
Impact de l'effet de site dans l'estimation du risque sismique cas de la ville de Djelfa (Algérie)

Hamza Dif^{1*}, Djawad Zendagui¹, Sidi Mohammed Aissa Mamoune²

¹ Laboratoire RISAM, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen

² Centre universitaire Ain Temouchent

* hdhamzadif@gmail.com

RÉSUMÉ. La variabilité spatiale de l'intensité et du dommage sismique sont attribuées aux conditions géotechniques et ce par les effets d'amplification, ce qui aggrave souvent le risque sismique. Dans la présente étude, l'évaluation de ce risque au niveau de la ville de Djelfa est menée en prenant en compte les conditions géotechniques. Afin d'atteindre cet objectif, le travail est scindé en trois parties. La première concerne la détermination de l'aléa sismique, la deuxième partie porte d'une part sur la caractérisation géotechnique des sols de la ville et d'autre part sur le classement typologique du bâti de la ville. Enfin, la troisième partie porte sur l'introduction de ces informations dans le modèle d'Hazus. Une comparaison entre les probabilités des dommages cumulés en tenant compte des conditions géotechniques locales avec celles d'un site de référence a permis d'illustrer l'importance des effets de site

ABSTRACT. The spatial variability of seismic intensity and damage are attributed to geotechnical conditions known as site effect. These later cause amplification effects that often aggravate the seismic risk. In this study, seismic risk at the town of Djelfa is assessed by taking into account site effect. To achieve this goal, the work was divided into three parts. The first concerns the determination of seismic hazard whereas the second one focused on one hand the geotechnical characterization of soils of the city and on the typological classification of buildings in the city on the other hand. Finally, the last part treats the combination of these data in the well known HAZUS model. A comparison between the cumulative probability of damage, taking into account local soil conditions with those of a reference site has illustrated the importance of the site effect.

MOTS CLES: conditions géotechniques, effet de site, Hazus, dommage sismique.

KEYWORDS: geotechnical conditions, site effect, Hazus, damage seismic

1. Introduction

Lors des grands séismes, des dommages importants dus aux conditions géotechniques ont été constatés. L'analyse de la variabilité spatiale des intensités a conduit à attribuer aux sols un effet sur la distribution des dommages par l'amplification des ondes sismiques à l'intérieur des structures des formations superficielles. L'objet du présent article est d'évaluer le risque sismique en prenant en compte les conditions géotechniques locales (dites aussi effet de site). L'accent est mis particulièrement sur l'effet de site sur les dommages sismiques au niveau d'un site urbain avec application pour la ville de Djelfa. Afin d'atteindre cet objectif, la présente étude est scindée en trois parties. La première concerne la détermination de l'aléa sismique et ce en se basant d'une part sur les règles parasismiques algériennes et d'autre part en prenant compte la répartition géométrique des failles existantes. La deuxième partie porte sur la caractérisation géotechnique des sols de la ville mais aussi sur le classement typologique du bâti de la ville. Enfin, la troisième partie consiste à combiner ces informations dans le modèle d'Hazus.

Dans le but de mesurer l'importance de la prise en compte des effets de site lors de l'évaluation du risque sismique, une comparaison est faite entre les probabilités des dommages cumulés en tenant compte des conditions géotechniques locales avec celles d'un site de référence.

2. Présentation de l'agglomération urbaine de Djelfa

La ville de Djelfa est située sur la zone centre des hauts plateaux à 300km au sud de la capitale Alger. Elle est située dans une position centrale par rapport à l'ensemble du pays. Sa population est de 311931 habitants pour un parc habitat de 42407 logements. Elle est composée de 18 quartiers. Le relief de la région de Djelfa est généralement élevé, ses altitudes varient de 1020m à 1489m.

3. Conditions géotechniques et caractérisation des sols

3.1. Conditions géotechniques

Impact de l'effet de site - (Algérie)

En vue d'une caractérisation géotechnique des sols une collecte des données géotechniques et géophysiques dans le site étudié a été faite. Le contexte général est caractérisé par un synclinal avec des formations d'âge secondaire constitué par des alternances de bancs calcaires et de marnes, affectant toute la région de Djelfa. Le remplissage est d'âge tertiaire continental et occupe le creux du synclinal, il est composé surtout d'argiles rouges plus ou moins sableuse, sables argileux quelquefois grésifiés, calcaire. Le tout est surmonté d'alluvions et colluvions et sédiments. Les sols dans la partie nord de la ville sont de type rocheux dû à l'affleurement du calcaire turonien. L'épaisseur des sédiments augmente progressivement en se dirigeant du nord vers le sud comme le montre les coupes géophysiques: (C1-C6), (D1-D7), (E1-E7), (F1-F6) issues de l'exploitation de l'étude géophysique élaborée par la méthode électrique (DEMRH, 1974) ce qui nous a permis d'aboutir à la détermination de l'épaisseur des sédiments et de compléter les informations portées par les sondages provenant des projets de constructions locales et ouvrages d'art ces derniers nous ont permis d'atteindre des profondeurs de l'ordre de 20m., et d'établir des profils géotechniques de synthèses .

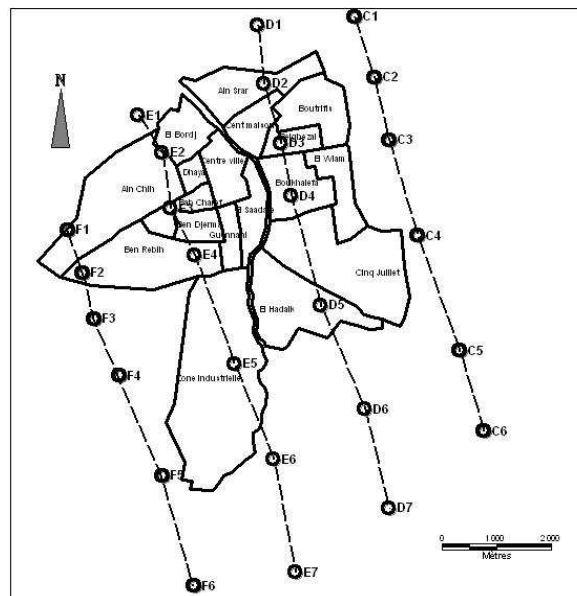


Figure 1. Carte représentant les quartiers de la ville de Djelfa et les coupes géophysiques (C1-C6), (D1-D7), (E1-E7), (F1-F6)

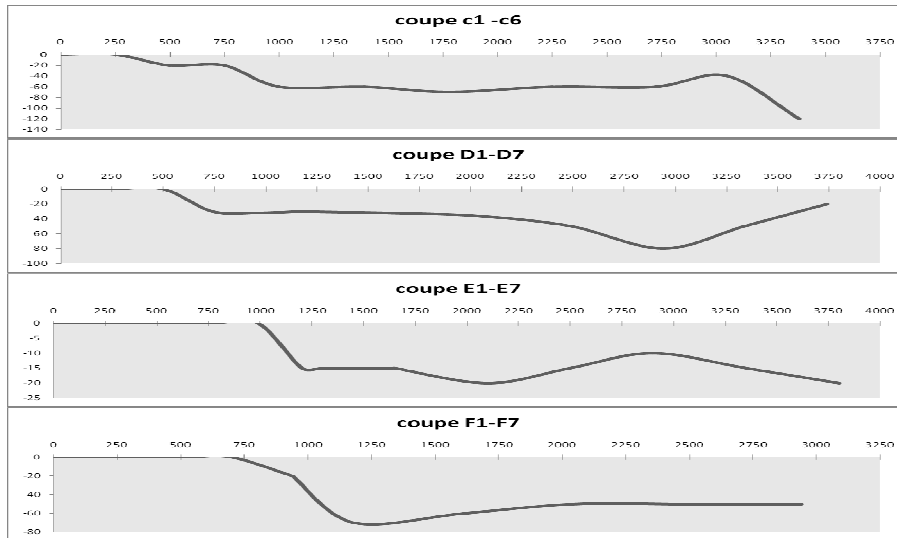


Figure 2. Epaisseur du sédiment (m) selon les coupes (C1-C6),(D1-D7),(E-E7),(F1-F6)

3.2. Caractérisation des sols par la vitesse de cisaillement

La vitesse moyenne de cisaillement sur une profondeur de 30m (V_{s30}) est utilisée dans l'estimation des effets de site pour la caractérisation des sols. Son évaluation passe par le calcul de G_{\max} et ce par le biais des formules d'Hardin-Drnevich [1] pour les sols pulvérulents et d'Hardin-Black [2] pour les argiles (Pecker, 1984).

$$G_{\max} = kP_a F(e) \left[\frac{\sigma'_m}{P_a} \right]^n \quad [1]$$

$$G_{\max} = kP_a (OCR) \times F(e) \left[\frac{\sigma'_m}{P_a} \right]^n \quad [2]$$

Où k , n sont des constantes dépendant du matériau ; n est généralement voisin de 0,5 et k de 600 ; P_a est la pression atmosphérique et σ'_m la contrainte moyenne effective. Le coefficient k dépend de l'indice de plasticité du sol ; $F(e)$ est une fonction dépendant de l'indice des vides e du matériau.

Au niveau des profils de sol constitués de couches définies géométriquement par leurs profondeurs et épaisseurs et par les paramètres géotechniques, le module de cisaillement G_{\max} est calculé pour chaque couche en utilisant les formules [1] et [2]. Le module de cisaillement G est déterminé en utilisant une loi de comportement hyperbolique par itérations, et en fin la vitesse de cisaillement est déduite par la relation [3] qui la relie au module de cisaillement G :

$$G = \rho v_s^2 \quad [3]$$

Où ρ est la masse volumique du matériau.

4. Méthodologie HAZUS

HAZUS (HAZUS-MHMR4, 2003) est une méthodologie développée par le NIBS (National Institute of Building Science.) afin d'évaluer l'endommagement que peut subir un bâtiment sous l'effet d'une action sismique prédéfinie. Le modèle est organisé en plusieurs étapes: l'inventaire des enjeux, l'analyse de l'aléa, l'estimation de dommages directs, l'estimation de dommages indirects, pertes économiques directes et indirectes. L'analyse des dommages directs, dans le cas des bâtiments courants, est basée sur la méthode du spectre de capacité et les courbes de fragilités. Le déplacement au sommet est le paramètre utilisé pour quantifier l'endommagement. Les enjeux sont définis en quatre types: le bâti courant, les constructions spéciales, les infrastructures de transport et les réseaux d'eau, d'énergie et de communication. Pour le bâti courant, il est défini 38 typologies des constructions sur la base de leur système structural et de leur hauteur, la méthodologie HAZUS utilisent des fonctions de dommages pour les structures, tenant compte de leurs âges et zones sismiques et ce suivant quatre codes, le Pré code, le Bas code le Code modéré, Haut code (HAZUS-MHMR4, 2003).

5. Aléa sismique

L'estimation de l'aléa sismique nécessite l'évaluation la possibilité de subir un séisme de caractéristiques données au niveau d'un site ou d'une région; et il peut être déterminé

par des approches probabilistes et déterministes, dans le présent travail l'estimation de l'aléa sismique dans le site étudié est déterminé d'une manière déterministe et suivant deux événements sismiques.

-Première étude : en considérant un événement sismique caractérisé par un PGA égale à 0,1g pour l'ensemble des quartiers de la ville qui est situé dans la zone 1 selon les règles parasismiques algériennes RPA99 version 2003 (RPA, 2003), pour le bâti courant à usage d'habitation.

-Deuxième étude : en prenant compte le système de failles existantes. L'exploration de l'étude géophysique nous a permis de constater l'existence de trois failles proches de la ville de Djelfa, nous avons retenu celle qui génère les accélérations les plus élevées ayant les caractéristiques suivantes: Longueur de 17 Kms et distante de 3 Kms, et ce en considérant une source ponctuelle située au centre de la faille à une profondeur de 10 kms, un PGA variant de 0,17 g et 0,22 g est obtenu en utilisant la formule de Wells et Coppersmith (Wells *et al.*, 1998) et la loi d'atténuation d'Ambraseys (Benouar *et al.*, 1998).

Le spectre de réponse choisi pour représenter l'action sismique est de forme standard, conçu conformément à IBC 2006 (SELENAV2.0, 2007) avec une transformation du spectre élastique du format (Sa-T) au format (Sa-Sd). Et pour tenir en compte de l'effet de site, nous avons utilisé les facteurs d'amplification d'accélération pour les courtes périodes et les facteurs d'amplification de vitesse pour les longues périodes utilisés dans Hazus, ainsi que l'introduction des Vs30 pour établir des spectres spécifiques par zones.

6. Classement typologique du bâti

En se basant sur le recensement de l'année 2008 relatif au nombre d'habitats pour la ville de Djelfa et en recueillant les informations auprès des différents services et organismes chargés de l'habitat, nous avons conclu que les types de bâti à usage d'habitation de la ville de Djelfa peuvent être regroupés en quatre types : les constructions en maçonnerie non renforcée d'une hauteur basse, les constructions en béton armé type portique d'une hauteur basse, les constructions en béton armé type portique d'une hauteur moyenne, les constructions en béton armé type voile d'une hauteur moyenne. Ces quatre types sont respectivement équivalents à URML, C1L, C1M et C2M d'Hazus. Un classement typologique détaillé du bâti suivant Hazus de chacun des 18 quartiers de la ville est établi, et pour l'ensemble de la ville ce classement est le suivant: URML 17,30% ; C1L 59,40% ; C1M 17,20% ; C2M 6,10%.

7. Estimation des dommages

L'approche utilisée pour l'estimation des dommages dans la méthodologie Hazus est celle de la capacité spectrale qui est composée de quatre étapes: la définition de la courbe de capacité; le choix de l'action sismique, l'obtention du point de demande; la détermination des courbes de fragilités (figure 3).

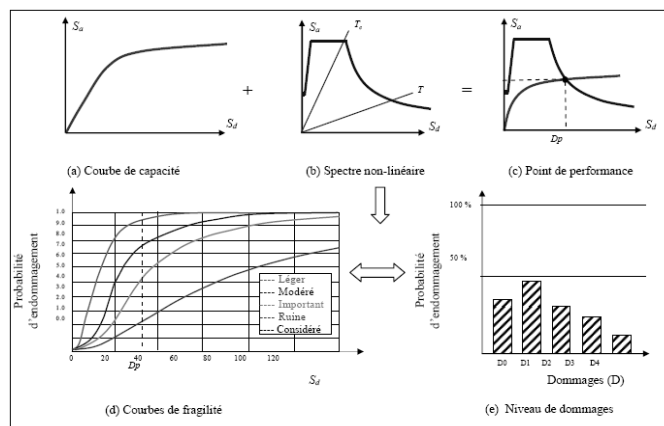


Figure 3. Schéma des étapes d'estimation de dommages utilisées dans la méthode de spectre de capacité

En plaçant la courbe de capacité dans le plan S_a - S_d avec le spectre de réponse non linéaire, l'intersection de la courbe de capacité avec la demande sismique permet l'obtention du point de demande. la conversion du spectre élastique en un spectre inélastique a été effectuée selon l'approche du spectre non linéaire, et suivant le classement des différents types du bâti de la ville comme bâtiment typique URML, C1L, C1M et C2M selon la typologie Hazus , les paramètres des courbes de capacité et de fragilités issues d' Hazus leurs correspondant sont utilisé pour définir. ces types du bâti

Pour l'estimation des probabilités dommages nous avons utilisé la formule Chintanapakdee et Chopra de (Chintanapakdee *et al.*, 2003) qui est utilisée dans la méthodologie Hazus et, qui est un modèle statistique du type log normal.

$$P[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right] \quad [4]$$

avec: $P[ds|S_d]$ est la probabilité d'obtenir un niveau de dégât donné ds pour un déplacement spectral S_d .

Φ est la loi de distribution normale cumulée.

$\bar{S}_{d,ds}$ est de la valeur moyenne de déplacement pour le niveau d'endommagement ds .

β_{ds} est l'écart type du déplacement pour le niveau d'endommagement ds .

A partir des courbes d'endommagement on a obtenu les probabilités des dommages pour les 18 quartiers et de l'ensemble de la ville

Nom du quartier	PGA	Pourcentage des dommages%					
		Condition de site	Domage cumulé	Domage Léger	Domage moyen	Domage important	Domage complet
Ain chih	0,10g	Référence	19,50	10,81	6,89	1,48	0,33
	0,10g	Site	20,26	11,14	7,22	1,55	0,35
Wiaam	0,10g	Référence	7,72	5,25	2,26	0,19	0,03
	0,10g	Site	23,79	13,83	8,64	1,14	0,18
Ville	0,10g	Référence	16,06	9,18	5,48	1,13	0,25
	0,10g	Site	23,57	12,86	8,61	1,73	0,39

Tableau 1. *Tableau comparatif des Probabilités des dommages sismiques en % pour les quartiers Ain chih et Wiaam et l'ensemble de la ville avec et sans effet de site. Evènement sismique : RPA*

Impact de l'effet de site - (Algérie)

Nom du quartier	PGA	Pourcentage des dommages%					
		Condition de site	Dommmage cumule	Dommmage Léger	Dommmage moyen	Dommmage important	Dommmage complet
Ain chih	0,21g	Référence	31,91	15,31	12,67	3,06	0,87
	0,21g	Site	32,97	15,64	13,21	3,21	0,92
Wiaam	0,17g	Référence	14,98	9,42	4,96	0,53	0,07
	0,17g	Site	37,30	19,13	15,15	2,57	0,45
Ville	0,20g	Référence	25,73	13,22	9,66	2,22	0,62
	0,20g	Site	36,11	17,06	14,51	3,51	1,04

Tableau 2. *Tableau comparatif des Probabilités des dommages sismiques en % pour les quartiers Ain chih et Wiaam et l'ensemble de la ville avec et sans effet de site. Evènement sismique : Faille existante.*

En vue d'illustrer l'importance des effets de site dans l'estimation du risque sismique une comparaison est effectuée entre les probabilités des dommages estimées en supposant en premier lieu que le sol support des différents quartiers est rocheux, avec des probabilités des dommages estimées en deuxième lieu en tenant compte des conditions géotechniques locales.

Pour la première étude (événement sismique n°1 PGA =0,1g pour l'ensemble de la ville),un rapport entre les probabilités des dommages cumulés(PDC) avec effet de site et les probabilités des dommages cumulés sans effet de site est de 3,08(67,53% des PDC sont dues à l'effet de site) pour le quartier Wiaam où le sol support est le plus meuble de la ville ($V_{s30}=180$ m/s),ce rapport est de 1,04(3,85% des PDC sont dues à l'effet de site) pour le quartier de Ain Chih dont le sol est presque rocheux ($V_{s30}=700$ m/s) ,et pour l'ensemble de la ville ce rapport est de 1,47(31,97% des PDC sont dues à l'effet de site).

Pour la deuxième étude (événement sismique 2 avec un PGA variant entre 0,17g et 0,22g), un rapport entre les probabilités des dommages cumulés (PDC) avec effet de site et les probabilités des dommages cumulés sans effet de site est de 2,49(59,84% des PDC sont dues à l'effet de site) et pour le quartier Wiaam, ce rapport est de 1,03(2,91% des PDC sont dues à l'effet de site) pour le quartier de Ain Chih et pour l'ensemble de la ville ce rapport est de 1,40 (28,57% des PDC sont dues à l'effet de site).

8. Conclusion

Le présent article a pour objet l'évaluation du risque sismique en tenant compte des conditions géotechniques (dites aussi effet de site) au niveau la ville de Djelfa qui est en partie construite sur un sol sédimentaire meuble. Les dommages exprimés par la probabilité des dommages cumulés (PDC) ont été estimés avec et sans effet de site. La méthodologie développée dans Hazus a été utilisée avec établissement d'un classement typologique du bâti à usage d'habitation. Les résultats obtenus ont montré qu'ignorer les effets de site peut aboutir à sous estimation des PDC de presque 60%. Par conséquent, on estime que 2/3 des dommages occasionnés lors des séismes au niveau des agglomérations construites sur des sols meubles sont dues aux effets de site.

9. Bibliographie

- Benouar D., Gilbert L., Yamazaki F., « Mapping seismic hazard in the Maghreb countries : Algeria, Morocco, Tunisia. », *11th European conferences on Earthquake Engineering*, 1998 ,Balkema, Rotterdam.
- Chintanapakdee C., Chopra AK., Evaluation of modal pushover analysis using generic frames. *Earthq Eng Struct Dyn* 32,2003, p.417-424.
- DEMRRH. Prospection Géophysique dans la région de Djelfa-Ain takersane, direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, secrétariat d'état à l'hydraulique, Alger, 1974.
- HAZUS-MHMR4. Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model. Report by: Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Division Washington, D.C, 2003.
- Pecker A., *Dynamique des sols*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, paris, 1984.
- RPA. , les règles parasismiques algériennes, Document Technique Réglementaire DTR B C 2 48, centre national de recherche appliquée en génie parasismique, Alger, 2003.
- SELENA v2.0. Seismic loss Estimation using a logic tree approach, prepared by Sergio Molina-Palacios, Dominik H. Lang, and Conrad D. Lindholm at NORSAR Kjeller, Norway, 2007.
- Wells D.L. , Coppersmith K.J. , « New Emperical Relationships among Magnitude, Rupture length, Rupture width, Rupture Area and Surface Displacement » *Bulletin of the seismological society of America*, vol. 84, n° 4, 1994, p. 974-1.