

Use of Geotechnical and Geographical Information Systems to Analyze Seismic Risk in Algiers Area / Utilisation des systèmes d'information géotechnique et géographique pour analyser le risque sismique dans la zone d'Alger

Mohammed Amin BENBOURAS (1), Ratiba MITICHE KETTAB (2), Fatiha DEBICHE (3), Maroua LAGAGUINE (4), Abdelmounaim MECHAALA (5), Chawki BOUREZAK (6), Alexandru-Ionuț PETRIȘOR (7)

(1) Phd student, Civil Engineering Department, University of Abbés Laghrour, Khenchla, Algeria; (2) Professor, Civil Engineering department, National Polytechnic School, Algiers, Algeria; (3) Assistant Professor, Civil Engineering department, National Polytechnic School, Algiers, Algeria; (4) Phd student, Civil Engineering Department, University of Badji Mokhtar, annaba, Algeria; (5) Phd student, Civil Engineering Department, University of Abbés Laghrour, Khenchla, Algeria; (6) Site engineer, Keller Fondations Spéciales SPA, N° 35, Algiers, Algeria; (7) Associate Professor, Doctoral School of Urban Planning, „Ion Mincu” University of Architecture and Urban Planning Bucharest, Romania.

Abstract. Geotechnical and geophysical data acquired from in situ and laboratory tests are crucial for safer constructions and better foundation plans. Accordingly, the geotechnical engineer assumes the responsibility to thoroughly study the site, in order to provide timely and cost-effectively the necessary and sufficient information on the natural features of the site, by predicting the different potential hazards. On the other hand, processing geotechnical and seismic information integrated by geographic information systems is an excellent idea that could help geotechnical engineers reliably predicting geotechnical information and accurately estimating the effects of the site in Alger area. This study represents a scientific contribution aimed at processing a geotechnical database of 144 downhole test surveys. This database is collected and organized in the geotechnical Information system "Géo-Base", which is then integrated into the Geographic Information System software (ArcGIS in the present study), allowing for visualizing the geotechnical maps. Finally, the seismic microzoning maps were constructed using the site period and average shear wave velocity up to 30 m (VS30). These maps were presented as a regional strategy. They will also be very useful for engineers, researchers and builders in future studies to mitigate seismic hazards in the study area by helping them making better decisions and safer and more economical designs.

Key words: seismic hazards; geographic information systems; downhole tests; microzoning carts; shear wave velocity

1. Introduction

Les conditions géologiques et pédologiques locales ont une importante influence sur l'amplification des mouvements sismiques. Les effets du site liés aux conditions géologiques ont été observés comme un mouvement de sol amplifié lors de séismes récents tels que les séismes de Loma Prieta en 1994 à Mexico, en 1994 à Kobe, en 1999, Boumerdas, Algérie en 2013, à Chi-Chi, à Kashmir en 2005 et à Wenchuan en 2008¹. De plus, la topographie de la surface et la géométrie du bassin ont des effets sur le déplacement du sol sous charge sismique². Des dommages sismiques graves causés principalement par les effets du site ont été observés dans les zones urbaines situées sur des bassins alluviaux, qui présentent des irrégularités géomorphologiques et géologiques. En particulier, la structure géologique

¹ Sun 2012; Lai and Murty 2006.

² Sun and Chung 2008.

souterraine et les conditions pédologiques ainsi que les caractéristiques topographiques de surface contrôlent la distribution irrégulière de l'intensité sismique et les dommages sur des distances relativement courtes dans les zones urbaines, où les résidences et les installations structurelles sont construites à proximité. Par conséquent, une évaluation précise des effets du site sur une zone urbaine dépend de prévisions fiables d'informations géotechniques spatiales, représentées par la géométrie du sol sous la surface³. Dans ce sens, la création d'un système qui pourrait fournir des moyens pour stocker efficacement, analyser et mettre à jour ces informations complémentaires, puis produire d'autres formes d'informations telles que des cartes et des tableaux, pourrait accélérer le processus de prise de décision et de conception. Ces types de systèmes seront utiles aux ingénieurs et aux planificateurs de l'industrie et de l'aménagement du territoire, compte tenu de leur intérêt scientifique, technique et économique considérable.

La présente étude évalue de manière synthétique les effets du site dans la ville d'Alger, en créant un système d'information géotechnique. Ce système a été construit dans un cadre du SIG tel que une méthodologie spécifique a été utilisée pour construire un modèle détaillé et fiable de la structure géologique de la zone d'étude. L'ensemble de données comprenait une variété de données géotechniques précédemment collectées. Des cartes géotechniques ont été effectuées en termes de période du site (TG) et de vitesse moyenne des ondes de cisaillement à une profondeur de 30 m (VS30) pour l'atténuation régionale des risques sismiques liés aux effets du site. Une analyse spatiale et thématique a été faite sur la base de données collectée, afin de les présenter dans un format des cartes très utiles aux planificateurs, ingénieurs et chercheurs dans l'avenir, ce qui les aidera à prendre de meilleures décisions et à réaliser des conceptions plus sûres et économiques.

2. Matériels et methodes

2.1. Compilation d'une base de données géotechnique

L'étude actuelle est réalisée sur la base des forages de sol provenant de la région d'Alger. La région d'étude est située sur la côte de la mer Méditerranée et exactement au nord de l'Algérie, à 36,4635 degrés de latitude nord et à 3,0331 degrés de longitude, à l'est de Greenwich⁴. La région d'Alger a été choisie à cause de sa diversité géotechnique et géologique et ainsi de l'augmentation de l'expansion urbaine qui a posé un vrai problème technique et économique durant les dernières années ; c'est qui demande plus attention à cet aspect. Afin de mener une étude fiable, 155 rapports géotechniques ont été collectés à partir des études de sols des projets de constructions en cours ou complétés, réalisés à Alger par plusieurs laboratoires géotechniques, avec un total de 144 tests géophysiques. Fig. 1 présente la localisation des forages géophysiques, Où on observe leur grand nombre et leur distribution globale au niveau de la surface de la zone d'étude, ceci a pour conséquence la représentativité et la fiabilité de notre étude.

2.2. Systèmes d'information géotechnique « Géo-Base »

Une fois les données collectées, le traitement des données (extraction, tabulation et tri des données) commence. Afin de pouvoir profiter des millièmes de données géotechniques,

³ Orhan and Tosun 2009.

⁴ Benbouras et al 2017, 2018a, 2018b

géophysiques et géologiques correctement, tout en assurant l'utilisation la plus facile de la base des données comme un outil exploitable et facile à traiter par le SIG, nous utilisons le système d'information géotechnique « Géo-Base ». Le système d'information géotechnique «Géo-Base» a été créé en 2003 dans le cadre de travaux de recherche de thèse Magister à l'École Nationale Polytechnique d'Alger⁵. Le modèle conceptuel a été réalisé par la méthode Merise qui propose une approche de conception du système d'information séparant l'étude des données de celle du traitement, en progressant progressivement par niveaux. Chaque niveau vise à fournir un certain nombre de documents qui permettent la synthèse textuelle d'un processus de réflexion. En notant que pour toute information complémentaire pour le modèle conceptuel comme les tables, dictionnaire de données, relation entre objet, information d'objet, et le modèle physique, il serait préférable de parcourir la source de thèse⁶. A titre d'exemple nous présentons dans Fig. 2 la fenêtre du nouveau projet de « Géo-Base ».

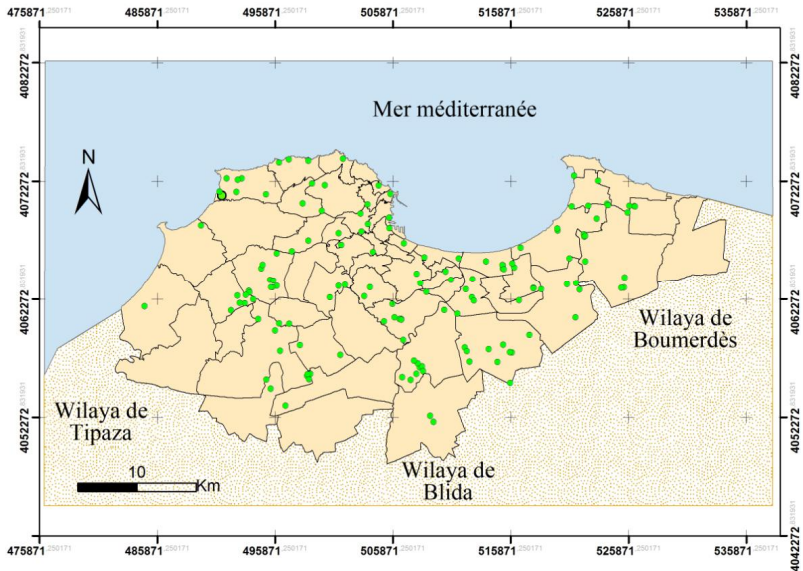


Fig. 1. Map of collected samples from the studied area site.

2.3. Systèmes d'information géographiques SIG

Le SIG est l'acronyme de systèmes d'information géographique (en anglais geographical information system GIS). Il se réfère à l'intégration de la technologie, du matériel, des logiciels et des données, pour analyser, gérer et afficher tous les types d'informations géoréférencées. Il s'agit d'un puissant ensemble d'outils pour rassembler, stocker, extraire, transformer et afficher des données spatiales du monde⁷.

⁵ Debiche 2013.

⁶ Debiche 2013; Debiche et al 2018.

⁷ Debiche et al 2018; Ho and Skeels 2003; Player 2006.

Fig. 2. Modèle physique de «Géo-Base» "fenêtre du nouveau projet".

Dans la présente étude, l'usage de système d'information géographique en utilisant ArcMap 10, constitue la troisième partie complémentaire de la méthodologie principale. ArcMap 10 a été conçu pour gérer différents nombres et types d'informations. Fait important, le logiciel permet de représenter spatialement les données en les référençant à leur propre référence géographique. Par exemple, même si les données géotechniques ne sont pas facilement représentées, surtout s'il y a de nombreux forages, ces techniques peuvent produire des cartes de zonage qui peuvent catégoriser les propriétés techniques du sol dans la zone d'étude. En outre, le SIG a été utilisé pour réduire la redondance des données, fournir des informations plus récentes, mieux gérer les données, faciliter l'analyse des données et élargir les possibilités d'analyse spatiale. De plus, c'est un outil précieux pour la gestion de la décision⁸.

L'interpolation, à son tour, a prédit les valeurs des cellules à des emplacements spécifiques qui manquaient de points échantillonnés. L'objectif principal de ce processus est de fournir de nouvelles propriétés géotechniques dans des endroits où il n'y avait pas de données géotechniques ; l'extension d'analyste spatial a été utilisée par l'interpolation IDW pour créer cette carte. Le choix de cette interpolation est en raison de sa fiabilité prouvée dans les études antérieures en comparaison d'autres méthodes⁹. Elle est essentiellement basée sur le principe de la dépendance spatiale (ou autocorrélation spatiale), en mesurant le degré de dépendance et la relation entre les objets éloignés et proches¹⁰. Fig. 3 représente une application d'interpolation IDW par ArcMap 10.

⁸ Al-Ani 2015.

⁹ Childs 2014.

¹⁰ Al-Ani 2015.

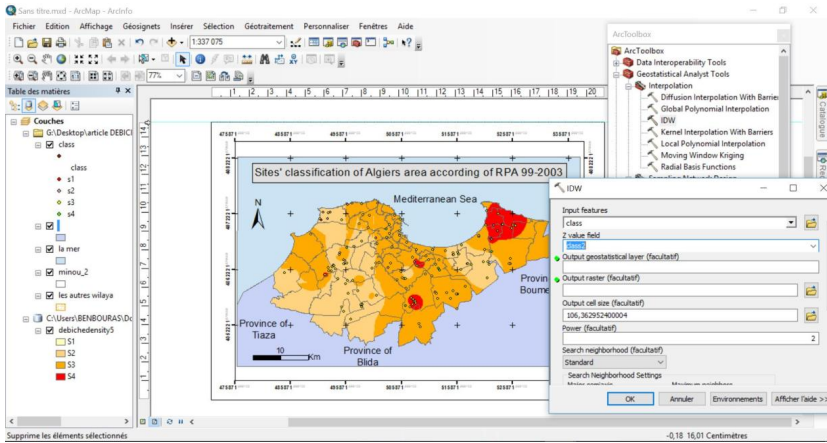


Fig. 3. Interpolation IDW par ArcMap 10.

2.4. Microzonage sismique par les SIG

Dans cet article, deux paramètres, TG et VS30, ont été sélectionnés parmi les divers paramètres quantifiés pour les réponses sismiques. Ces paramètres peuvent être utilisés pour évaluer les effets du site. Les résultats d'utilisation du système d'information géographique intégré dans le SIG, pour représenter les effets sismiques sur les sites sont principalement présentés sur quelques cartes de microzonage à échelle micrométrique qui identifient les emplacements ou les zones présentant différents niveaux de potentiel sismique.

2.4.1. Microzonage de la période du site pour estimer les effets du site

Les effets de site sont fondamentalement associés au phénomène des ondes sismiques se propageant dans les couches de sol. Le processus peut être expliqué par les différences de valeurs de VS entre les couches de sol et le substrat rocheux sous-jacent et par l'épaisseur des couches de sol ou la profondeur du substratum. La plus grande amplification du mouvement sismique à un niveau topographique se produit approximativement en fonction de la fréquence fondamentale. La période de vibration correspondant à la fréquence fondamentale est appelée période de site caractéristique (TG), et dans le cas du sol multicouche, TG (en unités de secondes) peut être calculé comme suit ¹¹:

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{V_{si}} \quad (1)$$

Où D_i est l'épaisseur de chaque couche de sol au-dessus du substratum rocheux, V_{si} est la vitesse de l'onde de cisaillement de chaque couche de sol et n est le nombre de couches de sol.

¹¹ Sun 2012.

2.4.2. Microzonage du VS moyen à 30 m de profondeur pour estimer les effets du site

Étant donné que la géologie et le profil de VS à faible profondeur peuvent exercer dans un site une influence relativement importante sur la réponse sismique spécifique au site¹², donc, il est très important d'étudier les propriétés géologiques et géotechniques du sous-sol peu profond sous l'amplification du site. En conséquence, le code parasismiques Algérie RPA-1999 ver 2003 est classés les sites en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent¹³. La formule 2 présente la vitesse des ondes de cisaillement de site en fonction de la hauteur h_i et de la vitesse de cisaillement V_{si} de chaque couche (i).

$$V_s = \frac{\sum_i^n h_i}{\sum_i^n \left(\frac{h_i}{V_{si}}\right)} \quad (2)$$

- Catégorie S1 (site rocheux) : Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement $V_s \geq 800$ m/s.
- Catégorie S2 (site ferme) : Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile surconsolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur avec $V_s \geq 400$ m/s à partir de 10 m de profondeur.
- Catégorie S3 (site meuble) : Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec $V_s \geq 200$ m/s à partir de 10 m de profondeur.
- Catégorie S4 (site très meuble)
 - Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.
 - Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.

2.5. Méthodologique

Afin de clarifier et organiser les étapes de la méthodologie de recherche, nous l'avons résumée comme des points pratiques. Pour but de présenter les cartes de la classification des sites en Algérie, on adopte la méthodologie suivante :

- (1) La création d'une base de données géotechnique du sol d'Algérie, collectée auprès de différents laboratoires autour des projets de constructions géotechniques en cours ou complétés précédemment. Il a été recueilli 144 sondages Downholes pour cette étude.
- (2) La deuxième étape consiste à la création d'une carte administrative de la région d'étude, extraite du site web de la wilaya d'Algérie avec une forte résolution. Ensuite, il faut identifier les couches thématiques nécessaires pour notre application et des données particulières, après le calage normatif de la carte sous-étudiée par les coordonnées de la projection WGS-UTM31 pour faciliter la création de couches des fichiers de formes caractérisées la zone d'étude. Elles sont présentées par des entités surfaciques (Polygones), à savoir les communes, les wilayas proches et la mer méditerranéenne.
- (3) L'intégration « Géo-base » avec le logiciel de SIG (ARCGIS dans la présente étude), afin de lire les données numériques de forage géophysiques, caractérisés par leurs

¹² Wills et al 2000.

¹³ DTR-BC 2.48 2003.

cordonnées WGS-UTM31 et leurs paramètres géotechniques dans les tableaux attributaires. Les données d'essais downhole dans ce cas étaient identifiées dans ARCmap 10 comme des entités ponctuelles ou multipoints.

(4) Des analyses spatiales et thématiques sur les données collectées seront faites par la technique IDW, pour bien fournir de nouvelles propriétés géotechniques dans les endroits où il n'y avait pas de sondages géotechniques, se basant sur l'étude des existantes proches.

(5) La présentation des cartes de microzonage sismique.

Fig. 4 résume l'essentielle de la méthodologie de recherche adoptée dans la présente étude.

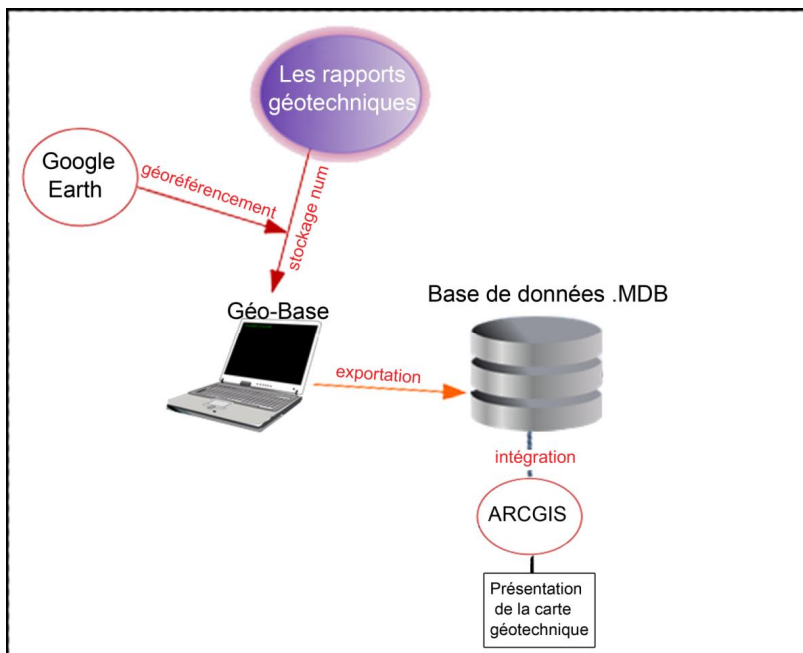


Fig. 4. Résumé de la méthodologie de recherche.

3. Résultats et discussion

La période du site est un indicateur très utile caractérisant la période de vibration à laquelle l'amplification la plus importante est attendue. Ainsi, si les variations spatiales de l'épaisseur et du VS des couches de sol sont connues pour l'ensemble de la zone d'étude, la variation spatiale de la période du site peut être facilement établie et utilisée pour un programme régional de réduction des risques sismiques.

Les périodes de site des plaines centrales sont généralement plus longues que celles des zones montagneuses et vallonnées. La figure 5 montre que les distributions spatiales des périodes de site sont particulièrement cohérentes avec la topographie de la zone d'étude, ainsi la période se situe généralement entre 0,2 et 0,66 s à la zone d'Alger. Connaissant que tous les structures ont leurs propres périodes naturelles. En général, les bâtiments à plusieurs

étages avec de longues périodes naturelles réagissent complètement différemment des bâtiments plus petits avec des périodes naturelles courtes. On admet généralement que la période naturelle d'un bâtiment est généralement égale à 0,1 fois le nombre des étages¹⁴. Par conséquent, les bâtiments d'Alger comportant deux à six étages peuvent être sujets à résonance lors d'un tremblement de terre. La plupart des bâtiments situés dans la capitale ont deux à cinq étages, sont donc vulnérables aux dommages causés par le séisme. Les données de microzonage spatial des périodes de site sur l'ensemble de la zone d'étude peuvent être utilisées pour établir un plan régional de lutte contre les risques de séismes et peuvent également s'avérer très utiles pour une utilisation et une planification ou un développement urbain efficace.

La carte de zonage sismique spatiale efficace de V_s pour la classification de sites est présentée dans la figure 6. De façon général, l'analyse statistique montre que 115 sites parmi les 144 pourraient être classés comme des sites meubles S3. En outre, les résultats montre qu'il n'y a pas des sites S1, une petite commune classifie comme site ferme S2 spécifiquement entre Aïn Benian et Cheraga, en plus certains communes pourraient être classés en S4 comme Ouled chbel, Sidi Moussa, Birtoura, Baraki et Dar El Beida etc. L'intérêt de cette carte est apparait dans la classification préliminaire de tous les emplacements dans la zone d'étude qui peut être facilement effectuée, en utilisant le système de classification du site, avant toute étude préliminaire géotechnique. Par conséquent, ces cartes spatiales de microzonage sismique de VS30 peuvent être utilisées directement pour la conception préliminaire de résistance aux séismes pour chaque emplacement de la zone d'étude

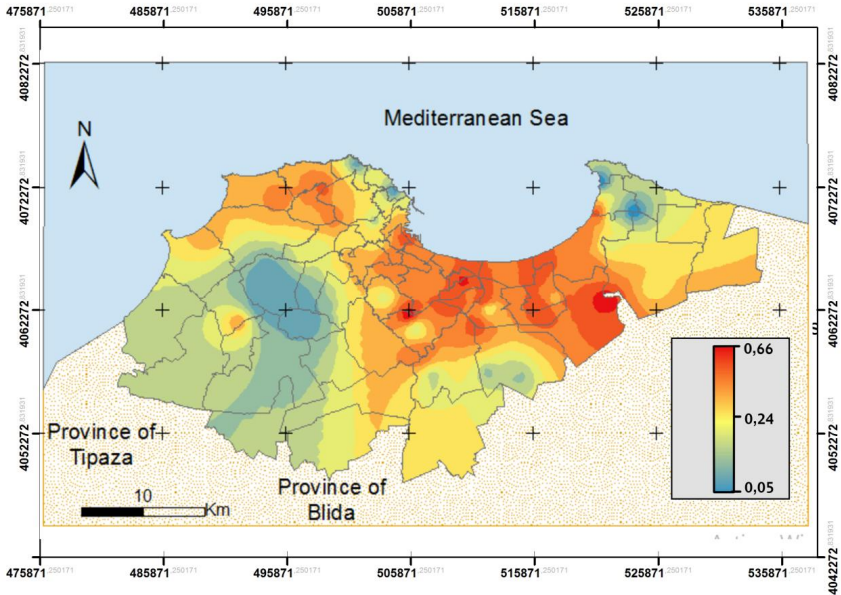


Fig. 5. Distributions spatiales des périodes de sites en Alger.

¹⁴ Sun 2012; Kim et al 2002.

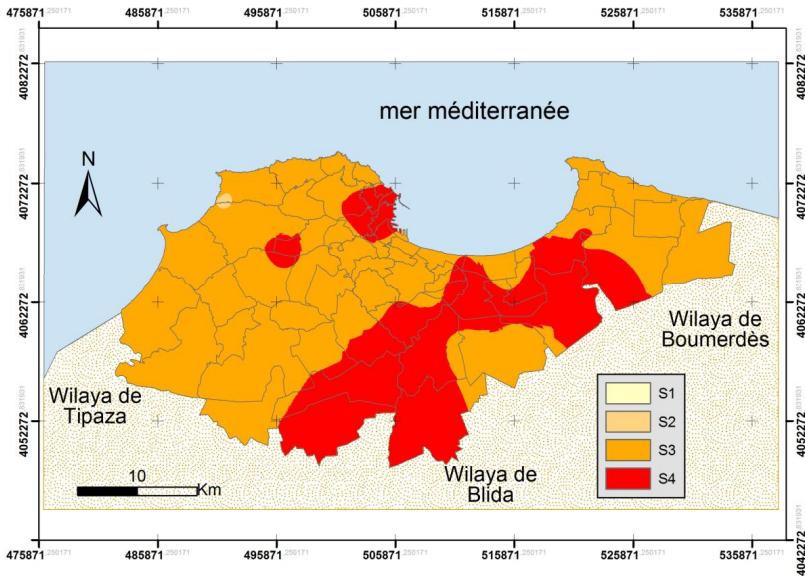


Fig. 6. Carte de la classification des sites selon RPA 99- Ver 2003.

4. Conclusion

Un système d'information géotechnique dans le cadre du SIG a été développé pour prédire de manière fiable des informations géotechniques spatiales et permettre des estimations précises des effets du site à Alger, une zone urbaine en Algérie, située dans une zone frontale de deux plaques en convergence permanente, faisant d'elle une région instable. La présente étude était basée sur une base des données géotechniques obtenues lors de visites de sites. Cette base des données consiste de 144 essais Downhole. Des cartes géotechniques ont été construites dans la zone d'Alger et des études de microzonage ont été effectuées en termes de période de site et de VS pour estimer les effets du site, tous pour arriver à une stratégie pour atténuer les risques sismiques dans la zone d'étude. Les cartes de microzonage sismique ont été construites de manière efficace sur la base des couches géotechniques spatiales et des valeurs de VS de 144 sondages downhole. Le grand nombre des données collectées et leur distribution globale au niveau de la surface de la zone d'étude montre la représentativité et la fiabilité de notre étude. La carte de la période spatiale du site indique une vulnérabilité sismique pour les bâtiments de deux à six étages dans cette zone. Les cartes spatiales VS30 ont identifié les classes de sites à utiliser dans la conception sismique selon RPA 1999 ver 2003. Les résultats ont révélé que la plupart des zones pourraient être classés comme des sites meubles S3 et des sites très meubles S4, inexistence des sites S1 et une petite commune classifiée comme site ferme S2. La carte géotechnique développée dans le présent travail, sera utile aux planificateurs, ingénieurs et chercheurs dans l'avenir, pour atténuer les risques sismiques dans la zone d'étude en les

aidera à estimer les paramètres géotechnique, à prendre de meilleures décisions et à réaliser des conceptions plus sûres et économiques.

References

- Al-Ani, H. A. H. (2015), *Digital Geotechnical Maps and Classification of Soil Engineering Properties by Using GIS*, Doctoral Dissertation, Griffith University Gold Coast, Southport, Australia, 2015.
- Benbouras, M. A., Kettab Mitiche, R., Zedira, H., Petrisor, A.-I., Mezouar, N., Debiche, F. (2018) "A new approach to predict the compression index using artificial intelligence methods" *Marine Georesources & Geotechnology*, DOI:10.1080/1064119X.2018.1484533 (en cours de parution).
- Benbouras, M. A., Kettab, R. M., Zedira, H., Debiche, F., Zaidi, N. (2018) "Comparing nonlinear regression analysis and artificial neural networks to predict geotechnical parameters from standard penetration test" *Urbanism. Architecture. Constructions*, 9(13), 275-288.
- Benbouras, M. A., Kettab, R. M., Zedira, H., Petrisor, A.-I., Debiche, F. (2017) "Dry density in relation to other geotechnical properties of Algiers clay" *Revista Școlii Doctorale de Urbanism*, 2(1), 5-14.
- CGS, DTR-BC 2.48. (2003), *Règles parasismiques algériennes RPA99 / version 2003*, Centre national de recherche appliquée en génie-parasismique CGS, Alger, Algérie.
- Childs, C. (2014) "Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst" *ArcUser*, 32-35.
- Debiche, F., Kettab, R. M., Benbouras, M. A., Benbellil, B., Djerbal, L., Petrisor, A.-I. (2018) "Use of GIS systems to analyze soil compressibility, swelling and bearing capacity under superficial foundations in Algiers region, Algeria" *Urbanism. Architecture. Constructions*, 9(14), 357- 370.
- Debiche, F. (2013) "Elaboration du modèle conceptuel de la base de données géotechniques "Géo-Base"" Thèse de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Département Génie Civil, Alger, Algérie.
- Ho, C. L., Skeels, J. O. (2003), *GIS modeling of the subsurface stratigraphy*, 12th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 26-30.
- Kim, D. S., Chung, C. K., Sun, C. G., Bang, E. S. (2002) "Site assessment and evaluation of spatial earthquake ground motion of Kyeongju" *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(5), 371-387.
- Orhan, A., Tosun, H. (2010) "Visualization of geotechnical data by means of geographic information system: a case study in Eskisehir city" *Environmental Earth Sciences*, 61(3), 455-465.
- Player, R. S. V. (2006), *Geographic Information System (GIS) Use in Geotechnical Engineering*, GeoCongress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age, Georgia, United States, pp. 1-6.
- Rai, D. C., Murty, C. V. R. (2006) "Effects of the 2005 Muzaffarabad (Kashmir) earthquake on built environment" *Current Science*, 90(8), 1066-1070.
- Sun, C. G. (2012) "Applications of a GIS-based geotechnical tool to assess spatial earthquake hazards in an urban area" *Environmental Earth Sciences*, 65(7), 1987-2001.
- Sun, C. G., Chung, C. K. (2008) "Assessment of site effects of a shallow and wide basin using geotechnical information-based spatial characterization" *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(12), 1028-1044.
- Wills, C. J., Petersen, M., Bryant, W.A., Reichle, M., Saucedo, G. J., Tan, S., Taylor, G, Treiman, J. (2000) "A site-conditions map for California based on geology and shear-wave velocity" *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(16B), 187-208.

Primit: 15 octombrie 2018 • **Acceptat:** 20 noiembrie 2018

Articol distribuit sub licență „Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND)”

