



**HAL**  
open science

## Enseignements du projet E2VP pour l'utilisation des méthodes de simulation numérique 3D dans la prise en compte des effets de site dans les études d'aléa sismique

Fabrice Hollender, Emeline Maufroy, Emmanuel Chaljub, Pierre-Yves Bard, Peter Moczo, Jozef Kristek, Florent de Martin

### ► To cite this version:

Fabrice Hollender, Emeline Maufroy, Emmanuel Chaljub, Pierre-Yves Bard, Peter Moczo, et al.. Enseignements du projet E2VP pour l'utilisation des méthodes de simulation numérique 3D dans la prise en compte des effets de site dans les études d'aléa sismique . 9ème Colloque National AFPS2015, AFPS / IFSTTAR, Nov 2015, Marne-la-Vallée, France. insu-01742621

**HAL Id: insu-01742621**

**<https://insu.hal.science/insu-01742621>**

Submitted on 25 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Enseignements du projet E2VP pour l'utilisation des méthodes de simulation numérique 3D dans la prise en compte des effets de site dans les études d'aléa sismique

## E2VP project learnings for the use of 3D numerical ground motion simulation methods to take into account for site effects in seismic hazard studies

Fabrice Hollender\*,\*\* – Emeline Maufroy\*\* – Emmanuel Chaljub\*\* – Pierre-Yves Bard\*\* – Peter Moczo\*\*\* – Jozef Kristek\*\*\* – Florent De Martin\*\*\*\*

(+ de nombreux autres collaborateurs)

\* CEA Cadarache, St Paul-lez-Durance, France, [fabrice.hollender@cea.fr](mailto:fabrice.hollender@cea.fr)

\*\* Univ. Grenoble Alpes, ISTERre, Grenoble, France

\*\*\* Comenius University in Bratislava, Bratislava, Slovaquie

\*\*\*\* BRGM, Centre scientifique et technique, Orléans, France

---

**RÉSUMÉ.** Le recours à la simulation pour évaluer les effets de site est souvent nécessaire dans les zones à faible sismicité. Le projet « E2VP » (Euroseistest Verification and Validation Project), avait pour but d'évaluer la robustesse des méthodes de simulation dans un cas linéaire 3D complexe. Il a été le cadre de travaux variés et d'avancées dans les pratiques de simulation. L'étape de vérification consiste à vérifier que plusieurs outils de simulation, partant d'un même problème physique, obtiennent les mêmes résultats. Des « cas canoniques » exigeants mais représentatifs de cas réels ont été définis, testés par plusieurs équipes : ces cas tests sont aujourd'hui disponibles pour toute nouvelle équipe. La validation (confrontation entre résultats de simulation et données réelles) a impliqué de définir une métrique propre. Des comparaisons détaillées des « distances » séparant les simulations entre elles et séparant les simulations des données réelles, ont été confrontées à la variabilité intrinsèque des mouvements sismiques. Les outils de simulation ont également permis de comprendre l'origine physique de certaines variabilités de l'effet de site, notamment celles liées au back-azimut des séismes considérés. Le projet a permis de suivre l'évolution du misfit observations / simulations pour différentes « générations » de modèle géologique, des paramètres de source, du modèle « de bedrock », et de la base de données accélérométrique. Le projet s'est révélé riche d'enseignements sur la démarche globale d'estimation des effets de site, en delà de la seule simulation numérique.

**ABSTRACT.** The use of simulation to assess the site effect is often required in low seismicity areas. The "E2VP" project (Euroseistest Verification and Validation Project) launched in 2008 aimed to assess the robustness of simulation methods in complex linear 3D cases. The project E2VP was the framework of various works and advances in simulation practice. The verification step consists in checking that different simulation tools, starting from the same physical problems, lead the same results. Stringent "canonical cases" (but representative of real cases) have been defined and tested by several teams. These tests are now available online for any new team. The validation step (comparison between simulation results and actual data) involved to define their own metrics. Detailed comparisons of the "distance" between the simulations themselves and between simulations and real data have been confronted with the intrinsic variability of seismic ground motions. Simulation tools were also used to understand the physical origin of some source of variability of the site effect, including those related to the back-azimuth. The project helped evolution of the misfit between observations and simulations for different "generations" of geological models, source parameters, the model of "bedrock", and the database version. The project was rich in learnings on the global approach of site effect estimation, beyond the simple numerical simulation.

**MOTS-CLÉS :** effets de site, simulation numérique, Euroseistest, vérification, validation.

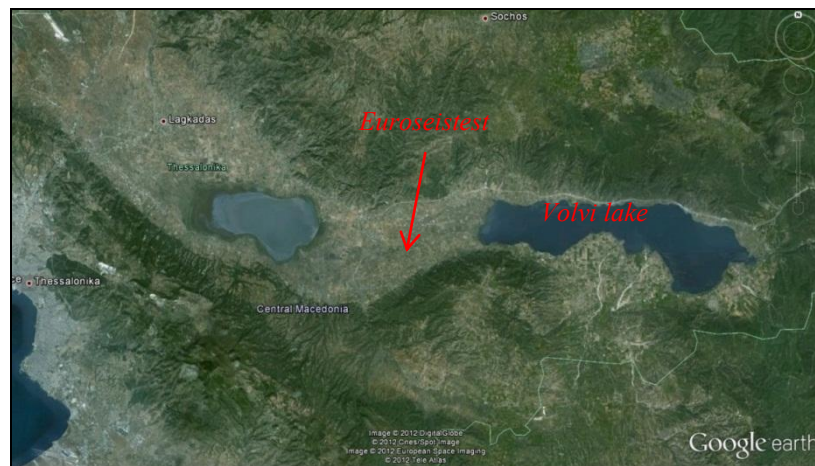
**KEYWORDS :** site effect, numerical simulation, Euroseistest, verification, validation.

---

Le recours à la simulation pour évaluer les effets de site est souvent nécessaire dans les zones à faible sismicité, où les approches empiriques semblent difficiles à utiliser compte tenu du faible nombre de séismes régionaux, associé à de forts niveaux de bruit des sites industriels. Le projet « E2VP » (Euroseistest Verification and Validation Project), lancé en 2008, avait pour but d'évaluer la robustesse des méthodes de simulation dans un cas linéaire 3D complexe jusqu'à une fréquence de 4Hz.

La première étape de projet a consisté dans le choix d'un site-test. Ce choix s'est alors naturellement porté sur le site « Euroseistest », au Nord-Est de Thessalonique en Grèce (Figure 1) car il présentait les avantages suivants :

- disponibilité d'enregistrements de séismes en de nombreuses stations, et notamment de séismes locaux (ces données sont aujourd'hui distribuées sur la plateforme <http://euroseisdb.civil.auth.gr>, Ptilakis *et al.* 2013),
- disponibilité d'un modèle de propriété 3D (Manakouet *et al.* 2010), permettant relativement directement de commencer les travaux de simulation numériques,
- possibilité d'une utilisation libre de l'ensemble de ces données.



**Figure 1.** Localisation du site « EuroseisTest ».

Le projet E2VP a été le cadre de travaux variés et d'avancées dans les pratiques de simulation. L'étape de vérification est essentielle : elle consiste à vérifier que plusieurs outils de simulation, partant d'un même problème physique, obtiennent les mêmes résultats. Des « cas canoniques » exigeants en termes de performance mais représentatifs de cas réels (biseaux, rapports  $V_p/V_s$  élevés...) ont été définis (voir un exemple Figure 2), testés par plusieurs équipes et commentés (Chaljub *et al.* 2015) : ces cas tests sont aujourd'hui disponibles pour toute nouvelle équipe souhaitant tester son code. Ils ont été mis en ligne sur le site : <http://www.sismowine.org>.

La validation (confrontation entre résultats de simulation et données réelles) a impliqué de définir une métrique propre, permettant la comparaison de nombreux signaux entre eux (plusieurs stations, séismes...) faisant appel à des paramètres « d'ingénieur ». Des comparaisons détaillées des « distances » séparant les simulations entre elles et séparant les simulations des données réelles, ont été confrontées à la variabilité intrinsèque des mouvements sismiques (Maufroy *et al.* 2015). La Figure 3 présente carte du bassin Mygdonien, quelques caractéristiques du modèle de propriété dans sa version de 2014, ainsi que les épicentres des séismes utilisés. La Figure 4 illustre des rapports « sites du référence » issus de données réelles d'une part, et issus de simulations numériques d'autre part, et ce, pour la version 2014 du modèle de propriété 3D.

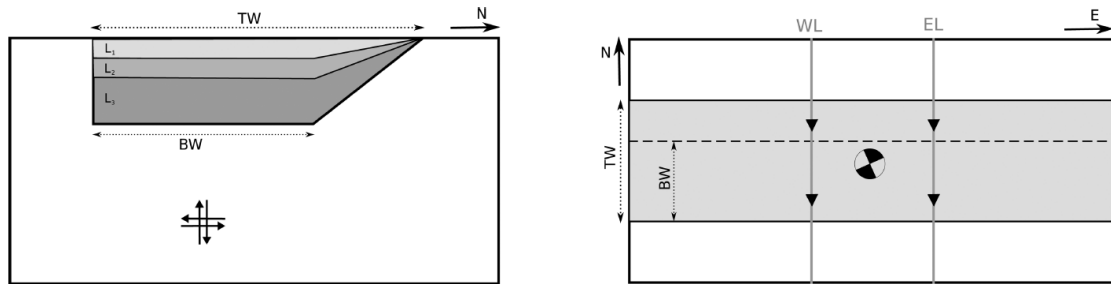


Figure 2. Représentation simplifiée d'un des « cas canoniques » développé (d'après Chaljub et al. 2015).

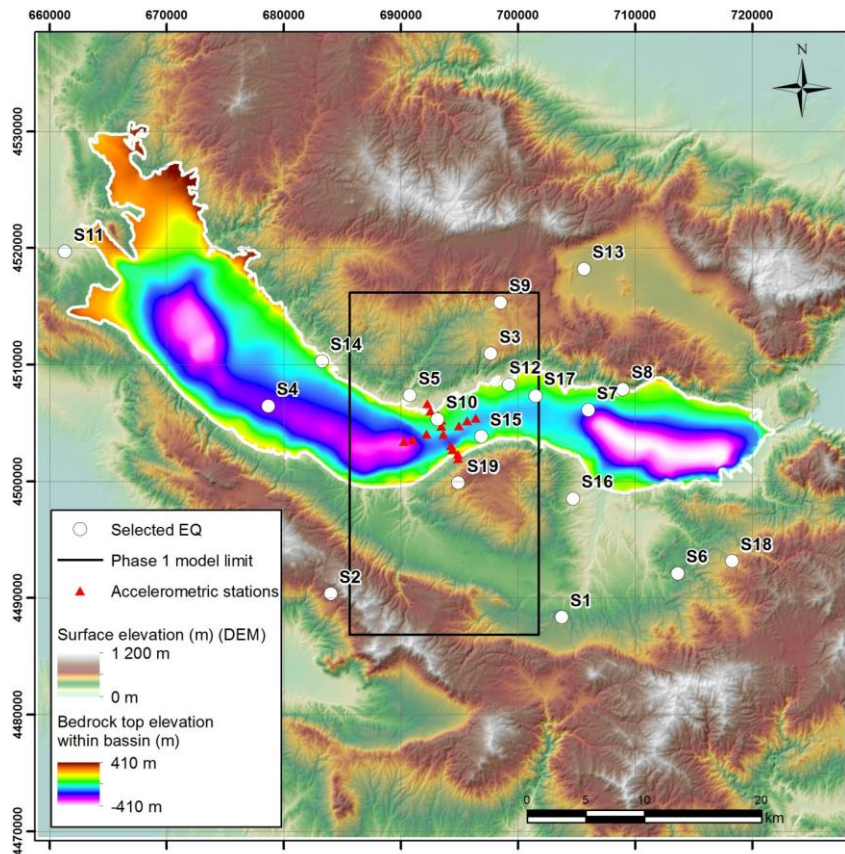
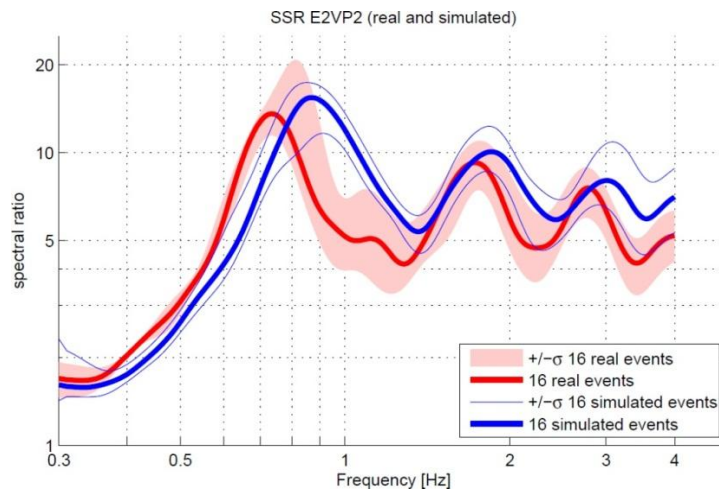


Figure 3. Carte du bassin Mygdonien au Nord-Est de Thessalonique et Grèce, site-test utilisé pour le projet E2VP. Couleurs vives au centre de la figure : élévation de l'interface sédiment/encaissant rocheux sous le bassin Mygdonien. Couleur plus sombre autour du bassin : modèle numérique de terrain. Triangle rouge au centre du bassin : stations accélérométriques du réseau Euroesistest. Disques blancs : épicentres des séismes utilisés pour la phase 2 du projet E2VP.



**Figure 4.** Comparaison entre rapports SSR empiriques et simulés.

Les outils de simulation ont également permis de comprendre l'origine physique de certaines variabilités de l'effet de site, notamment celles liées au back-azimut des séismes considérés. Le projet a permis de suivre l'évolution du misfit observations / simulations pour différentes « générations » de modèle géologique, des paramètres de source, du modèle « de bedrock », et de la base de données accélérométriques. Il s'est révélé riche d'enseignements sur la démarche globale d'estimation des effets de site, en dehors de la seule simulation numérique.

### Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre des programmes de recherche CASHIMA (financé par le CEA, l'ILL et ITER Organisation) et SIGMA (financé par EdF, le CEA, Aréva et Enel).

Nous remercions l'ensemble des participants au projet E2VP en nommant ici ceux qui n'ont pu être mentionnés dans la liste des auteurs, faute de place... : Enrico Priolo, Peter Klin, Zhenguo Zhang, Wei Zhang, Xiaofei Chen, A. Iwaki, T. Iwata, V. Etienne, N. P. Theodoulidis, M. Manakou, C. Guyonnet-Benaize, K. Pitilakis, Z. Roulemioti.

### Bibliographie

- Chaljub E., Emeline Maufroy, Peter Moczo, Jozef Kristek, Hollender F., Pierre-Yves Bard, Enrico Priolo, Peter Klin, Florent De Martin, Zhenguo Zhang, Wei Zhang, Xiaofei Chen, 2015, *3-D numerical simulations of earthquake ground motion in sedimentary basins: testing accuracy through stringent models*, Geophys. J. Int. (2015) 201, 90–111.
- Manakou M., D.G. Raptakisa, F.J. Cha vez-Garcia, P.I. Apostolidisa, K.D. Pitilakis, *3D soil structure of the Mygdonian basin for site response analysis*, 2010, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30 (2010) 1198–1211.
- Maufroy E., E. Chaljub, F. Hollender, J. Kristek, P. Moczo, P. Klin, E. Priolo, A. Iwaki, T. Iwata, V. Etienne, F. De Martin, N. P. Theodoulidis, M. Manakou, C. Guyonnet-Benaize, K. Pitilakis, and P.-Y. Bard, 2015, *Earthquake Ground Motion in the Mygdonian Basin, Greece: The E2VP Verification and Validation of 3D Numerical Simulation up to 4 Hz*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 105, No. 3, pp. 1398–1418, June 2015, doi: 10.1785/0120140228.
- Pitilakis K., Zafeiria Roumelioti, Dimitris Raptakis, Maria Manakou, Konstantinos Liakakis, Anastasios Anastasiadis, and Dimitris Pitilakis, *The EUROSEISTEST Strong-Motion Database and Web Portal*, 2013, Seismological Research Letters, September/October 2013, v. 84, p. 796-804.