



# Évaluation de l'aléa sismique au site d'Alger et ses environs

**L'**Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Situé sur la bordure de la plaque africaine laquelle est en mouvement continue de collision avec la plaque eurasiennne, ce mouvement est responsable des séismes destructeurs qui se sont produits en Algérie et causés d'énormes pertes en vies humaines et en matériel. Puisque le risque sismique peut être défini en une simple forme comme la convolution de l'aléa et la vulnérabilité, le risque peut être réduit en évaluant l'aléa et en réduisant la vulnérabilité des éléments à risque.

investissements et institutions gouvernementales. Elle est le centre intellectuel, social, culturel, politique et économique du pays. La zone étudiée représente une superficie d'un rayon de 200 Km autour du site d'Alger. Dans les années récentes, les effets de catastrophes ont augmenté en raison de la forte densité de la population, la mauvaise planification urbaine et la qualité de la construction, infrastructures et services inadéquats et la dégradation de l'environnement. Pour réduire cette vulnérabilité et donc le risque (conséquences), les autorités publiques et les différents acteurs dans le domaine de la prévention et l'intervention ont besoin d'informations fiables sur les intensités probables du futur séisme qui pourrait frapper la ville d'Alger.

Bien que la carte séismotectonique de la région d'Alger a été complétée récemment [8], le processus du phénomène sismique est jusqu'aujourd'hui mal compris. Par conséquent, l'aléa sismique à Alger peut être évalué par une approche probabiliste en utilisant un modèle

de prédiction stochastique simple. Cet aléa sismique peut être exprimé en termes de probabilité de dépassement de l'accélération de pointe (PGA) et période de retour.

## PERIODES DE RETOUR

La période de retour des séismes à Alger en termes d'accélération de pointe (PGA) est représentée sur la figure 1 et pour tous les modèles d'atténuations choisis.

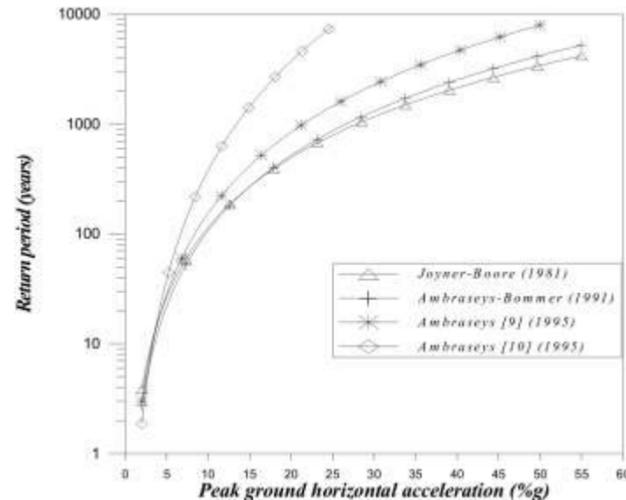


Fig. 1 : Périodes de retour des séismes à Alger en termes d'accélération de pointe en utilisant les différents modèles d'atténuation choisis.

Cet article présente l'évaluation de l'aléa sismique au site de la ville d'Alger en utilisant quatre modèles d'atténuation différents de l'accélération. L'analyse de l'aléa sismique est réalisée en utilisant un modèle simple d'arrivée des séismes et le nouveau catalogue des tremblements de terre compilé par Benouar<sup>5</sup> pour la région du Maghreb. Le site est défini par la longitude 3.00°E et de latitude 36.45°N. Parce que le processus du phénomène sismique n'est pas encore compris, il est supposé que les séismes futurs se reproduiront dans les zones où ils se sont déjà produits dans le passé. L'aléa sismique, exprimé en termes de probabilité de dépassement de l'accélération de pointe (PGA), est calculé pour des durées de vie économiques de la structure de 10, 50 et 100 ans. L'accélération absolue pour une période de retour donnée est aussi déterminée. Due à l'insuffisance des enregistrements des mouvements forts du sol en Algérie, aucune loi d'atténuation n'a été développée pour le pays. L'objectif principal de cette étude est d'analyser l'influence des modèles d'atténuation sur l'évaluation de l'aléa sismique, car les résultats sont sensibles à ces modèles. Donc, la sélection d'une loi d'atténuation appropriée est cruciale. Pour cela, quatre lois d'atténuation qui apparaissent représenter les données sismiques algériennes ont été choisies des travaux précédemment réalisés, parmi ceux-ci sont Joyner et Boore<sup>1</sup>, Ambraseys et Bommer<sup>2</sup>, Ambraseys<sup>3</sup> (profondeur contrôlée) et Ambraseys<sup>3</sup> (profondeur non contrôlée). Une comparaison de l'aléa sismique attendu permet une première estimation critique montrant que l'aléa sismique est effectivement très sensible aux modèles d'atténuation choisis et l'accélération de pointe (PGA) peut être soit conservative ou non, dépendant du modèle d'atténuation et du niveau de risque accepté par les autorités publiques et la société civile.

Alger, la Capitale de l'Algérie, avec une population d'environ trois millions, représente la plus importante concentration des

Par Mounir NAILI et Djillali BENOUAR  
USTHB, Faculté de Génie Civil,  
Lab. Bâti dans l'Environnement (LBE)

## PROBABILITE DE DEPASSEMENT DE L'ACCELERATION DE DIMENSIONNEMENT

Due aux incertitudes du nombre futur des séismes, leur énergie (magnitude) et leur épcentre, il est évident que l'aléa sismique doit être exprimé en termes de probabilités de dépassement de l'accélération de pointe (PGA). Les figures 2, 3 et 4 montrent respectivement les variations de la probabilité de dépassement de l'accélération de pointe (PGA), pour des durées de vie économiques des structures de 10, 50 et 100 années.

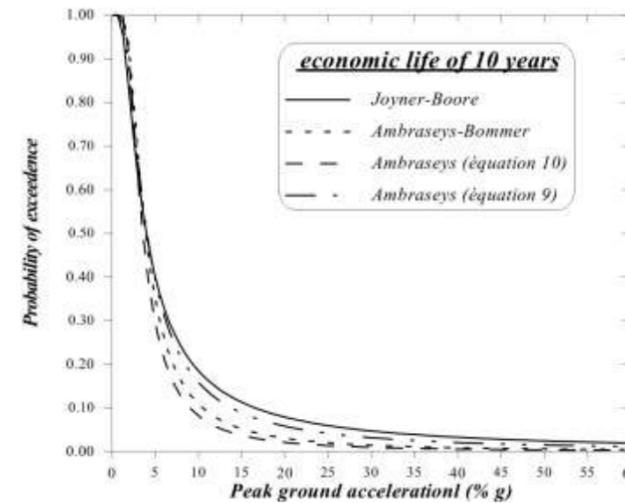


Fig. 2: Probabilité de dépassement de l'accélération de pointe de la ville d'Alger pour une durée de vie économique de la structure de 10 années.

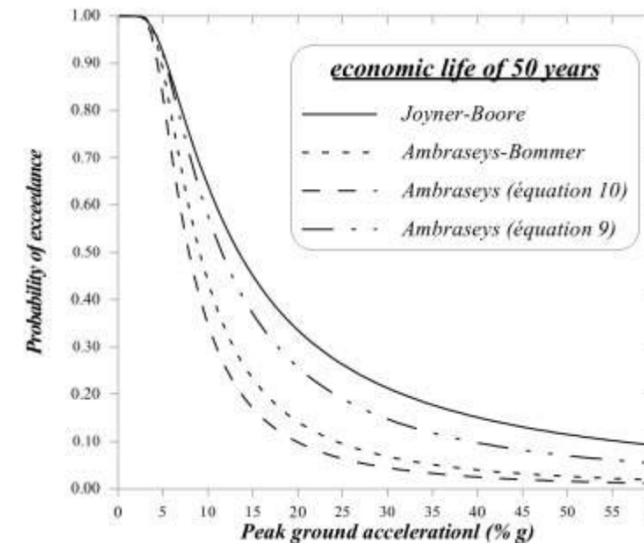


Fig. 3: Probabilité de dépassement de l'accélération de pointe de la ville d'Alger pour une durée de vie économique de la structure de 50 années.

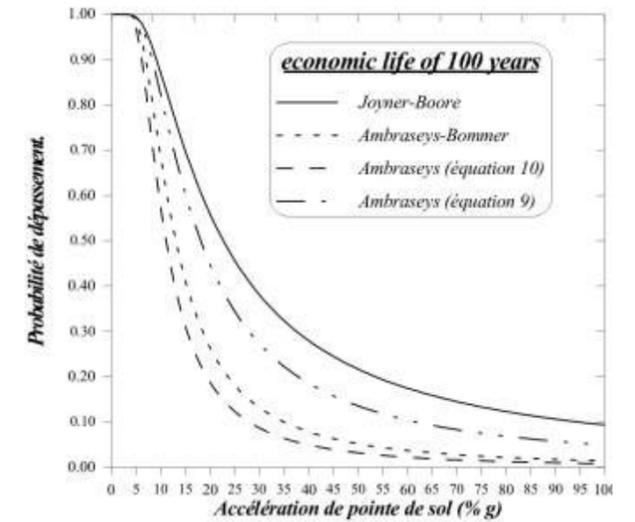


Fig. 4: Probabilité de dépassement de l'accélération de pointe de la ville d'Alger pour une durée de vie économique de la structure de 100 années.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ces figures montrent clairement que l'aléa sismique est très sensible aux modèles d'atténuation d'accélération choisis. Le niveau d'accélération du sol pourrait varier considérablement d'un modèle à un autre, ce qui pourrait aussi conduire à une valeur conservative de l'accélération du dimensionnement de la structure. Ceci dépend fortement du niveau de risque accepté par les autorités publiques et la société civile.

Ces résultats doivent être pris en compte dans la prévision du développement économique et social de la ville d'Alger et ses environs. Ils constituent un moyen fondamental qui devrait guider les services concernés à tous les niveaux de l'administration par l'élaboration de stratégie de développement, en zones menacées, par un aménagement du territoire et urbain approprié, une planification de l'occupation de sol, une application stricte d'un code de construction adéquat, une réhabilitation appropriée du bâti existant et une politique des mesures de prévention et de réduction des effets néfastes de ces phénomènes, ainsi que pour la préparation de la réponse.

## REFERENCES

[1] Ambraseys, N.N and Bommer, J.: The attenuation of ground acceleration in Europe, Earth.Eng.Struct.Dyn. 20, 1179-1202. 1991.  
[2] Ambraseys, N.N.: The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe, Eart.Eng.Struct.Dyn. 24, 467-490. 1995.  
[3] Joyner, W.B and Boore, D.W.: Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 71, 2011-2038. 1981.  
[4] Tomatsu, Y and Katayama, T : An on-line graphic computed program < ERISA-G > and its implication in seismic macro-zonation of Japan, Proc. 9th WCCE, N°2, 181-186.1988.  
[5] Molas, G.L and Yamazaki, F : Seismic macrozonation of the Philippines based on seismic hazard analysis, Structural Eng./ Earthquake Eng. Vol. 11, N°1, 33s-43s April 1994. J.S.C.E  
[6] Benouar, D.: Materials for the investigation of the seismicity of Algeria and adjacent regions during the twentieth century, Special issue of Annali DI Geofisica, XXXVII(4), 1994.  
[7] Bender, B and D.M, Perkins.: Treatment of Parameter Uncertainty and Variability for Single Seismic Hazard Map, Earthquake Spectra. Vol. 9, N°2, 165-195. 1993  
[8] Jancevski J, Boudiaf A, Bouhadad Y, El-Foul D and Rabet M : Determination des caractéristiques neotectoniques et sismotectoniques de la région d'Alger par la méthodologie d'analyse morphostructurale. Acte du 5e Séminaire Maghrébin du Génie Parasismique, Alger 15, 16 et 17 Février 1993. Vol 2 143-155



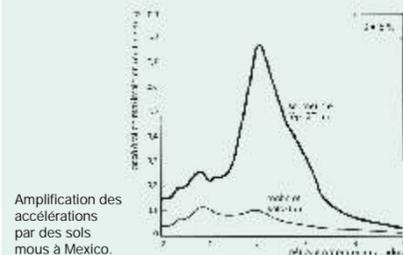
Hauteur de la construction et position du centre de gravité\*

La hauteur des constructions n'est pas en soi un facteur aggravant leur vulnérabilité aux séismes. On appelle "fréquence propre" fondamentale, la fréquence des oscillations libres, non forcées. Celle-ci peut être observée après l'arrêt du séisme, jusqu'à l'amortissement complet du mouvement. On peut parler également en termes de " période propre T ", qui est la durée d'un cycle d'oscillation en secondes, égale à la valeur inverse de la fréquence.

La période propre d'un bâtiment dans une direction donnée varie notamment en fonction de sa rigidité dans cette direction donc, entre autres, en fonction de sa hauteur et de sa dimension horizontale. Par conséquent, elle est souvent différente dans les deux directions principales. Très approximativement, la période propre d'un bâtiment contreventé par des murs ou palées de stabilité triangulées est égale à H/20-YL, où L et H sont respectivement sa largeur dans la direction étudiée et sa hauteur en mètres. La période des constructions contreventées par des portiques (non bloqués par un remplissage) est de H/10-YL environ. Ainsi, un bâtiment en voiles de béton de 16 x 25 m et de 20 m de haut a une période propre approximative de 0,20 s dans la direction longitudinale (20/20-Y25) et de 0,25 s dans la direction transversale (20/20-Y 16) Pour le dimensionnement des structures, on utilise un calcul plus précis.

Lors du séisme du Mexique (19/09/1985), de nombreux bâtiments élevés, fondés sur les sols compressibles du centre de Mexico, sont entrés en résonance avec ces sols. Ils ont été détruits alors que dans la même zone, un grand nombre de bâtiments n'a subi que des dommages modérés.

Ce cas est relativement rare car les tours sont souvent fondées sur des sols fermes et si elles sont conçues selon les règles parasismiques récentes, elles ne subissent que des dommages mineurs même lors des séismes de forte magnitude.



\* Guide de la conception parasismique des bâtiments Ed. Eyrolles

تقدير مخاطر الزلزال بالنسبة للجزائر العاصمة و مناجيها

الجزائر كسائر بلدان البحر الابيض المتوسط مهددة لهزات أرضية معتبرة فهي تقع على طرف الصفيحة الإفريقية التي توجد في حركة دائمة واصطدام مع الصفيحة "الأورالية". فقد ترتب عن هذه الحركة زلازل مدمرة مست الجزائر و أدت إلى أضرار معنوية و مادية ضخمة. بما أن خطر وقوع الزلازل من الممكن تعريفه بشكل بسيط كاردواج بين مخاطر وضعف، فالخطر من الممكن الحد منه بتقدير المخاطر و الحد من ضعف العناصر المهددة بالخطر. فهذا المقال يطرأ إلى تقدير مخاطر الزلازل بمدينة الجزائر باستعمال أربعة نماذج لتخفيف التسارع. لقد تم إنجاز تحليل مخاطر الزلازل باستعمال نموذج بسيط لوصول الزلازل و الفهرس الجديد للهزات الأرضية في منطقة المغرب العربي الذي تم جمعه من طرف الباحث بنوار. يعرف الموقع بتواجده على خط طول 300 شرقا و خط العرض 36,45 شمالا نظرا لكون ظاهرة الزلازل غير مفهومة لحد الآن فيفرض أن الزلازل القديمة ستظهر في المناطق التي سبق و أن ظهرت فيها من قبل. و يعبر عن مخاطر الزلازل كاحتمال تجاوز التسارع الحدي (PGA) الذي يتم حسابه لمدة عيش هيكل المباني تتراوح بين عشرة- خمسون و 100 سنة و كذلك تعيين التسارع المطلق لفترة رجوع معينة. إن الهدف الرئيسي لهذه الدراسة تحليل تأثير " نماذج التخفيض " على تقييم مخاطر الزلازل لكون، النتائج حساسة لهذه النماذج، لهذا من الضروري وضع قانون لتخفيف مخاطر الزلازل. فالقوانين الأربعة للتخفيض تظهر مبنية لمعطيات الزلازل بالجزائر و قد اختيرت إثر أبحاث منجزة من قبل. المقارنة بين مخاطر الزلازل المنتظر تسمح بتقدير تقدي أول، مظهرا أن مخاطر الزلازل حساسة جدا لنماذج التخفيف المختار و أن التسارع الحدي (PGA) بإمكانه أن يكون محافظا م لا و متعلقا برأي المجتمع المدني. إن نتائج هذه الدراسات من الممكن أخذها بعين الاعتبار في تنبؤ التطور الاقتصادي و الاجتماعي لمدينة الجزائر و ضواحيها فهي تشكل وسيلة مهمة تسمح بإرشاد المصالح المعنية للإدارة و ذلك بوضع تخطيط شغل الأراضي و تطبيق قانون البناء بطريقة ملائمة، وكذلك ترفيع لائق للمباني مع وضع سياسة للوقاية و الحد من الآثار السلبية للزلازل.

LE MICRO-ZONAGE SISMIQUE

Entretien avec Bertrand Guillier (géologue-géophysicien), Stéphane Cartier (sociologue au CNRS) Jean-Luc Chatelain (géophysicien) Chercheurs visiteurs au CGS

Réalisé par A. Amrouche

Comment, en tant que géophysiciens, définissez-vous le micro-zonage ?

Le micro-zonage exprime la réaction locale des sols aux secousses sismiques. L'échelle peut être affinée jusqu'à une cinquantaine de mètres, selon les enjeux et les moyens disponibles.

Les études devant permettre l'établissement de la carte de micro-zonage s'étalent donc sur plusieurs années ?

En complément au macro-zonage, qui correspond à un maillage régional du territoire, le micro-zonage s'effectue en plusieurs étapes.

Votre intervention se limite-t-elle aux régions inoccupées ou peu urbanisées ?

Après le séisme, nous avons réalisé le micro-zonage de Boumerdès pour identifier une correspondance entre destructions des bâtiments et réponses locales du sol aux vibrations sismiques. Comme en Inde et en Amérique du Sud, nous avons confirmé la corrélation.

Il existe, par ailleurs, plusieurs méthodes

de micro-zonage et celle que nous utilisons ici au niveau du CGS (Centre de génie parasismique) consiste en l'enregistrement des « bruits sismiques » émis par la nature ainsi que par l'homme qui sont des ondes, en principe, répartis sur l'ensemble de la gamme de fréquence.

Le sol ayant reçu ces ondes, ne retransmet préférentiellement que celles qui correspondent à sa propre résonance. Ce qui nous permet de savoir comment réagira un sol avec une sollicitation relativement modeste. Il s'agit en d'autres termes d'une méthode qui enregistre le bruit de fond sismique obtenu à l'aide d'un capteur en trois dimensions. Grâce aux calculs réalisés par ordinateur, l'ensemble des ondes obtenues est analysé et interprété, c'est ainsi qu'on pourra déterminer la réaction du sol et obtenir une carte de micro-zonage du secteur.

Comment s'effectue le choix des emplacements de sondage ?

Au début c'est le hasard, toutefois pour notre modèle de micro-zonage le maillage est régulier. Après avoir identifié la structure de la ville on lui associe notre maillage à l'aide d'un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) ; par la suite, on se doit d'effectuer des ajustements sur le maillage dans le cas où le point de sondage se positionne à l'intérieur d'un édifice ; nous essayons de l'établir au plus près de celui-ci, dans une zone accessible.

Quels sont, concrètement, les résultats de cette étude ?

Notre mission se limite à l'identification des fréquences de résonance du sol, c'est à dire comment le sol résonne quand on l'excite. Il ne faut pas perdre de vue qu'un bâtiment - qui est construit sur un sol - lui-même possède sa propre fréquence ; ils sont l'un et l'autre excités de la même façon s'ils possèdent la même fréquence. Avec notre technologie, nous prenons des mesures de la façon dont réagit le sol en fonction des édifices construits dessus, nous voyons s'il y a correspondance ou pas.

Et s'il n'y a pas de corrélation ?

Sur un terrain rocheux qui est dépourvu de sédiments, il n'y a pas de fréquence. Nous voyons un spectre plat. Quand il s'agit d'un sol sédimenteux, on voit apparaître des pics qui sont proportionnels à l'épaisseur. Plus c'est profond, plus l'épaisseur est grande, plus la fréquence est basse. Par ailleurs, on a les bâtiments qui eux même possèdent leurs propres lois de vibration qui sont mesurables. Cependant, il ne faudrait pas qu'il y ait correspondance entre les deux. Le problème se pose quand un bâtiment est secoué par un séisme il a tendance à se déstructurer et baisser en fréquence. Donc même si le sol est un tant soit peu en dessous de sa fréquence naturelle, le bâtiment va connaître une accélération de sa déstructuration et aura une fréquence approchante de celle du sol et il y a donc forcément risque. Or, aujourd'hui, il nous est heureusement possible de définir la fréquence propre du sol.

Combien de temps requiert une étude de micro zonage ?

Cela dépend. Les Japonais (l'équipe JICA) sont actuellement sur ce projet pour l'ensemble de la wilaya d'Alger qui devra s'étaler sur deux années.

Qui sont les principaux destinataires des résultats de vos recherches ?

L'intérêt est double : les services publics sont directement commanditaires de travaux pour déterminer les possibilités d'urbanisation selon les conditions naturelles locales ; de plus, les données



sont d'un grand intérêt pour faire progresser les méthodes et les connaissances scientifiques.

J'ai personnellement déjà eu à travailler avec les responsables communaux. Ces derniers étaient au fait de l'évolution de l'étude, notamment pour ce qui est des interprétations des résultats devant être ultérieurement communiqués aux architectes, bien entendu.

Pouvez-vous nous énumérer globalement les différentes méthodes d'enregistrement des bruits ?

Il y a d'autres méthodes qui utilisent par exemple les aspects géologiques et géotechniques. Pour savoir quelles sont les différentes couches qui entrent en ligne de compte, si elles ont un pouvoir de liquéfaction ou un pouvoir de mobilisation, quelle est leur réponse aux essais, etc.

Existe-t-il par ailleurs, des méthodes permettant le positionnement des failles ?

Aux Etats Unis, la faille de San Andreas, il s'agit sans nul doute de la faille la plus connue au monde parce qu'elle a fait l'objet d'énormément d'études. Mais elle a "occulté" l'existence des zones sismiques qui n'étaient pas connues auparavant.

Que peut-on dire de la faille qui se situe dans la zone de Boumerdès ?

C'est une fracture ancienne qui a fonctionné sans doute il y a très longtemps. Vu qu'elle se situe en mer, il est très difficile d'établir une cartographie. Il y a eu, toutefois, une étude qui a été faite juste avant le séisme de Boumerdès par le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) Un bateau doit venir prochainement afin justement de finaliser l'étude en question, établir une cartographie et identifier les mécanismes d'émergence de la faille en surface et au niveau du sol marin. Ce que l'on peut a priori avancer c'est que l'on connaît la direction de la faille en question, ses mécanismes et son mode de fonctionnement. On doit, pour cela la localiser en mer. Cette méthode permet d'identifier les enjeux liés au risque sismique. La prévention et l'information sont les seuls moyens dont nous disposons. En fait, si nous pouvons déterminer l'aire géographique de l'activité sismique, nous ne pouvons ni déterminer ni prévoir où et quand se produira un séisme. Un exemple de la complexité des données en notre possession, il existe des zones parcourues par plusieurs failles, ce qui rend d'autant plus difficile l'évaluation des choses.

...Pour aller plus loin : une expertise utile à la prévention parasismique.

Nous avons voulu en savoir plus sur le travail de l'équipe de recherche qui collabore avec le CGS, en abordant avec monsieur " Stéphane CARTIER ", sociologue au CNRS, la notion de prévention des risques majeurs sur un plan institutionnel. Selon lui, l'Algérie est engagée dans un processus de mise aux normes de ses aménagements. Elle doit pour cela injecter plus de rigueur et de " vigilance publique " à la fois dans les mécanismes de contrôle et de gestion des risques majeurs, notamment le risque sismique, ainsi qu'une meilleure harmonisation des démarches entre les institutions de l'Etat et l'ensemble des acteurs de la construction.

Dans cette perspective, les sciences sociales peuvent apporter un éclairage intéressant sur les processus et évolutions des politiques publiques et des systèmes législatifs mis en place. Les sciences sociales s'intéressent également au débat très médiatique qui s'est engagé après le séisme de Boumerdès et qui a débouché, à titre d'exemple, sur l'incrimination des entreprises de construction dans les organes de presse.

Composée d'un sociologue, d'une juriste et d'un géographe, l'équipe d'experts en sciences sociales intégrée au CGS est chargée de réfléchir sur les formes et modalités à donner en matière de prévention du risque en vue de leur utilisation sur le terrain avec les populations vulnérables.

La création d'organismes et d'interfaces d'information et de sensibilisation entre l'ensemble des acteurs et les populations s'avère des plus nécessaires. Un langage courant et compris par le plus grand nombre est souhaité pour fluidifier l'information et rendre plus efficace la mission de prévention.

Condition nécessaire pour un professionnalisme sérieux et efficace, la circulation de l'information est aujourd'hui encore faible en Algérie en raison de cloisonnements individualistes.

Les enjeux du microzonage constituent un défi collectif pour l'ensemble des villes en cours de croissance. Pour l'ensemble des pays méditerranéens, les réflexions en cours en Algérie contribuent à progresser sur les conditions sociales d'un urbanisme parasismique au profit de pratiques individualistes qui limitent le champ de diffusion de l'information, limitant ainsi sa portée à un feu de paille.