



HAL
open science

Ayiti-séismes : une plateforme sismologique citoyenne pour une meilleure estimation de l'aléa sismique en Haïti

Tony Monfret, Sylvert Paul, Françoise Courboux, Anne Deschamps, Jérôme Chèze, Fabrice Peix, Eric Calais, Steeve Symithe, Dominique Boisson

► To cite this version:

Tony Monfret, Sylvert Paul, Françoise Courboux, Anne Deschamps, Jérôme Chèze, et al.. Ayiti-séismes : une plateforme sismologique citoyenne pour une meilleure estimation de l'aléa sismique en Haïti. 11ème Colloque de l'AFPS, AFPS, Nov 2023, Gosier (Guadeloupe), France. 10.7914/SN/HY . hal-04802368

HAL Id: hal-04802368

<https://hal.science/hal-04802368v1>

Submitted on 28 Nov 2024

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.

Ayiti-séismes : une plateforme sismologique citoyenne pour une meilleure estimation de l'aléa sismique en Haïti

Tony Monfret^{1,3,5*}, Sylvert Paul^{1,2,3}, Françoise Courboux^{1,3}, Anne Deschamps^{1,3}, Jérôme Chèze^{1,3}, Fabrice Peix^{1,3}, Eric Calais^{1,3,4}, Steeve Symithe^{2,3}, Dominique Boisson^{2,3}

¹ Université Côte d'Azur, IRD, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, Géoazur, Valbonne, France, tony.monfret@geoazur.unice.fr, courboux@geoazur.unice.fr, deschamps@geoazur.unice.fr, cheze@geoazur.unice.fr, peix@geoazur.unice.fr, * Corresponding author,

² Université d'Etat d'Haïti, Faculté des Sciences, URGéo, Haïti, Sylvert.PAUL@geoazur.unice.fr, symithesteevej@gmail.com, dmbousson@yahoo.com

³ CARIBACT Joint Research Laboratory, IRD/UCA/UEH, Port-au-Prince, Haïti

⁴ Ecole Normale Supérieure, Université PSL, Paris, France, eric.calais@ens.fr

⁵ Barcelona Center for Subsurface Imaging, Institut de Ciències del Mar (ICM), CSIC, Barcelona, Spain

Résumé. La plateforme Ayiti-séismes permet de localiser en temps réel la sismicité qui se produit en Haïti. Pour cela, elle utilise les données de 20 stations Raspberry Shake, stations sismiques à bas coût, installées chez des hébergeurs en Haïti, mais aussi les données provenant de stations appartenant à des réseaux sismologiques des pays limitrophes. Depuis son démarrage en août 2019, Ayiti-séismes a localisé ~4000 séismes sur le territoire haïtien, dont le séisme de Nippes, Mw 7,2 du 14 août 2021 et ses répliques. La plateforme a mis en évidence plusieurs essaims de sismicité, déclenchés par le séisme de Nippes, dont l'un à terre, proche des villes de Miragoâne et Anse-à-Veau, un autre en mer, au nord de la ville de Jérémie. Les essaims observés sont associés à l'activation de systèmes de failles distincts de la faille d'Enriquillo et présentent des aléas additionnels pour l'estimation du risque sismique dans la Péninsule du sud en Haïti.

ABSTRACT. The Ayiti-séismes platform monitors in real time the seismicity occurring in Haiti. To do so, it uses data from 20 Raspberry Shake stations, low-cost seismic stations installed at hosts in Haiti, but also data from stations belonging to seismological networks in neighboring countries. Since its start in August 2019, Ayiti-seismes has located ~4000 earthquakes on the Haitian territory, including the Nippes earthquake, Mw 7.2 on August 14, 2021 and its aftershocks. The platform has highlighted several swarms of seismicity, triggered by the Nippes earthquake, one on land, near the cities of Miragoâne and Anse-à-Veau, another at sea, north of the city of Jérémie. The observed swarms are associated with activation of fault systems distinct from the Enriquillo Fault and present additional hazards for estimating seismic risk in the southern peninsula of Haiti.

Mots Clés : séisme, aléa, plateforme citoyenne, essaim, station à bas coût, Nippes

Introduction

L'île d'Hispaniola se situe le long de la limite de plaque entre la plaque Amérique du Nord et la plaque Caraïbe. L'activité sismique qui s'y produit, se localise majoritairement le long des failles qui matérialisent la limite de plaques. Des tremblements de terre destructeurs de magnitude > 7 y ont été répertoriés dès 1542 [1]. Coté haïtien, ces séismes sont principalement localisés dans la croûte (profondeur < 30 km) le long des grandes failles décrochantes sénestres comme la faille Septentrionale au nord (Figure 1) qui a connu

plusieurs séismes destructeurs comme en 1542, 1751, 1842, 1887 et la faille d'Enriquillo au sud (Figure 1) en 1701, 1751, 1770, 1860. En République Dominicaine, certains séismes sont associés à la subduction de la plaque Amérique du nord sous la plaque Caraïbe ainsi qu'à la zone la subduction de la plaque Caraïbe le long de la fosse de Muertos. Certains événements ont généré des tsunamis destructeurs comme celui de 1842 dans le nord d'Haïti [2]. Cependant, malgré une activité sismique connue depuis longtemps, le premier réseau sismologique permanent en Haïti n'a vu le jour qu'en 2011 [3], suite au séisme du 12 janvier 2010, l'un des plus meurtriers de la planète : les seules données sismologiques de cet événement catastrophique enregistrées sur le territoire haïtien, provenaient d'une station « sismo-à-l'école » du lycée Alexandre Dumas, à Port-au-Prince. Le réseau permanent, prévu pour fonctionner avec 11 stations large-bande, reliées par satellite à l'Unité Technique de Sismologie (UTS) du Bureau des Mines et de l'Energie (BME) [3], s'est trouvé, dès ses débuts, dans l'incapacité d'être opérationnel à l'échelle du pays, principalement par faute de moyens pour assurer son bon fonctionnement.

La plateforme citoyenne Ayiti-séismes

Face à ce constat, un projet de réseau sismologique citoyen a été lancé en 2019 comme composante d'une étude plus vaste, combinant à la fois la sismologie et la sociologie à l'échelle des citoyens [4]. Le réseau sismologique citoyen se compose de 20 stations à bas coût Raspberry Shake (RS), installées chez des hébergeurs volontaires disposant de l'électricité et d'une connexion internet. La majorité des RS ont un capteur vélocimétrique 1-composante et un accéléromètre MEMS 3-composantes. Les données de ces stations sont récupérées, en temps réel via seedlink, par la plateforme Ayiti-séismes (<https://ayiti.unice.fr/ayiti-seismes/#/>) et sont publiques sous le code réseau HY (10.7914/SN/HY). Cette plateforme citoyenne est un outil élaboré au laboratoire Géoazur qui, à partir des données des RS, de celles de quelques stations large-bande déployées en Haïti et celles d'autres stations appartenant à des réseaux sismologiques des pays voisins (Cuba, République Dominicaine, Jamaïque, Etats-Unis), assure la détection, la localisation et la détermination de la magnitude, en temps réel, de tremblements de terre qui se produisent en Haïti et ses alentours. Elle permet également à chaque hébergeur de connaître l'état, en temps réel, de la station qu'il héberge et met à disposition le catalogue Ayiti-séismes des séismes ayant été localisés par la plateforme. La magnitude de complétude est proche de 2,5. On y trouve ~4000 événements répertoriés depuis le 1^{er} août 2019, localisés sur le territoire haïtien (Figure 1). Aussi, en un peu moins de quatre ans de fonctionnement, le catalogue d'Ayiti-séismes donne une vision plus complète des zones tectoniquement actives, qui sont en général proches des failles Septentrionale et d'Enriquillo, information qui devrait permettre une meilleure estimation de l'aléa sismique en Haïti.

Le séisme de Nippes du 14 août 2021, Mw 7,2

La plateforme citoyenne Ayiti-séismes est restée opérationnelle avant, pendant et après le tremblement de terre de Nippes (Mw 7,2), qui s'est produit le 14 août 2021 et dont le bilan est ~ 2500 morts, ~13000 blessés et d'importants dégâts matériels [5, 6]. Elle a permis de suivre en direct la distribution spatio-temporelle des répliques, de faire une étude poussée de la cinématique de la rupture du séisme principal, de diagnostiquer la décroissance de la sismicité en fonction du temps comme information importante auprès des autorités pour la gestion des secours [5]. Ce séisme a aussi mis en évidence l'implication des hébergeurs, surtout dans la Presqu'île du Sud où a eu lieu le séisme, dans la gestion des RS qu'ils hébergent pour que ces dernières soient opérationnelles le plus longtemps possible. Il se trouve que le seul enregistrement accélérométrique en champ proche de ce séisme provient d'une RS située à 21 km de l'épicentre du choc principal : le PGA enregistré sur la composante N-S a été de 3,2

m/s² [5]. A partir de cette donnée unique en champ proche, l'USGS a pu établir rapidement une « shakemap » de la zone affectée.

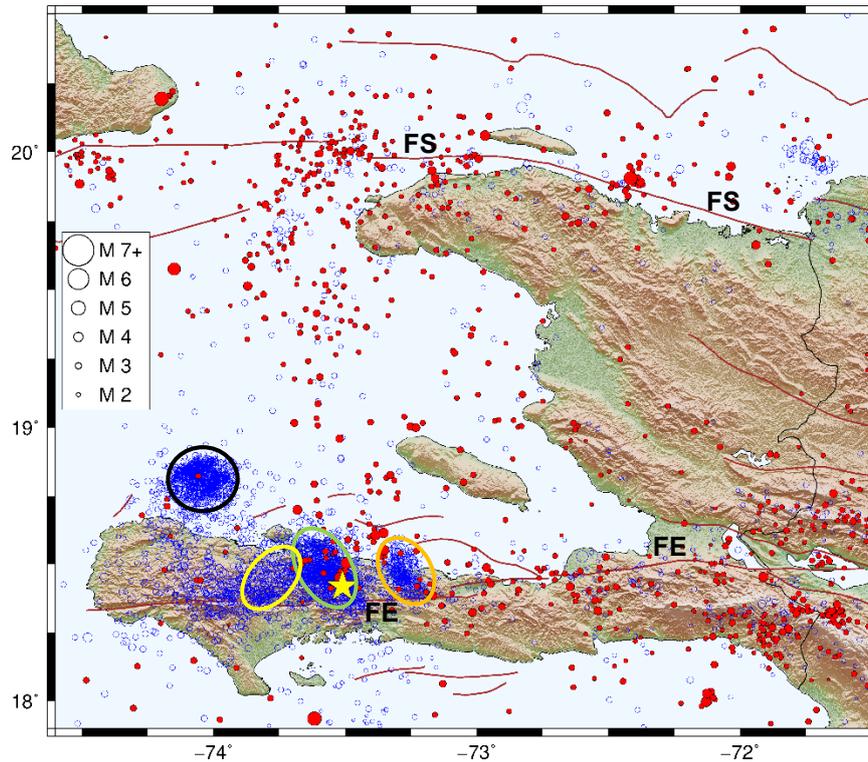


Figure 1 : Séismes détectés et localisés en Haïti par Ayiti-séismes entre août 2019 et le 13 août 2021 (cercles rouges) et entre le 14 août 2021 et 16 mars 2023 (cercles bleus). Le cercle noir délimite l'essai de sismicité en mer, au nord de la ville de Jérémie, l'ellipse orange, délimite l'essai de sismicité à terre, proche des villes d'Anse-à-Veau et Miragoâne, l'ellipse jaune, celui entre les villes de Camp-Perrin au sud et Pestel au nord, l'ellipse verte, celui associé à l'hypocentre du choc principal du séisme de Nippes, Mw 7,2, du 14 août 2021. L'étoile jaune indique l'épicentre du séisme de Nippes d'après Calais et al. [5]. Les lignes marrons représentent les principales failles connues. FS = faille Septentrionale, FE = faille d'Enriquillo (Figure modifiée de Paul et al. [7])

Failles actives et aléa sismique

Dans la Presqu'île du Sud, l'activité post-sismique au tremblement de terre de Nippes du 14 août 2021 et monitorée par Ayiti-séismes, a mis en évidence plusieurs zones de répliques ou essaims de sismicité, proches des villes de Miragoâne – Anse-à-Veau, Jérémie, Pestel et Camp-Perrin (Figure 1). L'essai proche de Miragoâne et Anse-à-Veau (Figure 1, ellipse orange) est localisé principalement à terre et a connu plusieurs phases d'activation, notamment en janvier-février 2022, avec deux séismes de magnitude Mw 5,5 et 5,4, colocalisés et correspondant à des mécanismes en faille inverse [8, 9] : la localisation précise de cette sismicité est en voie d'évaluation. C'est aussi dans cette même zone que se sont produits le 8 avril 1860 deux séismes de magnitude 6,2 et 6,8 [9]. L'essai proche de la ville de Jérémie (Figure 1, cercle noir) est localisé principalement en mer, au sud du bassin de Jérémie, probablement le long du système de faille Jérémie-Malpasse [8] ; cet essai était encore très actif en mars 2023 et se trouve près de l'épicentre du séisme de magnitude M6.6 du 10 avril 1860 estimée par Martin & Hough [9]. Les essaims associés aux ellipses jaune et verte (Figure 1) et directement associés au choc principal du séisme de Nippes [5, 10, 11], imagent des structures à pendage nord-est (ellipse verte) et nord-ouest (ellipse jaune) [10]. De par leur distribution géographique, les quatre essaims sont associés à des systèmes de failles différentes de la faille d'Enriquillo.

Conclusion

Les essais sont clairement associés à des systèmes de failles distinctes de la faille d'Enriquillo et engendrent des aléas additionnels pour une estimation plus précise du risque sismique dans cette région [12], en particulier pour les villes de Jérémie (~31000 habitants), Anse-à-Veau (~35000 habitants), Miragoâne (~57000 habitants), Camp-Perrin (~46000 habitants) et Pestel (~36000 habitants).

Remerciements

Nous remercions les citoyens et les institutions qui hébergent les stations RS en Haïti. Cette étude a pu se réaliser grâce à l'appui du CNRS et de l'IRD à travers le programme « Risque Naturel » (projet S2RHA1), du programme européen INTERREG Caraïbes (projet PREST), de l'ANR (projet ANR-21CE03-0010 "OSMOSE") et au soutien de l'Université Côte d'Azur et de l'Ambassade de France en Haïti qui financent la bourse de thèse de Sylvert Paul.

Références

- [1] Bakun, W. H., Flores, C. H., & ten Brink, U. S. (2012) "*Significant earthquakes on the Enriquillo fault system, Hispaniola, 1500–2010: Implications for seismic hazard*". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 102(1), 18-30.
- [2] Gailler, A., Calais, E., Hébert, H., Roy, C., & Okal, E. (2015). "*Tsunami scenarios and hazard assessment along the northern coast of Haiti*". *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 203(3), 2287-2302.
- [3] Beton P. (2019) "*Dix ans après le séisme de 2010, quels sont les outils mis en place pour une meilleure prise en compte des risques sismiques en Haïti ?*". *Haïti Perspectives*, vol. 7, 2, 51-58.
- [4] Calais, E., Boisson, D., Symithe, S., Prépetit, C., Pierre, B., Ulyse, S., ... & Clouard, V. (2020) "*A socio-seismology experiment in Haiti*". *Frontiers in Earth Science*, 8, 542654, doi: 10.3389/feart.2020.542654.
- [5] Calais, E., Symithe, S., Monfret, T., Delouis, B., Lomax, A., Courboux, F., ... & Meng, L. (2022) "*Citizen seismology helps decipher the 2021 Haiti earthquake*". *Science*, 376(6590), 283-287.
- [6] Cabas, A., C. Lorenzo-Velazquez, N. Ingabire Abayo, C. Ji, J. Ramirez, F. E. Garcia, J. Pérodin, Y.-W. Hwang, S. Dashti, N. E. Ganapati, et al. (2022) "*Intersectional Impacts of the 2021 Mw 7.2 Nippes, Haiti, Earthquake from Geotechnical and Social Perspectives*". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 113, 73-98, doi: 10.1785/0120220118.
- [7] Paul, S., Monfret, T., Courboux, F., Chèze, J., Calais, E., Symith, S. J., ... & Boisson, D. (2023) "*Monitoring of local earthquakes in Haiti using low-cost, citizen-hosted seismometers and regional broadband stations*". *Seismological Research Letters*, doi: 10.1785/0220230059.
- [8] Calais, E., S. J. Symithe, and B. M. de Lépinay (2022) "*Strain Partitioning within the Caribbean–North America Transform Plate Boundary in Southern Haiti, Tectonic and Hazard*". *Bull. Seismol. Soc. Am. Implications*". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 113, 131–142, doi: 10.1785/0120220121.
- [9] Martin, S. S., and S. E. Hough (2022) "*The 8 April 1860 Jour de Pâques Earthquake Sequence in Southern Haiti*". *Bull. Seismol. Soc. Am.* 112, 2468–2486, doi: 10.1785/0120220016.
- [10] Douilly, R., S. Paul, T. Monfret, A. Deschamps, D. Ambrois, S. J. Symithe, S. St Fleur, F. Courboux, E. Calais, D. Boisson, et al. (2022). "*Rupture Segmentation of the 14 August 2021 Mw 7.2 Nippes, Haiti, Earthquake Using Aftershock Relocation from a Local Seismic Deployment*". *Bull. Seismol. Soc. Am.* 113, 58-72, doi: 10.1785/0120220128.
- [11] Zoe Yin, H., X. Xu, J. S. Haase, R. Douilly, D. T. Sandwell, and B. Mercier de Lépinay (2022) "*Surface Deformation Surrounding the 2021 Mw 7.2 Haiti Earthquake Illuminated by InSAR Observations*". *Bull. Seismol. Soc. Am.* 113, 41–57, doi: 10.1785/0120220109.
- [12] Frankel, A., Harmsen, S., Mueller, C., Calais, E., & Haase, J. (2011) "*Seismic hazard maps for Haiti*". *Earthquake Spectra*, 27(1_suppl1), 23-4