



# Troisième atelier des contributeurs

## 30 - 31 mai 2013 – MAEE (Paris)

### Microzonage sismique de Port-au-Prince

**Equipe BGRM:** D. Bertil, A. Roullé; M. Belvaux, M. Terrier, G. Noury, A. Bitri, K. Samyn, R. Cochery, V. Bastone, A. Bialkowski, S. Auclair, A. Nachbaur, M. De Michelle

**Equipe LNBTP/BME/CNIGS:** C. Jean-Paix, C. Prépetit, R. Gilles, R. Sylvain, J. Jean-Philippe, B. Jean ; M. Jeanite, P. Jean, M. Jean-Baptiste, S. Genea



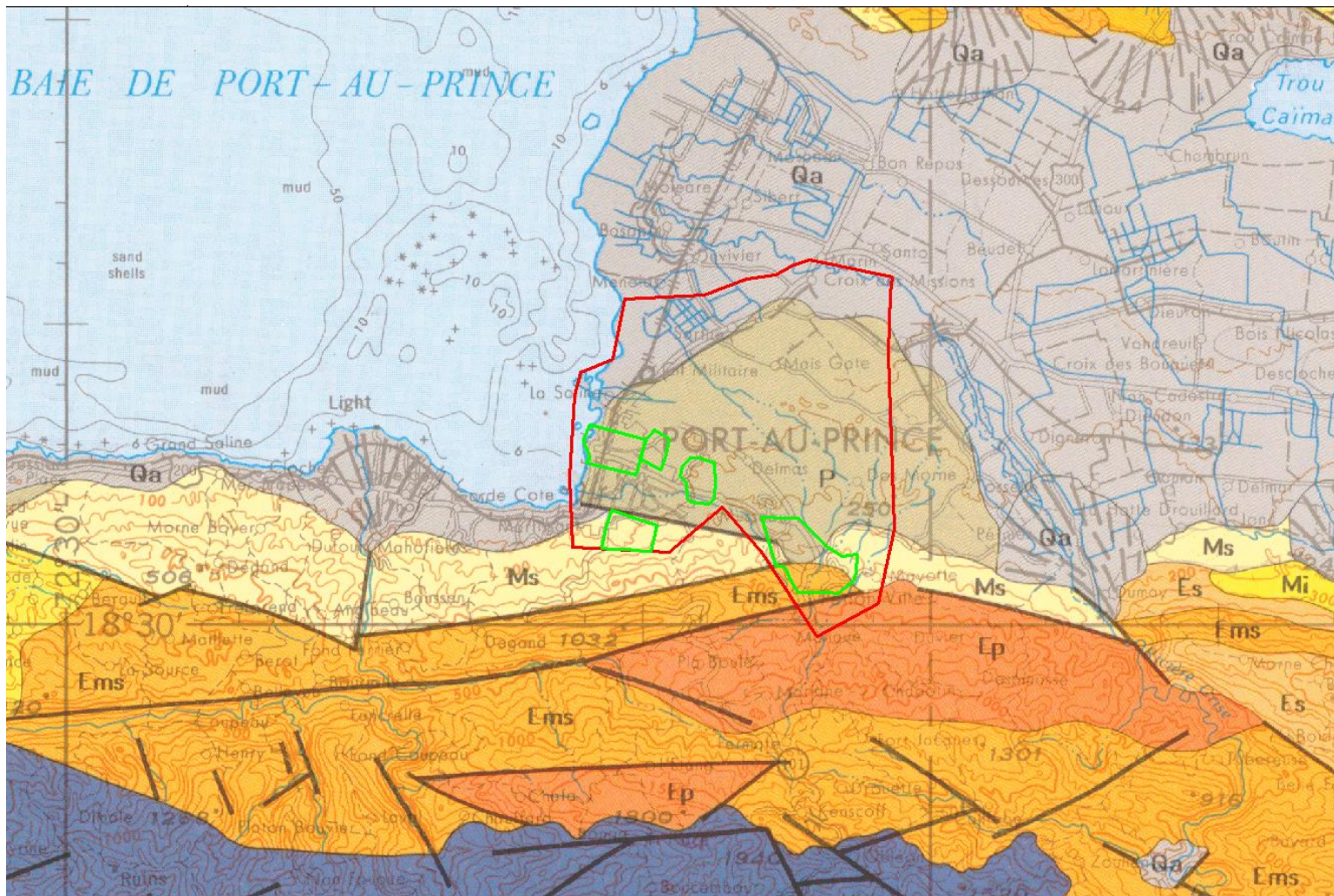
# Plan de la présentation

1. Introduction. Microzonage sismique
2. Failles Actives
3. Effets de site topographiques
4. Mouvement de terrain
5. Conclusion / perspectives

# Le programme national de microzonage sismique

- Un projet pour le Ministère des Travaux Publics (MTPTC) avec des financements PNUD
- Un partenariat entre:
  - BRGM
  - BME (Bureau des Mines et de l'Energie)
  - LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des travaux publics)
- Avec la collaboration d'autres institutions haïtiennes (CNIGS, Faculté des Sciences ...)
- Le projet concerne actuellement 5 villes : Port-au-Prince, Cap-Haïtien, Fort-Liberté, Ouanaminthe, Port-de-Paix
- Durée du projet
  - Microzonage de Port au Prince : 18 mois (depuis Septembre 2011) (fin estimée Octobre 2013)
  - Microzonages de Cap-Haïtien, Fort-Liberté, Ouanaminthe, Port-de-Paix : 3 ans (Janvier 2012- Janvier 2015)

# La zone d'étude



rouge: les limites du microzonage

vert: zones avec une résolution plus grande



# A quoi sert un microzonage sismique?

## > L'objectif de l'étude de microzonage est de :

- faciliter la mise en œuvre des règles parasismiques, en proposant aux bureaux d'étude et aux maîtres d'ouvrages, la répartition spatiale des catégories de site réglementaires ;
- si le microzonage sismique est transposé sous forme de Plans de Prévention des Risques sismiques (PPR), fournir aux bureaux d'étude et aux Maîtres d'ouvrages, des paramètres de mouvements du sol propres à la zone étudiée, qui peuvent s'avérer plus adaptés que ceux imposés par les Règles nationales ;
- fournir les données de base en vue de la réalisation de plans de prévention des risques sismiques (PPR) ;
- fournir certaines données de base pour l'évaluation du risque sismique (évaluation des conséquences d'un séisme à l'échelle de l'agglomération, éléments d'évaluation de la vulnérabilité sismique) ;
- offrir un cadre de réflexion aux aménageurs, leur permettant d'intégrer dans leur choix, la composante sismique.

(source <http://www.planseisme.fr/1-3-2-Microzonages-sismiques-sur-les-villes-soumises-a-un.html> )

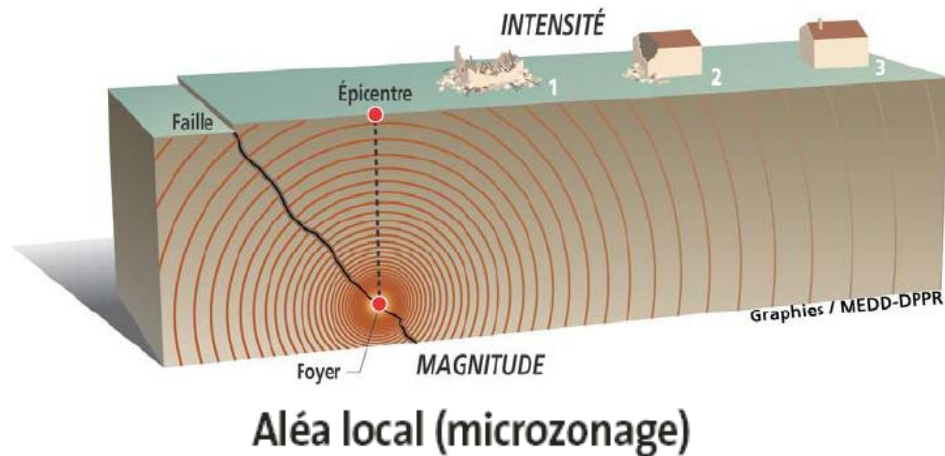
# A quoi sert un microzonage sismique?

## > Autres utilisations du microzonage sismique :

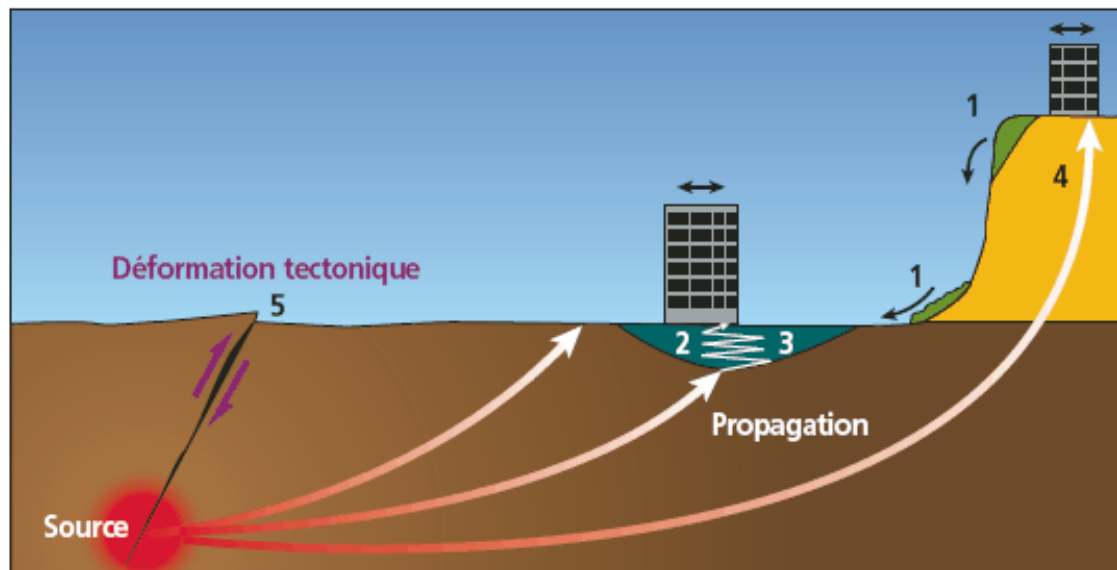
- Support de communication pour la sensibilisation (grand public; autorités locales...) ;
- Support cartographique pour l'organisation des secours (sécurité civile, autorités locales ...)

## > **Microzonage sismique = document technique cartographique d'information sur les effets d'un séisme accompagné de recommandations pour son utilisation.**

# Les phénomènes étudiés



> Aléa régional:  
niveau  
d'exposition pour  
un sol rocheux  
homogène



Effets induits

1. Stabilité des versants
2. Liquéfaction

Effets de sites

3. Lithologie
4. Topographie
5. Rupture en surface

> Aléa local  
(microzonage):  
effets qui se  
rajoutent à l'aléa  
régional

# Utilisation de l'imagerie satellitaire pour le microzonage

**Indispensable pour de nombreux sujets du microzonage et particulièrement:**

- **géologie**
- **failles actives**
- **effets de sites topographiques**
- **mouvements de terrain**

**Illustration avec l'étude des failles sur la zone d'étude, à partir d'un MNT précis provenant d'images Pléiades fournies dans le cadre de KALHAITI.**

**Autres exemples:**

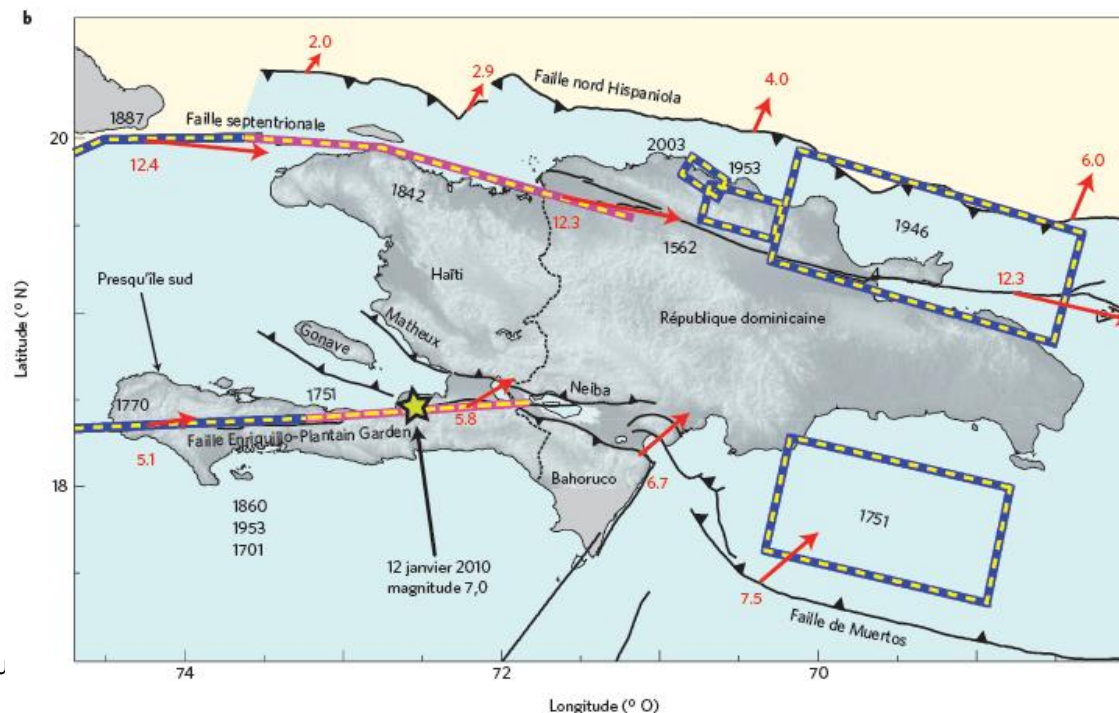
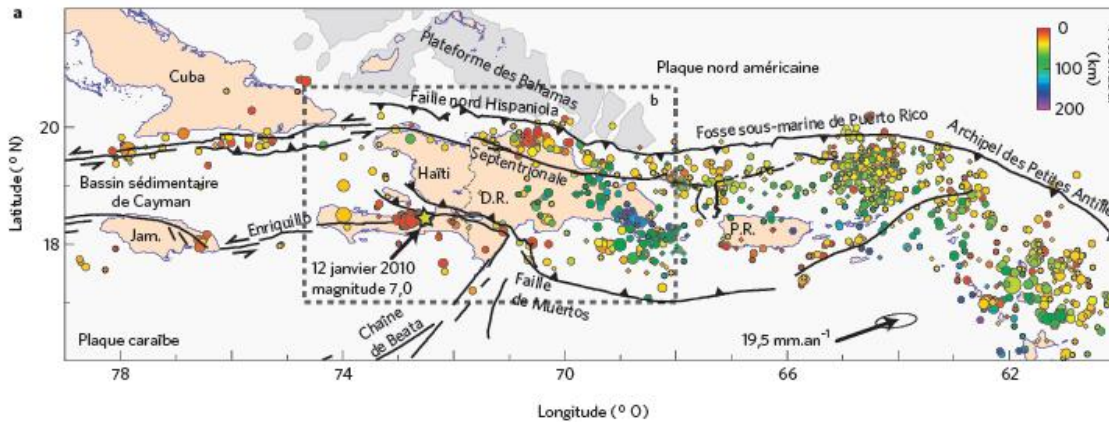
- **effets de site topographiques**
- **aléa mouvement de terrain**



# Failles actives

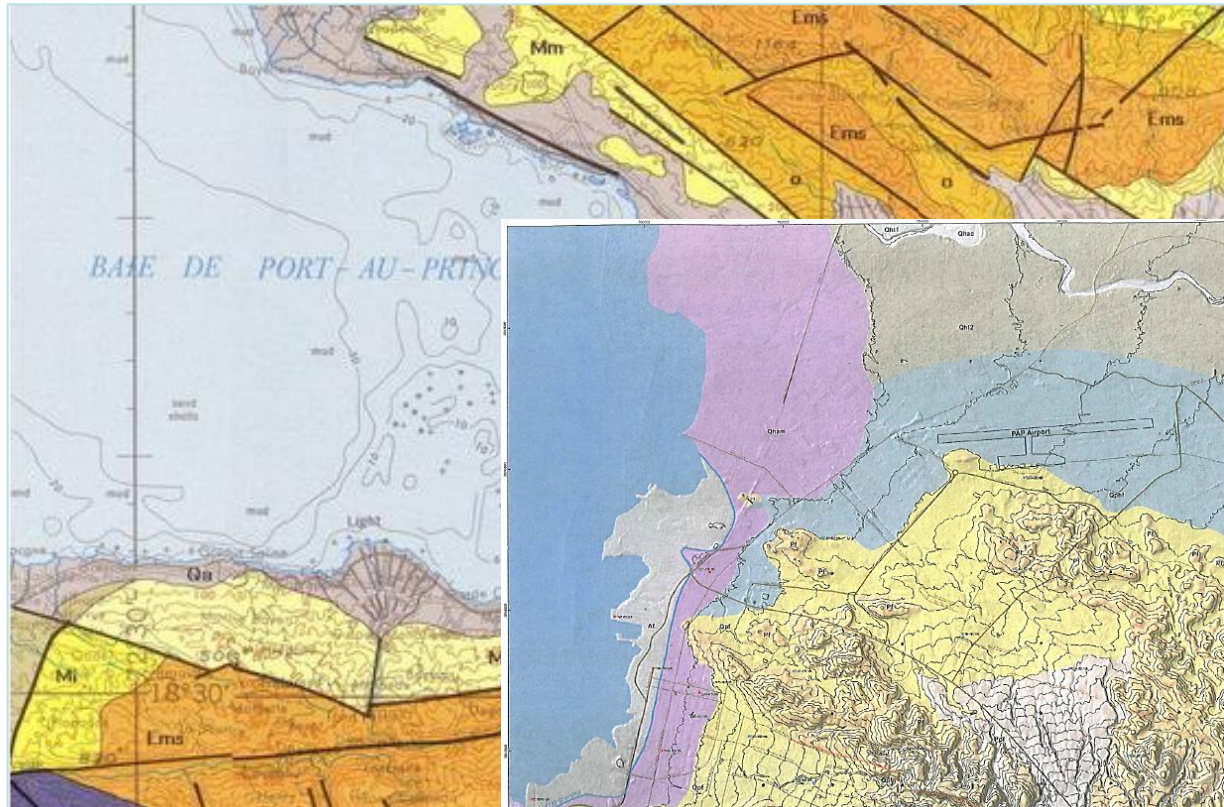
- > **Situation tectonique régionale**
- > **Situation géologique à partir des cartes existantes**
- > **Observations sur le terrain pour**
  - Lever les log litho-stratigraphiques
  - Mesurer les pendages stratigraphiques, observer les plans de failles, les déformations tectoniques
- > **Analyse morphostructurale à partir des cartes**
- > **Analyse du réseau hydrographique**
- > **Analyse de profils topographiques**
- > **Cartographie des failles**

# Situation tectonique de la côte nord-est des Antilles et de l'île d'Hispaniola. (d'après Calais et al., 2010)

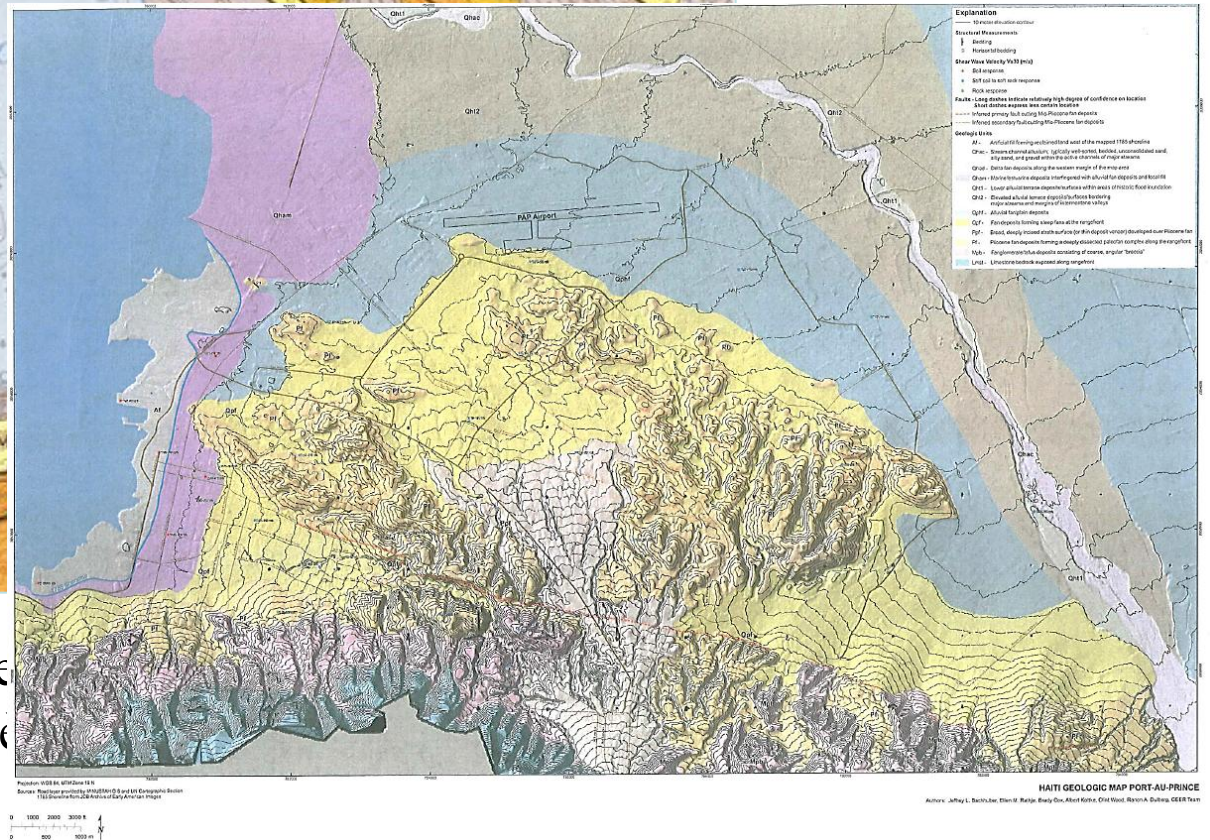




## Les cartes existantes



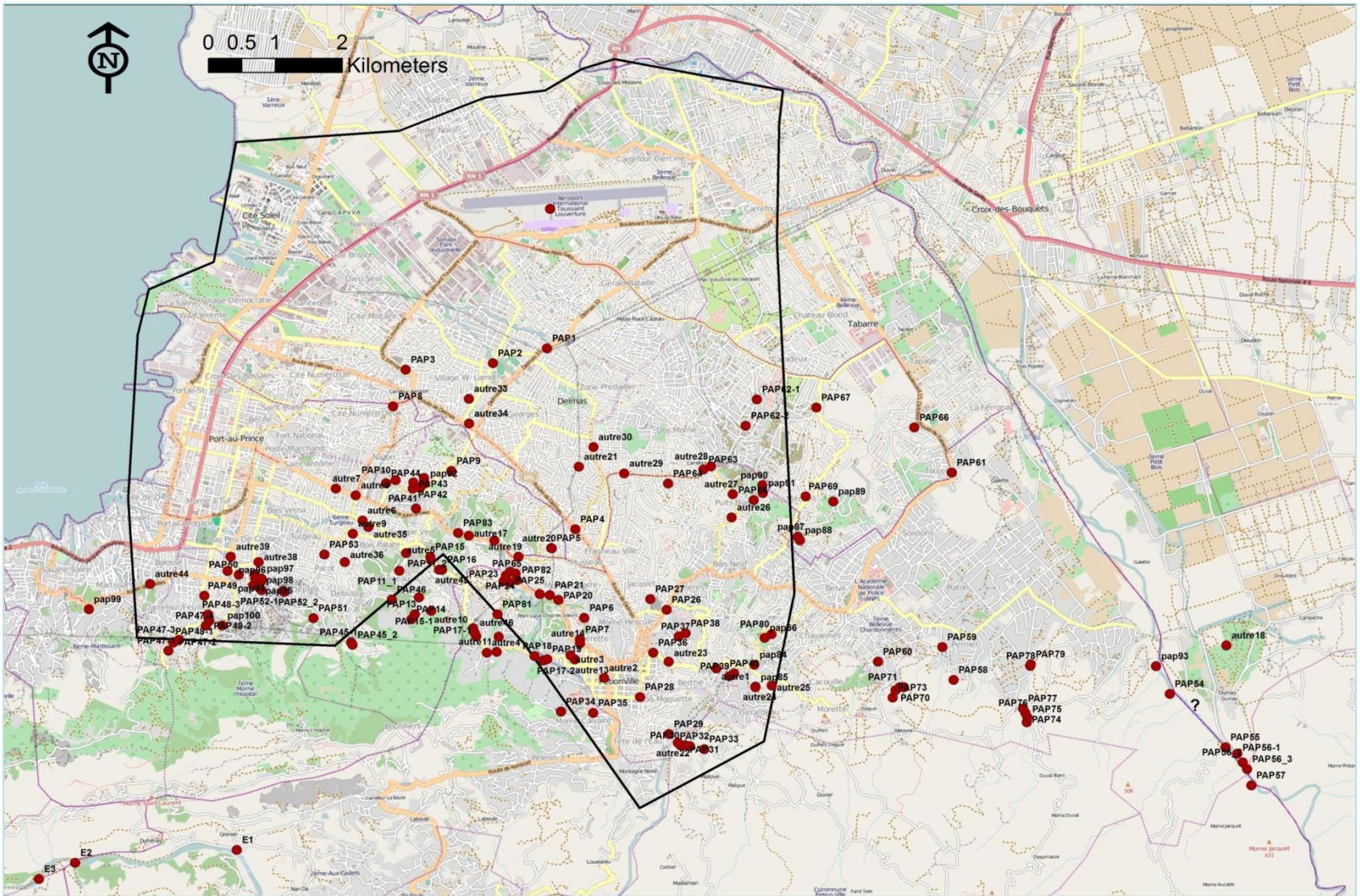
Extrait de la carte  
1/250 000 (d'après  
1987)



Carte géologique préliminaire de Port-au-Prince, d'après Bachhuber et al. (2010)

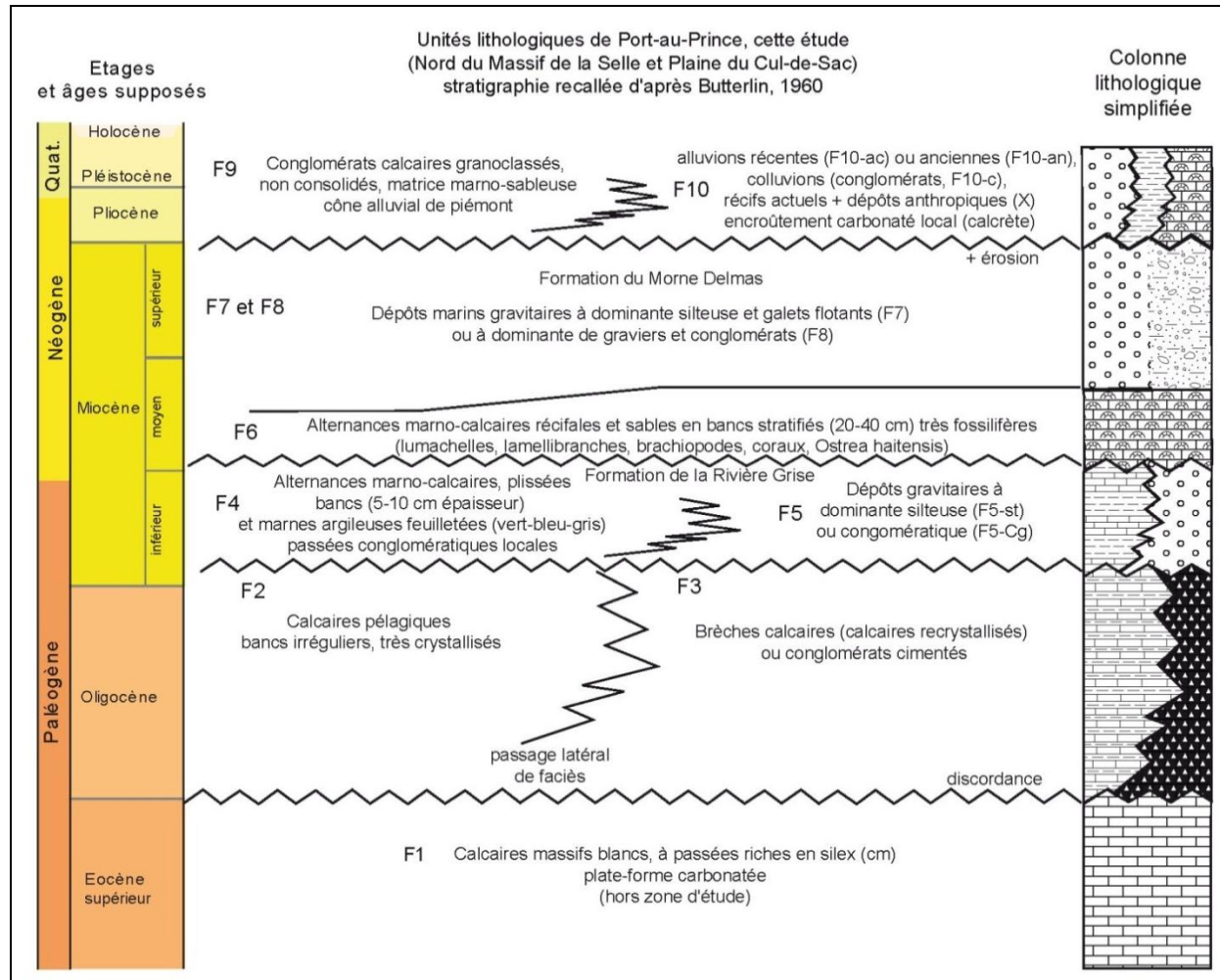


## Observations sur le terrain



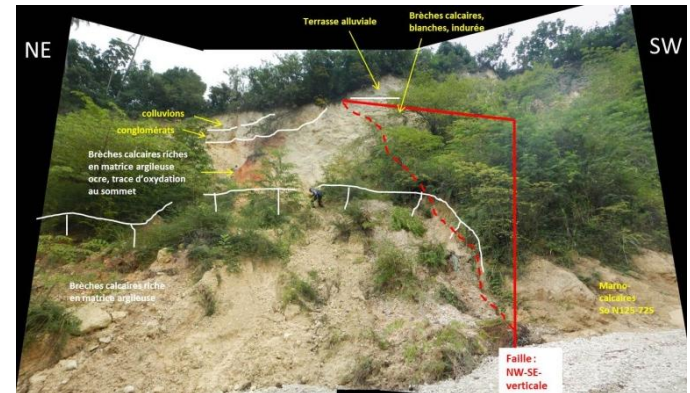
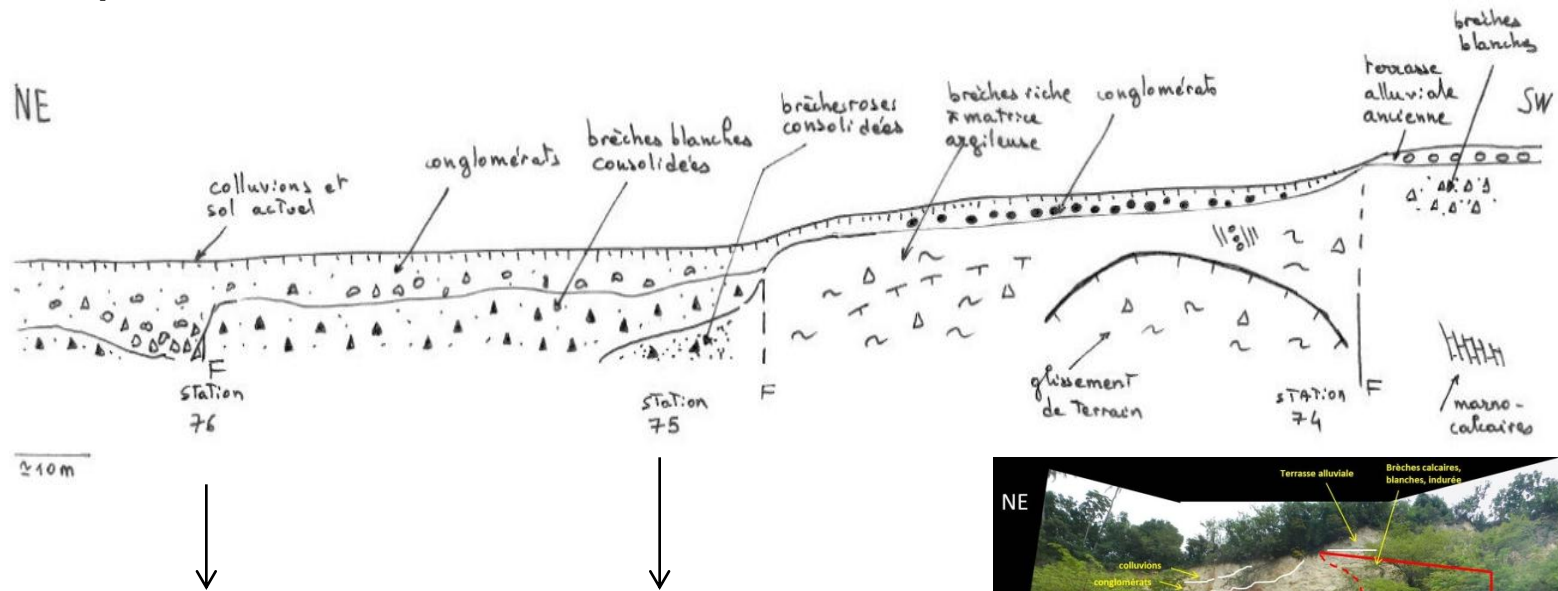
jeudi 27 juin 2013

# Log litho stratigraphique relevé sur Port-au-Prince





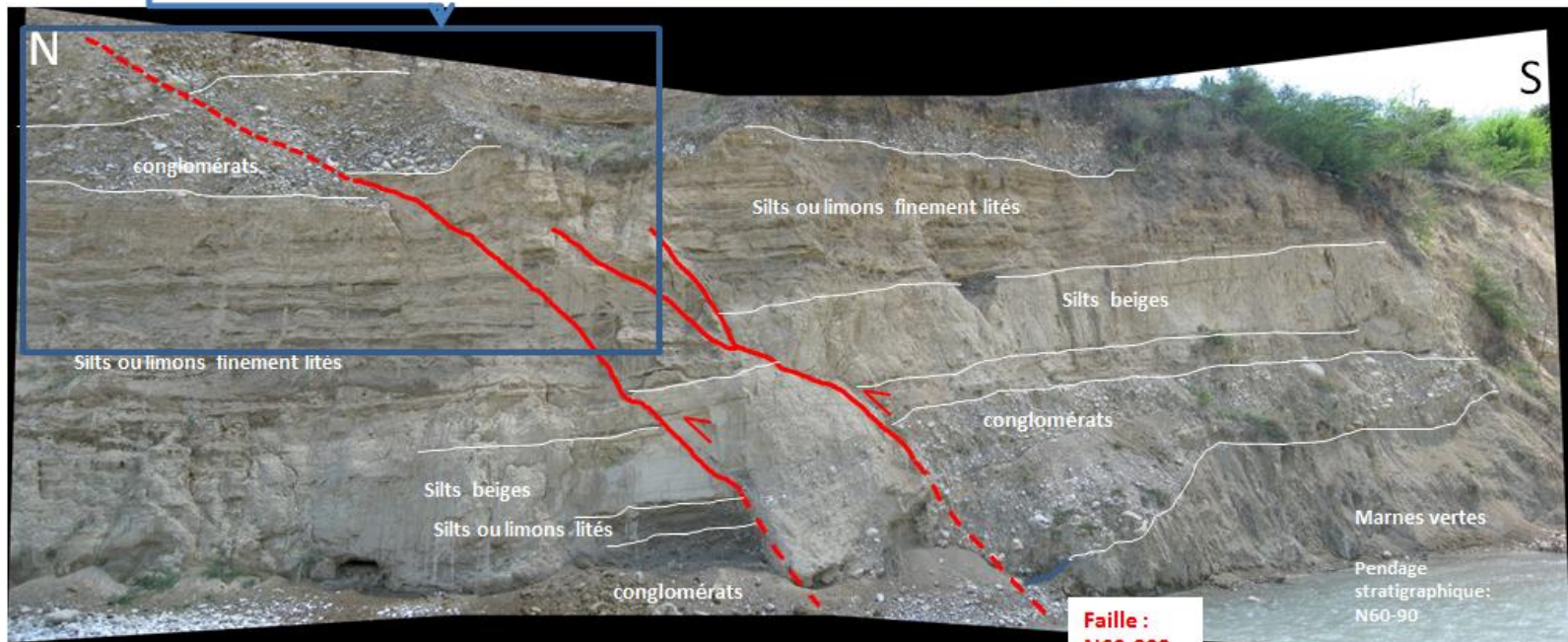
## En complément à la cartographie des différentes unités lithologiques, étude des déformations tectoniques



Série de failles à pendage vertical, jeu quaternaire, de direction WNW-ESE, au contact avec les marno-calcaires mio-pliocènes et les conglomérats quaternaires



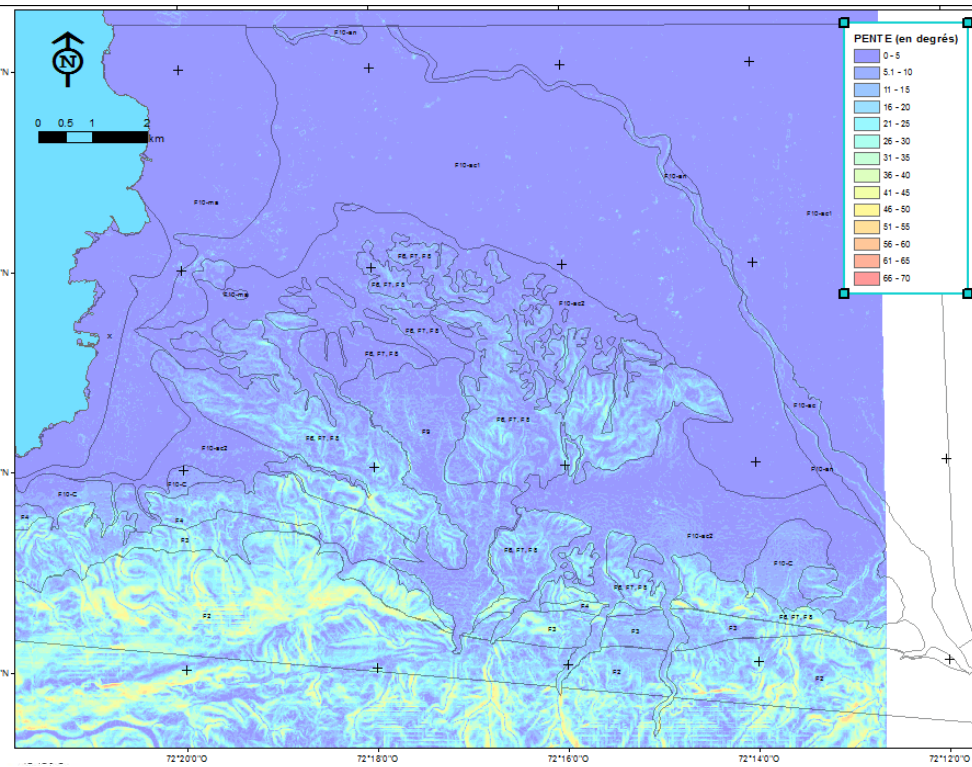
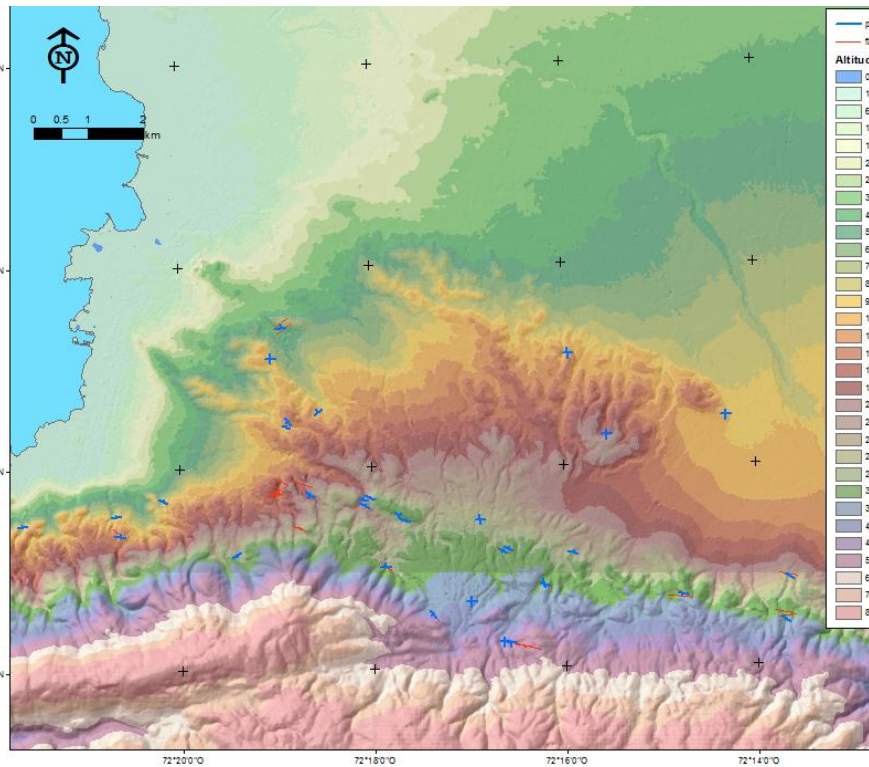
# Observations sur le terrain



**Failles inverses quaternaires, de direction NE-SW, visibles le long de la Rivière Grise, au contact avec les marnes grises pliocènes**

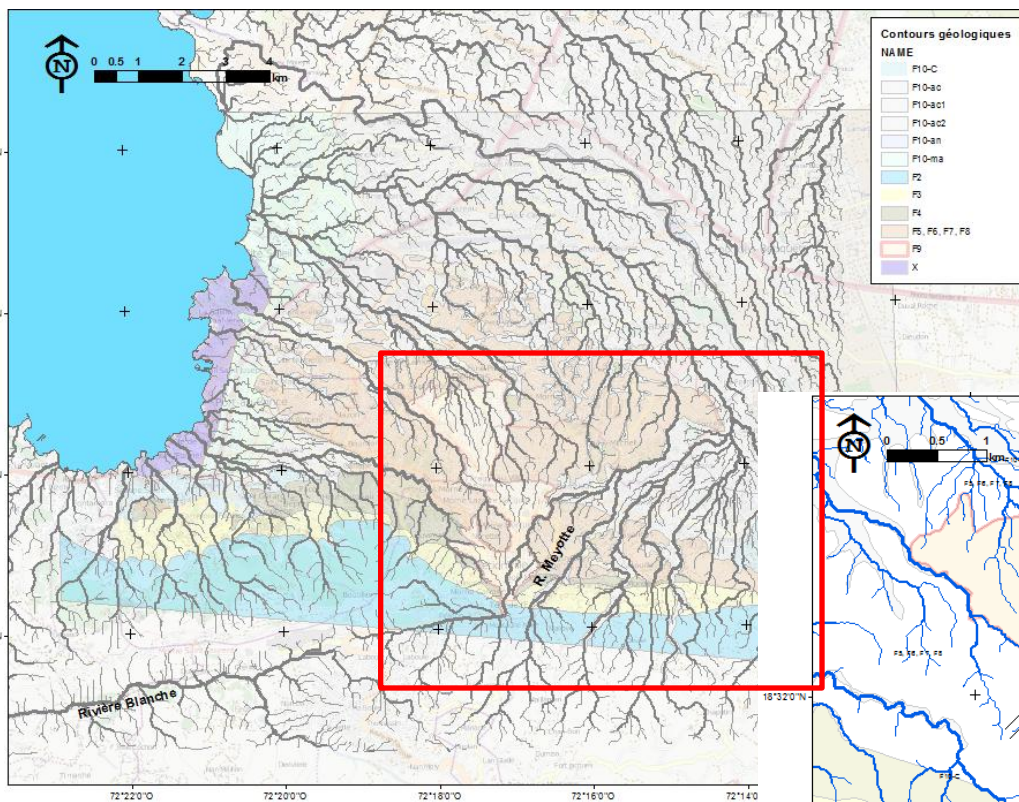
# Analyse morpho structurale

Le modèle numérique de terrain et ses dérivés (tels que la pente et le MNT ombré) montrent une direction morphologique privilégiée WNW-ESE.



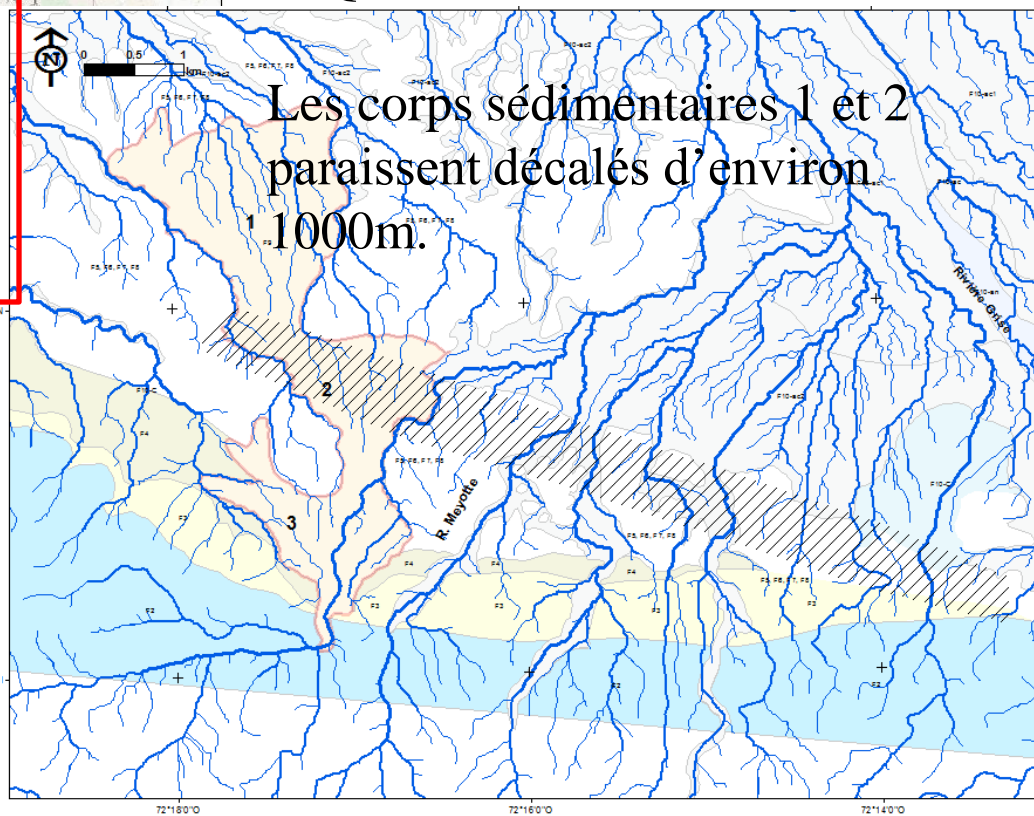


# Réseau hydrographique



Au centre de l'agglomération, le cône d'épandage, probablement Quaternaire, est coupé de la partie amont du bassin versant d'origine.

Trois ensembles sont distinguables (numéros 1 à 3) : épandages successifs du bassin versant depuis le Quaternaire ancien.

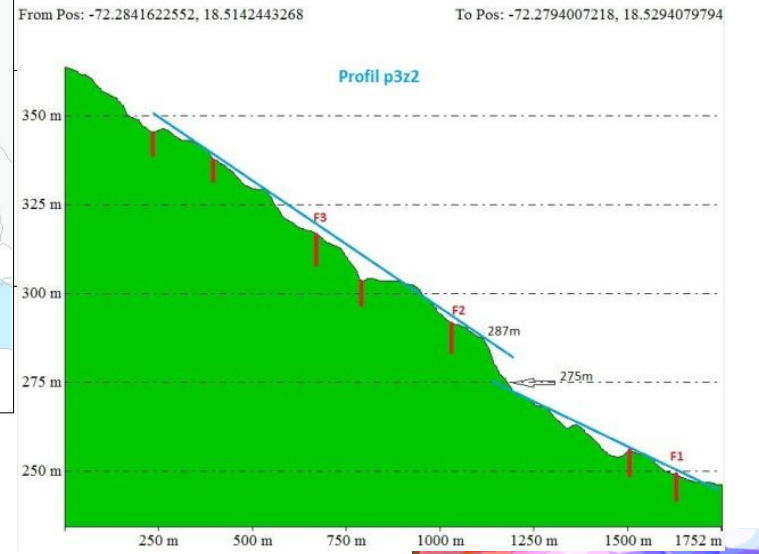
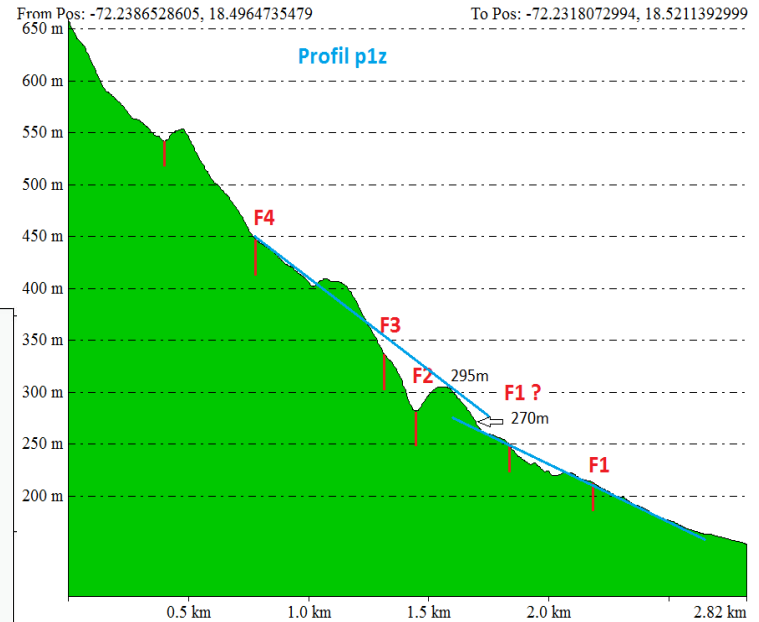
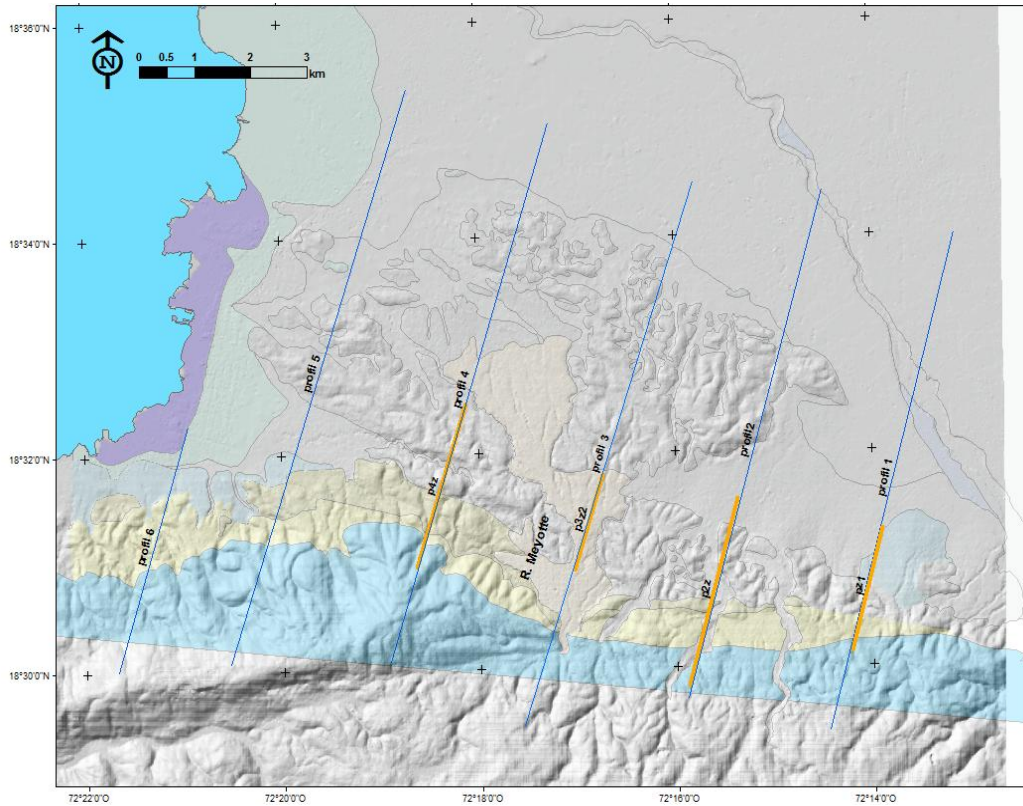


Les corps sédimentaires 1 et 2 paraissent décalés d'environ 1000m.

L'analyse du réseau hydrographique situé dans le prolongement ESE montre aussi de changements de direction des drains hydrographiques (zone hachurée)

# Profils stratigraphiques

montrent localement des ruptures de pente d'ordre décimétrique à pluridécimétrique dans la surface topographique.

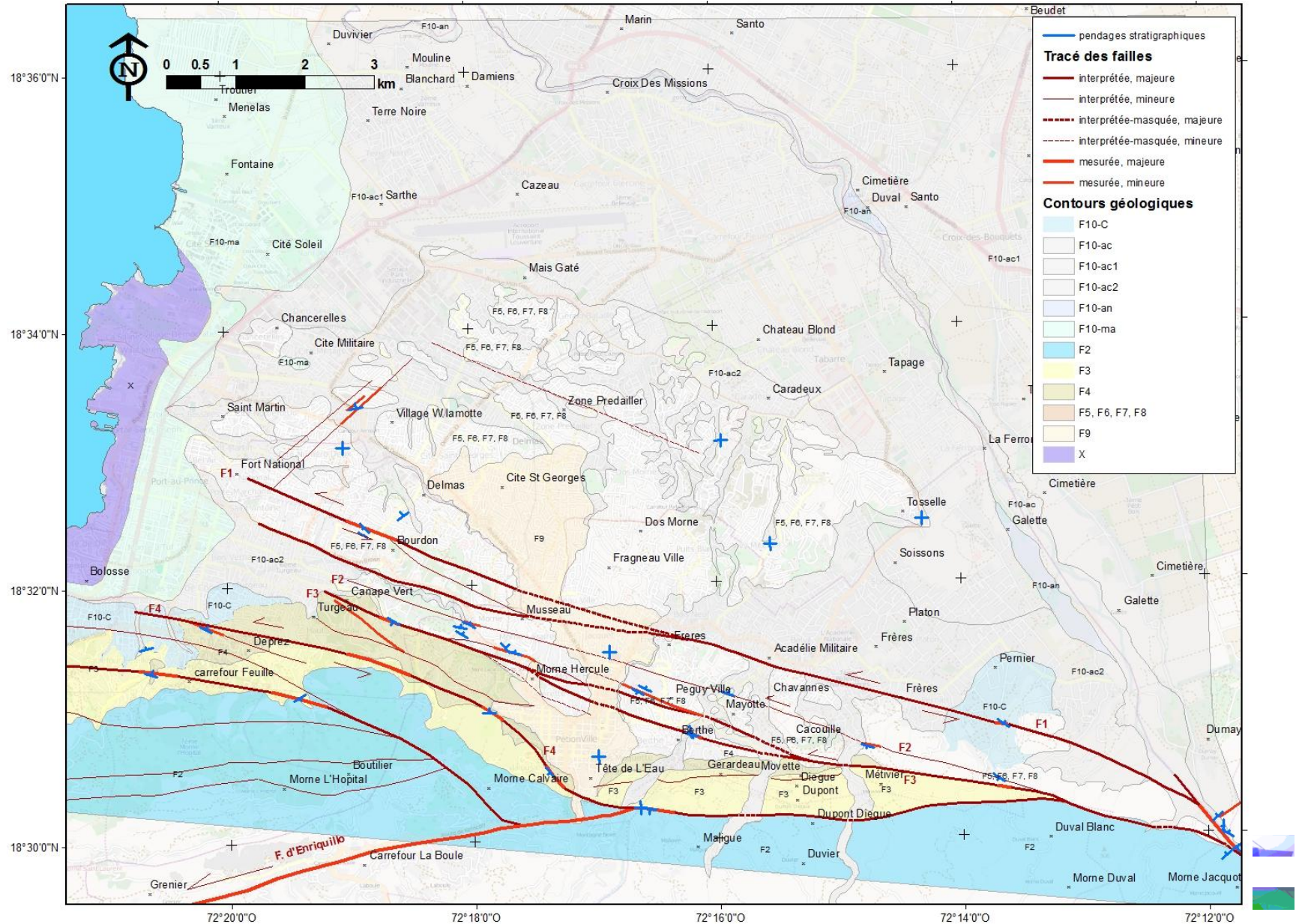


jeudi 27 juin 2013

KAL-Haïti



# Carte géologique préliminaire de l'agglomération de Port-au-Prince



# Conclusions sur la partie Failles actives du microzonage

- Localisation de plusieurs failles actives, N120, à jeu décrochant senestre – inverse
- Vitesse du mouvement horizontal de l'ordre de 0,5 ( $\pm 0,2$ ) mm/an

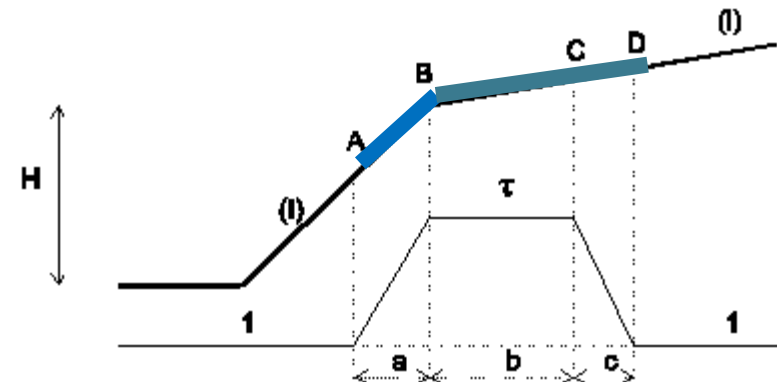
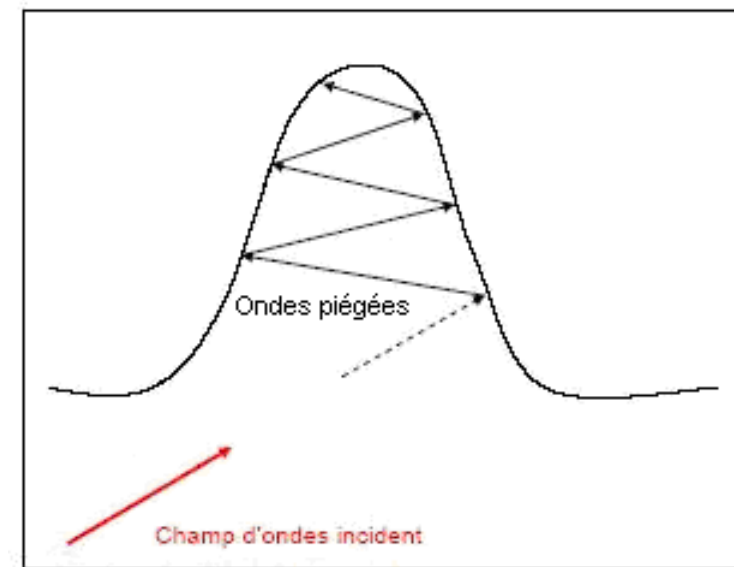
Ces résultats sont à confirmer et à approfondir ultérieurement par des investigations sismiques et tranchées paléosismiques pour réduire les incertitudes sur le tracé des failles, et mieux évaluer leur taux d'activité.

Concernant les recommandations sur la prise en compte des failles dans le cadre du microzonage, les cartographiques actuelles sont insuffisantes pour définir le tracé exact de ces accidents. Néanmoins, pour les plus importantes, une largeur de bande, de part et d'autre d'un tracé le plus probable, pourrait être retenue. Au niveau de cette bande, des recommandations spécifiques pourraient être inscrites (notamment sur les limites à la construction d'ouvrages stratégiques ou à fort enjeu).



# Effet de site topographique

- > Amplification du mouvement du sol au niveau d'un bord de talus ou d'une ligne de crête
- > Modélisation quantitative du phénomène est encore du domaine de la recherche
- > Pas pris en compte dans le code de construction IBC (en application en Haïti)
- > Approche proposée est une **approche forfaitaire** tels que pour les microzonages en France (EC8):
  - Les spectres de réponses pour le dimensionnement des bâtiments sont augmentés d'un coefficient d'amplification forfaitaire  $\tau$  fonction de la pente
  - Calcul des zones concernées avec un logiciel BRGM à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT).



En noir: le profil topographique

En bleu: la zone topographique concernée par un effet de site topographique

Coefficient  $\tau=1$  : pas d'effet

Coefficient  $\tau=1.4$  : effet max pris en compte

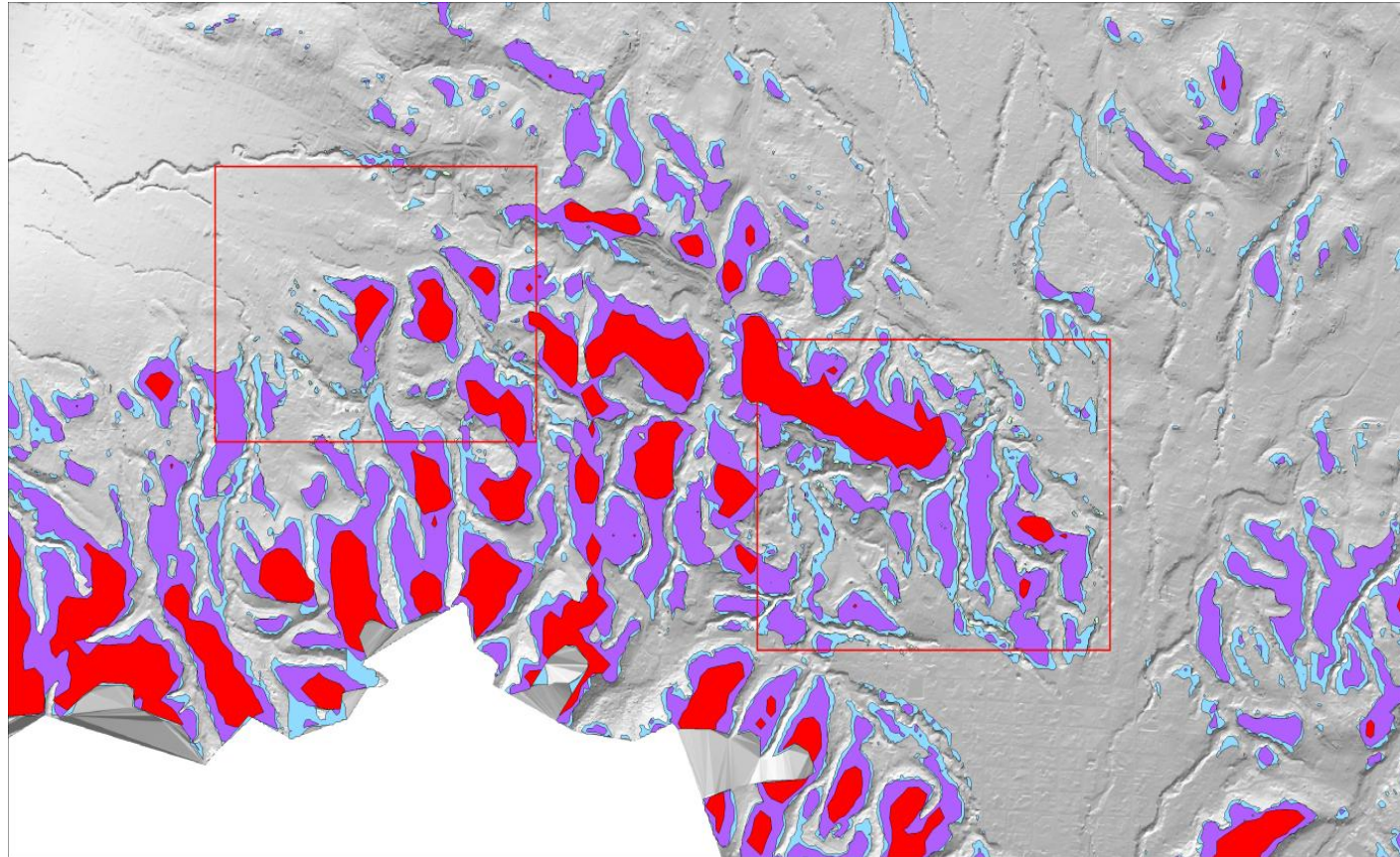
# Effet de site topographique

Quelle résolution de MNT nécessaire pour ce zonage forfaitaire ?

Essais à partir du  
MNT LIDAR dégradé  
à 50m (rouge), 20 m  
(mauve), 10 m (bleu  
ciel)

Comparaison entre pas  
10m et 5 m sur des  
zones cibles  
(rectangles rouges).

Nécessité d'avoir au  
moins un pas de 10 m.  
Pas de 5m ou moins  
(calculs trop lourds  
pour des niveaux de  
détails qui ne sont plus  
à l'échelle du  
microzonage)

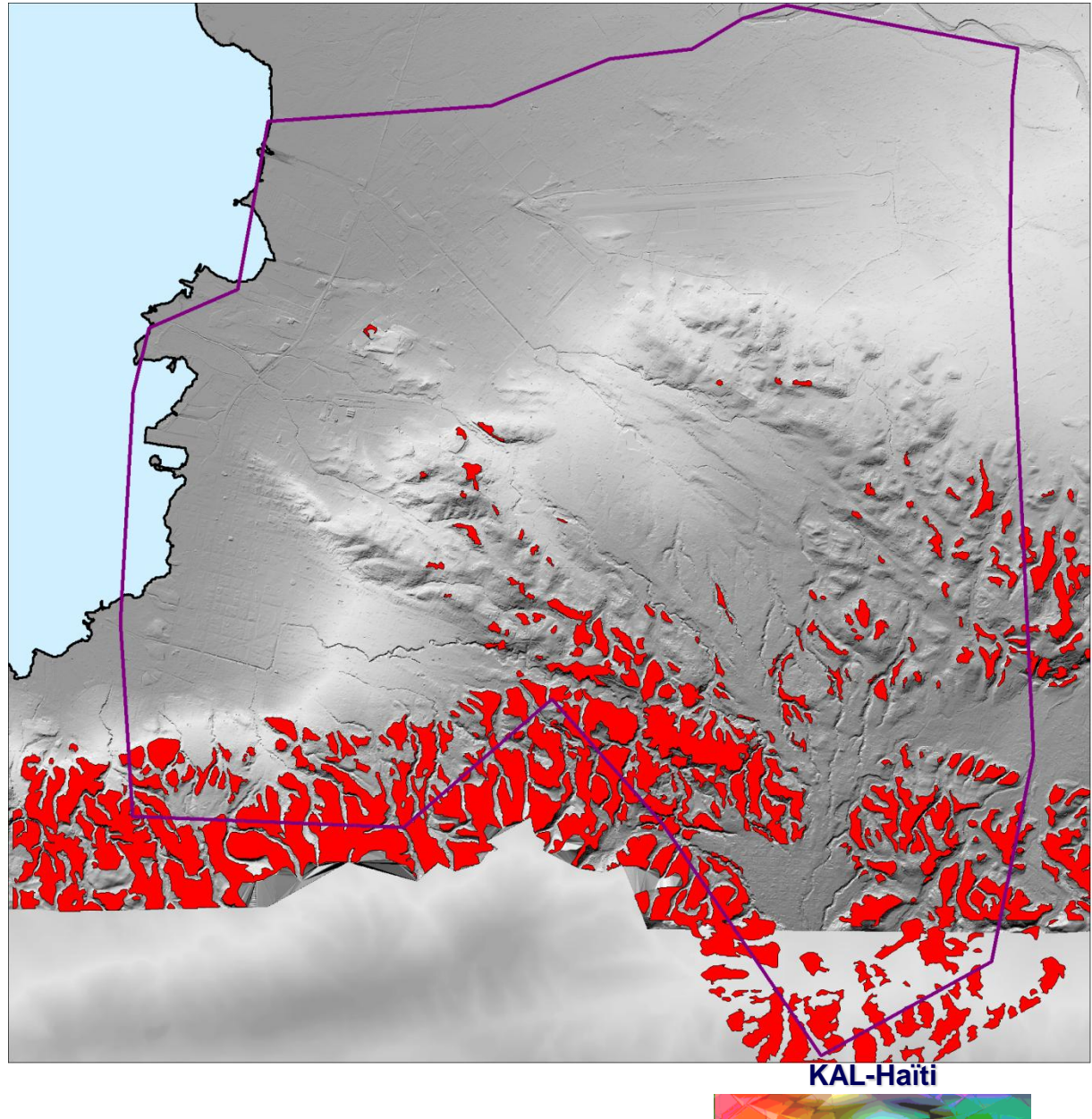




# Effet de site topographique

Zonage des effets de site topographiques au niveau de l'agglomération de Port-au-Prince.

Concerne une zone étendue du sud de l'agglomération urbaine, notamment des zones déjà fortement urbanisées



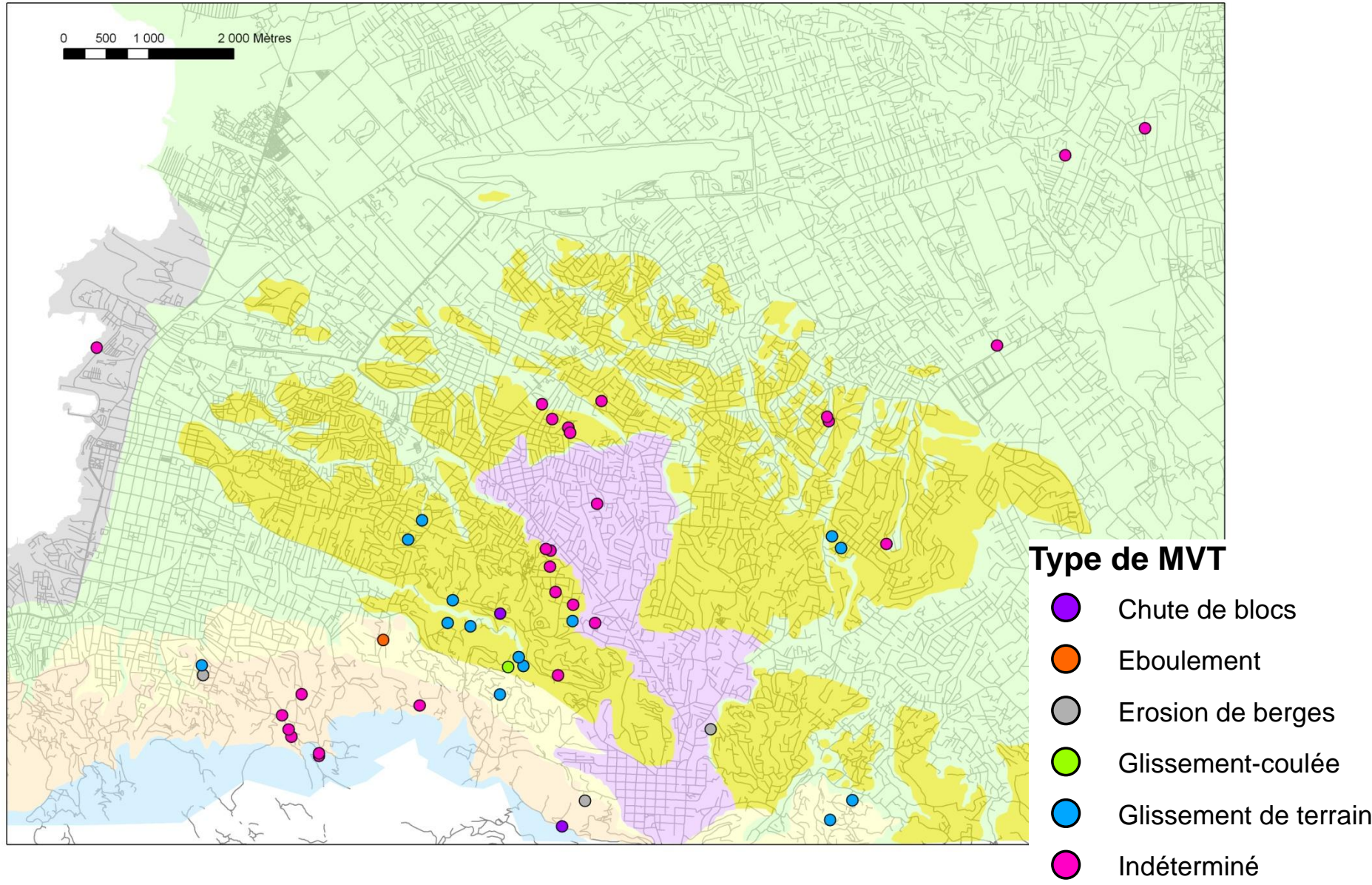
# Mouvements de terrain sur Port-au-Prince

Démarche:

- Inventaire des Mouvements de terrains et de leur typologie
- Lien avec la nature des formations lithologiques
- Evaluation du niveau d'aléa: Croisement entre nature des formations et les pentes.
- Cartographie (prise en compte: lithologie, pentes, reconnaissances de terrain, rebord et pied de falaises...)

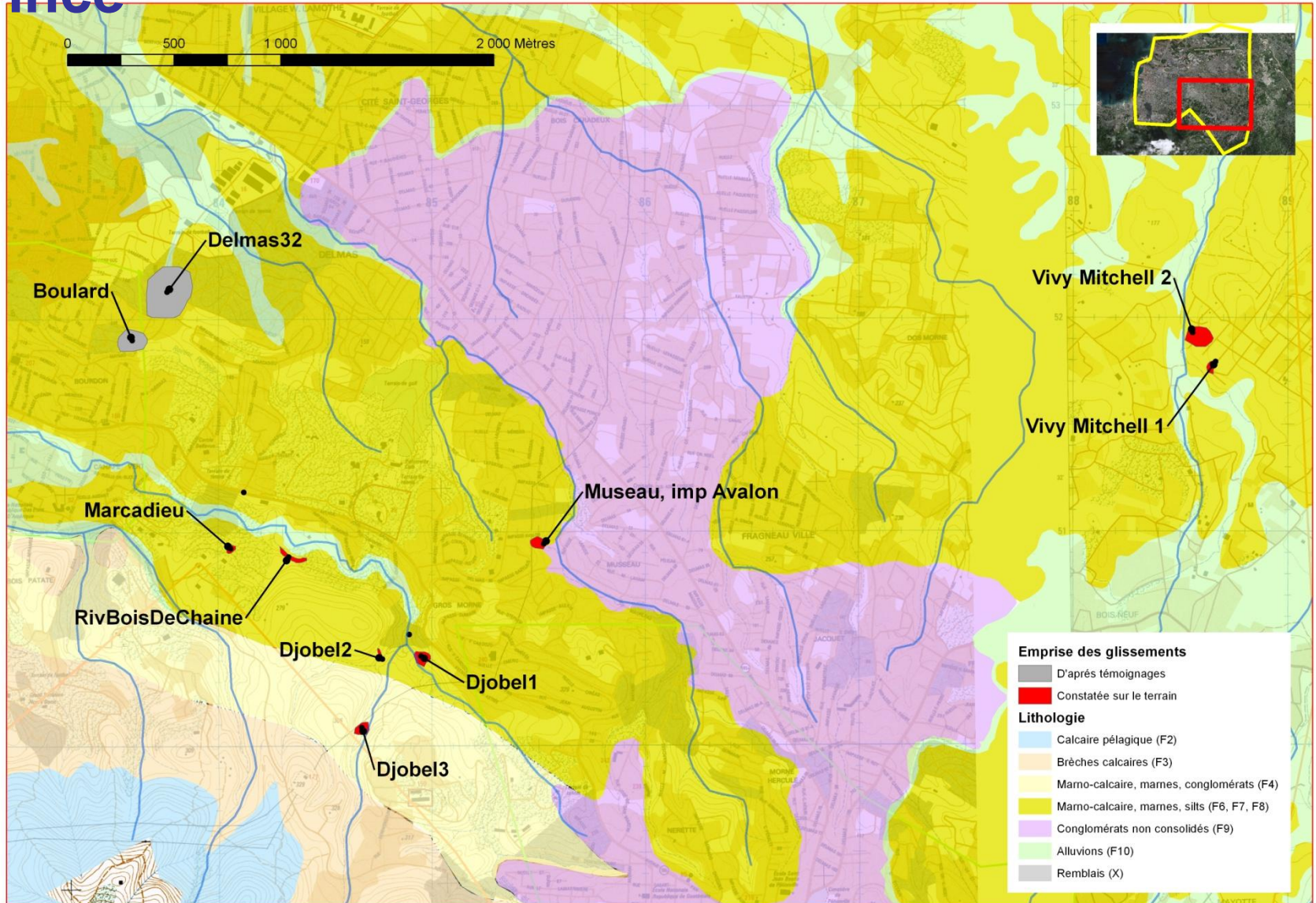


# Inventaire des mouvements de terrain sur Port-au-Prince





# Zoom sur les glissements de terrain sur Port-au-Prince



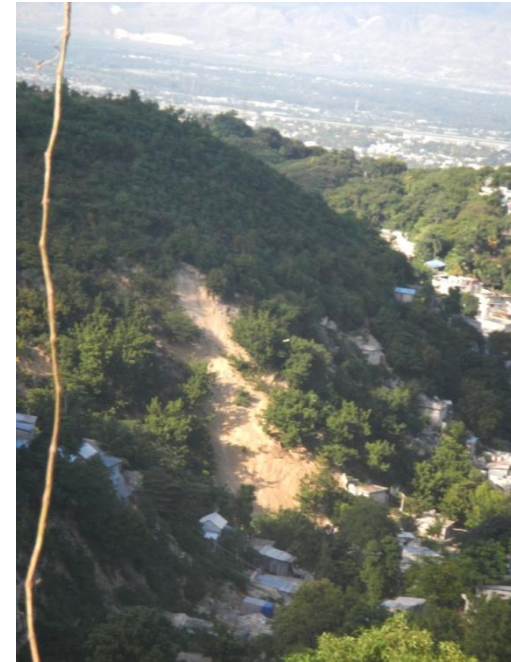


# Principaux grands glissements observés

**Djobel 1 (7 morts et 11 maisons détruites)**



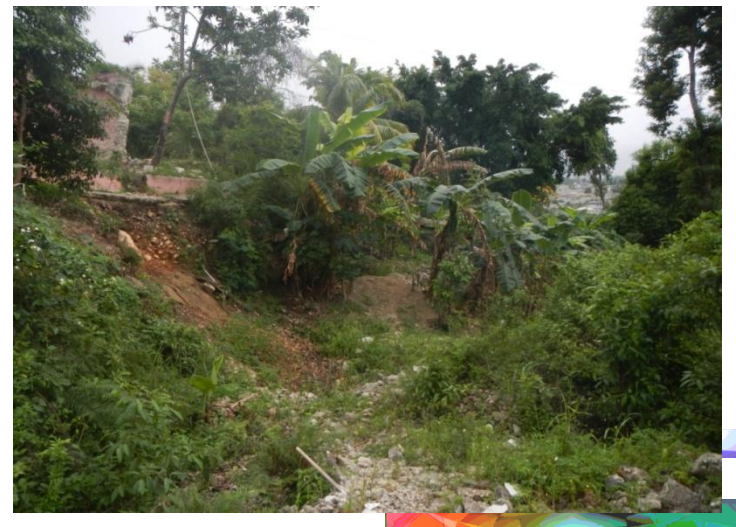
**Djobel 2**



**Museau (plusieurs maisons détruites)**



**Vivy Michell 2 (5 maisons détruites, une dizaine de maisons fissurées)**





# Nature des formations lithologiques

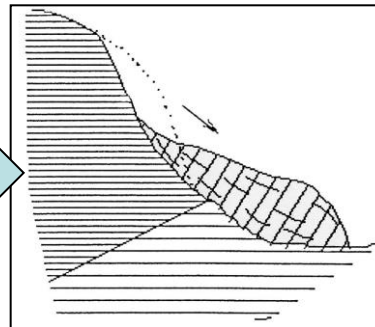
- **Trois types de lithologie se distinguent sujets à différents mouvements de terrain**



Les horizons marno-calcaires (F4 à F8)



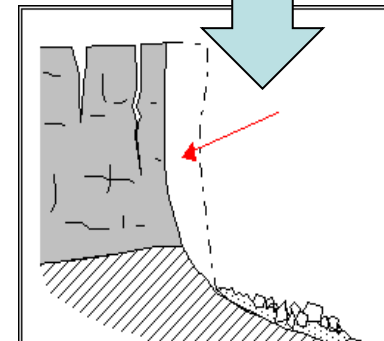
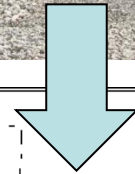
Les horizons de conglomérats non consolidés et alluvions (F9, F10)



Sensible au glissement de terrain



Les horizons rocheux : calcaires et brèches calcaires (F2, F3)



Sensible au chute de blocs

# Méthodologie d'évaluation de l'aléa proposée

- > Limite de classe théoriquement basée sur l'angle de frottement de chaque formation et calée par des retours d'expérience

		< 5°	< 15°	20°	>25°	>30°	
F10	Alluvions, colluvions, silts non consolidés		F	M	M	F	↑ Glissement de terrain Chute de bloc ↓
F9	Conglomérat calcaire non consolidé		F	M	M	F	
F5 à F8	Banc-calcaire, marno-calcaire (20 à 40 cm), silts	F	M	M	F	F	
F4	Marno-calcaire, bancs (5 à 10 cm), argiles, chenaux conglomératiques	F	M	M	F	F	
F3	Brèches calcaires, conglomérats cimentées					F	↑ Chute de bloc ↓
F2	Calcaire					F	



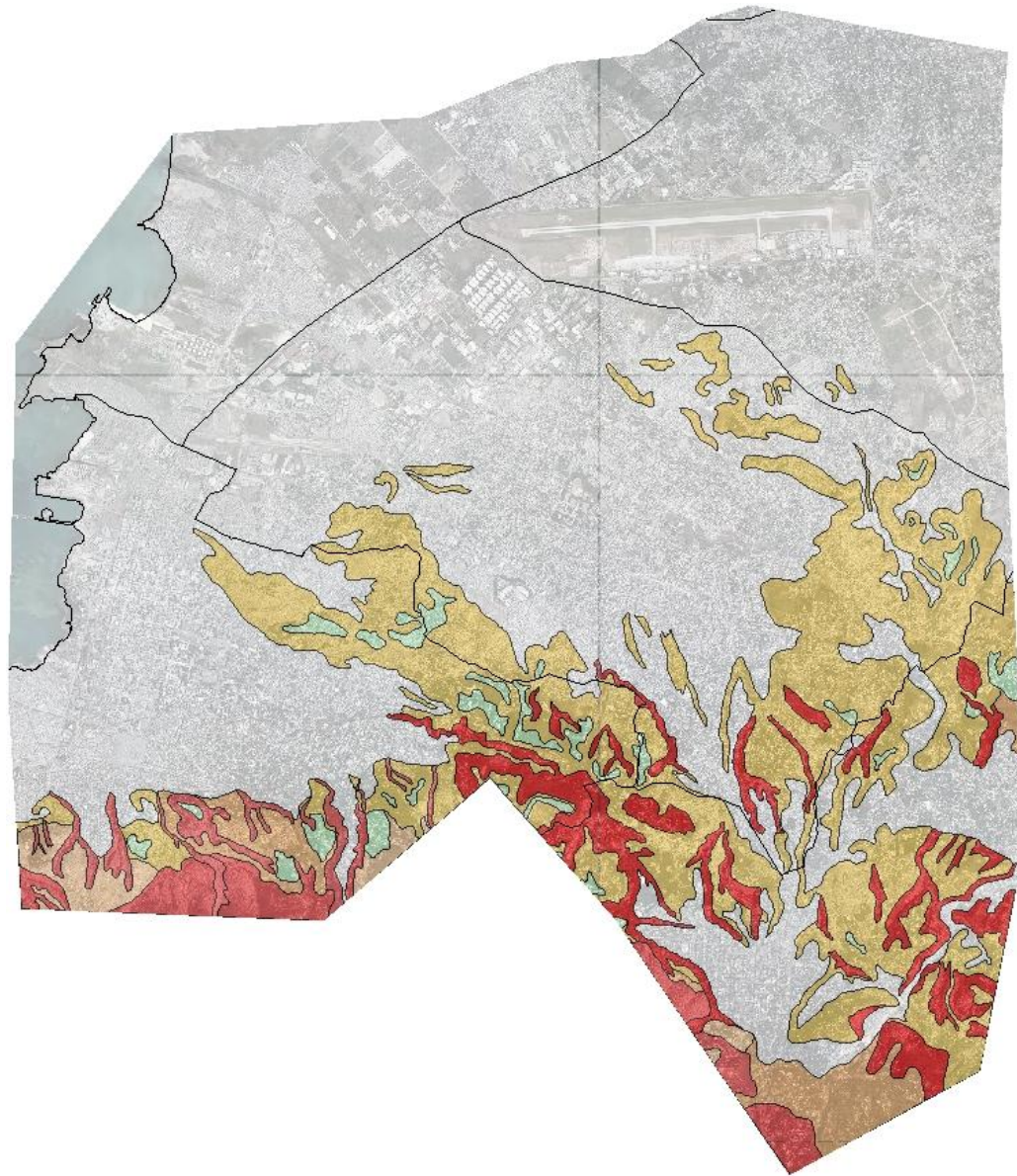
# Cartographie de l'aléa mouvement de terrain

- En rouge zone d'aléa fort (rouge foncé: glissements de terrains, rouge clair chutes de blocs, rose: les deux). (Cartographie finale en cours)
- Nombreuses zones concernées.

## Préconisations/recommandations:

- interdire les rebords et pieds de falaises
- Dans les zones d'aléa moyen et fort, avis géotechnique obligatoire pour déterminer les dispositions spécifiques à prendre pour appliquer les règles de constructions (IBC, EC8 ...)

Réglementation à mettre en place dans le cadre de Plans de Préventions des Risques



# Conclusions / perspectives

- **Projet Microzonage**

- Présentation des principaux résultats aux autorités haïtiennes fin juin. Rapports et cartographie finale en Octobre.
- Poursuite des Microzonages sur Cap Haïtien, Fort Liberté, Ouanaminthe, Port de Paix (2013-2014)

- **Résultats**

- Failles actives: indices forts d'activité récente. Recherches à poursuivre
- Mouvements de terrains: aléa fort sur de grandes étendues déjà urbanisées. Pb connu. Cartographie des sites concernés maintenant disponible. Actions de préventions ?

- **Utilisation d'imagerie satellitaire**

- Indispensable pour l'étude de microzonage, sous forme de produits directement exploitables de type MNT
- Apport de KalHaiti pour aide à l'analyse des failles