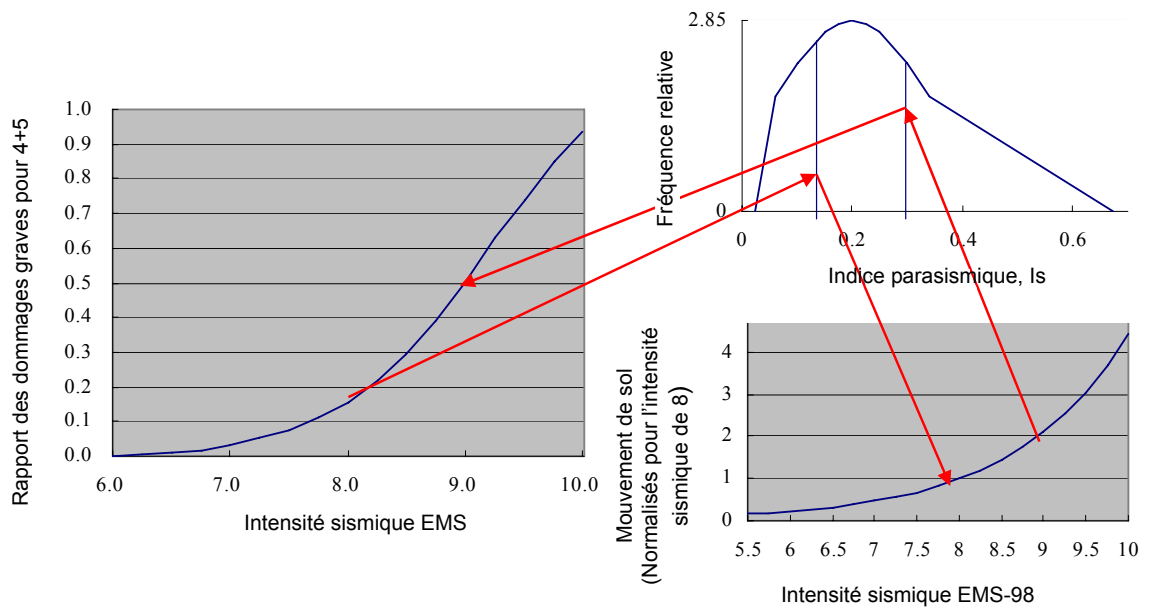


Figure 6-9 Indice parasismique structurel, intensité sismique et rapport de dommage grave.

7) Types de structure autres que le BA à portique de Avant le RPA81.

(A) Ouvrages en maçonnerie de pierre et de brique, charpente métallique et mur en BA.

Le rapport de dommage enquêté du séisme de Boumerdes 2003 est utilisé. Un rapport de dommage réduit à l'intensité sismique de 8 est utilisé. Mais le rapport de réduction n'est pas important, puisque le rapport de dommage enquêté des ouvrages en maçonnerie à la commune de BORDJ EL BAHRI n'est que de 10%, exceptionnellement faible, à cause de l'existence des maisons en maçonnerie avec un niveau de qualité selon le CGS. Ceci est considéré ensemble avec la distribution de l'indice parasismique structurel, I_s . La distribution de ces types de structures a été extraite sur la base d'une analogie des ouvrages à portique en BA de sorte que le rapport de dommage à l'intensité de 8 soit la surface au-dessous de la courbe des valeurs de l' I_s égale ou inférieure à 0,165. Il convient de se référer à la Figure 6-10 « Distribution supposée de l'indice parasismique structurel de chaque type de structure »

(B) Ouvrages en BA à portiques avec le RPA81, avec le RPA88 et avec le RPA99

La valeur de pic de la distribution de l' I_s a été estimée par l'évaluation sismique d'une maison typique à 5 niveaux en BA à portique avec le RPA88. Il convient de se référer au Chapitre 9-1-2 (1) pour plus de détail. Les valeurs de pic de la distribution ont été estimées par la résistance et la ductilité supposées des ouvrages en BA à portiques avec le RPA88 et avec le RPA99. Le rapport de dommage à l'intensité de 8 est estimé à partir de la valeur limite de l' I_s de 0,165.

(C) Ouvrages en maçonnerie de briques de la CASBAH

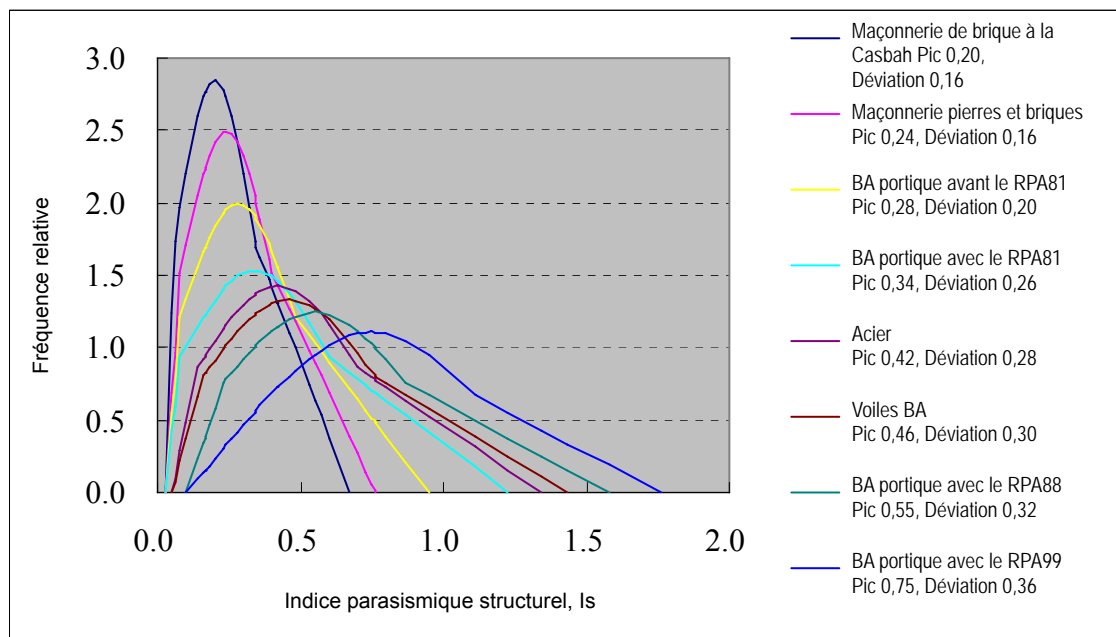
L'intensité sismique estimée du séisme de Boumerdes 2003 est de 6,7 à la CASBAH. Le rapport de dommage à l'intensité de 6,7 d'un ouvrage en maçonnerie de pierre et de brique est de 3,6% avec la « fonction de vulnérabilité » estimée. Selon le « agence des études d'architecture et de conception urbaine », 196 bâtiments ont été endommagés par les séismes précédents incluant le séisme de Boumerdes 2003, et leur moitié était du type traditionnel et le reste du type colonial. Cependant, le degré de dommage n'est pas connu. L'enquête d'inventaire des bâtiments indique qu'un tiers des bâtiments existants étaient du type traditionnel et deux tiers du type colonial. Ceci montre que le rapport de dommage des ouvrages en maçonnerie de brique ancienne de la CASBAH est environ deux fois plus important que celui de maçonnerie de pierre et de briques dans cette rangée d'intensité sismique.

Comme résultat de l'estimation de la distribution de l'indice parasismique structurel supposée, on peut estimer un rapport de dommage étant 1,8 fois plus élevé que celui de la maçonnerie de pierre et de brique à l'intensité de 6.7. Cette valeur peut être acceptable.

Le rapport de dommage de chaque type de structure à l'intensité de 8 estimé pour la fonction de vulnérabilité ainsi que le rapport de dommage tel qu'enregistré dans l'enquête à l'issue du séisme de Boumerdes 2003 sont résumés au Tableau 6-5.

Tableau 6-5 Rapports de dommage estimé et enquêté de chaque type de structure

Type de structure	Rapport de dommages à l'intensité de 8,0 par la "fonction de vulnérabilité." (b)	Rapporte de dommage enquêté lors du séisme de Boumerdes (a)	(b) / (a)
Maçonnerie briques CASBAH	0,273	--	--
Maçonnerie pierres et briques	0,203	0,265 (max.0,462, min.0,103)	0,78
BA portique Avant le RPA81	0,157	0,222 (max.0,234, min.0,206)	0,62
BA portique avec le RPA81	0,117		
Acier	0,061	0,085 (max.0,333, min.0,0)	0,72
Voiles BA	0,048	0,073 (max.0,133, min.0,032)	0,66
BA portique avec le RPA88	0,019	--	--
BA portique avec le RPA99	0,005	--	--

Figure 6-10 Distribution supposée de l'indice parasismique structurel, I_s , de chaque type de structure.

(5) Fonction de vulnérabilité

Les estimations similaires ont été effectuées en ce qui concerne tous les huit types de structures et la « fonction de vulnérabilité » a été obtenue comme suit :

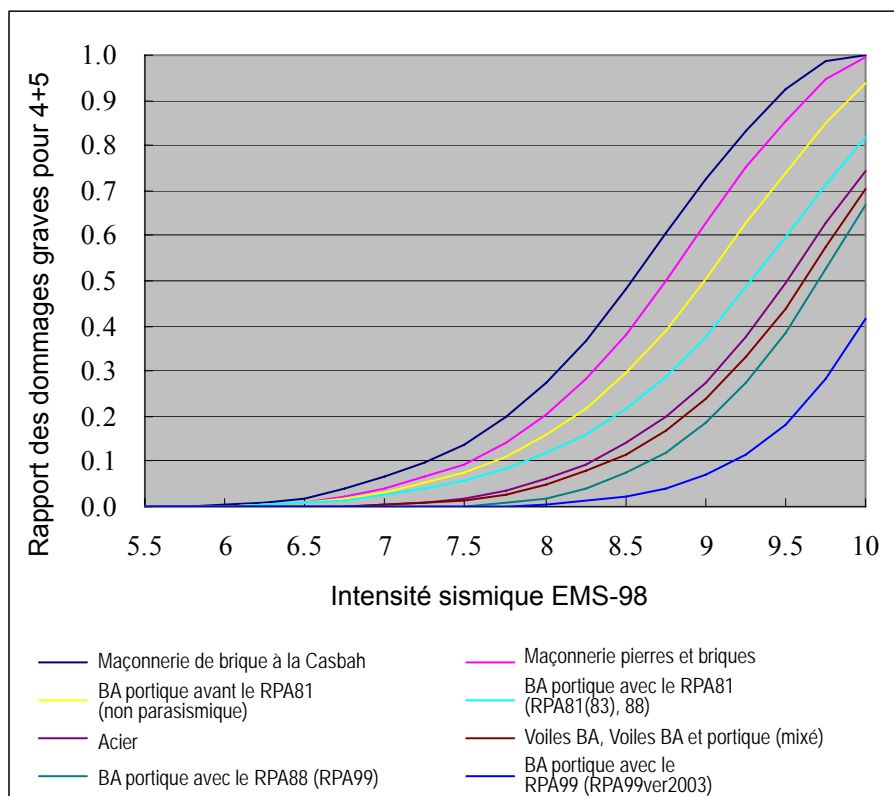


Figure 6-11 Fonction de vulnérabilité des bâtiments.

(6) Étalonnage

1) Étalonnage avec le rapport de dommage enquêté dans la zone d'étude

Les fonctions de vulnérabilité ont été prévues sur la base des rapports de dommage enquêtés dus au séisme de Boumerdes 2003 dans les zones assujetties à l'intensité sismique de 8. Cependant, ces rapports de dommage étaient réduits en quelque sorte par le jugement de l'ingénieur tel que décrit précédemment. L'analyse montre que l'intensité sismique moyenne des trois communes était de 7,9, 8,0 et 8,2 respectivement pendant le dit séisme. Le rapport de dommage enquêté et la fonction de vulnérabilité des ouvrages en « maçonnerie de pierre et de briques », « BA à portique de Avant le RPA81 et avec le RPA81 », « charpente métallique » et « BA à voiles » sont montrés à la Figure 6-12 à titre de comparaison.

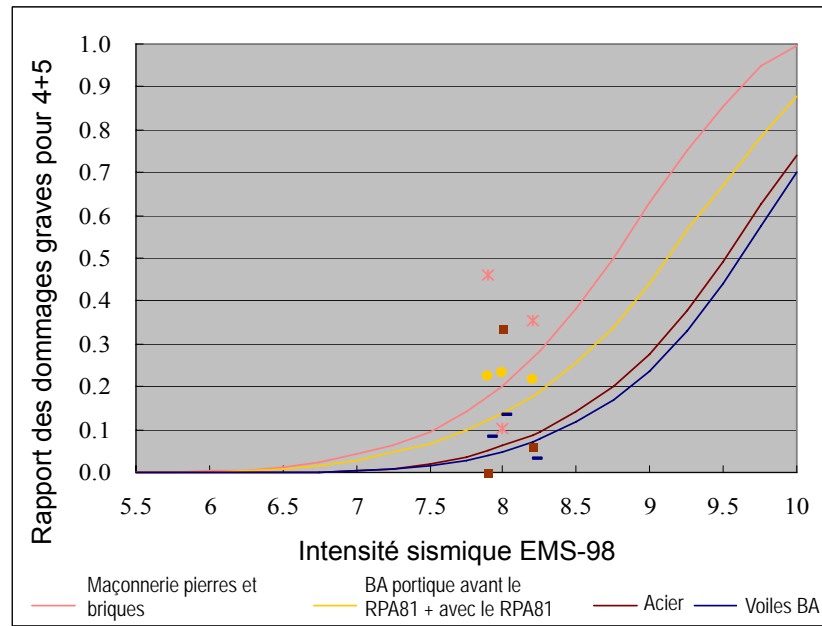


Figure 6-12 Rapports de dommage enquêtés lors du séisme de Boumerdes 2003 et fonctions de vulnérabilité des quatre types de structure.

Les rapports de dommage moyens enquêtés des quatre types de structures sont montrés à la Figure 6-13, Il est toutefois à noter que la rangée d'intensité sismique estimée des mailles de 250 m des communes varie largement (ligne horizontale pointillée). Le jugement de l'ingénieur implique que le rapport de dommage grave à l'intensité sismique de 8,0 est réduit dans une rangée de 80% à 60% des rapports enquêtés, autrement dit, les rapports enquêtés de dommage grave sont évalués comme un rapport à l'intensité de 8,2 à 8,4 et non à celle de 8,0, moyenne des intensités physiques réelles (flèche).

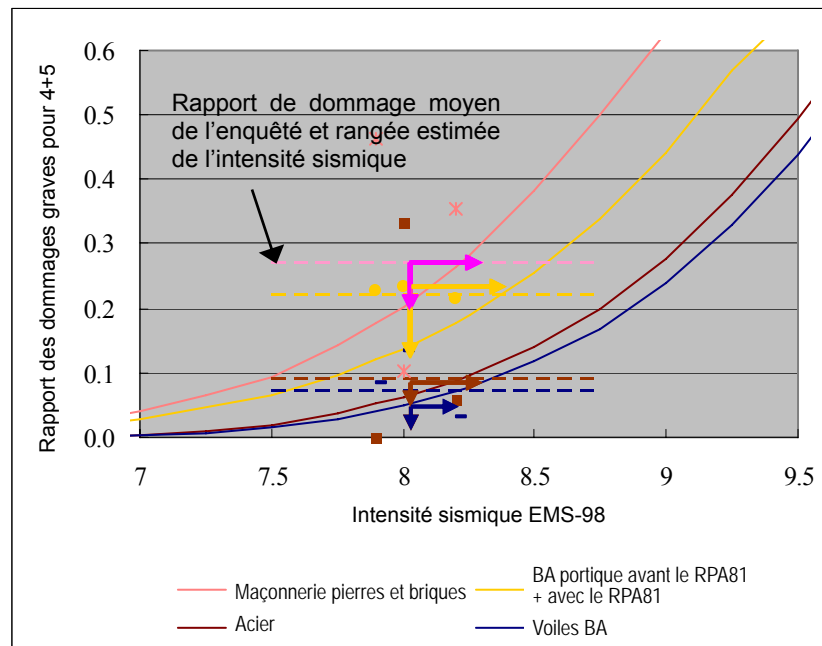


Figure 6-13 Rapports moyens de dommage enquêtés, rangée estimée d'intensité sismique lors de séisme de Boumerdes et fonction de vulnérabilité.

Le rapport de dommage estimé utilisant la « fonction de vulnérabilité » de la zone d'étude de la Wilaya d'Alger est de 5,2%. Par ailleurs, le rapport de dommage rapporté dans l'enquête des logements (autres types de bâtiments non inclus) par le CTC est de 7,3%. Celui-ci est 1,4 fois plus important que le rapport de dommage des autres types de bâtiments. Cette différence peut être causée principalement par la différence entre les méthodes d'enquête appliquées aux autres bâtiments et logements.

Le rapport de dommage moyen estimé par la « fonction de vulnérabilité » des degrés de dommage de 4 et 5 aurait lieu sur toute l'étendue de la zone d'étude de la Wilaya d'Alger est de 28,9% à l'intensité sismique EMS de 8,5 et 49,4% à EMS de 9,0.

2) Rapport de dommage enquêté en dehors de la zone d'étude

L'intensité sismique de la Wilaya de Boumerdes dans l'évaluation visuelle de l'enquête à l'issue du séisme de Boumerdes 2003 était de 9, valeur maximum de MSK (EMS actuelle) selon le CGS. Les données des dommages des communes suivantes situées en dehors de la zone d'étude ont été fournies par le CGS. Le Tableau 6-6 les résumant seulement à titre d'information :

Tableau 6-6 Données des dommages des bâtiments en dehors de la zone d'étude occasionnés par le séisme de Boumerdes.

Wilaya	Commune	Nombre total des bâtis. enquêtés	Nombre des bâtis. à degré 4	Nombre des bâtis. à degré 5	Rapport de bâti. à degré 4 ou 5(%)
Alger	ROUIBA	3369	618	258	26,0
	REGHAIA	2019	478	129	30,1
	HERAOUA	2469	400	617	41,2
Boumerdes	Boumerdes	1832	402	159	30,6
	Zemmouri	1978	312	109	21,3

Références:

- 1) The Japan Building Disaster Prevention Association, 2001, Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001 (Japanese Version), Tokyo, Japan,

<Annexe> Déviation et fonction de vulnérabilité

1) Déviation et distribution modifiée de l'Is des ouvrages à portique en BA de Avant le RPA81.

Les trois cas suivants de déviation avec la distribution de la même valeur de pic à 0,28 et la même valeur le moins élevée à 0,025 de l'Is ont été estimés :

Cas 1, 0,12, Cas 2, 0,15, Cas 3, 0,18,

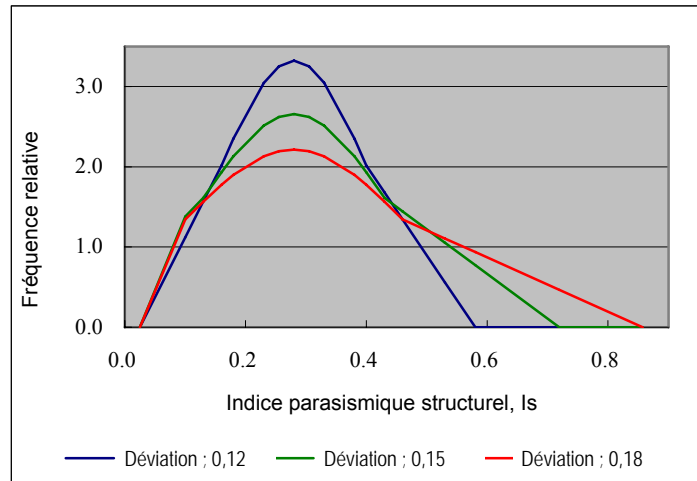


Figure 6-A1 Distribution de l'indice parasismique structurel, Is, et déviation.

2) Fonction de vulnérabilité

La distribution des rapports de bâtiments gravement endommagés apportée par la fonction de vulnérabilité d'une valeur Is de 0,28 pour les déviations de 0,12, 0,15 et 0,18 est montrée :

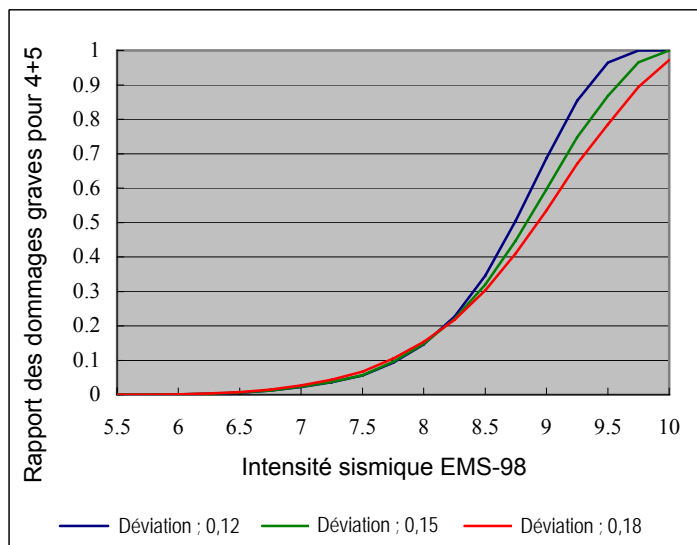


Figure 6-A2 Fonction de vulnérabilité des différentes déviations avec la même valeur de l'Is de la valeur de pic dans la distribution.

Aucune différence significative jusqu'à l'intensité de 8. Au-delà de l'intensité de 9, une différence claire devient significative à cause de la différence des valeurs maximum des différentes distributions de l'intensité sismique structurelle.

6-1-4 Dommages estimés

(1) Estimation de l'inventaire

L'inventaire des bâtiments a été estimé sur la base du schéma du principe montré à la Figure 6-14. Tout d'abord, le nombre de bâtiments de chaque maille de 250 m est compté sur la base des polygones de bâtiment inclus dans les données du SIG, achetées d'URBANIS et révisées par la suite par l'équipe d'étude (Figure 6-15). Les bâtiments dont le centre de polygone est inclus dans chaque maille de 250 sont comptés. Le rapport de type de bâtiment de chaque commune est estimé par le résultat de l'enquête d'inventaire. Le rapport de type de bâtiment d'une commune contenant les mailles est utilisé pour l'estimation du nombre de bâtiments de chaque classification de chaque maille.

La distribution des bâtiments par classification est montrée à la Figure 6-16.

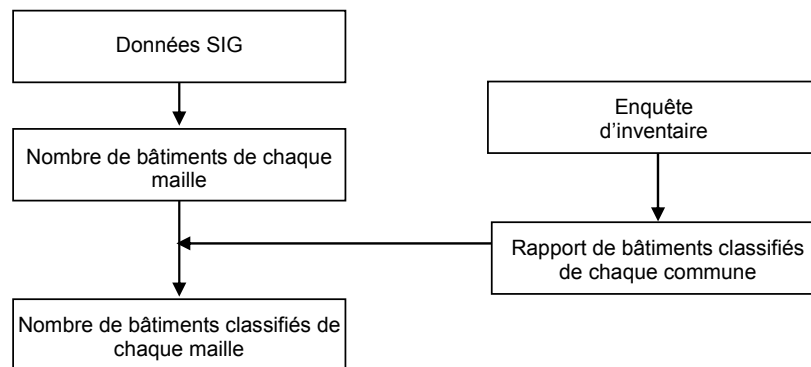


Figure 6-14 Schéma du principe de la distribution d'inventaire des bâtiments.

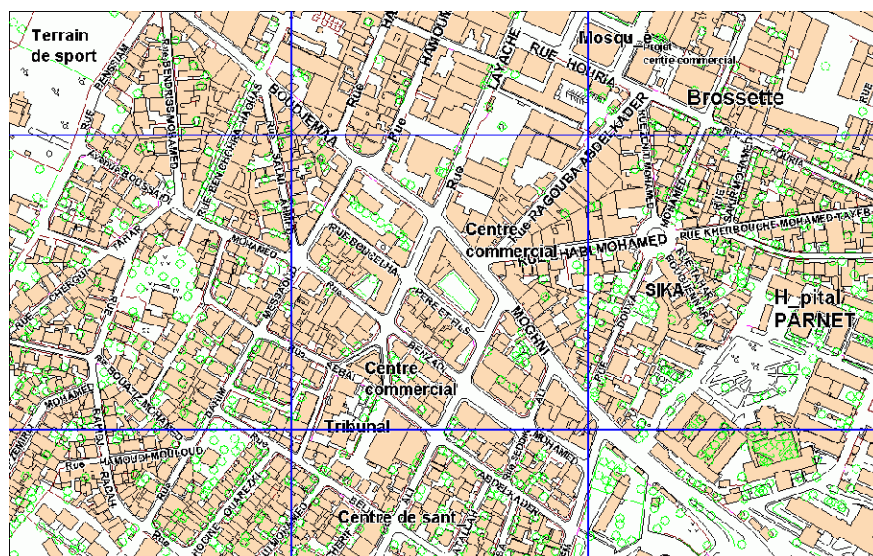


Figure 6-15 Exemple de polygone de bâtiment et limites des mailles de 250 m.

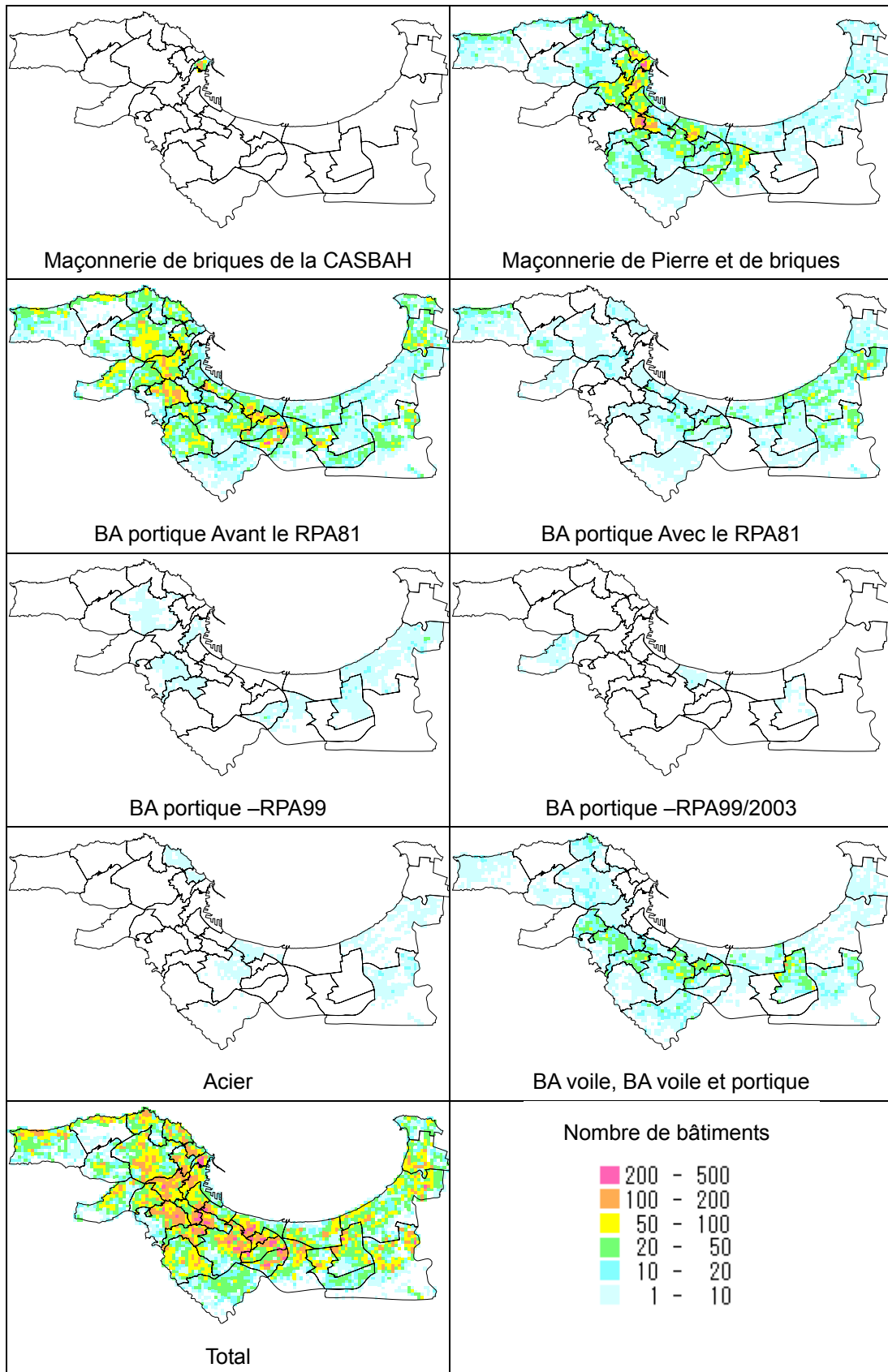


Figure 6-16 Distribution des bâtiments par classe.

(2) Estimation des dommages

Les dommages des bâtiments sont estimés pour deux séismes de scénario. Le nombre estimé des bâtiments gravement endommagés est montré au Tableau 6-7. Dans le Tableau 6-7, le degré de dommage du séisme de Boumerdes 2003 est reproduit par cette méthodologie et inclus également. La distribution des bâtiments gravement endommagés est montrée à la Figure 6-17 et leur rapport à la Figure 6-18. Les caractéristiques des dommages éventuellement causés par les deux séismes de scénario sont comme suit :

- Séisme de scénario de Khair al Din

Le nombre total des bâtiments gravement endommagés est estimé à 56 000 et celui des logements gravement endommagés à 100 000. Le taux de dommage est de l'ordre de 36%. Plus de 4 600 bâtiments pourraient être gravement endommagés à BORDJ EL KIFFAN. Presque la moitié des bâtiments à EL MOURADIA, EL MADANIA, EL BIAR, EL HARRACH, HOUSSEIN DEY et AIN BENIAN pourrait être gravement endommagée.

- Séisme de scénario de Zemmouri

Le nombre total des bâtiments gravement endommagés est estimé à 29 000 et celui des logements gravement endommagés à 47 000. Le taux de dommage est de l'ordre de 17 à 19%. Le dommage est concentré sur la zone orientale. Presque la moitié des bâtiments à DAL EL BEIDA pourrait être gravement endommagée.

Tableau 6-7 Dommages de bâtiments

ID	Nom de commune	Inventaire		Séisme de scénario Khaïrde al Din		Séisme de scénario de Zemmouri		Séisme de Boumerdes en 2003							
		Bâtiment	Logement	Bâtiment	Logement	Bâtiment	Logement	Bâtiment	Logement						
1601	ALGER CENTRE	3,396	16,219	1,395	6,662	41%	41%	379	1,808	11%	11%	98	468	3%	3%
1602	SIDI M'HAMED	2,206	13,863	922	5,795	42%	42%	235	1,475	11%	11%	65	411	3%	3%
1603	EL MADANIA	3,124	8,788	1,435	4,037	46%	46%	492	1,384	16%	16%	148	417	5%	5%
1604	HAMMA EL ANNASSER	2,169	8,594	834	3,305	38%	38%	265	1,049	12%	12%	79	312	4%	4%
1605	BAB EL OUED	1,884	13,184	616	4,311	33%	33%	155	1,081	8%	8%	28	198	1%	1%
1606	BOLOGHINE	2,933	6,643	899	2,037	31%	31%	212	479	7%	7%	39	89	1%	1%
1607	CASBAH	2,739	10,175	1,067	3,963	39%	39%	282	1,049	10%	10%	57	211	2%	2%
1608	OUED KORICHE	2,585	8,823	978	3,337	38%	38%	246	838	10%	10%	63	216	2%	2%
1609	BIR MOURAD RAIS	4,696	6,927	1,249	1,842	27%	27%	331	488	7%	7%	92	135	2%	2%
1610	EL BIAR	7,408	8,616	3,393	3,946	46%	46%	820	953	11%	11%	249	290	3%	3%
1611	BOUZAREAH	9,804	11,098	2,633	2,980	27%	27%	454	514	5%	5%	80	91	1%	1%
1612	BIRKHADEM	6,459	8,455	1,852	2,424	29%	29%	617	807	10%	10%	187	244	3%	3%
1613	EL HARRACH	4,560	7,296	2,076	3,321	46%	46%	1,555	2,487	34%	34%	499	799	11%	11%
1615	OUED SMAR	3,455	3,092	1,339	1,199	39%	39%	1,352	1,210	39%	39%	411	368	12%	12%
1616	BOUROUBA	4,808	9,385	1,892	3,692	39%	39%	1,259	2,457	26%	26%	431	841	9%	9%
1617	HUSSEIN DEY	4,630	8,015	2,155	3,730	47%	47%	1,024	1,772	22%	22%	329	569	7%	7%
1618	KOUBA	8,940	15,913	2,884	5,133	32%	32%	1,195	2,127	13%	13%	355	632	4%	4%
1619	BACH DJERAH	6,041	15,048	1,895	4,720	31%	31%	1,119	2,787	19%	19%	378	941	6%	6%
1620	DAR EL BEIDA	8,094	6,095	2,941	2,215	36%	36%	3,848	2,897	48%	48%	1,336	1,006	17%	17%
1621	BAB EZZOVAR	5,138	13,544	1,490	3,928	29%	29%	1,531	4,036	30%	30%	418	1,103	8%	8%
1622	BEN AKNOUN	3,299	3,391	1,009	1,037	31%	31%	166	171	5%	5%	42	43	1%	1%
1623	DELY BRAHIM	3,813	4,526	1,309	1,554	34%	34%	198	235	5%	5%	51	60	1%	1%
1624	HAMMAMET	2,223	3,283	687	1,015	31%	31%	98	145	4%	4%	15	23	1%	1%
1625	RAIS HAMIDOU	3,364	3,169	1,047	987	31%	31%	200	188	6%	6%	35	33	1%	1%
1626	DJASR KACENTINA	3,458	12,639	785	2,870	23%	23%	424	1,549	12%	12%	132	484	4%	4%
1627	EL MOURADIA	3,277	5,017	1,675	2,565	51%	51%	512	783	16%	16%	157	241	5%	5%
1628	HYDRA	6,980	6,080	1,967	1,714	28%	28%	417	363	6%	6%	111	97	2%	2%
1629	MOHAMMADIA	4,321	6,749	1,671	2,610	39%	39%	1,304	2,036	30%	30%	369	576	9%	9%
1630	BORDJ EL KIFFAN	10,915	14,375	4,637	6,107	42%	42%	4,911	6,468	45%	45%	1,822	2,400	17%	17%
1631	EL MAGHARIA	2,643	4,559	974	1,680	37%	37%	493	851	19%	19%	153	264	6%	6%
1632	BENI MESSOUS	2,254	2,630	821	958	36%	36%	125	146	6%	6%	33	38	1%	1%
1639	BORDJ EL BAHRI	4,724	4,030	1,799	1,535	38%	38%	2,022	1,724	43%	43%	738	629	16%	16%
1640	EL MARS	1,330	1,366	504	518	38%	38%	556	571	42%	42%	217	223	16%	16%
1644	AIN BENIAN	6,362	8,252	2,986	3,873	47%	47%	385	499	6%	6%	108	140	2%	2%
Total		154,032	279,838	55,817	101,600	36%	36%	29,176	47,430	19%	19%	9,327	14,592	6%	5%

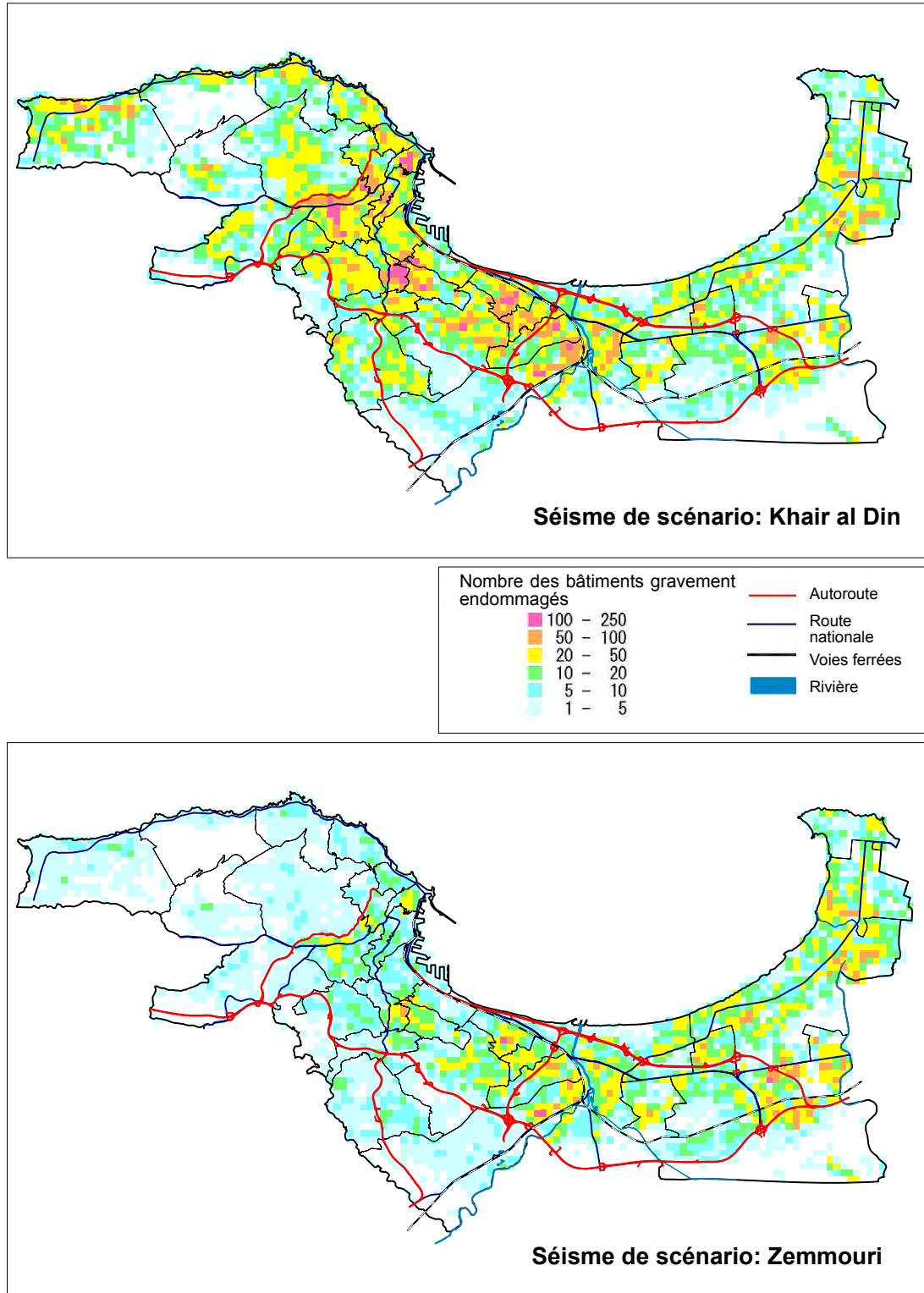


Figure 6-17 Nombre des bâtiments gravement endommagés

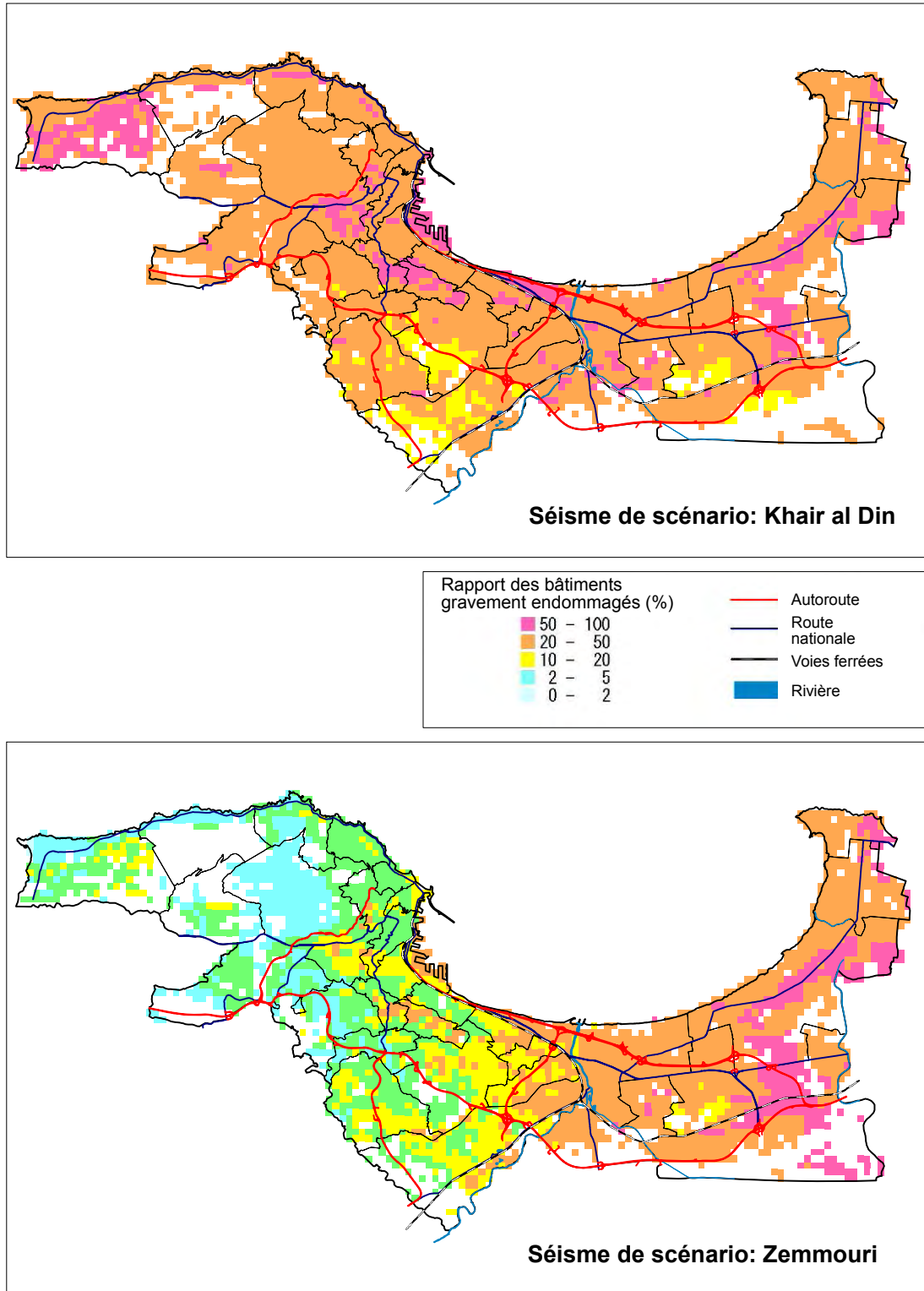


Figure 6-18 Rapport des bâtiments gravement endommagés

6-2 Victimes humaines

Quand il y a un tremblement de terre, il peut y avoir des victimes humaines provoquées par de différentes causes : mort écrasée au-dessous d'un bâtiment effondré ou d'un grand meuble lourd tombé, mort brûlée par un incendie, noyade par tsunami, crise cardiaque par un choc, etc., parmi lesquelles la mort causée par l'effondrement de bâtiments est un phénomène général qu'on observe sur toute étendue sinistrée en cas d'événement sismique. La cause principale des victimes peut différer de site en site en fonction de sols, bâtiments et environnement social. En Algérie, la cause principale des victimes humaines a été et sera l'effondrement de bâtiments comme l'a exemplifié récemment le séisme de Boumerdes en 2003.

6-2-1 Méthodologie

(1) Données de dommages des séismes du passé

Le rapport des dommages de bâtiments avec les victimes humaines diffère selon la région. Les différences des structures de bâtiments et des conditions d'habitat peuvent avoir aussi un certain effet. Il est donc souhaitable de définir la fonction de vulnérabilité sur la base de l'aléa sismique dans les environs de la région. Dans la présente étude, les données relatives aux nombres de victimes humaines et de bâtiments endommagés relevant des récentes catastrophes sismiques ont été collectées des différents documents et dont le résumé est indiqué au Tableau 6-8.

Dans une analyse de la fonction de vulnérabilité, il est important de reconnaître la différence entre un « bâtiment » et un « logement ». Dans une zone urbanisée, c'est-à-dire comme Alger, il y a nombreuses maisons d'habitation dont chacune contient nombreux logements. L'effet de l'effondrement d'une maison d'habitation aux multi logements serait plus grave que lorsqu'il s'agit d'une simple maison individuelle. Par conséquent, le nombre de logements est un indicateur plus réaliste que celui de bâtiments endommagés lors de l'estimation des victimes humaines.

Dans le Tableau 6-8, le nombre d'ouvrages endommagés lors du séisme de Boumerdes en 2003 représente les logements endommagés tels qu'ils ont été évalués dans l'enquête du CTC. Les autres évaluations des bâtiments endommagés peuvent être aussi obtenues dans l'enquête du CGS. Contrairement au séisme de Boumerdes, les zones affectées par les autres séismes sont rurales et la plupart des ouvrages sont les maisons individuelles. Par conséquent, le nombre de bâtiments endommagés dans les séismes autres que celui de Boumerdes est traité comme s'il est égal au nombre de logements endommagés dans l'analyse qui suit.

(2) Unité d'analyse

Un autre paramètre à considérer dans l'analyse est la densité de dommage de bâtiment. Si 1 000 bâtiments sont effondrés par un séisme dans une wilaya, nombreux habitants de la wilaya doivent être tués. Mais, si 1 000 bâtiments s'effondraient dans une commune, le nombre de tués serait plus important dans la commune parce que la situation des catastrophes serait presque la même dans les communes avoisinantes et, par conséquent, l'opération d'aide et de secours serait moins intensifiés sur une vaste étendue et, donc, dégradée inévitablement. C'est-à-dire que le nombre projeté des victimes humaines par un effondrement de bâtiments varie en fonction de zones unitaires en analyse. La zone unitaire dans l'analyse de la

fonction de vulnérabilité devrait être compatible avec la zone unitaire en estimation de dommages. Les victimes humaines sont à estimer par commune dans la présente étude et, donc, la commune est une unité souhaitable dans l'analyse de la fonction de vulnérabilité. Également, la fonction de vulnérabilité dépend de conditions locales, c'est-à-dire, la densité de bâtiments, les structures de bâtiments et le système d'aide et de secours. Les données des dommages de la zone d'étude cible sont donc préférables pour l'analyse de la fonction de vulnérabilité.

(3) Formulation de la fonction de vulnérabilité

Alger, la zone d'étude, a vécu les grands dommages sismiques en 2003 avec le séisme de Boumerdes. L'enregistrement des dommages de ce récent séisme est naturellement les informations de premier ordre. Depuis le début de la présente étude, l'équipe d'étude essaie de collecter les données sur les victimes humaines par commune causées par le séisme de 2003 de la Wilaya d'Alger et de la Wilaya de Boumerdes. Cependant, les informations collectées à cet égard ne concernent que le nombre total des victimes de la Wilaya d'Alger obtenu en papiers de publication et le nombre de morts de la Wilaya de Boumerdes par circonscription administrative.

Bien que les données disponibles ne soient pas considérées suffisantes, en raison de la récente expérience de la ville d'Alger, la mise en place d'une fonction de vulnérabilité doit être à tout prix un travail prioritaire. L'estimation des dommages des bâtiments dans la présente étude a délinéé à la fois le nombre des bâtiments et logements gravement endommagés. Le nombre de logements gravement endommagés est donc utilisé comme indicateur d'estimation du nombre de tués. Le rapport entre le nombre de tués et le nombre de logements gravement endommagés est montré à la Figure 6-19. La fonction de vulnérabilité de la Figure 6-19 a été mise en place avec ces rapports et modifiée pour reproduire le nombre de victimes mortelles dans la zone d'étude causées par le séisme de 2003. Le rapport entre le nombre de tués et le nombre de logements gravement endommagés est dispersé en reflétant nombreuses conditions affectant le résultat, pourtant, la plupart des données sont incluses entre deux lignes minces de cette figure qui représente le double ou la moitié du nombre estimé de la fonction de vulnérabilité. Ceci signifie que le nombre estimé des victimes calculées par la fonction de vulnérabilité de la Figure 6-19 se présente avec un degré d'incertitude élevé et le résultat véritable en cas de séisme réel pourrait se reposer sur n'importe où de la moitié au double du nombre estimé dans cette fonction.

La fonction de vulnérabilité pour l'estimation du nombre de blessés en utilisant le nombre de morts comme indicateur est montrée à la Figure 6-20. Cette fonction est dérivée du même ensemble des données du Tableau 6-8.

Tableau 6-8 Victimes et dommages de bâtiments occasionnés par les séismes du passé en Algérie

Séisme	Heure locale	Wilaya	Circonscription Administrative	Nombre de victimes			Nombre de bâtiments/logements endommagés					
				Mortelles	Blessées	Ref.	Rouge (Degré 5)	Orange (Degré 3+4)	Gravement endommagés *) (Degré 4+5)	Ref.		
1965 M'sila & Environs				2	350							
1980 El Asnam	13:25			2,633	8,369		32,000	102,000	73,922	5)		
1980 El Asnam Aftershock				2	90							
1987 Chle				1	7	1)						
1989 Chenoua	20:09			22	184		4,055	1,595	4,711			
1994 Mascara	2:13			171	289		751	894	1,118			
1999 Ain Temouchent	18:37			22	175		822	930	1,204	4)		
2000 Beni-Ouartilane	21:13			3	60		1,210	4,438	3,034			
2003 Boumerdes	19:44	Boumerdes	Khemis El Khechna	22	3,442	2)3)	506	3,346	1,881	6)		
			Boudouaou	239			1,270	5,007	3,328			
			Boumerdes	538			2,370	5,031	4,438			
			Thenia	96			705	3,147	1,998			
			Issers	27			332	2,984	1,558			
			Bordj Menaïel	324			3,585	6,796	6,378			
			Naciria	2			170	1,120	630			
			Baghlia	89			538	1,463	1,139			
			Dellys	129			1,037	2,317	1,989			
			Alger	883			6,787	11,060	49,580		31,437	6)
			Tizi-ouzou	7			261					
			Bouira	2			127					
			Béjaïa	2			3					
Blida	2	709										
Médéa	0	121										
Répliques de Boumerdes 2003	18:11			9	200	1)						

*) « Gravement endommagé » signifie le degré 4+5

« Gravement endommagé » = « Rouge (degré 5) » + « Orange (degré 3+4) » * 0.411.

Le rapport de « degré 4/degré 3+4 » = 0,411 a été calculé dans l'enquête des dommages de bâtiments occasionnés par le séisme de Boumerdes par le CGS.

Sources de données :

- 1) CRED (Centre de la recherche et de l'épidémiologie des désastres, Université Catholique de Louvain, Brussels - Belgique)
- 2) PC (Protection civile)
- 3) Khair-Eddine Ramdane (2003), ALGER-BOUMERDES, Algeria EARTHQUAKE OF MAY 21, 2003
- 4) CGS, nombre de bâtiments
- 5) Le nombre total des logements endommagés a été estimé par l'équipe d'étude de l'enquête par prélèvement du CGS
- 6) CTC, logements

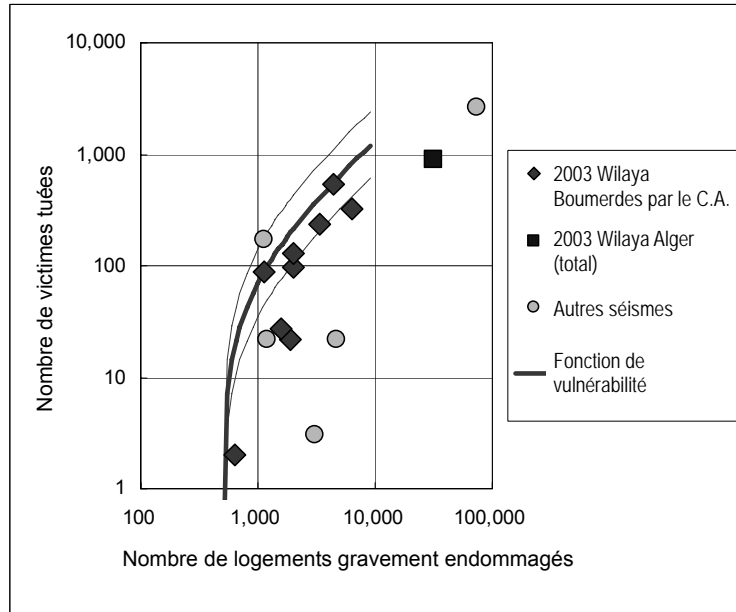


Figure 6-19 Fonction de vulnérabilité pour l'estimation du nombre de tués

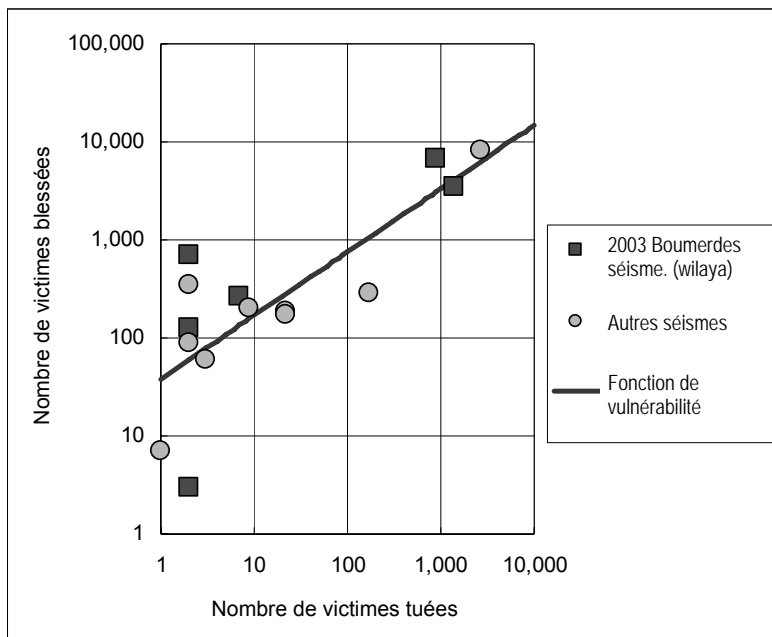


Figure 6-20 Fonction de vulnérabilité pour l'estimation du nombre de blessés

6-2-2 Estimation de dommages

Les victimes humaines sont estimées pour deux séismes de scénario. Dans l'estimation, il est supposé qu'un événement sismique aura lieu dans le soir puisque la fonction de dommage relève principalement des dommages du séisme de Boumerdes 2003. La cause principale de dommage est l'effondrement de bâtiments. Dans un séisme de grande envergure, il se peut qu'il y aura des habitants tués par des maladies aux camps de réfugiés qui ne sont pourtant pas inclus dans la supposition.

Le nombre estimé des victimes humaines et le nombre de personnes sans abris sont montrés au Tableau 6-9. Le nombre de personnes sans abris concerne les personnes qui habitaient avant dans un bâtiment qui viennent d'être gravement endommagé par l'événement. Le Tableau 6-9 contient aussi le dommage reproduit par la cause du séisme de Boumerdes 2003 moyennant cette méthodologie. La distribution du nombre de victimes mortelles de chaque commune est montrée à la Figure 6-21. Les caractéristiques des dommages des deux séismes de scénario sont comme suit :

- Séisme de scénario de Khair al Din

Le nombre total de victimes mortelles est estimé à 12 000 et le nombre de victimes blessées à 550 000. Plus de 600 personnes seront tués à ALGER CENTRE, SIDI M'HAMED, KOUBA et BORDJ EL KIFFAN. Presque toute la zone d'étude sera gravement endommagée.

- Séisme de scénario de Zemmouri

Le nombre total de victimes mortelles est estimé à 4 500 et le nombre de victimes blessées à 240 000. Le dommage est concentré sur la zone orientale.

Tableau 6-9 Victimes humaines

ID	Nom de commune	Population (x1,000)	Séisme de scénario Khair al Din			Séisme de scénario Zemmouri			Séisme de Boumerdes 2003		
			Tué (x1,000)	Blessé (x1,000)	Sans abri (x1,000)	Tué (x1,000)	Blessé (x1,000)	Sans abri (x1,000)	Tué (x1,000)	Blessé (x1,000)	Sans abri (x1,000)
1601	ALGER CENTRE	96.3	0.9	3.1	39	0.2	1.1	11	0.0	0.0	3
1602	SIDI M'HAMED	90.5	0.8	2.8	37	0.1	0.9	9	0.0	0.0	3
1603	EL MADANIA	51.4	0.5	2.1	23	0.1	0.9	8	0.0	0.0	2
1604	HAMMA EL ANNASSER	59.2	0.4	1.8	22	0.1	0.6	7	0.0	0.0	2
1605	BAB EL OUED	87.6	0.5	2.2	28	0.1	0.7	7	0.0	0.0	1
1606	BOLOGHINE	43.3	0.2	1.2	13	0.0	0.0	3	0.0	0.0	1
1607	CASBAH	50.5	0.5	2.1	19	0.1	0.6	5	0.0	0.0	1
1608	OUED KORICHE	53.4	0.4	1.9	20	0.0	0.5	5	0.0	0.0	1
1609	BIR MOURAD RAIS	43.3	0.2	1.1	11	0.0	0.0	3	0.0	0.0	1
1610	EL BIAR	52.6	0.5	2.1	24	0.1	0.6	6	0.0	0.0	2
1611	BOUZAREAH	69.2	0.4	1.7	18	0.0	0.1	3	0.0	0.0	1
1612	BIRKHADEM	55.1	0.3	1.4	16	0.0	0.4	5	0.0	0.0	2
1613	EL HARRACH	48.2	0.4	1.8	22	0.3	1.5	16	0.0	0.4	5
1615	OUED SMAR	21.4	0.1	0.7	8	0.1	0.8	8	0.0	0.0	3
1616	BOUROUBA	77.5	0.5	2.0	30	0.3	1.5	20	0.0	0.5	7
1617	HUSSEIN DEY	49.9	0.5	2.0	23	0.2	1.1	11	0.0	0.2	4
1618	KOUBA	105.3	0.7	2.5	33	0.2	1.3	14	0.0	0.3	4
1619	BACH DJERAH	90.1	0.6	2.4	28	0.3	1.6	16	0.1	0.6	6
1620	DAR EL BEIDA	44.8	0.2	1.3	16	0.3	1.7	21	0.1	0.6	7
1621	BAB EZZOUAR	92.2	0.5	2.1	26	0.5	2.1	27	0.1	0.7	7
1622	BEN AKNOUN	19.4	0.1	0.6	6	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0
1623	DELY BRAHIM	30.6	0.1	1.0	10	0.0	0.0	2	0.0	0.0	0
1624	HAMMAMET	19.7	0.1	0.6	6	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0
1625	RAIS HAMIDOU	21.5	0.1	0.6	7	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0
1626	DJASR KACENTINA	82.7	0.3	1.6	18	0.1	1.0	10	0.0	0.0	3
1627	EL MOURADIA	29.5	0.3	1.5	15	0.0	0.4	5	0.0	0.0	1
1628	HYDRA	35.7	0.2	1.1	10	0.0	0.0	2	0.0	0.0	1
1629	MOHAMMADIA	42.1	0.3	1.5	16	0.2	1.2	12	0.0	0.2	4
1630	BORDJ EL KIFFAN	103.7	0.8	2.9	43	0.8	3.0	46	0.3	1.4	17
1631	EL MAGHARIA	30.5	0.2	1.0	11	0.0	0.5	6	0.0	0.0	2
1632	BENI MESSOUS	17.5	0.1	0.6	6	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0
1639	BORDJ EL BAHR	27.9	0.1	1.0	10	0.2	1.1	12	0.0	0.2	4
1640	EL MARSA	8.8	0.0	0.1	3	0.0	0.2	4	0.0	0.0	1
1644	AIN BENIAN	52.3	0.5	2.1	24	0.0	0.0	3	0.0	0.0	1
	Total	1,803.3	12.0	54.7	642	4.6	25.2	311	0.6	5.0	97

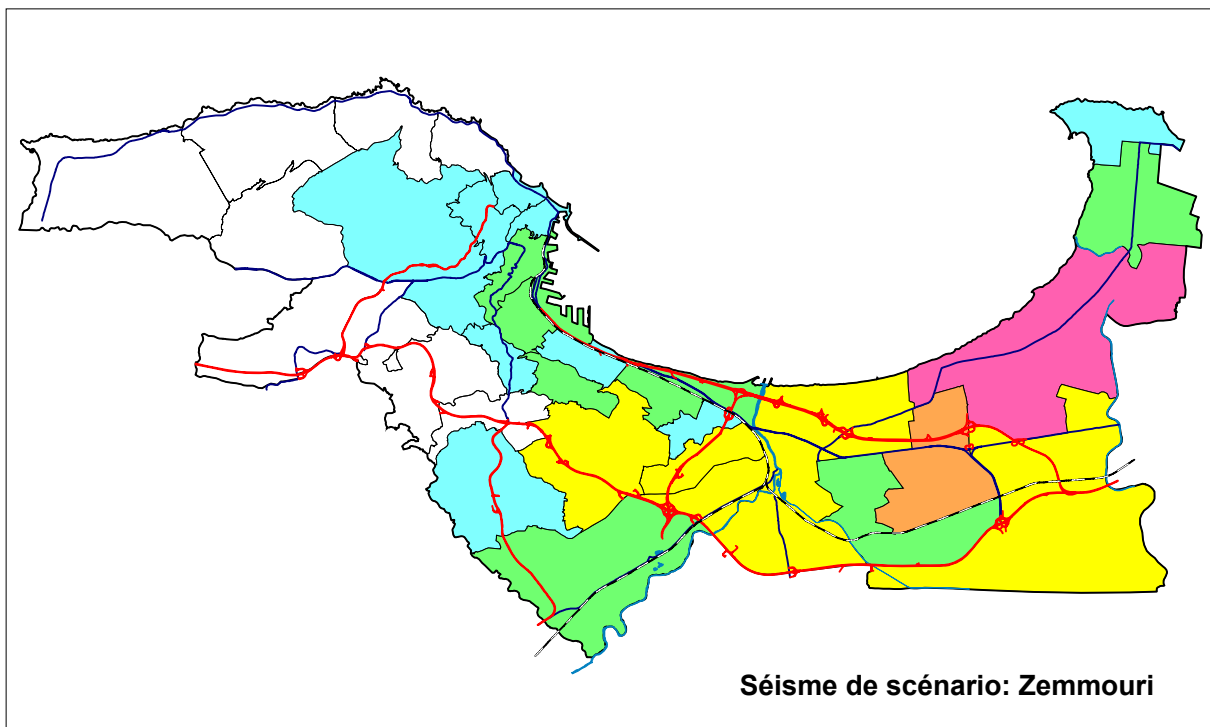
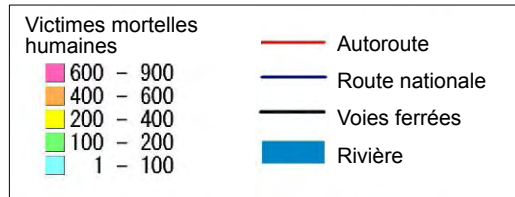
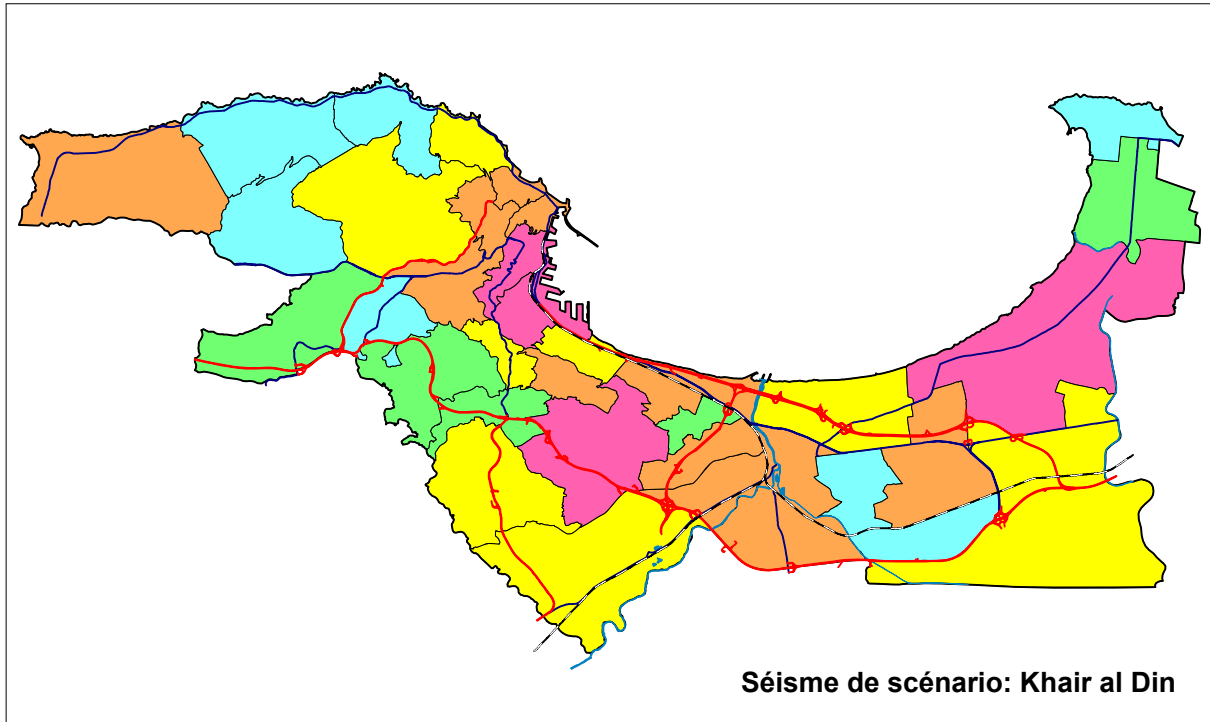


Figure 6-21 Nombre de victimes mortelles

6-3 Infrastructure et réseaux vitaux

Quand une infrastructure subit un dommage sérieux à cause d'un grand séisme, toute activité de secours et d'assistance serait interrompue et les différentes fonctions sociales figées pour une longue durée.

Les 3 types d'infrastructures suivants sont considérés dans la présente section :

1. Ponts (6-3-1)
2. Ports (6-3-2)
3. Aéroports (6-3-3)

Les dommages sur les infrastructures causés par un séisme de scénario ont été estimés sur la base d'une approche empirique en appliquant une méthode d'estimation de dommage sélectionnée par les efforts conjoints de l'équipe d'étude CGS et JICA. Cette équipe d'étude conjointe a vérifié la méthode grâce aux données enregistrées des dommages des séismes du passé en Algérie.

Les équipements des réseaux vitaux sont indispensables dans la vie citadine moderne et le dommage sur l'infrastructure résultant d'un séisme a de l'impact sur la communauté considérablement.

Les 5 types de réseaux vitaux suivants sont considérés dans la présente section :

1. Alimentation en eau potable (6-3-4)
2. Assainissement (6-3-5)
3. Alimentation en électricité (6-3-6)
4. Alimentation en gaz (6-3-7)
5. Télécommunications (6-3-8)

Les fonctions de vulnérabilité des réseaux vitaux ont été formulées dans quelques pays et/ou régions tels que le Japon et la Californie. Il est rare que les conditions quantitatives des dommages sur des réseaux vitaux soient annoncées parce que ces derniers sont dans la plupart des cas des équipements privés. Par conséquent, l'estimation des dommages sur des réseaux vitaux est généralement réalisée par la sélection des fonctions de vulnérabilité du cas du Japon ou de la Californie qui se basent sur les enregistrements des dommages des séismes du passé dans ces zones particulières.

Dans la présente section sera décrite une méthode d'estimation de dommages sélectionnée par l'équipe d'étude JICA et ses homologues.

L'estimation des dommages sur les infrastructures et les réseaux vitaux est examinée dans 2 modèles de séisme de scénario « Khair al Din » et « Zemmouri ».

6-3-1 Ponts

La défaillance de la structure d'un pont peut entraîner la rupture extensive du système de la circulation même si elle ne se limite qu'à un point sur un système routier. Pour l'instant, bien qu'une route soit sûre, si quelques ponts étaient détruits, le réseau routier ne pourrait plus fonctionner et les activités de secours et d'assistance d'urgence ne seraient plus capables d'atteindre les sites qui les attendent. En plus, le réseau routier (au titre de reconstruction) ne serait plus utilisable parce que la réparation du pont est à terme extrêmement long. Ainsi, la destruction de pont devrait être prévenue autant que possible.

(1) Méthode

Le but de l'estimation des dommages sur les ponts consiste à accentuer et noter les ponts spécifiques afin de réduire la rupture de la circulation. La chute d'une poutre peut aussi donner lieu à des impacts sérieux au système routier. Par conséquent, une méthodologie proposée par Kubo / Katayama (ci-après désignée la « méthode de Katayama ») est sélectionnée dans la présente étude. Cette méthodologie est très efficace dans l'évaluation des ponts du point de vue de la chute de poutres de sorte qu'elle est pratiquée pour le premier dépistage. Ce système d'évaluation est montré en grandes lignes à la Figure 6-22.

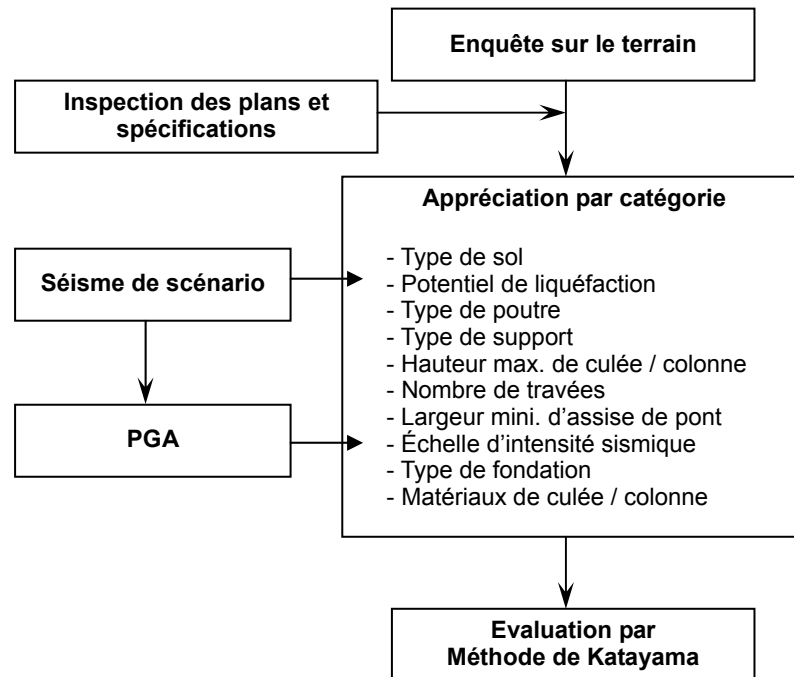


Figure 6-22 Schéma du principe de l'analyse de la stabilité de ponts

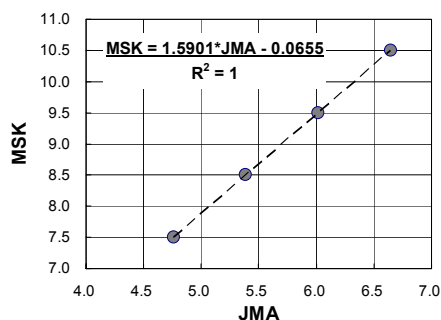
Dans la méthode de Katayama sont examinés 10 rubriques susceptibles d'affecter la probabilité de chute d'une poutre. Chaque rubrique consiste en un nombre de catégorie sélectionnée sans calcul complexe. Un tableau d'appréciation de l'analyse de la stabilité de pont est montré au Tableau 6-10. Les catégories décrites au Tableau 6-10 sont celles originales mais modifiées en fonction des conditions de la zone d'étude.

Tableau 6-10 Tableau d'appréciation de l'analyse de la stabilité de ponts

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie	
Type de sol	Stif / Dur: roche légèrement / no détériorée	0,5	
	Moyen: roche détérioré / modérément détériorée	1,0	
	Meuble: sol / diluvial sédimentaire	1,5	
	Très meuble: sol / Alluvial sédimentaire	1,8	
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable	1,0	
	Liquéfaction possible: $0 \leq P_L < 15$	1,5	
	Liquéfaction: $15 \leq P_L$	2,0	
Type de poutre	Arc ou armature rigide	1,0	
	Continu	2,0	
	Simple	3,0	
Type d'appui	Avec dispositif spécifique (prévention de la chute de poutre)	0,6	
	Appui (avec conception de calcul claire)	1,0	
	Deux appuis existent (pouvant agir en direction axiale)	1,15	
	Autres (sans support, etc.)	1,1	
	Système sismique	Système de prévention de la chute de poutre	0,6
		Appui avec élastique	0,9
Hauteur max. de culée/colonne	Inférieur à 5 m	1,0	
	5 à 10 m	1,35	
	Supérieur à 10m	1,7	
Nombre de travées	1 travée	1,0	
	2 travées ou plus	1,75	
Largeur min. de l'assise de pont	Largeur: 70 cm ou plus	0,8	
	Étroitesse: Inférieur à 70 cm	1,2	
	Sans assise: 0 cm	1,1	
Échelle d'intensité sismique (MSK)**	MSK < 7,885 (JMA: inférieur à 5,0)	1,0	
	$7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$ (JMA: 5,0 à moins de 5,5)	2,1	
	$8,680 \leq \text{MSK} < 9,475$ (JMA: 5,5 à moins de 6,0)	2,4	
	$9,475 \leq \text{MSK} < 10,270$ (JMA: 6,0 à moins de 6,5)	3,0	
	$10,270 \leq \text{MSK}$ (JMA: 6,5 et plus de 6,5)	3,5	
Type de fondation	Pile fléchie	1,4	
	Autres	1,0	
Matériaux de la culée / colonne	Béton ou maçonnerie	1,4	
	Béton armé ou autre	1,0	

* Si le système anti sismique (système préventif de poutre contre la chute ou appui avec élastique) est appliqué, quel type d'appui que ce soit est sélectionné.

** La relation entre MSK et l'accélération au sol est proposée dans la présente étude sur la base des enregistrements passés, alors que JMA relève de l'accélération au sol. Donc, la relation entre JMA et MSK via l'accélération est proposée telle que montrée au diagrammes suivant :



L'appréciation par catégorie montrée au Tableau 6-10 est donnée à chaque catégorie en tant que facteur de poids statistique.

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

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

où,

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

La valeur de seuil du prédiseur pour l'estimation du degré de dommage de pont est basée sur 30 échantillons de ponts endommagés observés dans 3 séismes au Japon (1923 Kanto, 1948 Fukui, 1964 Niigata) telle que montrée au Tableau 6-11. Dans la présente étude, l'équipe d'étude a vérifié cette méthode en utilisant les enregistrements relatifs au séisme de Boumerdes. Ainsi, la définition de la classe de degré de dommage et la valeur de seuil ont été modifiées (se référer à sa section suivante pour les détails).

Tableau 6-11 Définition des degrés de dommage des ponts

Classe de degré de dommage	Valeur de seuil originale du prédiseur	Valeur de seuil modifiée du prédiseur
A <ul style="list-style-type: none"> - Probabilité élevée de chute de poutre - Déformation immense générée - Usage impossible à long terme et reconstruction requise 	30 ou plus	30 ou plus
B <ul style="list-style-type: none"> - Probabilité modérée de chute de poutre - Déformation générée - Usage impossible temporairement et réparation / réhabilitation requises 	26 à plus de 30	22 à plus de 30
C <ul style="list-style-type: none"> - Probabilité faible de chute de poutre - Déformation faible - Usage possible après inspection essentiellement 	Moins de 26	Moins de 22

(2) Vérification de la méthode

Aucun fait de la chute de poutre d'un pont n'a été rapporté dans le séisme de Boumerdes; pourtant, quelques ponts ont souffert des dommages tels que les déformations, les fissures, etc.

Dans ce chapitre, la vérification de la méthode et la valeur de seuil sont examinées aux lumières des dommages du pont SEBAO de la Wilaya de Boumerdes et du pont EL HARRACH de la Wilaya d'Alger, et ce pour la raison que les informations requises de la méthode obtenues du site domestique (<http://www.kedm.bosai.go.jp>) et celles des homologues présentent les degrés de dommages différents.

Le Tableau 6-12 résume la vérification de la méthode de Katayama:

Tableau 6-12 Résumé de la vérification de la méthode de Katayama

Pont	Cas Échelle MSK	Score Total	Classe degré dommage		Vérification
			Méthode Katayama	Dommages réels	
SEBAO	1	25,7	B	B	Aucune chute de poutre n'a eu lieu, mais le déplacement a été entraîné. La probabilité de chute de poutre est évaluée selon les dommages réels de la classe « B » très proche de la classe « A ». Donc, le résultat de la méthode montre une bonne correspondance aux dommages réels.
	2	29,4	B		
	3	36,7	A		
EL HARRACH	1	19,3	C	B	Aucune chute de poutre n'a eu lieu et le déplacement léger a été entraîné. La probabilité de chute de poutre est évaluée selon les dommages réels de la classe « B », très proche de la classe « C ». Donc, le résultat de la méthode montre une bonne correspondance aux dommages réels.
	2	22,1	B		
	3	27,6	B		

*La valeur de seuil d'évaluation de la classe applique la valeur modifiée.

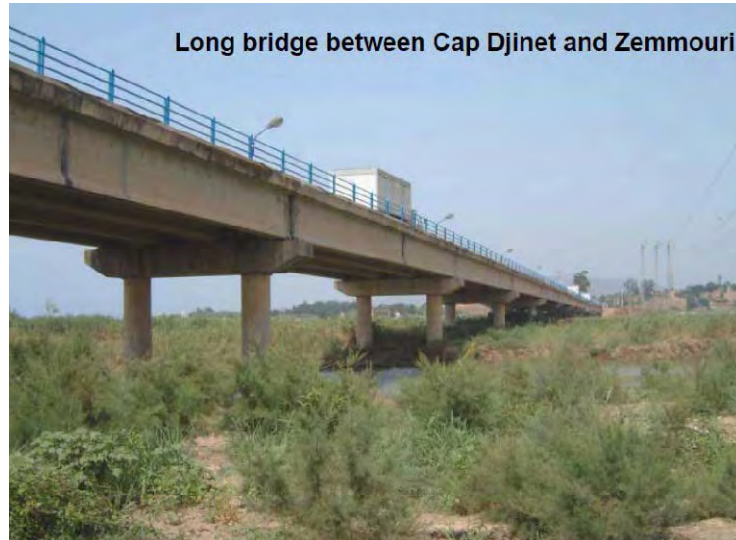
Comme le montre le tableau susmentionné, le résultat de la méthode de Katayama avec la valeur de seuil modifiée et les dommages réels sur chaque pont présentent une bonne correspondance. Ceci indique que la méthode de Katayama est appropriée à l'estimation des dommages de ponts.

Le calcul et les conditions des dommages réels sur chaque pont sont décrits en détail comme suit:

1) Pont de SEBAO

(A) Méthode de Katayama

Les structures du pont de SEBAO (se référer à la Figure 6-23) et leur appréciation sont montrées au Tableau 6-13.



(Cette photo est extraite du "Short Report, 1st reconnaissance team from JAEE, JSCE, JGS and AIJ")

Figure 6-23 Vue du pont de SEBAO

Tableau 6-13 Structures du pont de SEBAO pour la méthode de Katayama

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3,0
Type d'appui	Appui et système de la prévention de la chute de poutre	0,6
Hauteur max. culée et colonne	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. assise de pont	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Autres	1,0
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1,0

Les conditions géologiques et sismiques du site sont montrées au Tableau 6-14.

Le sol du site est alluvial du fait que le pont traverse un fleuve dans une zone de basse-terre. La liquéfaction a eu lieu lors du séisme de Boumerdes comme le montre la Figure 6-24. Le mouvement / déplacement latéral sur la surface de sol a été observé partout autour du pont. Ainsi, l'indice de potentiel de liquéfaction (P_L) est estimé à plus de 15.

L'intensité sur l'échelle MSK du site rapporté est de 9. Ceci indique que la valeur se range de 8,5 à 9,5. Il a été donc sélectionné 3 catégories d'échelles d'intensité sismique appelées Cas 1, Cas 2 et Cas 3 comme le montre le Tableau 6-14.



(Cette photo est extraite du "Short Report, 1st reconnaissance team from JAEE, JSCE, JGS and AIJ")

Figure 6-24 Mouvement du sol latéral au niveau d'une colonne du pont de SEBAO

Tableau 6-14 Conditions géologiques et sismiques du pont de SEBAO pour la méthode de Katayama

Rubrique	Catégorie		Appréciation par catégorie
Type de sol	Très meuble: Sol / Alluvial sédimentaire		1,8
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction: $15 \leq P_L$		2,0
Échelle d'intensité sismique (MSK)	MSK = 9	Cas 1: $7,885 \leq MSK < 8,680$	2,1
		Cas 2: $8,680 \leq MSK < 9,475$	2,4
		Cas 3: $9,475 \leq MSK < 10,270$	3,0

L'appréciation totale de chaque cas est de 25,7 (Cas 1), 29,4 (Cas 2) et 36,7 (Cas 3). Par conséquent, la classe de degré de dommage basée sur la méthode de Katayama est jugée « B » (probabilité modérée) ou « A » (probabilité élevée).

(B) Conditions des dommages réels

Le rapport des dommages réels sur le pont de SEBAO indique que quelques poutres ont été déplacées à cause du mouvement de quelques pieux de l'ordre de 50 cm ou moins (se référer à la Figure 6-25), pourtant, les poutres ne sont pas tombées. Si aucun système de prévention n'avait été appliqué ou l'assise avait été plus étroite, ou l'intensité sismique avait été plus élevée, les poutres auraient été tombées.



(Cette photo est extraite du "Short Report, 1st reconnaissance team from JAEE, JSCE, JGS and AIJ")

Figure 6-25 Déplacement d'une poutre et mouvement latéral d'une colonne du pont de SEBAO

Donc, le degré de dommage du pont de SEBAO est évalué pour la classe « B » (probabilité modérée) qui est très proche de la classe « A » selon les dommages susmentionnés.

2) Pont d'EL HARRACH

(A) Méthode de Katayama

Les structures du pont d'EL HARRACH (se référer à la Figure 6-26) et leur appréciation sont montrées au Tableau 6-15.



Figure 6-26 Vue du pont d'EL HARRACH

Tableau 6-15 Structures du pont d'EL HARRACH pour la méthode de Katayama

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie
Type de poutre	Simple	3,0
Type d'appui	Appui avec élastique	0,9
Hauteur max. culée et colonne	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. assise de pont	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
Type de fondation	Autres: colonne	1,0
Matériaux culée et colonne	Béton armé ou autre	1,0

Les conditions géologiques et sismiques de site sont montrées au Tableau 6-16.

Le sol du site est alluvial du fait que le pont traverse un fleuve dans une zone de basse-terre. Aucune liquéfaction n'a eu lieu dans le séisme de Boumerdes. Ainsi, le potentiel de liquéfaction est jugé nul.

L'intensité sur l'échelle MSK du site reporté est de 9. Ceci indique que la valeur se range de 8,5 à 9,5. Il a été donc sélectionné 3 catégories d'échelle d'intensité sismique de Cas 1, Cas 2 et Cas 3 comme le montre le Tableau 6-16.

Tableau 6-16 Conditions géologiques et sismique du pont d'EL HARRACH pour la méthode de Katayama

Rubrique	Catégorie	Appréciation par catégorie	
Type de sol	Très meuble: Sol / Alluvial sédimentaire	1,8	
Potentiel de liquéfaction	Aucune liquéfaction	2,0	
Échelle d'intensité sismique (MSK)	MSK = 9	Cas 1: $7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$	2,1
		Cas 2: $8,680 \leq \text{MSK} < 9,475$	2,4
		Cas 3: $9,475 \leq \text{MSK} < 10,270$	3,0

L'appréciation totale de chaque cas est de 19,3 (Cas 1), 22,1 (Cas 2) et 27,6 (Cas 3). Par conséquent, la classe de degré de dommage basée sur la méthode de Katayama est jugée « C » (probabilité faible) ou « B » (probabilité modérée).

(B) Dommages réels

Le rapport des dommages réels du pont d'EL HARRACH indique que quelques poutres ont été légèrement déplacées avec des fissures généralisées (se référer à la Figure 6-27), pourtant aucune poutre n'est tombée.



Figure 6-27 Déplacement d'une poutre du pont d'EL HARRACH

Donc, le degré de dommage du pont d'EL HARRACH est évaluée pour la classe « B » (probabilité modérée) qui est très proche de la classe « C » selon les conditions des dommages susmentionnées.

(3) Résultat

Le Tableau 6-17 résume l'estimation des dommages. Les Figures 6-28 et 6-29 montrent la carte des localisations de probabilités des ponts en relation avec la chute de poutres dans les modèles Khair al Din et Zemmouri, respectivement.

Tableau 6-17 Résumé de l'estimation des dommages de ponts

Classe de degré de dommage	Nombre de ponts [Rapport (%)]	
	Séisme de scénario	
	Khair al Din	Zemmouri
A: Probabilité élevée	3 [2,0 %]	4 [2,7 %]
B: Probabilité modérée	19 [12,9 %]	7 [4,7 %]
C: Probabilité faible	126 [85,1 %]	137 [92,6 %]
Total	148	148

Le Tableau 6-18 montre l'appréciation des ponts des classes «A» et «B».

Tableau 6-18 Résumé de l'appréciation totale des classes "A" et "B"

Code de pont	Khair al Din		Zemmouri	
	Total	Classe	Total	Classe
16130310	40	A	40	A
16290103	34	A	30	A
16130213	33	A	33	A
16170117	29	B	23	B
16010411	27	B	(< 22)	(C)
16290101	27	B	24	B
16290102	27	B	24	B
16300301	27	B	45	A
16020402	23	B	(< 22)	(C)
16020403	23	B	(< 22)	(C)
16020404	23	B	(< 22)	(C)
16170102	23	B	(< 22)	(C)
16170103	23	B	(< 22)	(C)
16170106	23	B	(< 22)	(C)
16170108	23	B	(< 22)	(C)
16170111	23	B	(< 22)	(C)
16170112	23	B	(< 22)	(C)
16170113	23	B	(< 22)	(C)
16260402	23	B	(< 22)	(C)
16130207	22	B	22	B
16130208	22	B	22	B
16160202	22	B	22	B
16200212	(< 22)	(C)	24	B

[Photos des ponts de la classe "A"]



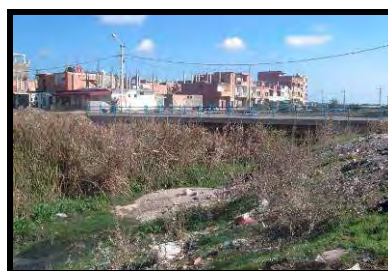
16130310



16290103



16130213



16300301

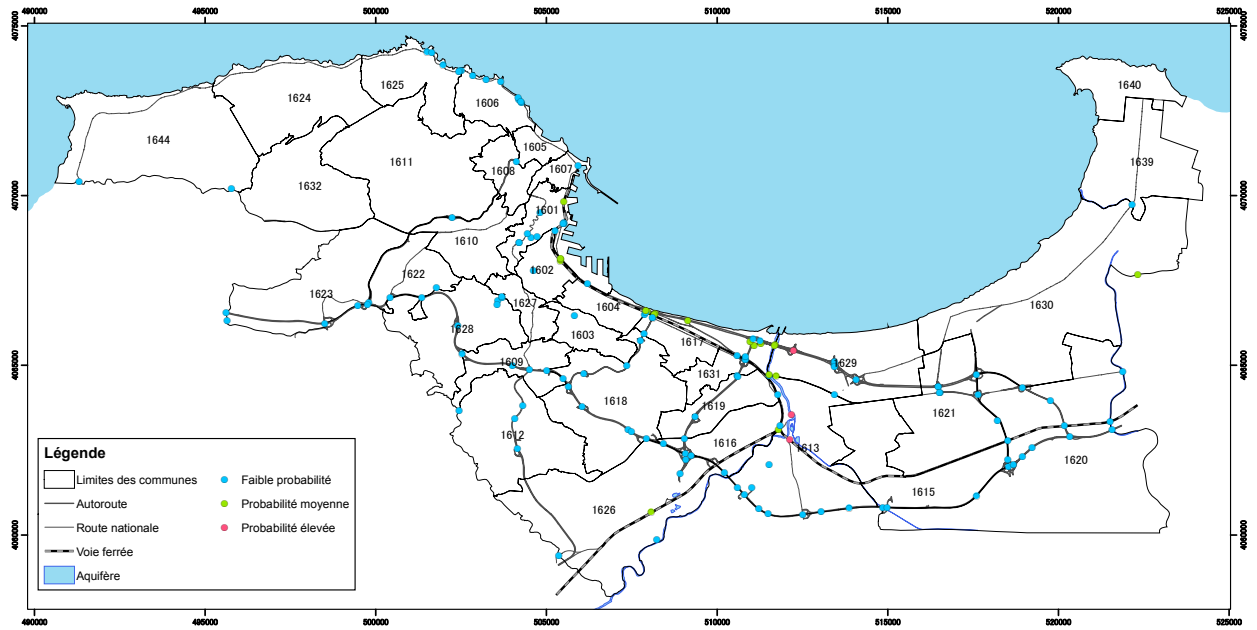


Figure 6-28 Carte des localisations de probabilités des ponts en relation avec la chute de poutres: Khair al Din

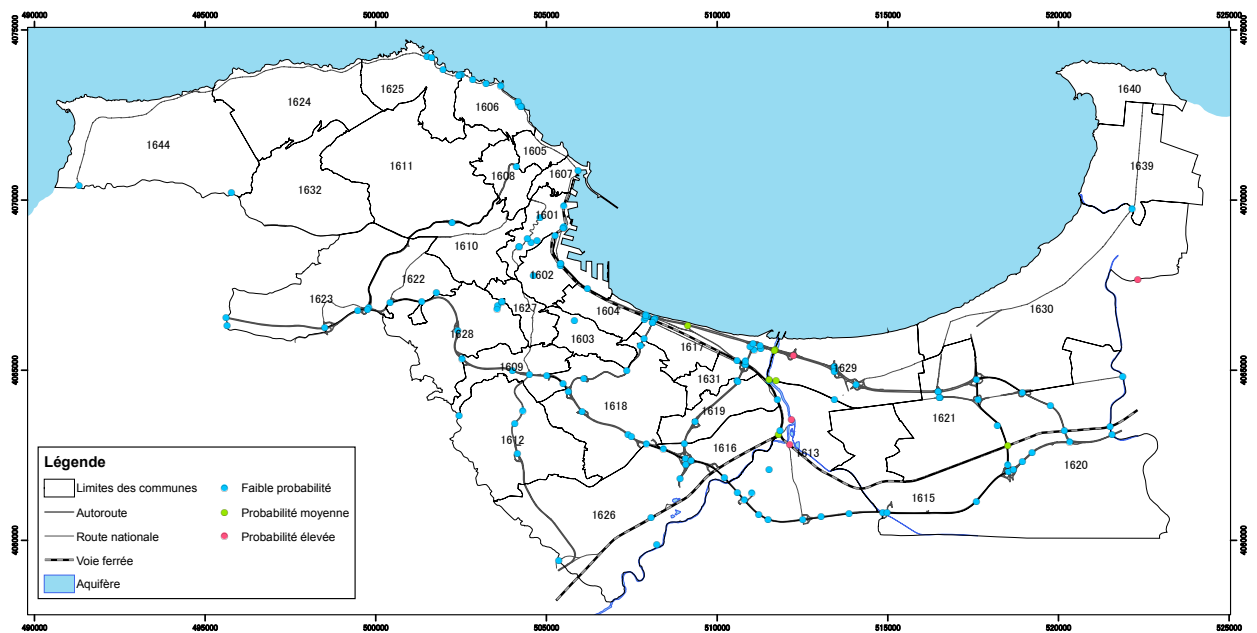


Figure 6-29 Carte des localisations de probabilités des ponts en relation avec la chute de poutres: Zemmouri

(4) Discussion

1) Validation du résultat

Selon le ministère des Travaux publics (MTP), les caractéristiques de pont en Algérie sont liées aux périodes distinctes telles que décrites en grandes lignes comme suit :

- La période coloniale se caractérise par la construction des arcs en maçonnerie, des ponts en acier et quelques ouvrages spécifiques : par exemple, le pont de SIDI M'CID (à Constantine) avec le linceul bourbeux préfabriqué. Aucun de ces ponts construits dans cette période n'est conçu pour le risque parasismique mais ils ont résisté contre les séismes passés.
- La période après l'indépendance est caractérisée par l'accroissement en nombre des ponts construits, mais sans tenant compte de calculs parasismiques.
- Le séisme d'EL ASNAM du 10 octobre 1980 constitue la raison principale pour laquelle la conception parasismique a été introduite. Tous les ponts construits après cette date ont été étudiés et conçus sur la base des règles parasismiques algériennes (RPA80).
- La première révision de ces règles a été effectuée en 1988, la deuxième en 1998 et la plus récente définitive en 2003. Toutefois, le calcul sismique des ouvrages pendant cette période est terminé à travers la vérification des résultats sur la base des règles internationales (règles américaines, japonaises et européennes). Pendant cet intervalle, les séismes ayant eu lieu en Algérie n'étaient pas de grande intensité et n'ont pas significativement affecté les ouvrages. Il était considéré que les nouvelles mesures des RPA au titre de calcul parasismique des travaux étaient satisfaisantes.
- Le dommage causé par le séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 a engendré la nécessité de réviser les RPA. Ainsi, un nouveau zonage sismique a été établi. Selon ces nouvelles données, le MTP s'occupe actuellement de doter ce secteur des règles parasismiques spécifiques pour la conception. Après l'évaluation de ces règles, la construction de pont entrera dans une nouvelle ère.

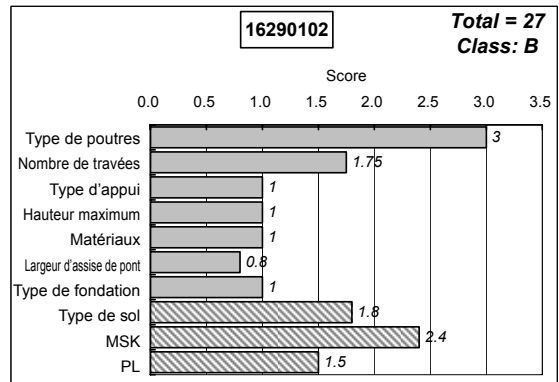
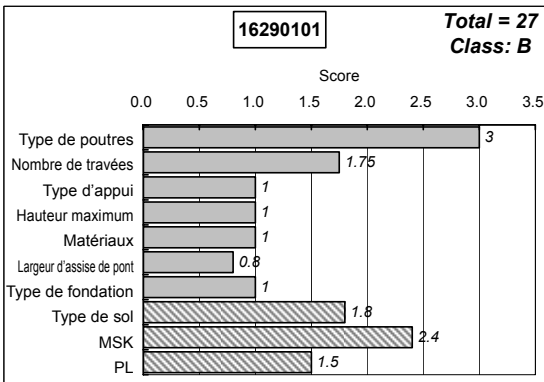
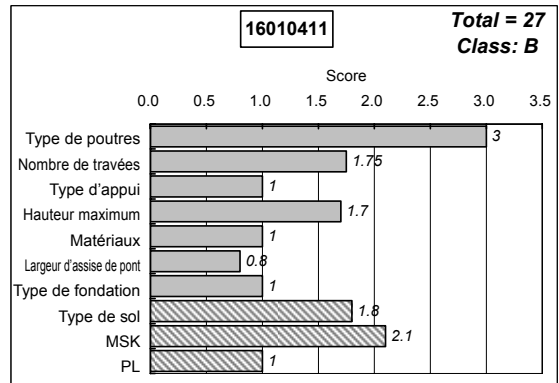
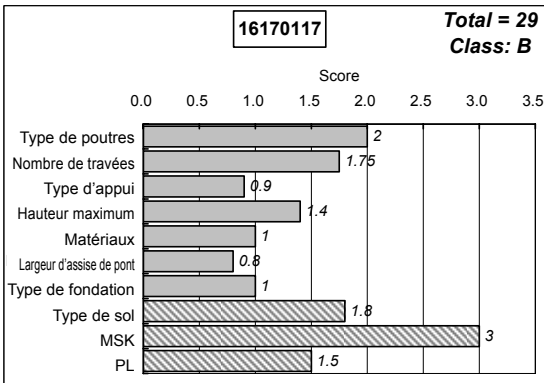
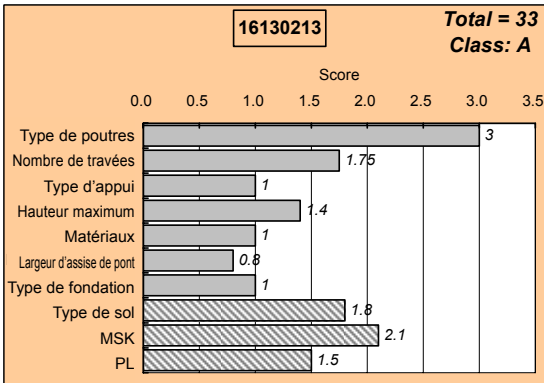
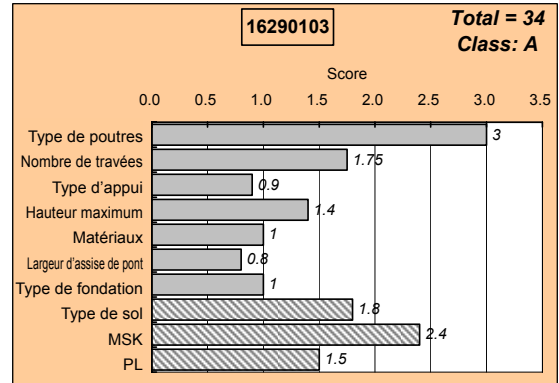
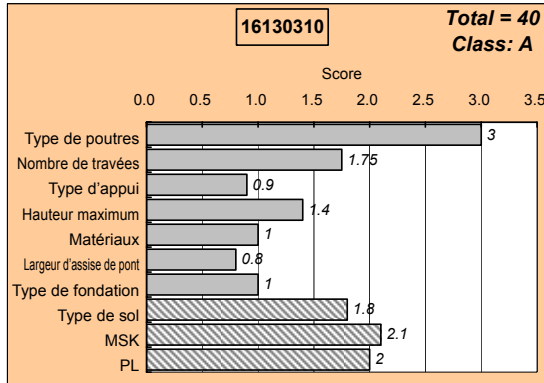
Le résumé du résultat de la méthode de Katayama indique que le pont à l'arc en maçonnerie est jugé pour la classe « C » (probabilité faible) et le rapport de classe « A » (probabilité élevée) et « B » (probabilité modérée) est de 14,9% en cas de Khair al Din. Ces résultats se conforment largement aux caractéristiques des ponts susmentionnés en Algérie.

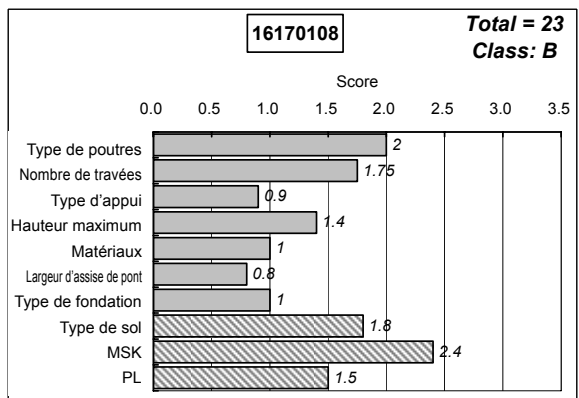
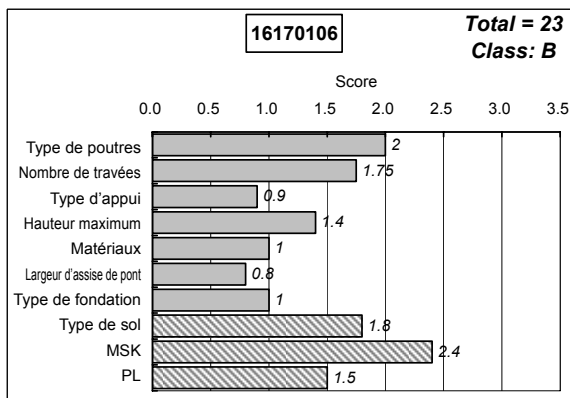
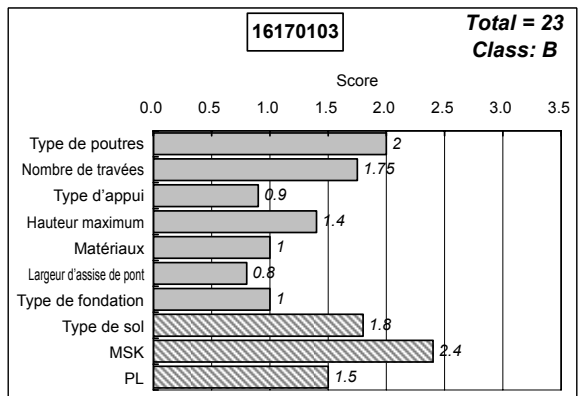
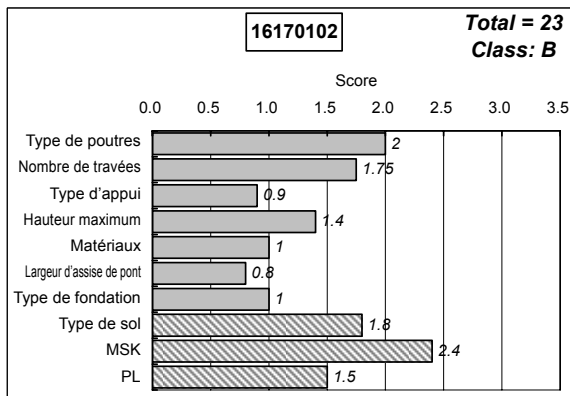
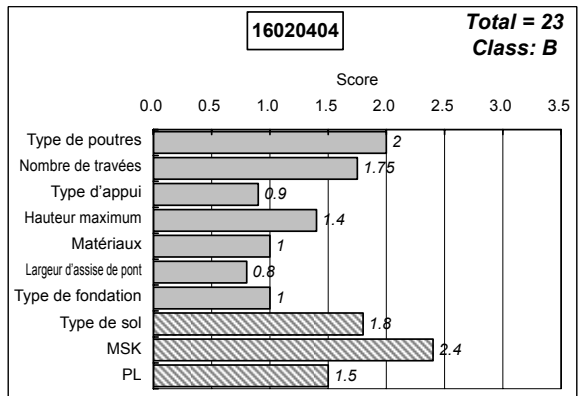
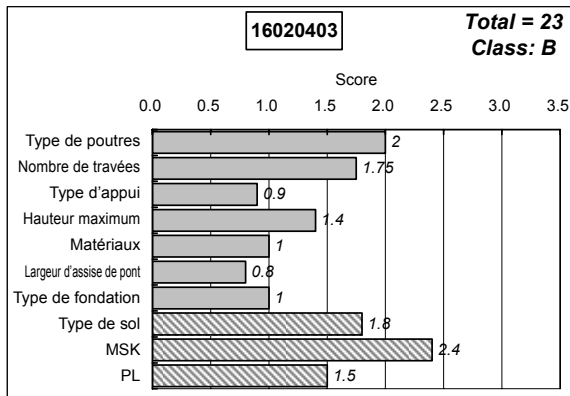
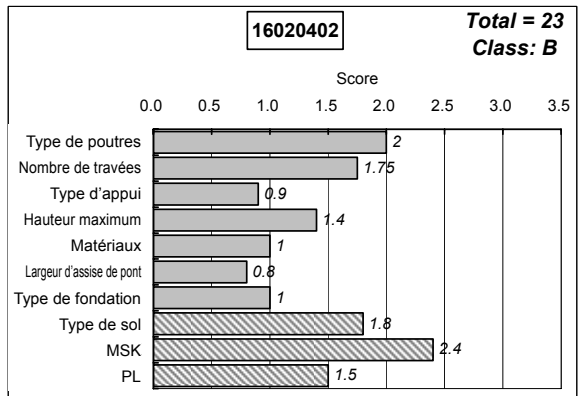
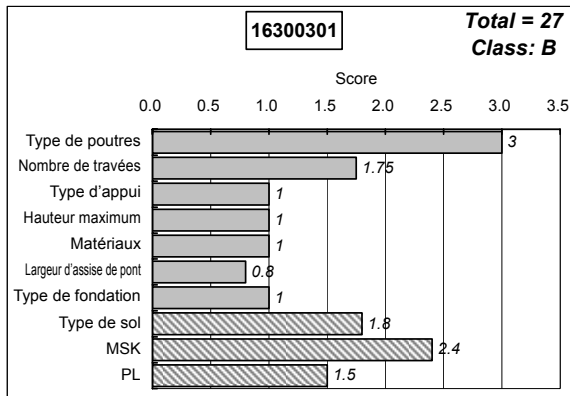
2) Caractéristiques du résultat

L'appréciation par catégorie des ponts jugés pour les classes « A » (probabilité élevée) et « B » (probabilité modérée) est montrée aux Figures 6-30 (Khair al Din) et 6-31 (Zemmouri).

Généralement parlant, dans la zone d'étude (excepté les ponts en maçonnerie et ceux datés de la période coloniale), il existe des ponts dont la probabilité de chute de poutres est faible parce que, dans la plupart des cas, l'assise avait une largeur suffisante pour la prévention de la chute de poutres. Quant aux ponts des classes « A » et « B » situés

dans les zones d'une sismicité élevée et/ou dominées par le potentiel de liquéfaction, le mouvement latéral des colonnes/culées à cause de liquéfaction augmente la probabilité de chute de poutres. Donc, les ponts suivants devraient être enquêtés afin de juger la nécessité de certaines mesures contre la liquéfaction.





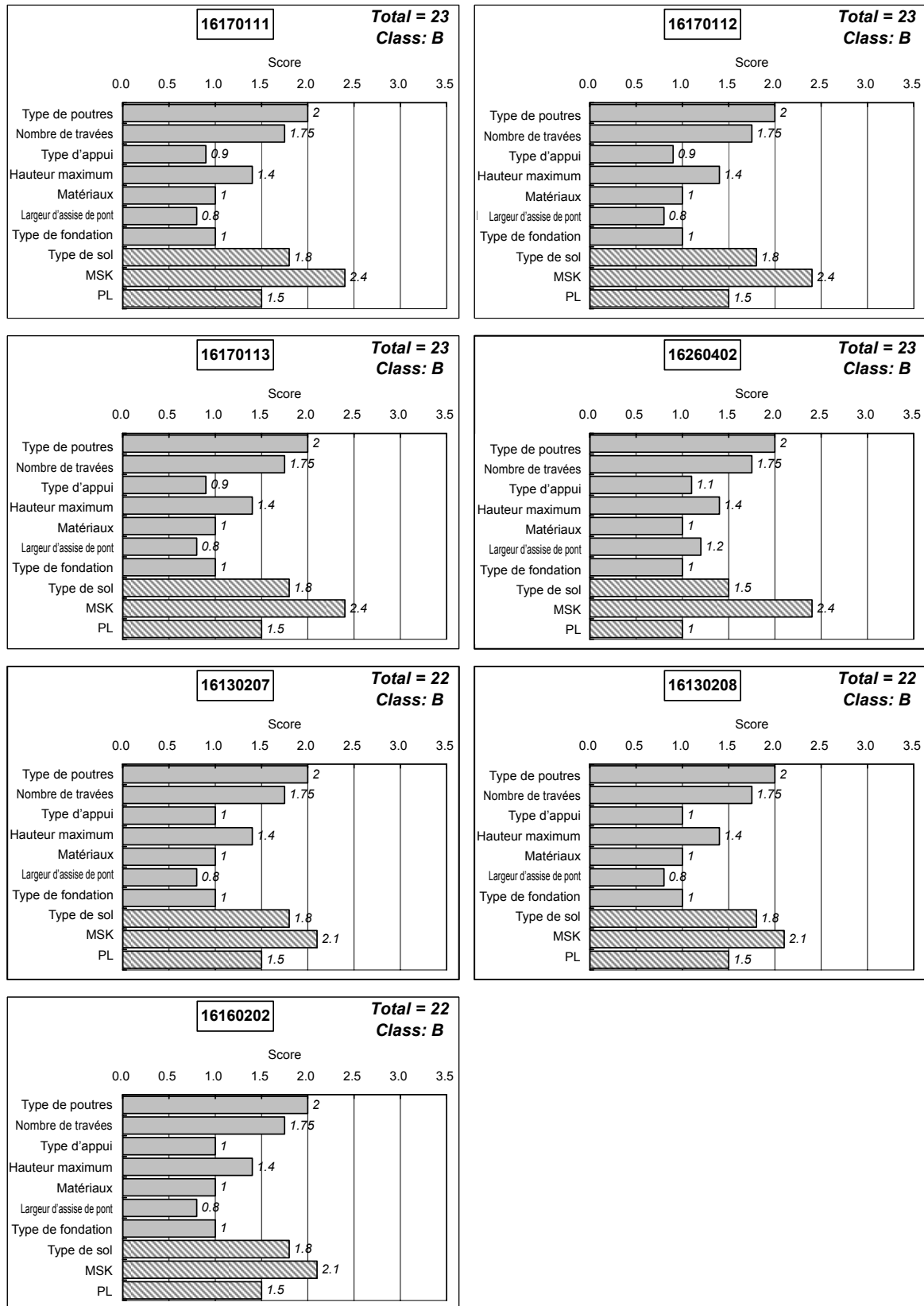


Figure 6-30 Probabilités élevée et modérée de chute de poutres : Khair al Din

