

# Echoes of Disaster: Seismic Risk and Lessons from Haiti



Susan Hough  
US Geological Survey

# USAID/OFDA-Supported Deployment: USGS-BME



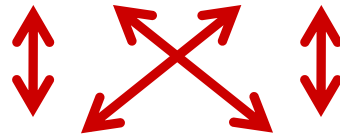
# Seismometers in Haiti, 12 January 2010



# Aftershock Deployments

- Early deployments by French (3), Canadian (3), SouthCom (2) teams
- USGS-OFDA: 6-21 March: 17 sites
  - 1) Improve aftershock locations
  - 2) Ground motion investigations

BME - USGS



ONEV - NRCAN

 Bureau des Mines et de l'Énergie  
US Geological Survey

GS.ROSH

GS.WSYH

GS.SPHI

CN.LGNH

GS.JIDR

M7.0 Mainshock

GS.HCMD

FR.MRGO

FR.GRGV

GS.TRIN

FR.PEML

GS.DBAD

CN.JAKH

GS.HVMG

GS.SJPH

GS.PEDR

Image © 2010 DigitalGlobe  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

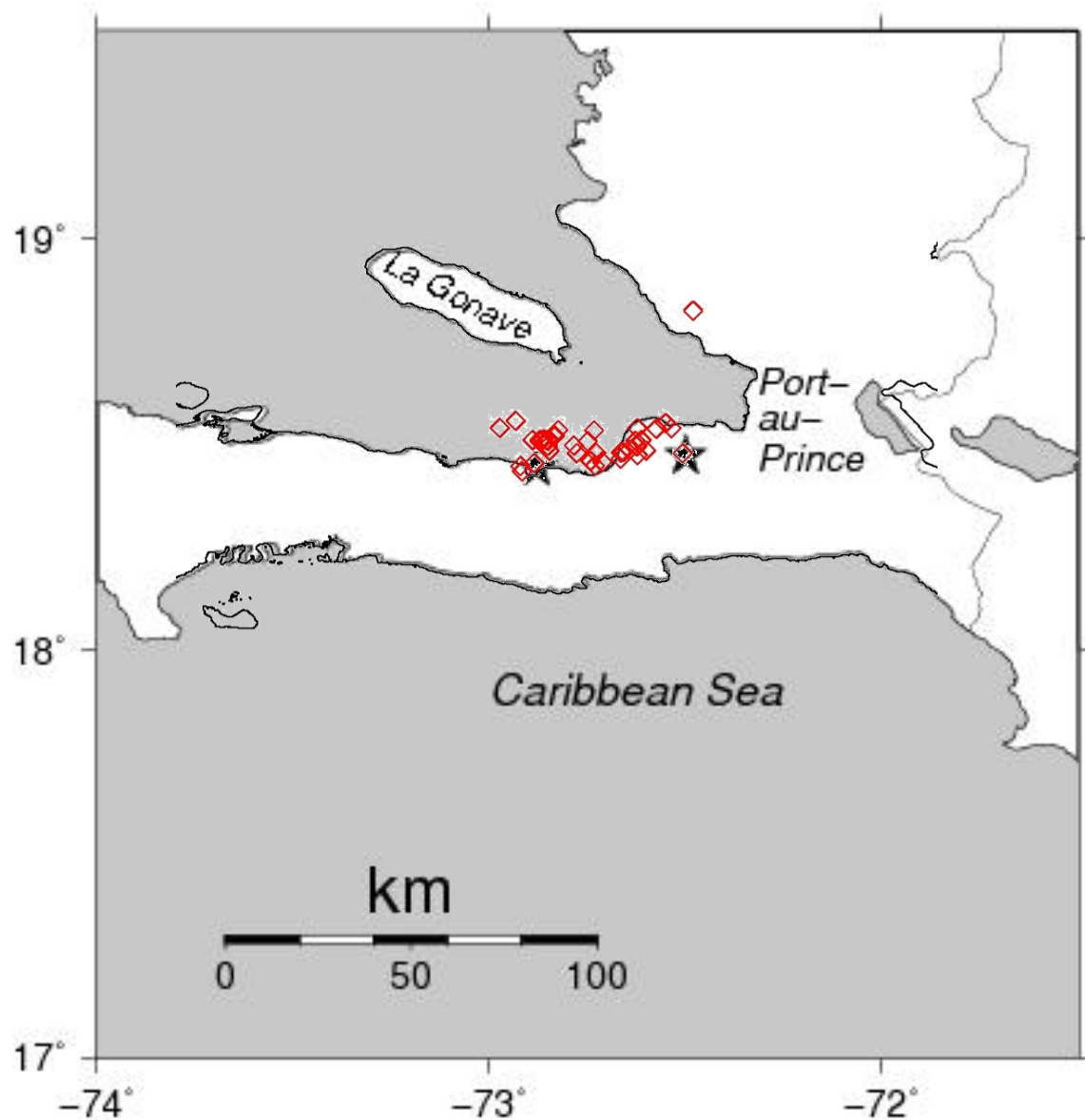
©2009 Google

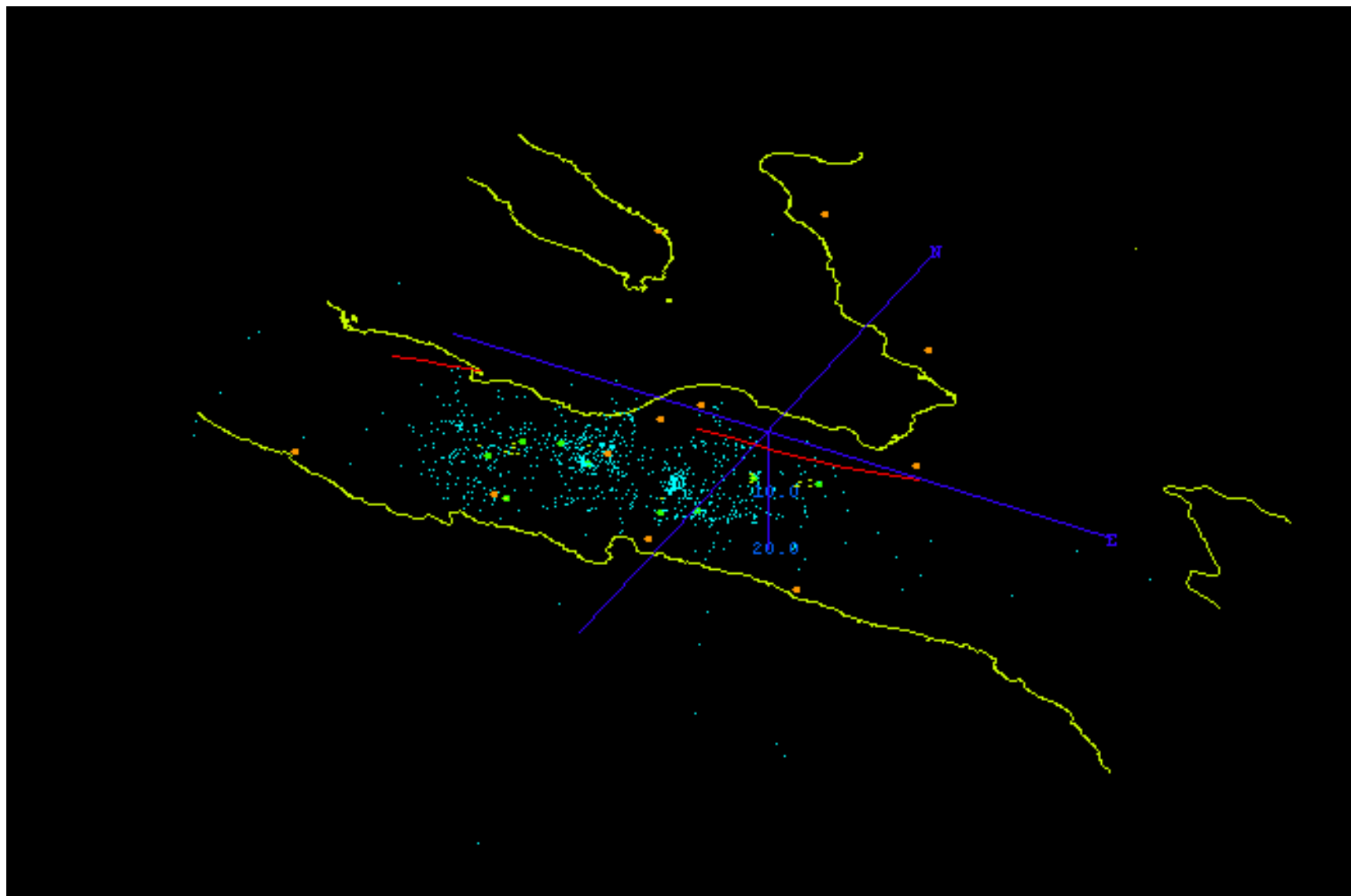
53 km

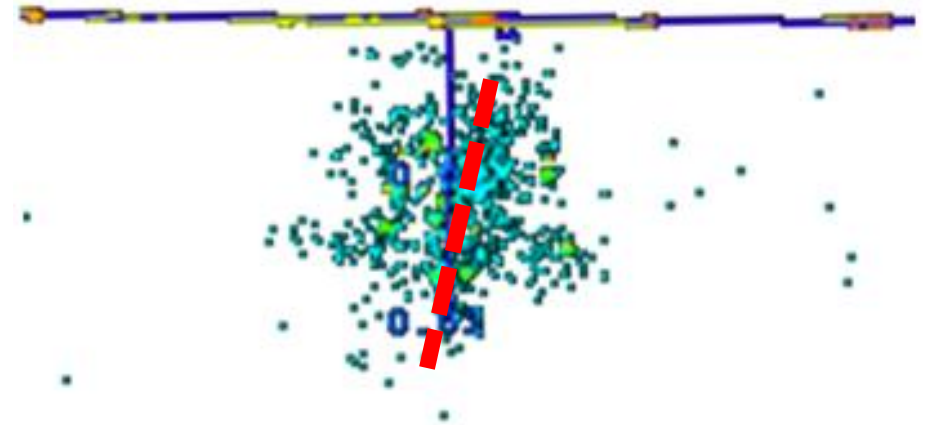
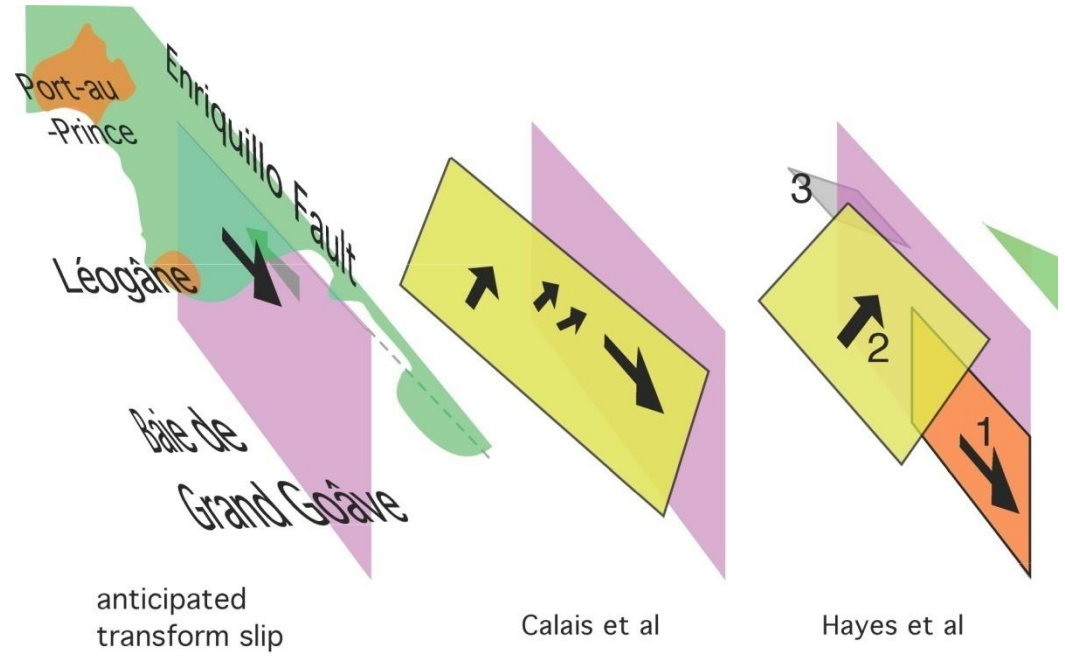
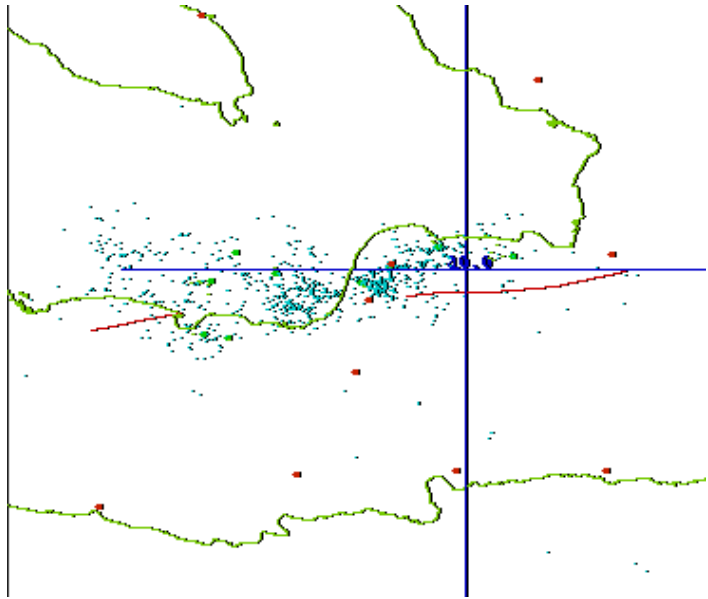
Image © 2010 GeoEye  
lat 18.450586° lon -72.479812° elev 0 m

Eye alt 180.30 km

# Improved Aftershock Locations











Gulf of Gonive



Center for Satellite Based Crisis Information  
- Emergency Mapping & Disaster Monitoring -

Service of 2011

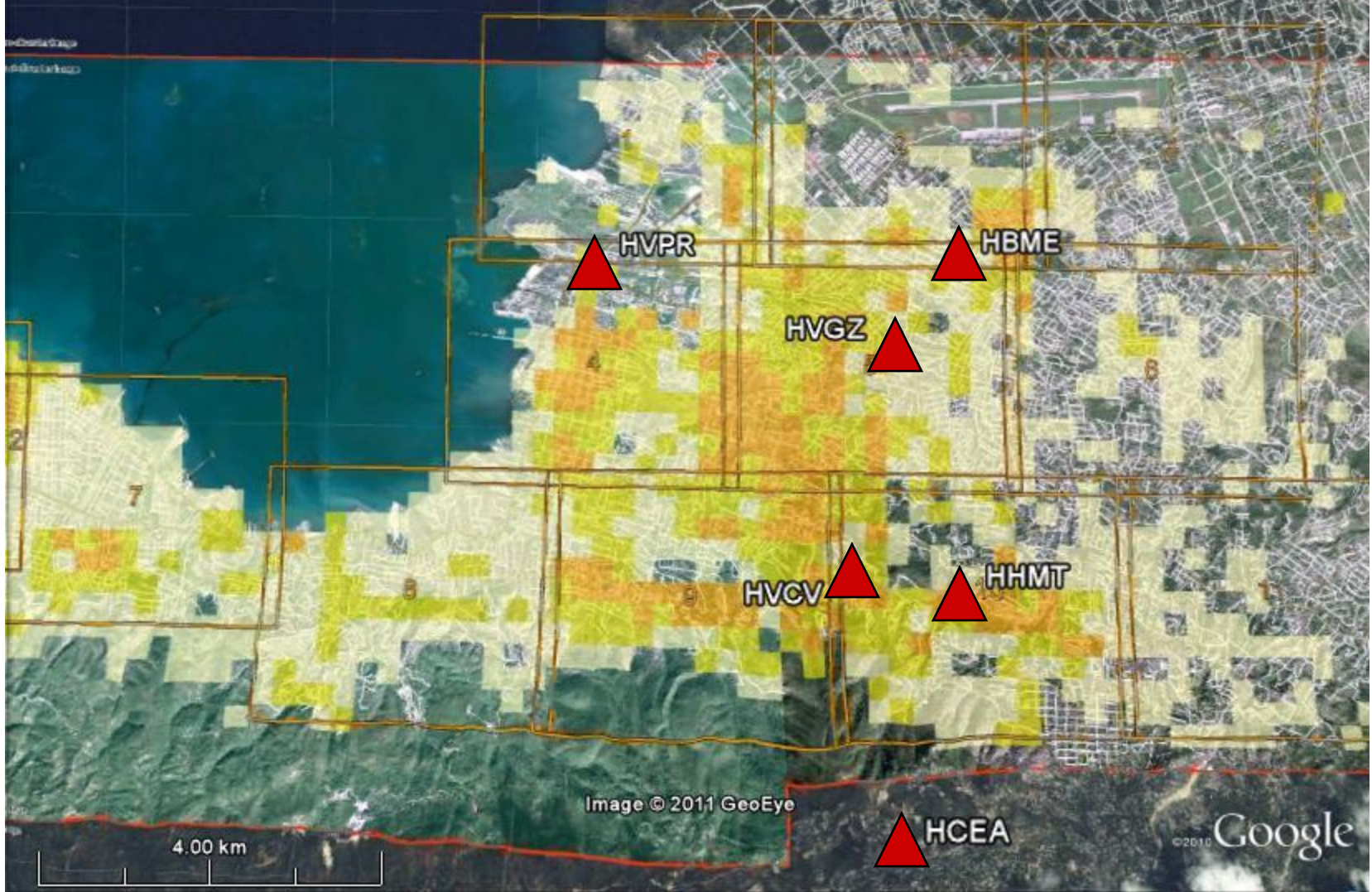


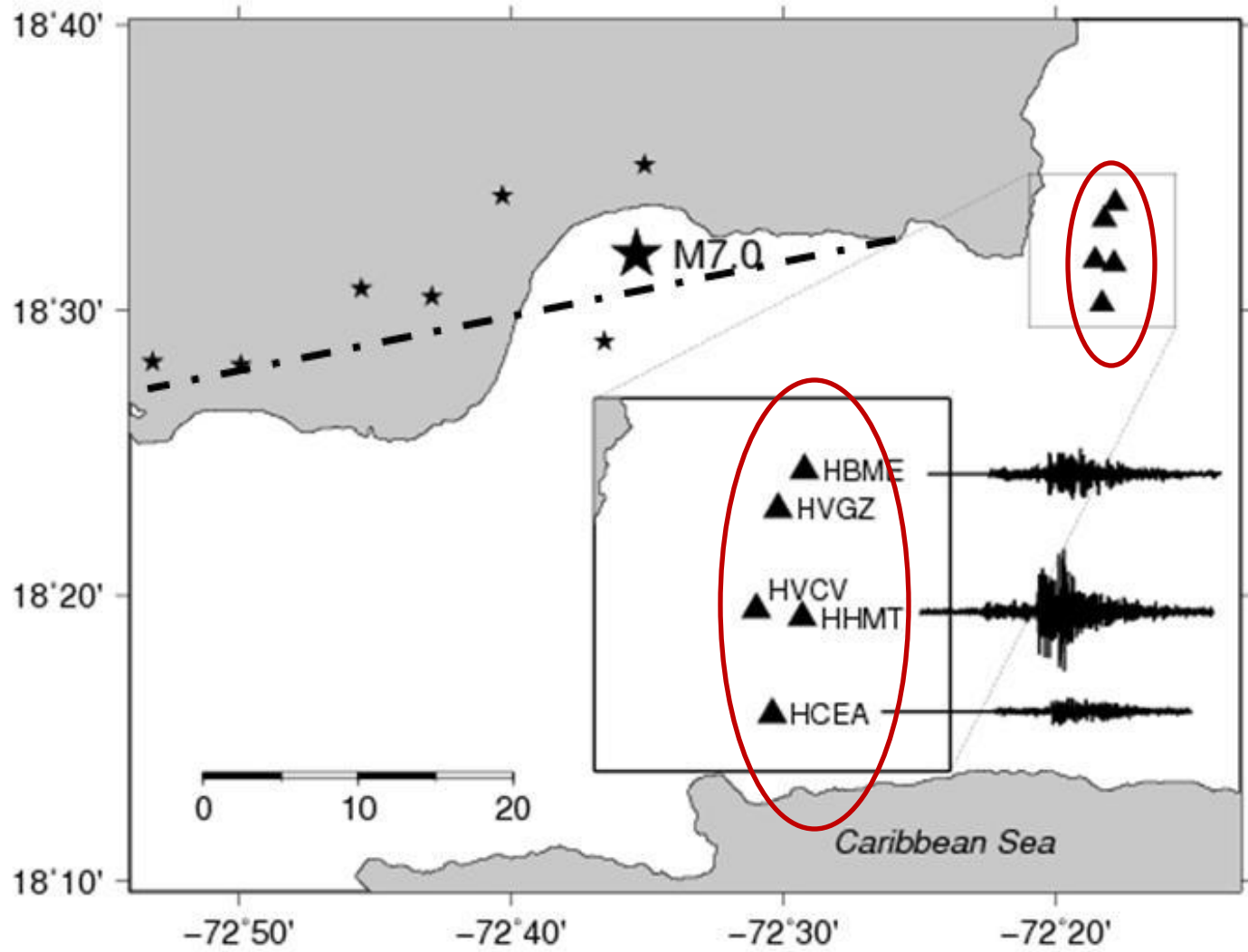
Image © 2011 GeoEye

©2010 Google

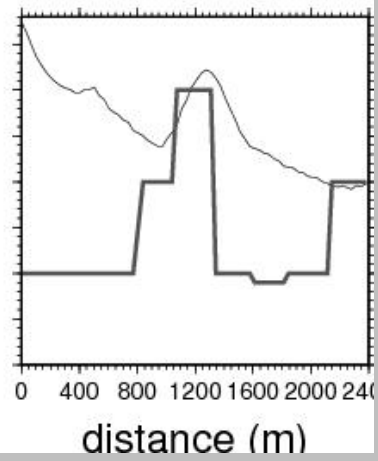
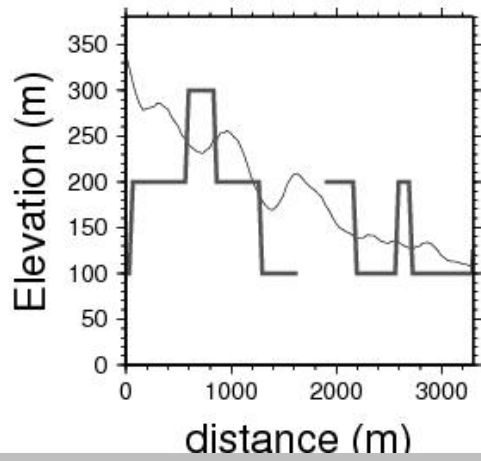
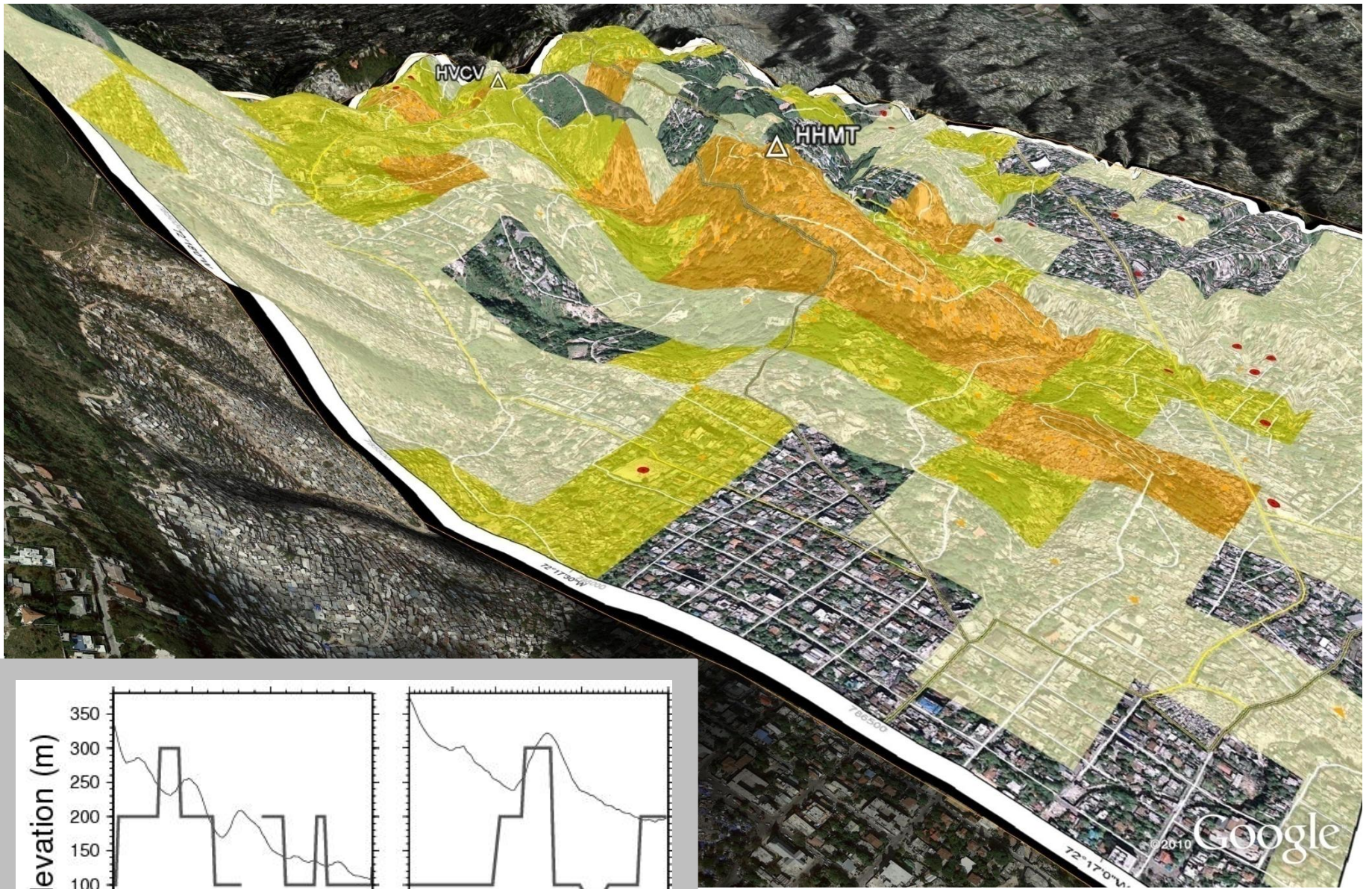
4.00 km

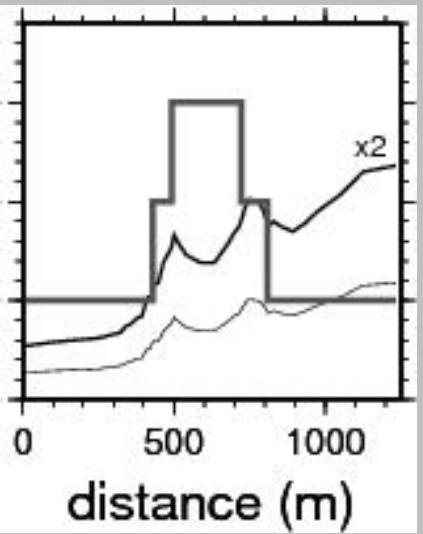
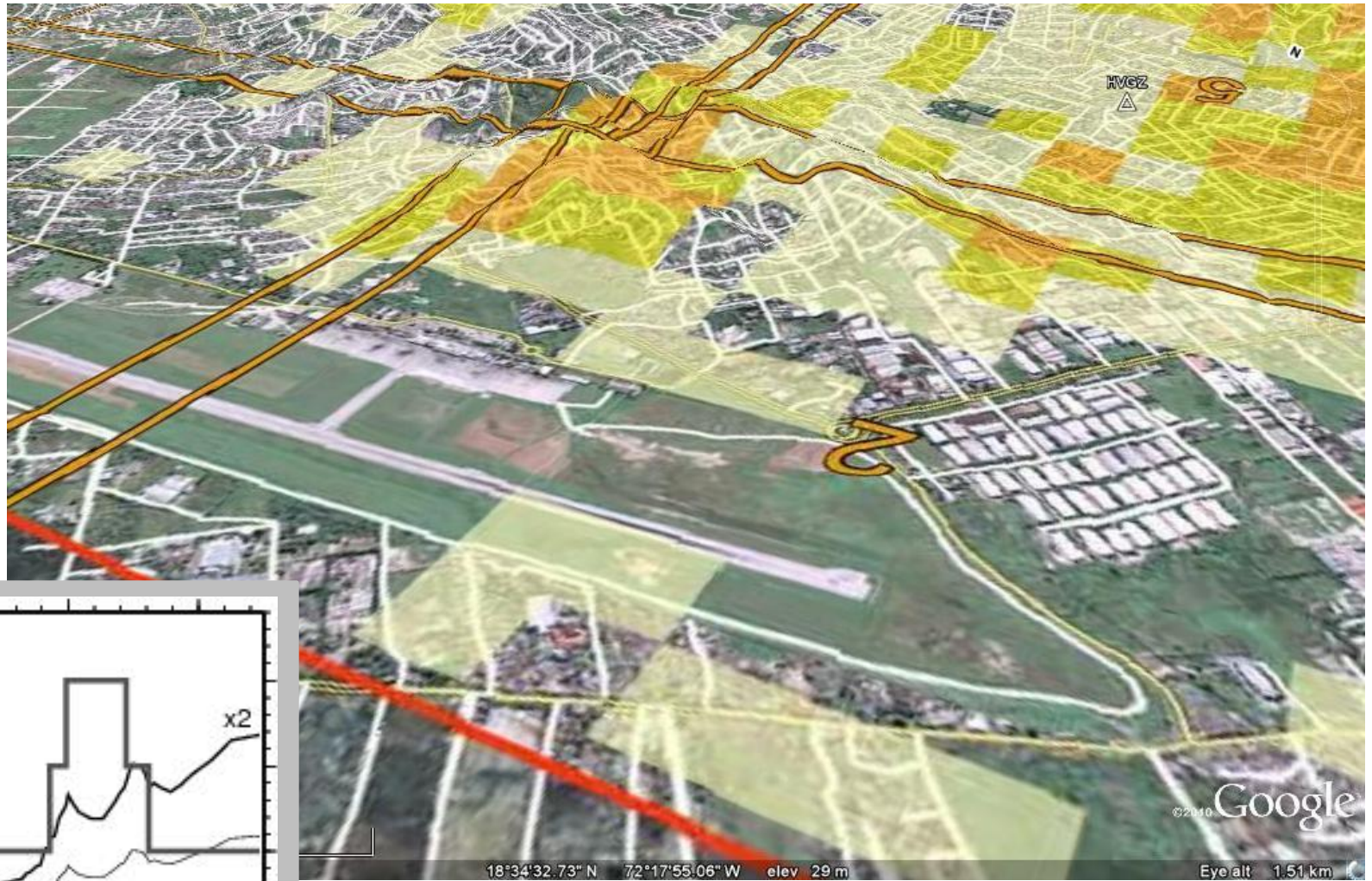
lat 18.544464° lon -72.326657° elev 88 m

Eye alt 14.37 km



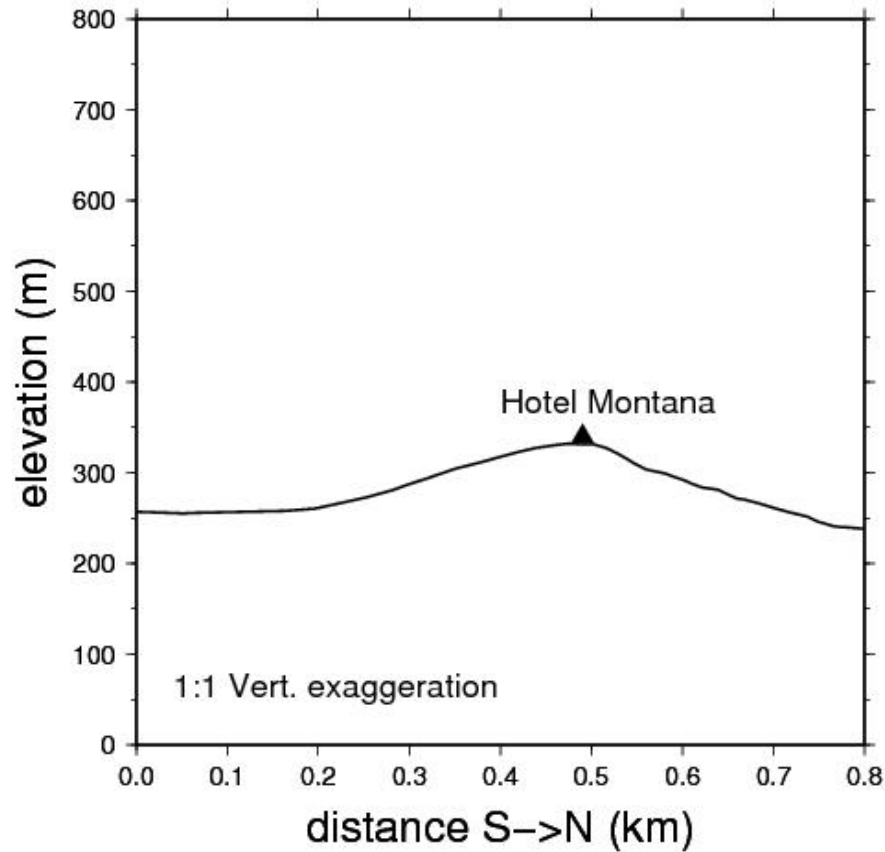








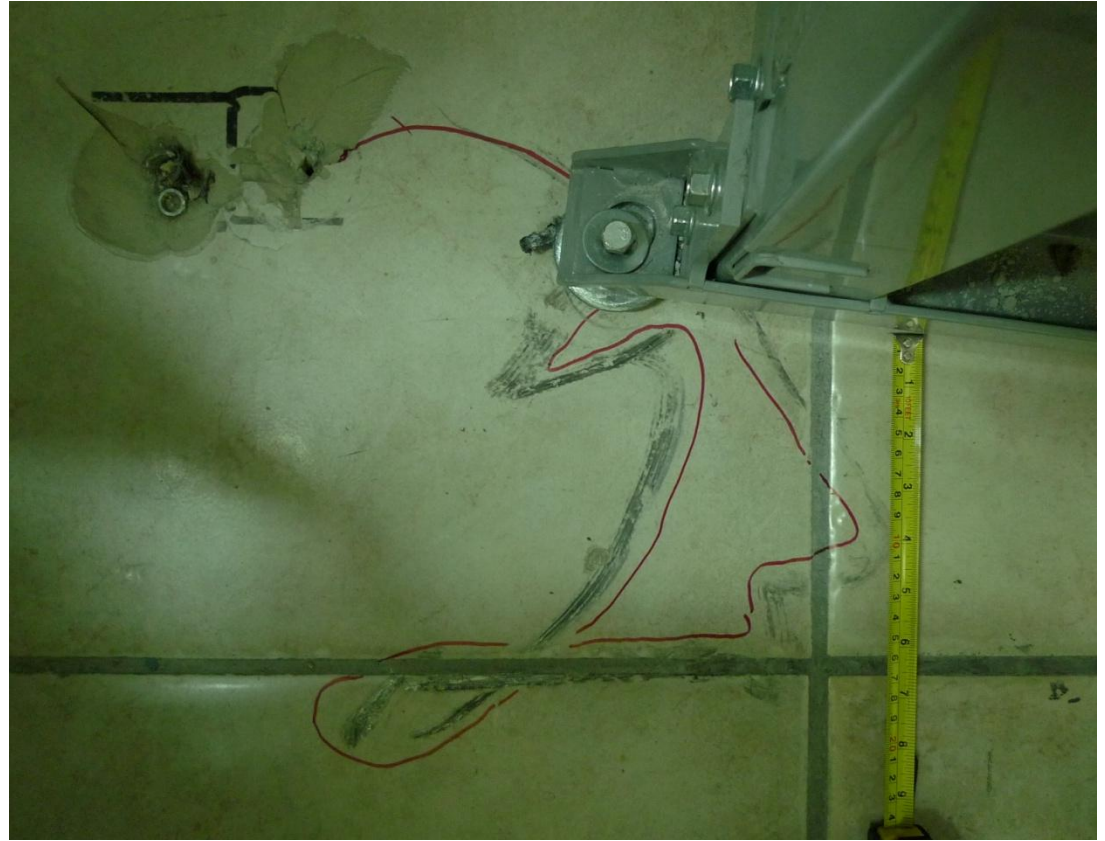
# Topographic Amplification: SH-wave Diffraction by a Wedge

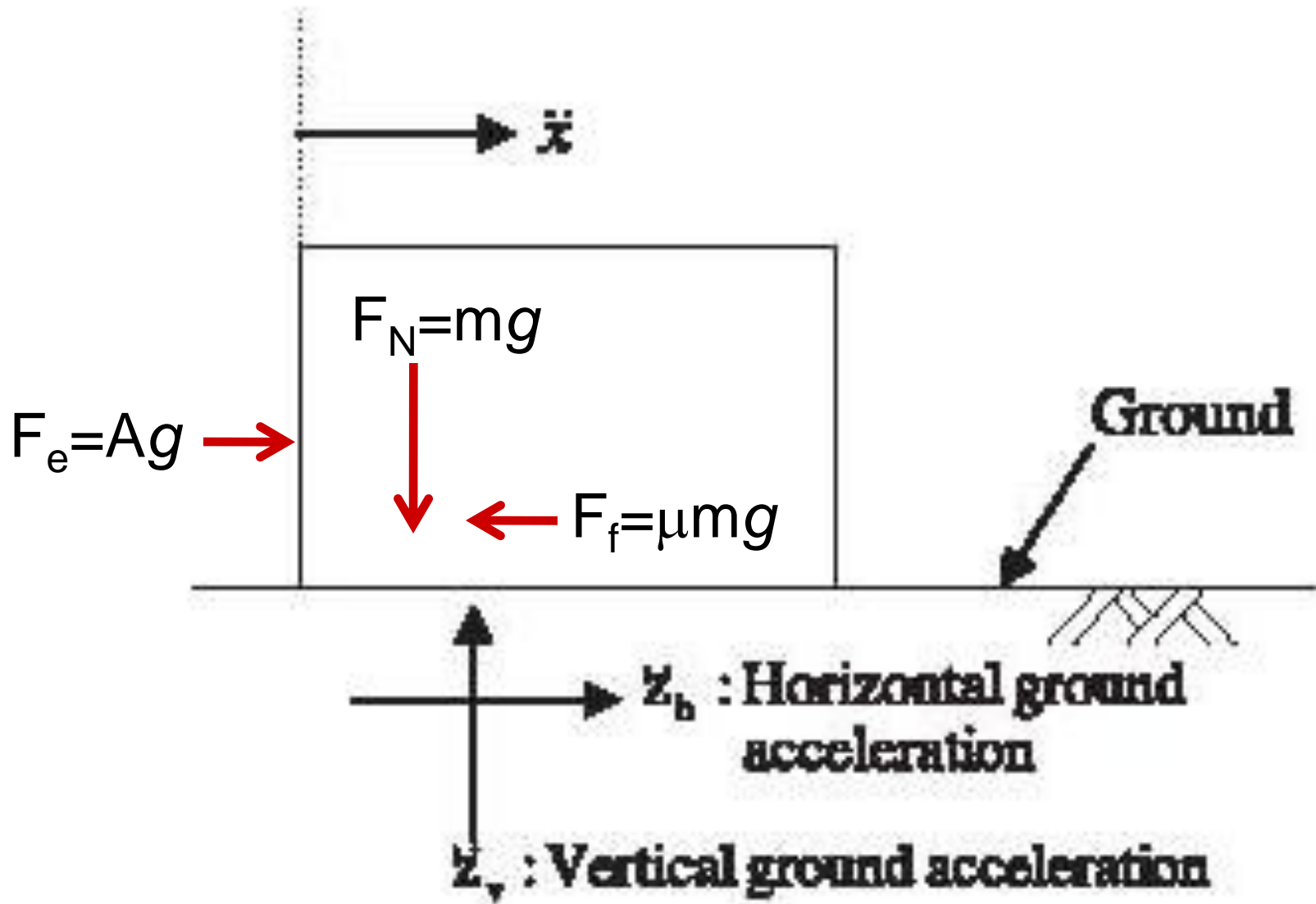


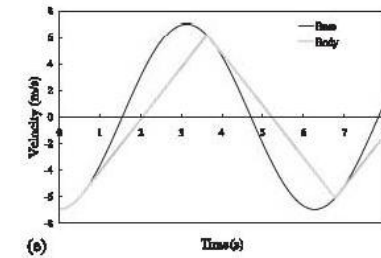
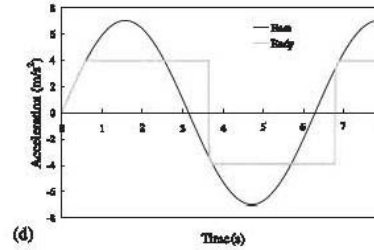
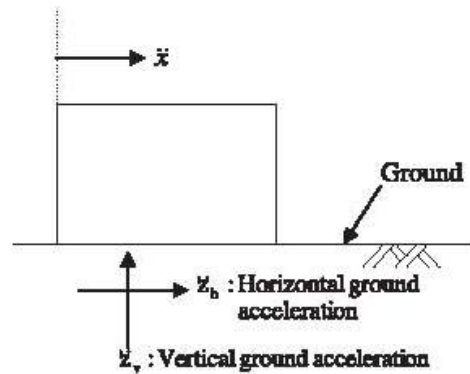
$$A = 2/\upsilon$$

$\upsilon\pi = \text{internal angle}$









Displacement start time:  $t_0 = \frac{T}{2\pi} \sin^{-1} \frac{\mu}{A_{gx}}$

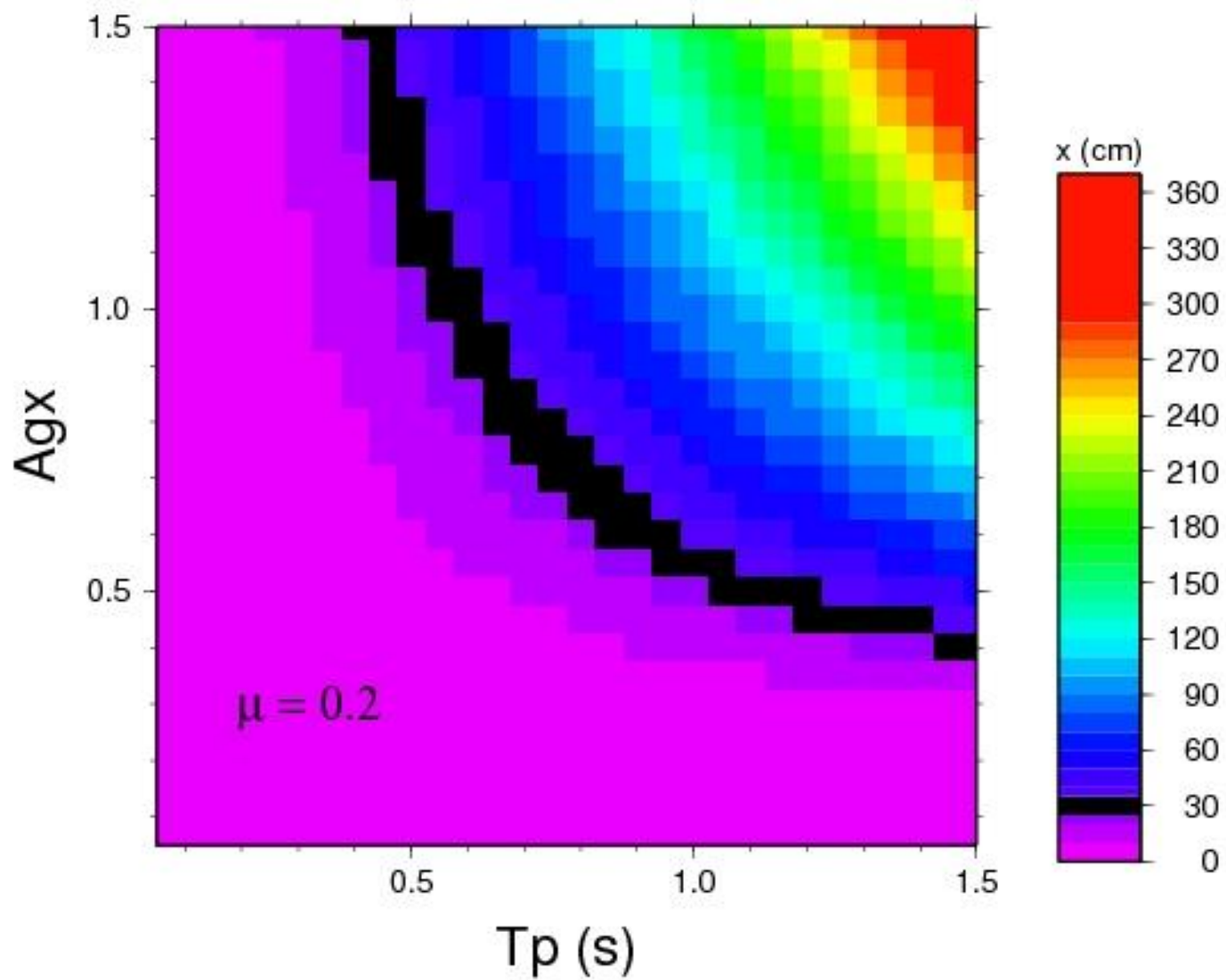
Displacement end time:  $t_1 = \frac{T}{2\pi A_{gx}} \left( -\varphi + \sqrt{\varphi^2 + 2A_{gx} \left\{ \phi + A_{gx} \left( 1 - \frac{\pi^2}{2} \right) \right\}} \right)$

$$\varphi = \mu - \pi A_{gx}, \quad \phi = \mu \sin^{-1} \frac{\mu}{A_{gx}} + A_{gx} \cos \left( \sin^{-1} \frac{\mu}{A_{gx}} \right)$$

$$x_h^{\text{Sin}} = \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} \left( \mu g - A_{gx} g \sin \frac{2\pi}{T} t \right) dt dt = \frac{1}{2} \mu g t_1^2 + \frac{A_{gx} g T^2}{4\pi^2} \sin \frac{2\pi}{T} t_1 + D_1 t_1 + D_2 \quad (15)$$

where

$$D_1 = -\mu g t_0 - \frac{A_{gx} g T}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t_0, \quad D_2 = \frac{1}{2} \mu g t_0^2 - \frac{A_{gx} g T^2}{4\pi^2} \sin \frac{2\pi}{T} t_0 + \frac{A_{gx} g T t_0}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t_0$$



Gulf of Gonive

Center for Satellite Based Crisis Information  
- Emergency Mapping & Disaster Monitoring -

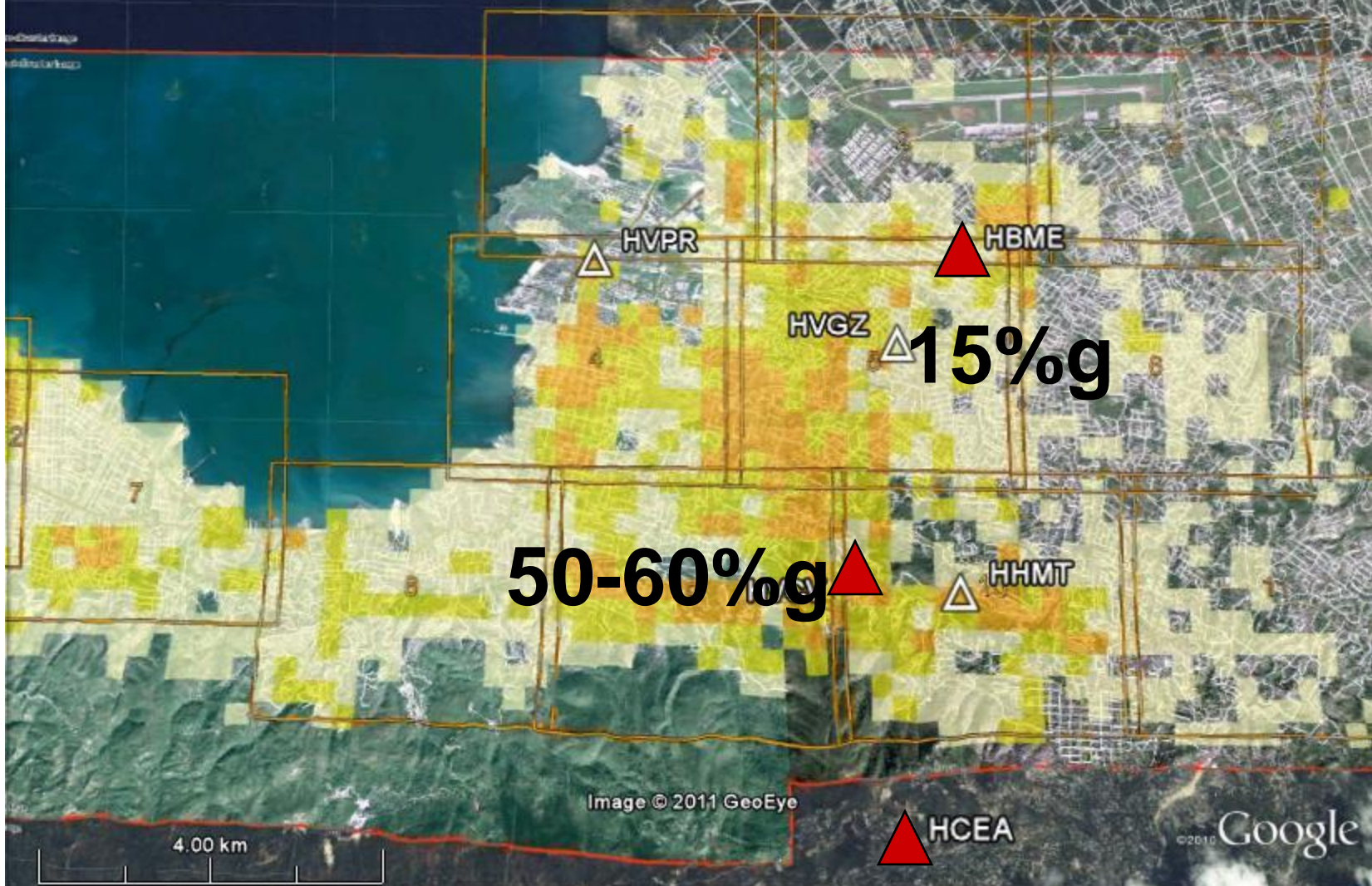


Image © 2011 GeoEye

©2010 Google

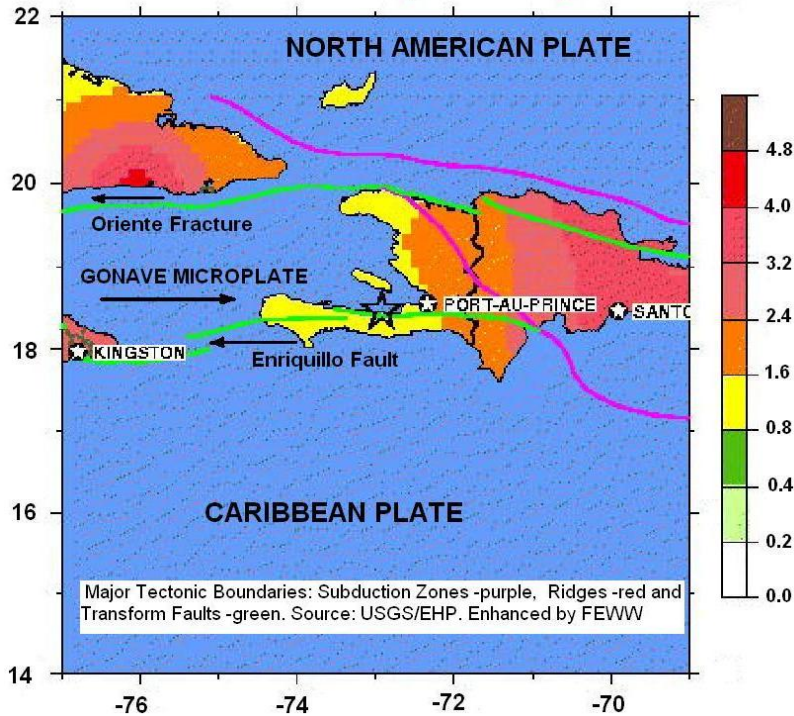
lat 18.544464° lon -72.326657° elev 88 m

Eye alt 14.37 km

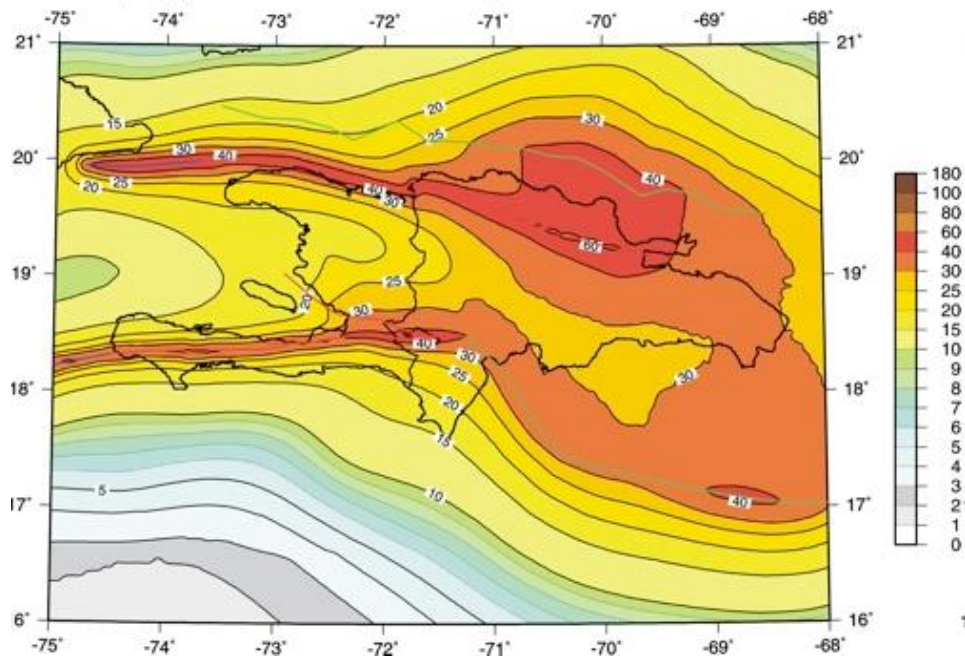
# Risk Reduction: Beyond the Science

Improving Seismic Resilience?

### Seismic Hazard Map - Haiti Region

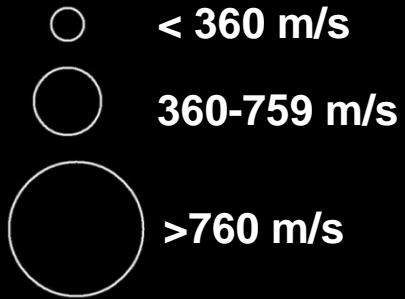


### PGA (%g) with 10% Probability of Exceedance in 50 Years

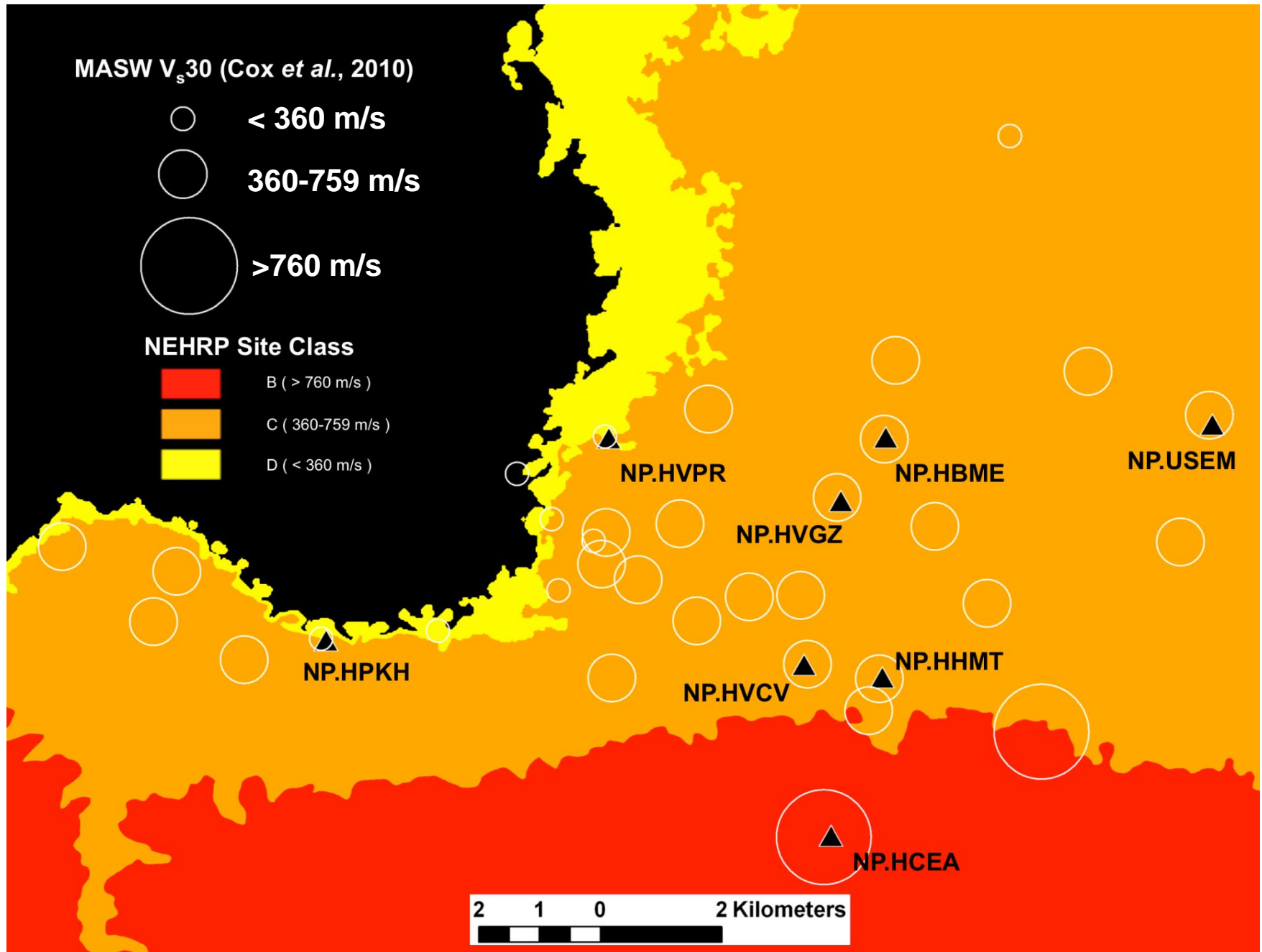




MASW  $V_s30$  (Cox et al., 2010)



NEHRP Site Class



# Dégâts localisés causés par amplification topographique au cours du séisme de magnitude 7,0 à Haïti en 2010

Susan E. Hough,<sup>1\*</sup> Jean Robert Altidor,<sup>2</sup> Dieuseul Anglade,<sup>2</sup> Doug Given,<sup>1</sup> M. Guillard Janvier,<sup>2</sup> J. Zebulon Maharrey,<sup>3</sup> Mark Meremonte,<sup>3</sup> Bernard Saint-Louis Mildor,<sup>2</sup> Claude Prepetit<sup>2</sup> et Alan Yong<sup>1</sup>

**On sait que les conditions géologiques locales, c'est-à-dire les quatre couches sédimentaires<sup>1-4</sup> les plus jeunes et les caractéristiques topographiques,<sup>5-9</sup> influencent fortement les mouvements de sol causés par les tremblements de terre. Les cartes de microzonage utilisent les données géologiques locales pour évaluer le risque sismique, mais ne tiennent généralement compte que du rôle joué par les couches sédimentaires.<sup>10-12</sup> Le microzonage ne prend pas en compte la topographie locale, car les amplifications topographiques significatives sont considérées comme exceptionnelles. Nous démontrons ici que, bien que l'étendue des dommages structurels causés par le tremblement de terre d'Haïti en 2010 soit principalement due à la fragilité des constructions, l'amplification topographique a joué un rôle majeur dans les dégâts subis par le quartier de Pétionville, au sud du centre de Port-au-Prince. De nombreux bâtiments, solides et relativement bien construits mais situés le long d'une crête de piémont ont subi d'importants dégâts ou se sont effondrés. Les enregistrements des répliques nous ont permis de calculer la réponse au mouvement de sol dans deux stations sismiques situées le long de la crête topographique et dans deux stations situées dans la vallée adjacente. Les mouvements de sol sur la crête sont plus forts que ceux enregistrés sur les deux sites de la vallée et sur un site de référence en roche solide, et ne peuvent donc s'expliquer par l'amplification causée par les sédiments. Au contraire, l'amplitude et les fréquences dominantes des mouvements de sol mettent en évidence l'amplification des ondes sismiques à proximité d'une crête étroite et abrupte. Selon nous, les cartes de microzonage peuvent être largement améliorées en incluant les effets topographiques.**

cisaillement varie moins que sa vitesse, on utilise par convention la vitesse moyenne de l'onde de cisaillement dans les 30 premiers mètres, ou ce qu'on appelle la Vitesse moyenne sur les 30 premiers mètres des ondes S, en lieu et place de l'impédance.

Port-au-Prince se trouve dans la Plaine du Cul de Sac, un grand rift qui s'étend au nord de la ville et vers l'est jusqu'en République Dominicaine et qui contient des jeunes sédiments sur presque toute son étendue. La plus grande partie de la ville de Port-au-Prince est située dans l'angle sud-ouest de la vallée, une région dans laquelle on note une présence importante de dépôts mio-pliocènes comme la marne, le grès, l'aleurolite et le schiste en éventail, ainsi que de piémonts bas.<sup>14</sup> Les dépôts mio-pliocènes sont considérés comme relativement plus durs que les dépôts plus jeunes et moins consolidés du Quaternaire. Cependant, ils se caractérisent généralement par une impédance plus basse que celle des collines adjacentes au sud, celles-ci comprenant plus de calcaire, de conglomérat et de roche volcanoclastique consolidés.<sup>14</sup> Il n'est donc pas étonnant que toute la ville de Port-au-Prince soit l'objet d'un certain degré d'amplification due aux sédiments.

En examinant la répartition des dégâts au cours du tremblement de terre du 12 janvier 2010 à Haïti, on peut observer qu'une large zone située le long d'une crête de piémont dans le quartier de Pétionville, au sud du centre de Port-au-Prince (Schéma 1), a été particulièrement touchée.<sup>15</sup> L'Hôtel Montana, deux bâtiments des Nations Unies, l'Hôtel Christophe, la maison de l'ambassadeur de France et certaines grandes propriétés privées figurent parmi les bâtiments qui ont été endommagés ou se sont effondrés. Nous avons noté une correspondance frappante entre la gravité des dégâts et la topographie de la crête. Au sud-ouest de l'Hôtel Montana (HHMT), les dégâts sont légers aussi bien juste au bord de la crête que sur







75th Anniversary - 1933 Long Beach Earthquake

# PERVASIVE AND SEVERE DAMAGE TO PUBLIC SCHOOLS IN THE LONG BEACH AREA DEMONSTRATED A NEED FOR THE FIELD ACT

John Muir Elementary School



Whittier Elementary School



Jefferson Junior High School



Lowell Elementary School



Franklin Junior High School



Before Earthquake



After Earthquake



Today

Roosevelt Junior High School



Burbank Elementary School



Long Beach Polytechnic High School



Five students killed when unreinforced masonry gymnasium collapsed



Reinforced masonry auditorium sustained little damage



# The Field Act Works

Since 1940, no building constructed under the Field Act has either partially or completely collapsed, and no students have been killed or injured in a Field Act compliant building.

# Why do we Have the Field Act?

And what good is a seismic (GPS) network anyway?



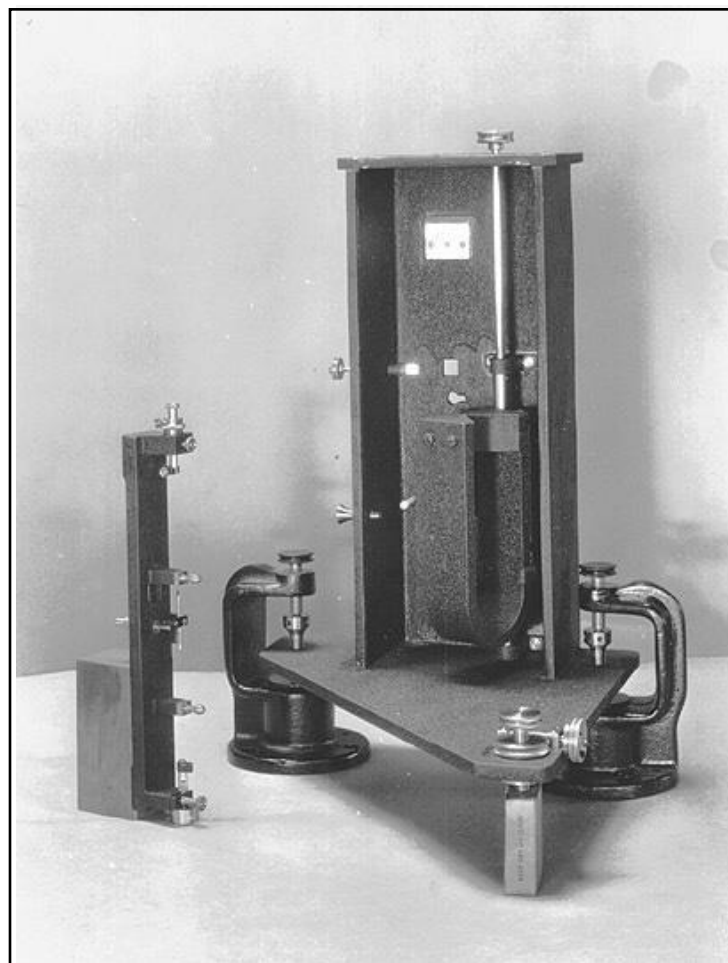


# Los Angeles



Faults in the greater Los Angeles area are,  
"largely things of past geologic time,"  
-- Robert T. Hill, 1928





"There ain't no other seismograph worth talking about than ours,"  
John August Anderson



Photograph: James Macelwane, 1929







75th Anniversary - 1933 Long Beach Earthquake

## PERVASIVE AND SEVERE DAMAGE TO PUBLIC SCHOOLS IN THE LONG BEACH AREA DEMONSTRATED A NEED FOR THE FIELD ACT

John Muir Elementary School



Whittier Elementary School



Jefferson Junior High School



Lowell Elementary School



Franklin Junior High School



Before Earthquake



After Earthquake



Today

Roosevelt Junior High School



Burbank Elementary School



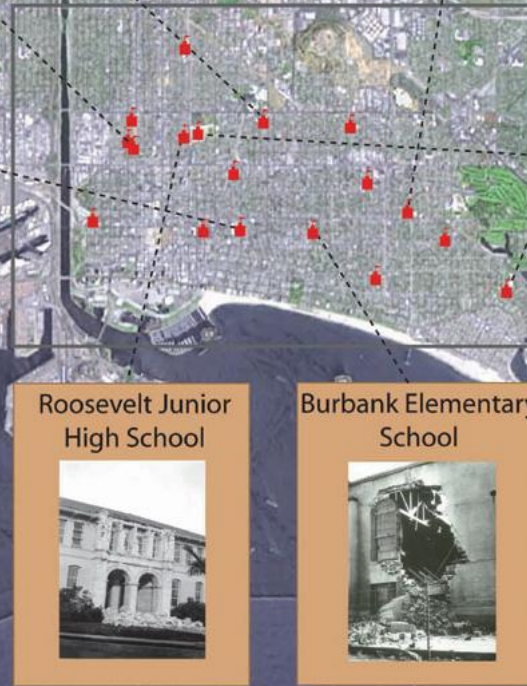
Long Beach Polytechnic High School



Five students killed when unreinforced masonry gymnasium collapsed



Reinforced masonry auditorium sustained little damage







# USGS-BME Collaboration

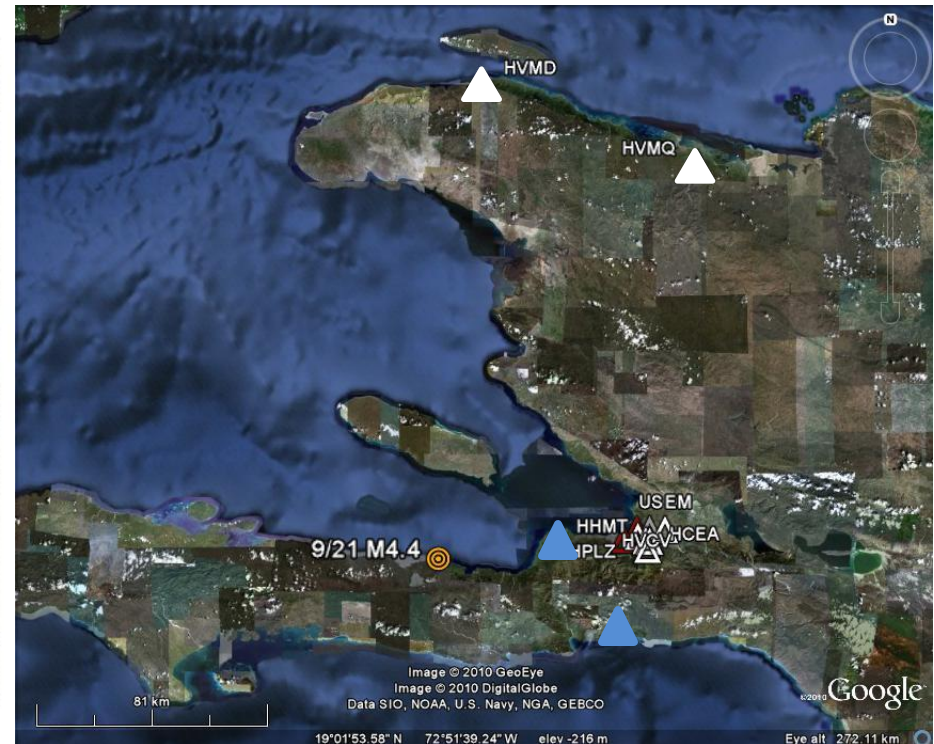
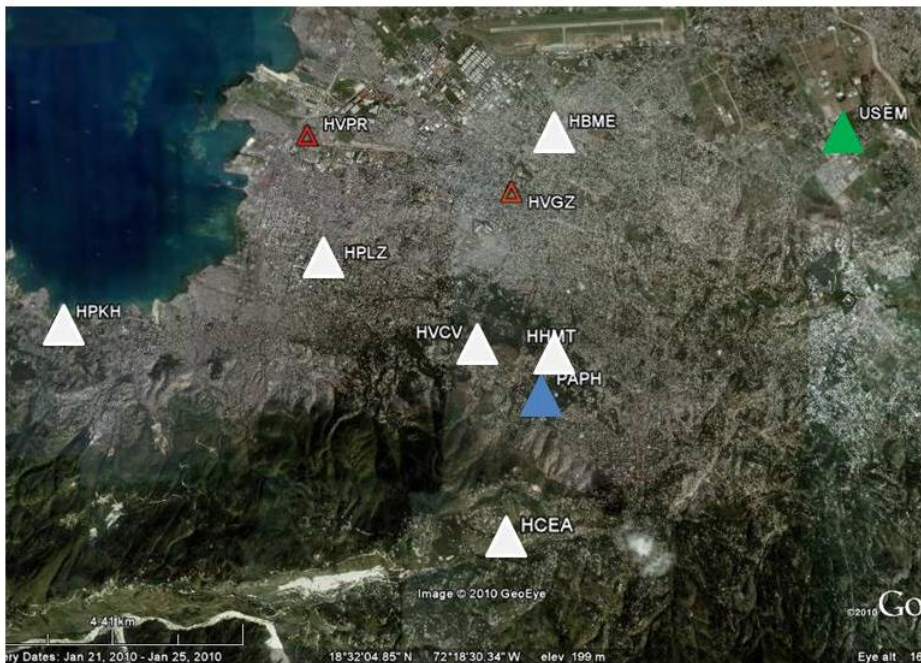
- Mar. 6-20: Initial EDAT deployment
- April 12-20: Site visit
- June 18-30: “Final” EDAT site visit
- Sept 15 – Oct 15: Embassy Science Fellow visit
- Nov. 10 – 16: UNDP delegation
- Dec. 6 – 18: Visit to USGS, Pasadena; AGU

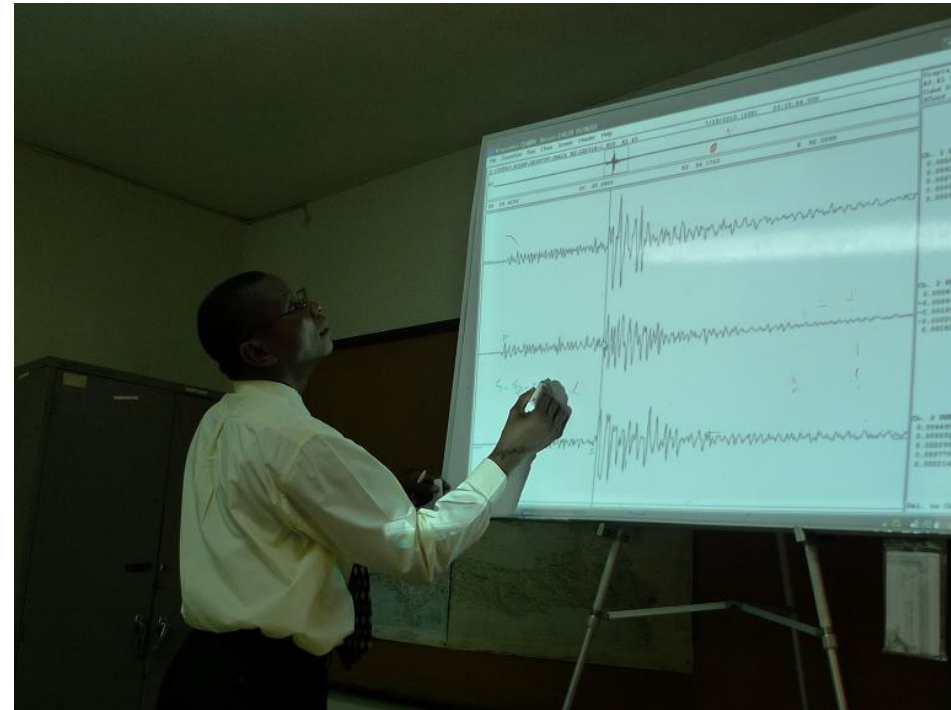


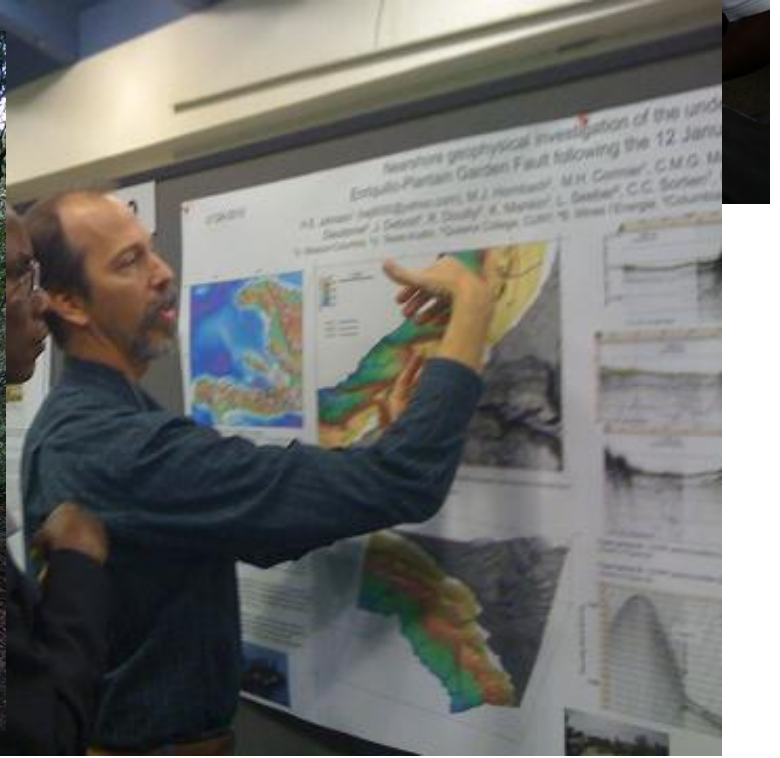


# Continuing Monitoring: BME/ONEV

- Three broadband (Nanometrics) stations (NRCan)
- 5 NetQuakes to be installed 4/2011 (USAID Project WINNER)
- Two K2 instruments in Northern region: Cap Haitien and Port au Paix
- 7 instruments in Port-au-Prince: 6 K2s (USGS), 1 NetQuakes
- IDB proposal: 4 additional broadband stations









# What Good is a Seismic Network?

- A seismic network does **nothing** to directly improve resilience
- But, monitoring networks provide a cornerstone for an active community of earthquake professionals
- And a community of active earthquake professionals is the critical key to improving resilience



# Capacity Building: Development of Partnerships

- Students (interns, graduate programs)
  - Technical
  - **Mid-career professionals: workshops, training visits**
  - Regional resources
- 
- Challenge: Support (multi-faceted)



A tropical beach scene. In the foreground, a banana tree with large green leaves and some brown, dried-out ones stands on a rocky shore. The water is a vibrant blue-green, and a small boat with a person inside is visible in the distance. The sky is clear and blue. The text "Merci beaucoup!" is overlaid on the right side of the image.

Merci beaucoup!