



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ambassade de Suisse en République d'Haïti
Bureau de projets directs de Port-Salut

Évaluation des risques Naturels du site de Grand Despas, Commune des Coteaux

RAPPORT D'ETUDE DES RISQUES NATURELS en vue de construire un abri communautaire dans la zone de Grand Despas

Client : Ambassade de Suisse en République d'Haïti
Bureau projets Directs de Port Salut

Guitho MICHEL,
Ingénieur Hydrogéologue, Msc Géosciences.
Téléphone : +50931783176
email :michelguitho@yahoo.fr
11 Novembre 2022

Table des matières

1	Résumé	3
2	Introduction et Principe d'intervention	4
2.1	Introduction	4
2.2	Éléments mise en œuvre pour bien mener la mission	4
3	Localisation générale du site	5
3.1	Localisation générale du site	5
3.2	Contexte géologique	5
3.3	Contexte hydrogéologique	6
3.4	Contexte sismologique	7
4	Présentation des méthodes d'investigations	8
4.1	Les Puits manuels	8
4.2	Le test de Percolation	9
4.3	Observation Environnementale et Consultation de Carte existante	9
4.4	Essai de pénétration dynamique au PANDA	10
5	Résultats et interprétations	10
5.1	Puits manuels	10
5.2	Identification des sols	11
5.3	Les essais Panda	11
6	Evaluation des risques Naturels	13
6.1	Aléa Sismique Régional et Local	13
6.2	Aléa Mouvement de Terre	13
6.2.1	Aléa Chute de Bloc Éboulement	13
6.2.2	Aléa mouvement de terrain	13
6.3	Aléa Inondation	14
7	Conclusion et Recommandations	15
8	Références Bibliographiques	16

Table des figures

1	Carte géologique de la zone Extrait de la carte géologique de la République d’Haïti au 1/250 000ème, feuille SE, DGM/BME	6
2	Carte Hydrogéologique de la zone	7
3	Carte de l’Aléa Sismique, Fig 4a	8
4	Localisation et environnement	9
5	Récapitulatif des essais de laboratoire	11
6	Réalisation d’un essai Panda et principes	12
7	Résultats des pandas	12
8	Aléa chute de Bloc	13
9	Aléa Mouvement de terrain	14
10	Image de Synthèse	15

1 Résumé

Dans le cadre de la construction d'un abri communautaire dans la section communale Grand Despas, commune des Coteaux, L'Ambassade de Suisse en République d'Haïti a sollicité un service de Consultation, pour la réalisation Evaluation des risques du site de Grand Despas, commune des Coteaux, Sud. Ce rapport est rédigé dans le but d'exposer les principaux résultats des investigations réalisés, et de formuler des recommandations pour la suite du projet. Pour atteindre ces objectifs,

il a été réalisé :

- Une (1) campagne d'observation environnement du site sur rayon de 500 metres ;
- Quatre (4) puits manuels.
- Deux (2) pénétromètres dynamiques Léger.
- Un (1) Test de Percolation

Les travaux d'évaluation réalisés sur le site retenu pour la construction de l'abri communautaire à Grand Despas (Les Coteaux) ont permis d'établir les conclusions et recommandations suivantes : L'analyse sismique du bâtiment peut se faire pour un peak grounds accélération 0.4 g selon la carte d'alea régionale de Frankel de 2010, le site est de Classe D.

Le site n'est pas sujet à l'éboulement et chute de bloc.

L'observation sur place des puits manuels indique des fonds de fouille, à priori, stables et la présence du limon comme liant dans la formation géologique montre qu'il suffit de contrôler et limiter l'érosion hydrique pour l'aléa glissement de terrain.

L'érection d'un mur en maçonnerie de roche ou en gabion est recommandée au nord(zone de la route d'accès) et au sud(zone du ravin) du site.

L'emplacement du bâtiment doit écarter le ravin de dix (10) mètres environ¹.

Le bâtiment doit écarter la route d'accès de cinq (5) mètres environ.

L'analyse des essais de pénétration dynamique a révélé un sous-sol dont la résistance dynamique de pointe est supérieure à 10 MPa à 1.6 mètre de profondeur. La résistance de calcul ne doit pas dépasser 1/20 de 10 MPa. Il conviendra donc de limiter les contraintes de calcul à une valeur (sous charges verticales et centrées) de l'ordre de 0.50 MPa.

1. voir l'annexe B du document

2 Introduction et Principe d'intervention

2.1 Introduction

On a été mandaté par les responsables de l'Ambassade de Suisse, une institution qui intervient dans plusieurs domaines notamment la résilience aux risques et désastres en Haïti. Ainsi, dans le cadre du Projet d'Appui à la Reconstruction d'Habitats avec Formation dans le Sud (PARHAFS), veut construire un abri communautaire qui se trouve à Grand Despas, commune des Coteaux, Sud.

Il s'agit d'un bâtiment de refuge pour les habitants de la zone en cas d'événements adverses (tempêtes tropicales, inondations, tremblement de terre...). La population doit, avec toute quiétude s'y rendre pendant la période d'urgence pour vivre en toute sécurité jusqu'à leur retour à leur domicile.

Néanmoins, suite à la consultation et à l'examen technique pour cette construction, une étude Hydrogéologique des risques associés a été demandée, permettant de produire un rapport indiquant s'il est possible de construire sur le site en fonction des risques naturels potentiels existants. C'est donc dans ce cadre qu'on a été consulté pour la réalisation d'une étude hydrogéologique du site destiné à recevoir l'abri provisoire. Afin d'analyser les potentiels risques existants et proposer les mesures correctives faces aux aléas présents du site.

Le présent rapport consigne l'ensemble des informations et techniques requises pour mieux construire dans ce site afin d'assurer la conformité de l'abri aux conditions environnementales.

2.2 Éléments mise en œuvre pour bien mener la mission

L'objectif spécifiques de cette évaluation a consisté à :

- Analyser la situation actuelle et future concernant les autres aléas et vulnérabilités.
- Déterminer la perméabilité des sols
- Recommander des mesures correctives en cas de risques naturels avérés.
- Estimer la contrainte admissible du sol ;

Ainsi pour bien mener cette mission on a réalisé :

1- Une première visite de terrain le 26 octobre 2022, où nous avons localisé les points de mesure, le contexte local a été appréhendé. La vérification des conditions d'instabilité probable des berges a été effectuée ainsi que la vérification des points d'eau existant qui pourrait permettre le drainage vers le site d'exploitation.

2- Une seconde visite de terrain le 27 octobre 2022, où les puits ont été creusés et supervisés afin de récupérer les échantillons de terrain pour les tests de laboratoire afin d'avoir la capacité portante du sol. Dans cette même journée les essais de pénétromètre dynamique léger ont été effectués et un essai de percolation du sol.

- a) Une (1) campagne d'observation environnement du site sur un rayon de 500 mètres ;
- b) Quatre (4) puits manuels.
- c) Deux (2) pénétromètres dynamiques Léger.
- d) Un (1) Test de Percolation.

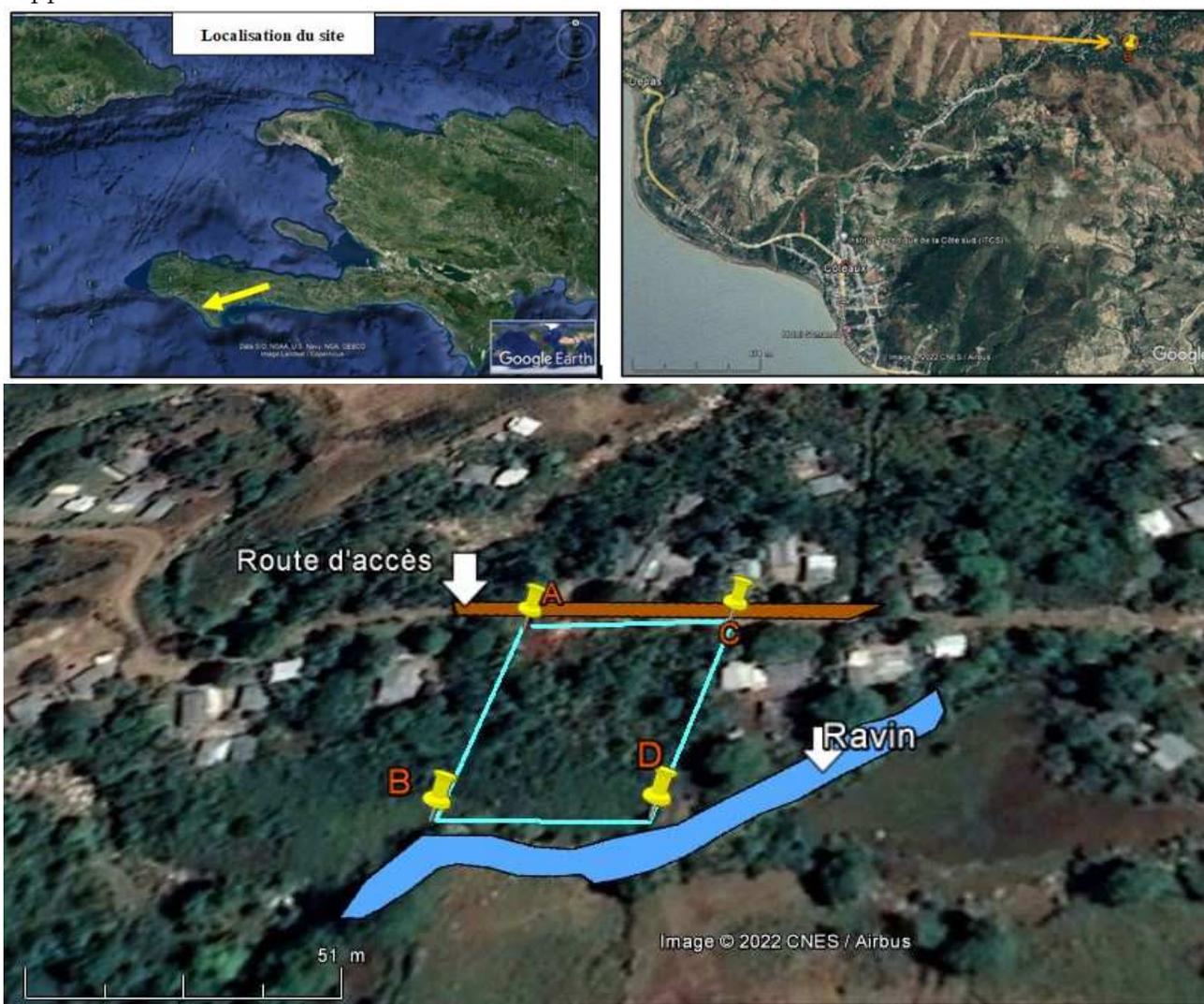
3- Une synthèse bibliographique aussi exhaustive que possible.

3 Localisation générale du site

3.1 Localisation générale du site

Le site concerné se trouve dans le département du Sud, dans la commune des Coteaux et dans la section communale Grand-Despas. Le site peut être repéré par quatre points de coordonnées géographiques : A ($18^{\circ}13'15.10''N$; $74^{\circ}1'20.30''O$); B($18^{\circ}13'14.90''N$; $74^{\circ}1'19.01''O$); C($18^{\circ}13'13.62''N$; $74^{\circ}1'20.48''O$); D($18^{\circ}13'13.40''N$; $74^{\circ}1'19.30''O$).

L'altitude moyenne est estimée à environ 96 m au-dessus du niveau de la mer. Elle est bornée au nord par la route d'accès, au sud par un ravin, à l'ouest et à l'est par d'autres terrains. Le terrain est plat et les limites nord et sud ont un dénivelé de plus d'un mètre respectivement par rapport à la route et le fond du ravin.

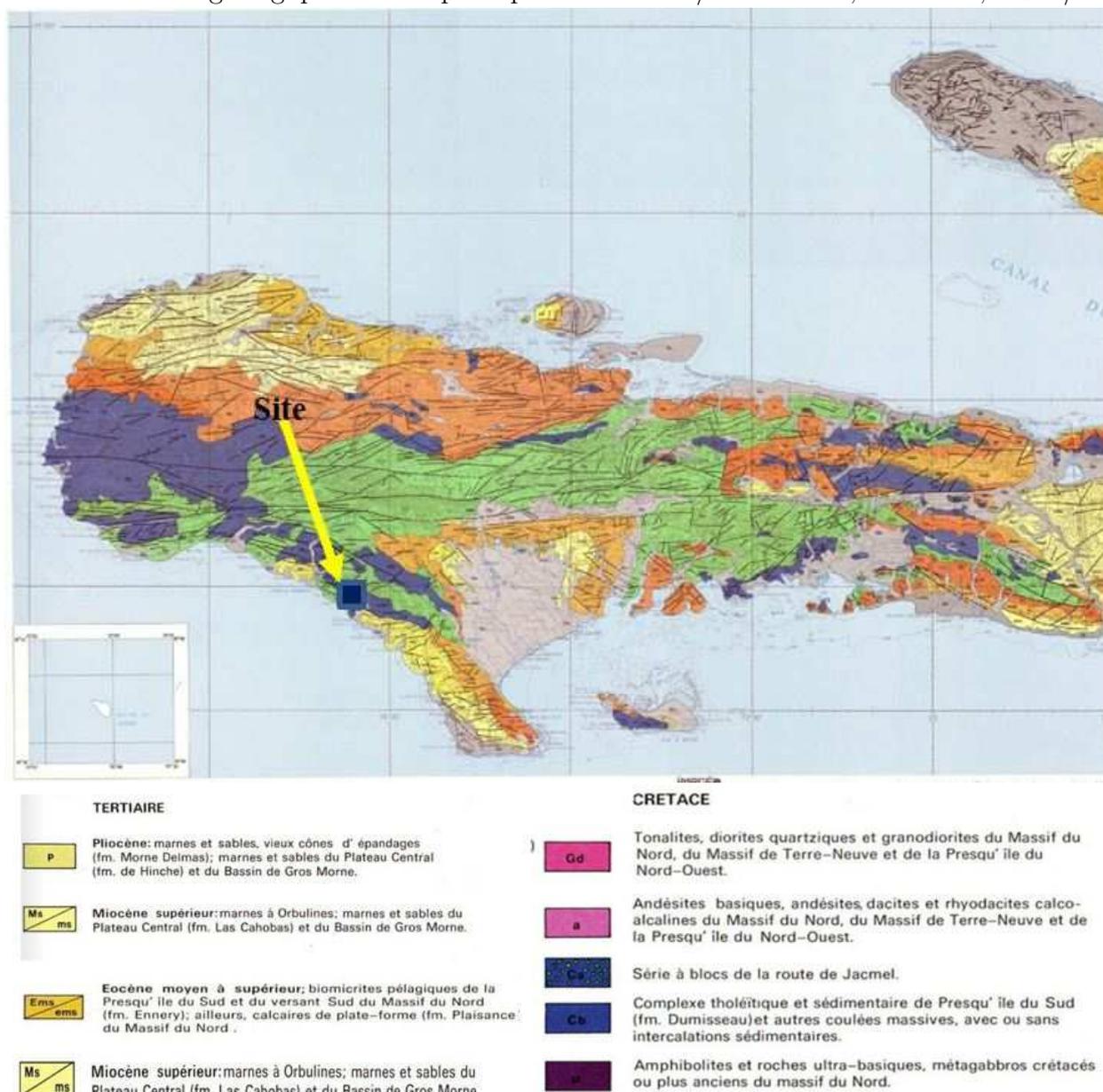


3.2 Contexte géologique

Le site d'étude appartient à un complexe tholeitique et sédimentaire de la presqu'île du Sud (ex formation Dumisseau) et autre coulée massive sans ou avec intercalation sédimentaire datant du Crétacé (Cb sur la carte géologique) selon les informations fournies par la carte géologique de la République d'Haïti au 1/250 000ème publiée par le Bureau des Mines et de l'Énergie (BME).

FIGURE 1 – Carte géologique de la zone

Extrait de la carte géologique de la République d’Haïti au 1/250 000ème, feuille SE, DGM/BME

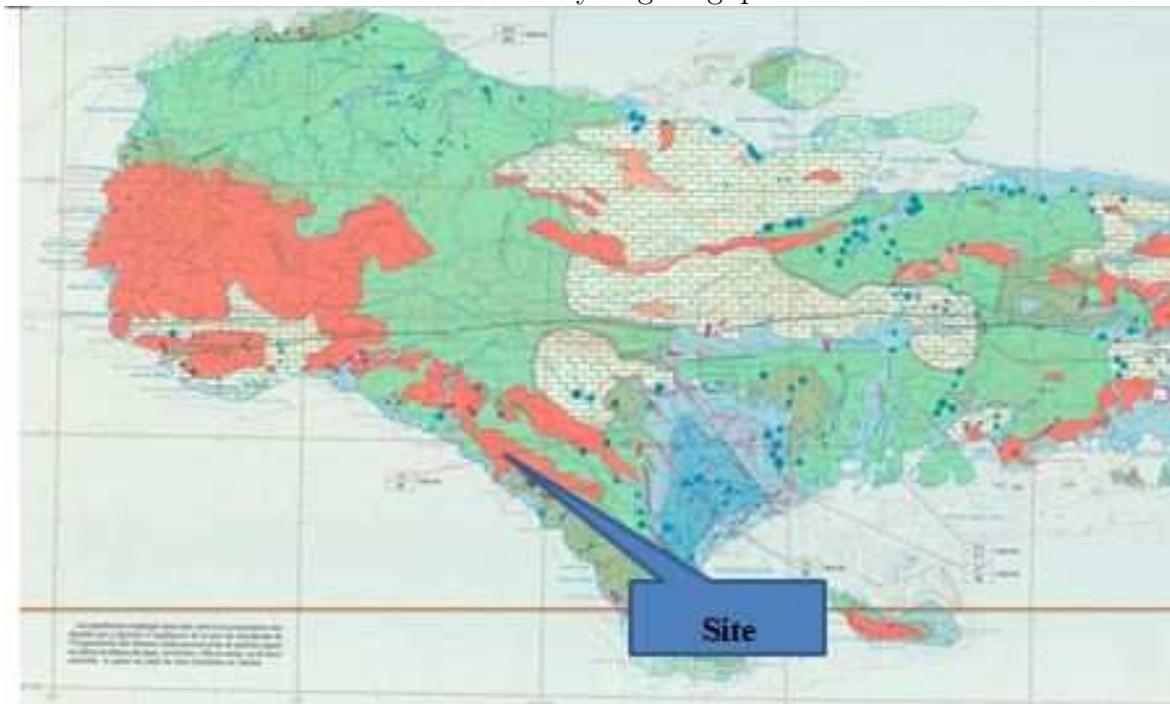


Source: Carte géologique de la République d'Haïti au 1/250 000ème, feuille Sud-est (Port-au-Prince), Bureau des Mines et de l'Énergie (BME).

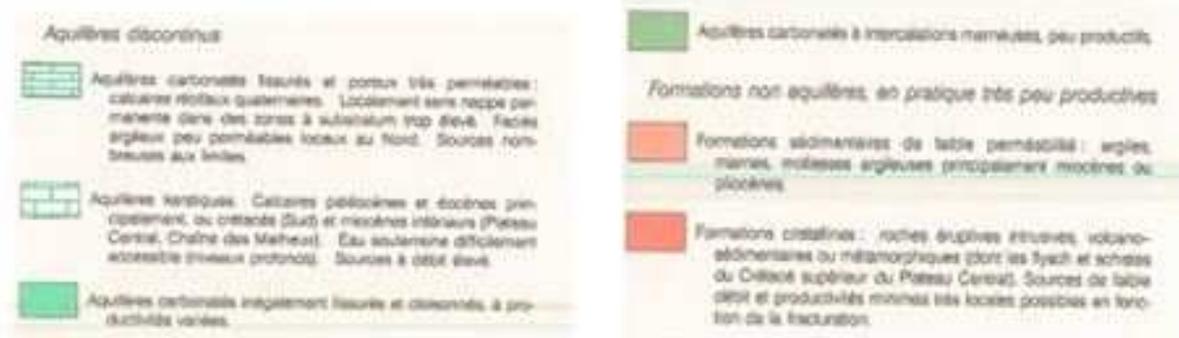
3.3 Contexte hydrogéologique

Le site appartient au domaine des formations cristallines : roches éruptives intrusives, volcano-sédimentaires ou métamorphiques. Source de faible débit de productivités minimales très locales possible en fonction de la fracturation selon les informations fournies par la carte hydrogéologique de la République d’Haïti au 1/250,000ème dressée par le Ministère de l’Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural et le Service National des Ressources en Eau (décembre 1990) avec l’appui du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

FIGURE 2 – Carte Hydrogéologique de la zone



Extrait de la carte hydrogéologique de la République d'Haïti au 1/250 000ème, Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural et le Service National des Ressources en Eau et PNUD.



Source : Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural et le Service National des Ressources en Eau et PNUD).

3.4 Contexte sismologique

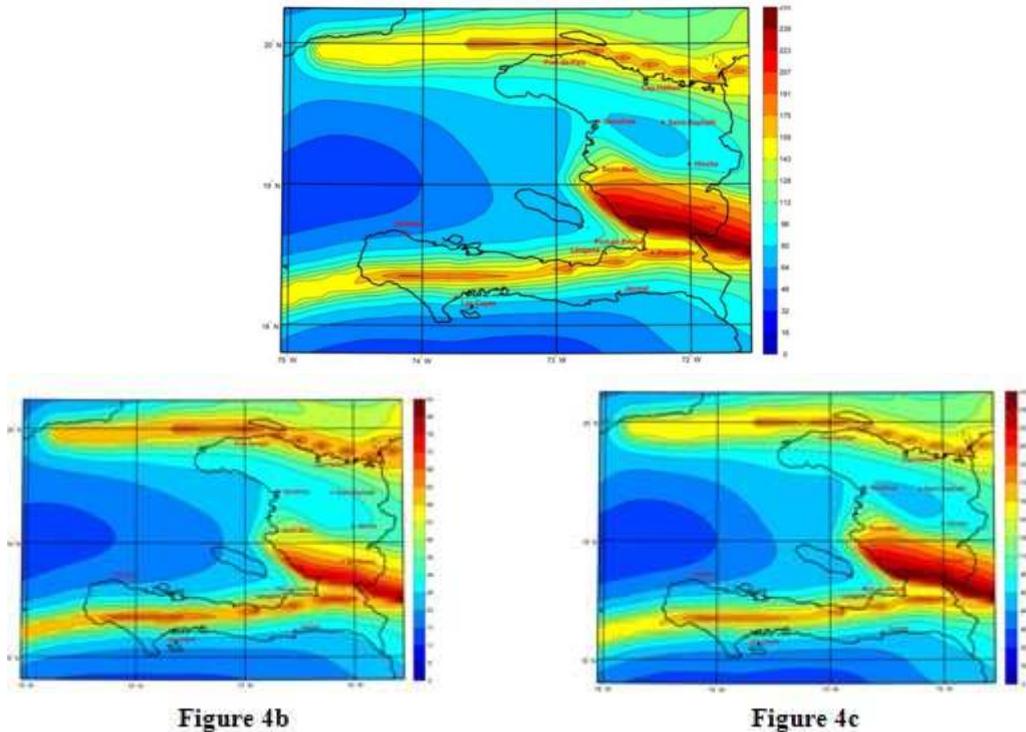
L'accélération maximale au rocher pour le site vaut 0.42g selon la carte d'aléa sismique établie par l'USGS* (U.S. Geological Survey) pour la région d'Hispaniola avec PGA (Peak Ground Acceleration) ayant une probabilité de 2% de dépassement sur 50 ans. g étant l'accélération de la pesanteur qui vaut environ 9.81 m/s².

-La figure 3 représente la carte d'aléa sismique pour la région d'Hispaniola avec PGA ayant une probabilité de 2% de dépassement sur 50 ans. Les risques liés aux répliques ne sont pas pris en compte [FRANKEL et al., 2010].

-La Figure 4b présente l'accélération spectrale (S1) pour une période de vibration de 1 sec avec une période de retour de 2500 ans (probabilité de dépassement de 2% en 50 ans) est 0.37

-La Figure 4c l'accélération spectrale (Ss) pour une période de vibration de 0.2 sec avec une période de retour de 2500 ans(probabilité de dépassement de 2% en 50 ans) est 1.03

FIGURE 3 – Carte de l'Aléa Sismique, Fig 4a



4 Présentation des méthodes d'investigations

4.1 Les Puits manuels

Les puits (manuels) appartiennent aux méthodes d'observation du terrain (soit en place, soit à l'aide d'échantillons) qui constituent avec les méthodes de mesure in situ (basées sur la mesure des propriétés physiques) les deux principales catégories de moyens de reconnaissance. Dans le cadre de cette étude, notre intérêt se porte principalement sur l'observation en place des couches de sol des profondeurs investiguées.



4.2 Le test de Percolation

Le principe de l'essai est basé sur la mesure de la descente du niveau d'eau dans le récipient gradué après son remplissage pendant une durée déterminée. Les résultats de l'essai s'expriment par la valeur du coefficient de perméabilité (K en m/s) à partir de la variation du volume d'eau introduit pour assurer un volume constant dans la cavité (V en m³) en fonction du temps (t en secondes). Après les données récoltées sur le terrain le sol a une capacité d'absorption de 42,39 litres par heure, soit 10⁻⁴m/s. Aussi le coefficient K=257, et est tel que 50<k<500, selon l'abaque on conclut qu'il s'agit d'un sable limoneux, on est en présence d'un sol perméable :

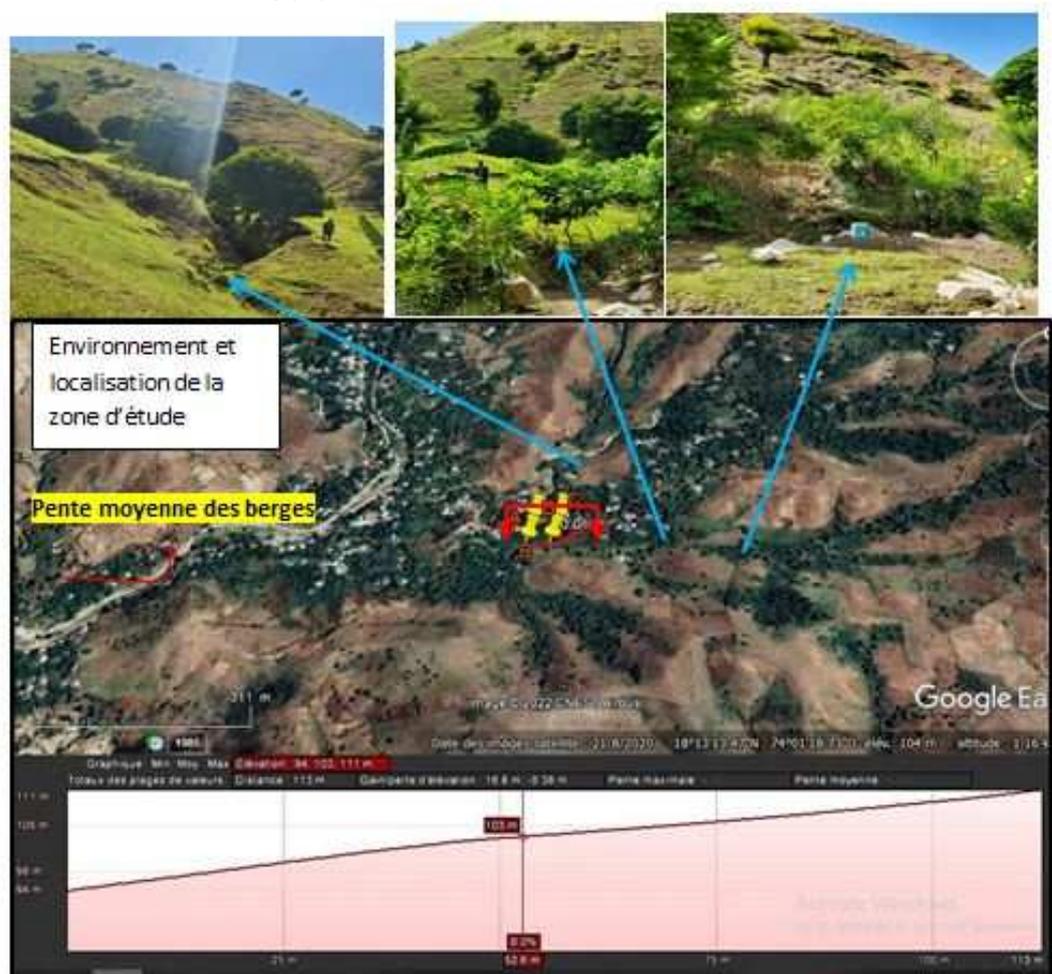


QUELQUES VALEURS MOYENNES DE PERMÉABILITÉ :

Perméabilité k (m/s)		10	1	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹
		+						-						
Granulo-métrie	homogène	gravier pur			sable pur		sable très fin		silt		argile			
	variée	gravier gros et moyen		gravier et sable			sable et argile-limons							

4.3 Observation Environnementale et Consultation de Carte existante

FIGURE 4 – Localisation et environnement



On a des sous bassins versants qui drainent des eaux pluviales en amont du site de construction, voilà le grand intérêt de traiter les berges pour éviter la fragilisation de zone de construction. Toutefois on se rend compte qu'il y a un volume important d'eaux pluviales drainées lors de grandes averses.

La pente moyenne de berges de la surface de terrain à construire, comme le montre la figure étant de 15%.

Lors de nos visites de prospections les observations directes nous ont fait remarquer que la zone est soumise à une érosion accélérée, compte tenu de la forte pente existante et que la couverture végétale réduit considérablement en amont du site. Dans ce cas, on doit penser à une campagne de réboisement de la zone pour réduire les risques d'érosion fatale pour les habitants de la zone.

4.4 Essai de pénétration dynamique au PANDA

L'essai de pénétration dynamique à énergie variable de type PANDA, réalisé sur le site, consiste à enfoncer dans le sol par battage un train de tiges métalliques complété par une pointe perdue de section à la base de 4 cm², à une vitesse variable et à l'aide d'un marteau de masse normalisée. Pour chaque coup donné sur la tête de battage, des capteurs mesurent la valeur de l'enfoncement de la pointe et la vitesse de frappe au moment de l'impact, ce qui permet de déterminer l'énergie fournie. Un boîtier électronique enregistre, pour chaque coup, les paramètres vitesse d'impact et enfoncement, et calcule la résistance dynamique de pointe qd , à l'aide de la formule des *Hollandais*. Ensuite, un transfert sur PC des données emmagasinées et traitées permet de tracer le profil pénétrométrique, à l'aide d'un logiciel fourni avec l'appareil. Le principe de cet essai est illustré sur la figure suivante.

$$qd = \frac{1}{A} * \frac{mV^2}{e} * \frac{M}{M + P}$$

Où, A la section de la pointe (4 cm²), M la masse frappante (kg), V la vitesse de la masse frappante (l/t), l la distance entre les cellules, t le temps de passage entre les cellules, P la masse frappée (kg) et e l'enfoncement du train de tige (m).

5 Résultats et interprétations

5.1 Puits manuels

Les quatre (4) puits manuels sont creusés sur deux (2) mètres de profondeur lorsqu'il est possible. Les reconnaissances visuelles sur place indiquent des fonds de fouille à priori homogène. Les coupes lithologiques ainsi que les photos de ces puits sont présentées à l'Annexe E.

Puits-1	18°13'14.80"N	74° 1'19.90"O
Puits-2	18°13'14.80"N	74° 1'19.50"O
Puits-3	18°13'14.00"N	74° 1'19.50"O
Puits-4	18°13'13.57"N	74° 1'19.70"O

Les puits 1 à 4 sont caractérisés par la présence d'une couche de sol végétale sur 40 cm de profondeur environ, puis d'une couche d'argile sableuse noire sur 120 cm environ, puis on rencontre une couche de conglomérat rocheux jusqu'à une profondeur indéterminée.

En générale sur les deux (2) mètres de profondeur investigués, on retrouve trois couches de sol

qui seront présentées dans la section Identification de Sols.

5.2 Identification des sols

Parmi les trois couches trouvées comme matériaux dans les puits seulement deux seront présentées ici car la couche végétale présente peu d'intérêt géotechnique. La caractéristique du sol peut être résumé dans le tableau qui suit :

	couche1	couche2	couche3
Profondeur	0m-0.4m	0.4m-1.1m	1.1-xm
Nature	sol vegetal	grave argilomarneuse	grave limoneuse brune
Classification		GA	GL
teneur en eau		23.4%	14.1%
Limite de liquidité		42.8	39.4
Limite de Plasticité		26.1	28.8
indice de plasticité		16.7	10.6

Voir les résultats provenant du laboratoire

FIGURE 5 – Récapitulatif des essais de laboratoire



TABLEAU RECAPITULATIF														
Projet : Construction de bâtiments aux côteaux														
Puits manuel														
No. Ech	Profondeur									Limites Atterberg		Classification	W	Description
		37.5	25	19	9.5	4.75	2	0.5	0.08	W _L	I _p	LPC	%	
Pm1	0.00-0.5 m	100.0	87.5	87.5	83.4	77.7	69.8	51.7	32.3	42.5	16.4	GA	23.4	Grave argilo-limoneuse/brune
Pm2	1.10 - X m	100.0	88.5	82.5	63.3	49.6	39.3	29.9	22.9	39.4	10.6	GL	14.1	Grave limoneuse/brune

5.3 Les essais Panda

Les deux (2) essais PANDA² ont été effectués à des profondeurs visées de 5 m environ. Les pénétrogrammes obtenus sont présentés en Annexe F reprenant les graphiques de la résistance dynamique qd (en MPa) en fonction de la profondeur (en m). Ils ont été traités, mis à la même échelle à l'aide du logiciel PANDA.

Désignation de l'essai	Latitude	Longitude
Panda-1	18°13'14.80"N	74° 1'20.00"O
Panda-2	18°13'14.00"N	74° 1'19.90"O

2. voir annexe A du document

FIGURE 6 – Réalisation d'un essai Panda et principes

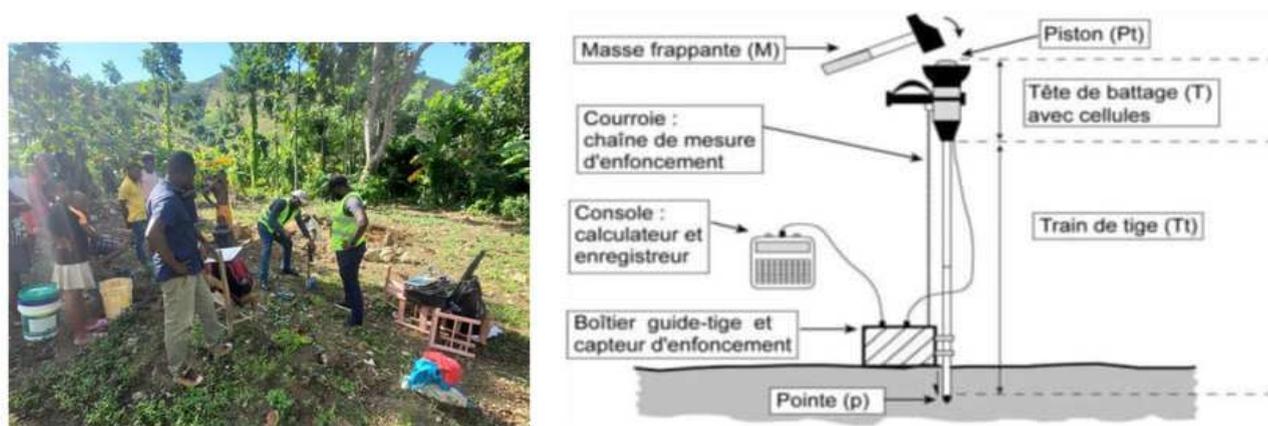
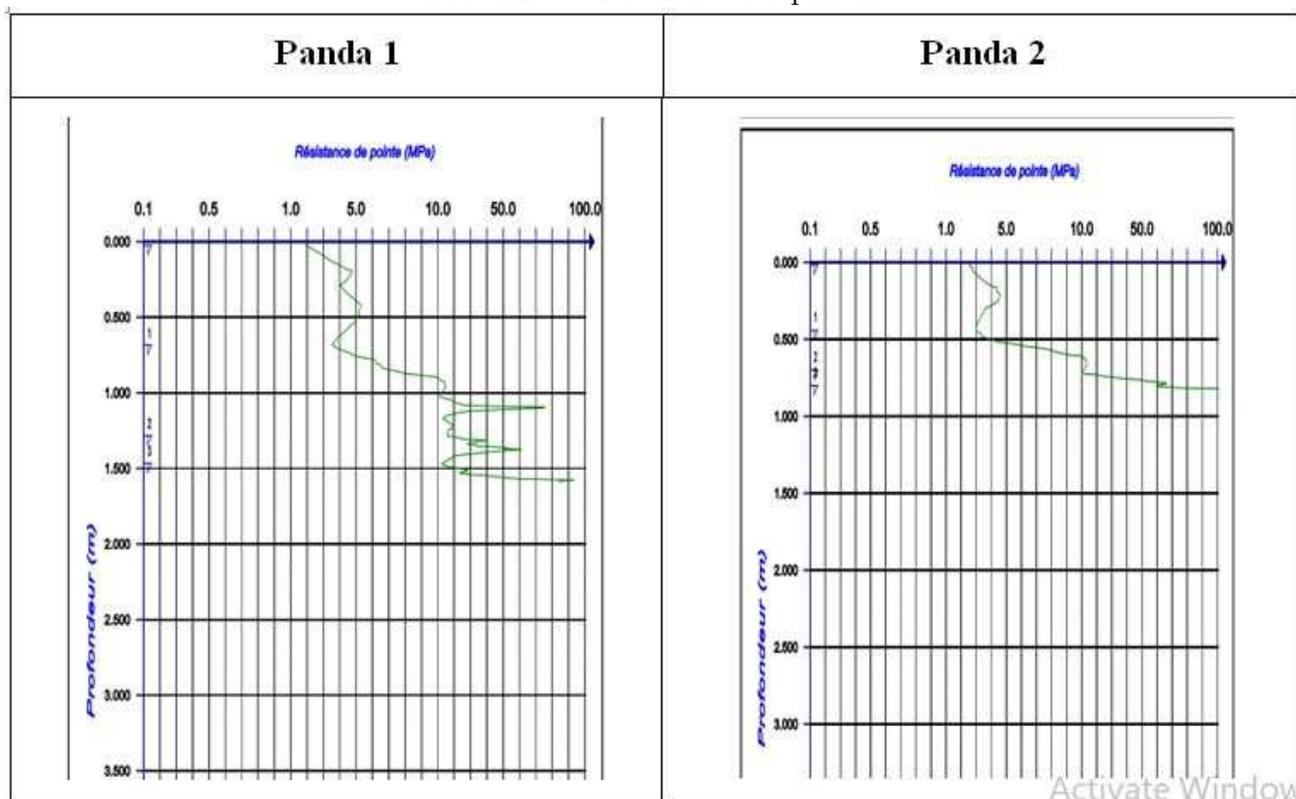


FIGURE 7 – Résultats des pandas



N.B L'ensemble des pics observés dans les pénétrogrammes sont dues à la présence des cailloux contenant dans le sol, les puits manuels le démontrent clairement.

Le panda 1 présente une résistance dynamique de pointe d'environ de 5 MPa dans les premières 50 cm de profondeur et diminue pour rester supérieure à 3 MPa jusqu'à 75 cm de profondeur, au-delà de cette profondeur elle augmente pour prendre des valeurs supérieures à 10 MPa jusqu'à 1.60 m profondeur de refus.

Le panda 2 présente une résistance dynamique de pointe d'environ de 5 MPa dans les premières 50 cm de profondeur au-delà de cette profondeur elle augmente pour prendre des valeurs supé-

rieures à 10 MPa jusqu'à 0.80 m profondeur de refus.

6 Evaluation des risques Naturels

6.1 Aléa Sismique Régional et Local

L'aléa sismique d'Haïti a été réévalué en 2010 par Frankel et al. (2010) selon une méthodologie d'évaluation d'aléa sismique probabiliste. Pour une utilisation dans le cadre du code de construction IBC 2009, l'aléa est calculé pour la période de retour 2475 ans (correspondant à une probabilité d'occurrence de 2% sur 50 ans) et pour les périodes spectrales de 0.2 seconde et 1.0 seconde. Voir la mise en contexte.

En considérant l'observation des puits et les essais panda, le Site appartient à la classe D.

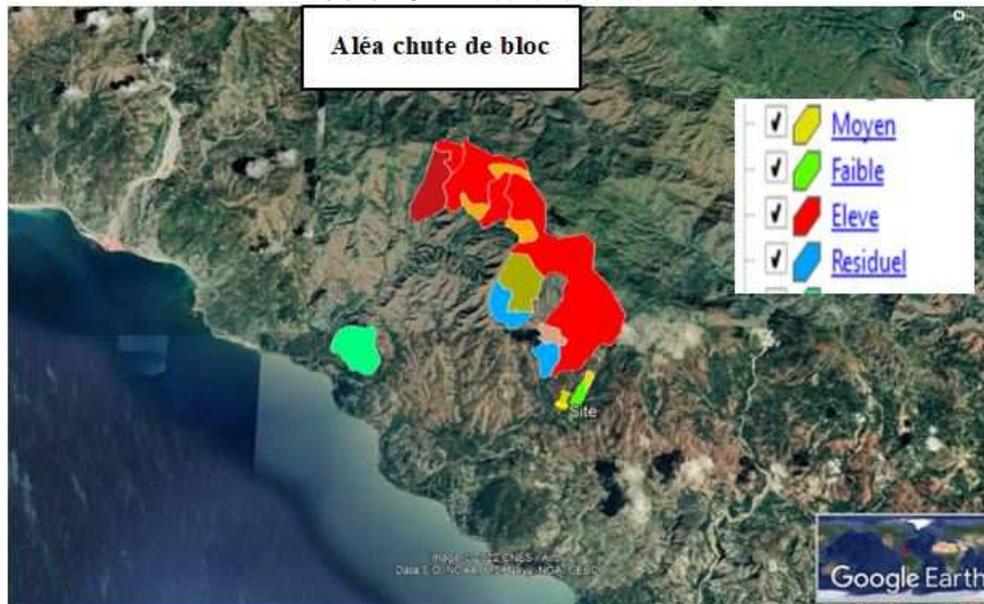
PGA	Ss(g)	S1(g)	Classe de site	Fa	Fv	SMs (g)	SM1 (g)	SDs (g)	SD1 (g)
0.42	1.03	0.36	D	1.0	1.5	1.03	0.54	0.69	0.36

6.2 Aléa Mouvement de Terre

6.2.1 Aléa Chute de Bloc Éboulement

Sur la carte alea Chute de bloc et éboulement réalisée par les experts de l'Ambassade de Suisse, le site se trouve dans une zone où aucun éboulement n'est répertorié donc stable, c'est confirmé par l'observation faite lors de la visite de terrain.

FIGURE 8 – Aléa chute de Bloc

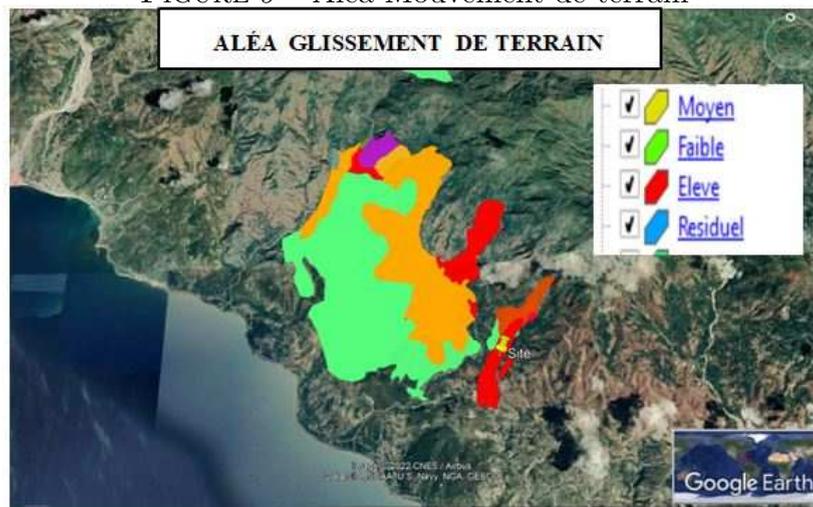


6.2.2 Aléa mouvement de terrain

Sur la carte alea glissement de terrain réalisée par les experts de l'Ambassade de Suisse, le site se trouve dans une zone d'aléa de glissement de terrain élevé, c'est confirmé par l'observation

faite lors de la visite de terrain. Cette information pourrait faire croire que le site est à non-aedificandi mais l'analyse de la cause de cet aléa élevé montre le contraire. Le site est formé essentiellement de conglomérat rocheux, le liant étant du limon, et limon est fortement altérable. Donc les pertes de sols sont dues à l'érosion hydrique. L'érosion hydrique est un phénomène qui peut être contrôlé et limité avec des mesures peu coûteuses. Dans la section recommandation deux mesures seront prescrites : La première est de ne pas construire dans la limite du ravin soit 13 m de celui-ci, et de ne pas construire dans la partie limite de la route d'accès soit 5 m de celle-ci. La deuxième est de construire un mur de soutènement en roche ou en gabion dans la partie limite du ravin.

FIGURE 9 – Aléa Mouvement de terrain



6.3 Aléa Inondation

Le territoire haïtien et particulièrement notre zone d'étude est très peu instrumentée. De ce fait, il n'existe aucune base de données hydro-météorologique de référence (pluie, débit, température etc.) continue sur le long terme permettant de faire une modélisation hydrologique rigoureuse. Face à cette manque de donnée de référence, l'utilisation des données alternatives et des méthodes hydrologiques simples s'avèrent nécessaires. Plusieurs bases de données de pluies à base satellitaires existent dans le monde et leurs performances dépendent des régions climatiques et de la topographie (Baez-Villanueva et al. 2018 ; Prakash 2019 ; Stampoulis and Anagnostou 2012 ; Tan and Santo 2018 ; Xu et al. 2017). Des récents travaux menés par Bathelemy et al. (2022) dans les Grandes et les Petites Antilles montrent que la base de données de pluies MSWEP (Beck et al. 2019) est le plus performant. Pour cela, les données de pluies MSWEP seront utilisées pour cette étude.

La série de pluies journalière MSWEP, disponible de janvier 1979 à décembre 2017, est extraite sur notre zone d'étude. Cette série de pluie est extrapolée à partir de la loi généralisée des valeurs extrêmes GEV, dont la loi de Gumbel est un cas particulier (Fisher and Tippett 1928 ; Gnedenko 1943 ; Jenkinson 1955). Cette extrapolation permet de déterminer la pluie journalière ayant des périodes de retour de 10, 50 et 100 ans respectivement. Le modèle hydrologique SCS-CN (Mishra and Singh 2003) est utilisé pour transformer la pluie en débit permettant d'évaluer le risque associé.

Les résultats de la modélisation hydrologique sont présentés au Tableau suivant. Les données³ de pluies et de débits sont calculées pour les périodes de retour de 10, 50 et 100 ans. Notre site d'étude n'étant pas proche de la rivière principale et au regard des débits obtenus il n'y pas de risque d'inondation par débordement de la rivière. Par contre, en période de pluie intense, le ruissellement peut provoquer le phénomène de ravinement il faut donc prévoir des ouvrages de drainage adaptés pour l'évacuation des eaux de pluies.

Tableau des résultats de la modélisation hydrologique.

-Une partie des données utilisées est présentée en annexe B du document.

Période de retour [année]	Pluie [mm/j]	Débit [mm/j]	Débit [m3/s]
10	390.84	121.9498	11.64
50	662.34	228.23	21.80
100	815.87	288.95	27.60

7 Conclusion et Recommandations

FIGURE 10 – Image de Synthèse



Les travaux d'évaluation réalisés sur le site retenu pour la construction de l'abri communautaire à Grand Despas (Les Coteaux) ont permis d'établir

a) la conclusion suivante :

Par rapport aux conditions environnementales présentes au voisinage du site, le terrain est constructible sous certaines conditions, les différentes méthodes de traitements préconisées prennent en compte les visites de terrain, la modélisation hydrologique et les caractéristiques du sous-sol

3. données datées de 1979 à 2019 permettant de faire la modélisation

concerné après tous les résultats des analyses des prospections.

Les travaux de mitigations sont des conditions indispensables pour l'implantation de l'abri concerné afin de limiter les dégâts que peut causer la déstabilisation des berges. Car elle est entourée de deux affluents qui drainent des eaux dont les débits paraissent importants lors des crues..

b) les recommandations suivantes :

En l'absence de substratum rocheux ou de protections solides et pérennes, il y a lieu de stabiliser les berges des cours d'eau pour qu'elles puissent être considérées comme stables. C'est pourquoi, il est nécessaire :

- Que cette construction soit implantée en recul par rapport au sommet actuel des berges. Ce recul doit être suffisant pour que lors d'une crue avec affouillement, le bâtiment ne soit pas rapidement menacé, ce recul devrait donc être, au minimum de 10 mètres.
- Que les berges soient stabilisées par des gabions, car elles sont peu stables (voir les images et coupes en annexe).
- Un mur⁴ de soutènement de (45 mètres de long) et de 40cm de largeur doit être érigé à l'entrée du site pour stabiliser le talus de la route.
- Un mur en gabion gabion de 100 mètres de longueur moyenne est recommandée à l'extrémité de la zone limitée par le ravin.
- L'analyse sismique du bâtiment peut se faire pour un peak grounds accélération 0.4 g selon la carte d'alea régionale de Frankel de 2010, le site est de Classe D.
- Le site n'est pas sujet à l'éboulement chute de bloc.
- Une campagne d'érosion est nécessaire pour lutter contre l'érosion dans la zone.
- L'observation sur place des puits manuels indique des fonds de fouille, à priori, stables et la présence du limon comme liant dans la formation géologique montre qu'il suffit de contrôler et limiter l'érosion hydrique pour l'aléa glissement de terrain.
- Le bâtiment doit écarter la route d'accès de cinq (5) mètre environ.
- L'analyse des essais de pénétration dynamique a révélé un sous-sol dont la résistance dynamique de pointe est supérieure à 10 MPa à 1.6 mètre de profondeur. La résistance de calcul ne doit pas dépassée 1/20 de 10 MPa. Il conviendra donc de limiter les contraintes de calcul à une valeur (sous charges verticales et centrées) de l'ordre de 0.50 MPa.

8 Références Bibliographiques

- BOISSON D. et MOMPLAISIR R. B.-A. – Carte géologique de la d'Haïti au 1/250 000, feuille Sud-Est. BME, DGM.
- Carte d'alea AMBASSADE SUISSE EN HAITI.
- Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural et le Service National des Ressources en Eau et PNUD. – Carte hydrologique de la République d'Haïti au 1/250 000ème,
- FRANKEL A., HARMSSEN S., MUELLER C., CALAIS E., et HAAS J., Documentation for initial seismic hazard maps for Haiti; U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1067, 12 p., 2010.
- IBC – INTERNATIONAL BUILDING CODE – Internationally, codes officials recognize the need for a modern, up-to-date building code addressing the design and installation of building systems through requirements emphasizing performance, International Code Council, Inc., 2009.

4. mur de hauteur 1.7m, voir les coupes à annexe B

- PANDA – Pénétrromètre dynamique légère à énergie variable – Notice d’utilisation du Panda 2, Peintamelec Ingenierie, Sol Solution, 2005.
- ZHOU S. – caractérisation des sols de surface à l’aide du pénétrromètre dynamique léger à énergie variable type Panda. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal – Clermont II, 1997.
- Lois d’urbanisme comité interministériel d’aménagement du territoire (CIAT), juillet 2013.
- Plan de réduction des risques en zone urbaine, PNUD, juin 2017.
- Données hydrographiques et géologiques provenant du centre national de l’information géospa-tiale(CNIGS), 2015.
- Guide méthodologique Réduction des risques naturels en Haïti, PNUD, 2016
- Baez-Villanueva, Oscar Manuel, Mauricio Zambrano-Bigiarini, Lars Ribbe, Alexandra Nauditt, Juan Diego Giraldo-Osorio, and Nguyen Xuan Thinh. 2018. “Temporal and Spatial Evaluation of Satellite Rainfall Estimates over Different Regions in Latin-America.” *Atmospheric Research* 213 (November) : 34–50. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.011>.
- , Ralph, Pierre Brigode, Dominique Boisson, and Emmanuel Tric. 2022. “Rainfall in the Greater and Lesser Antilles : Performance of Five Gridded Datasets on a Daily Timescale.” *Journal of Hydrology : Regional Studies* 43 (October) : 101203. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101203>.
- Beck, Hylke E., Eric F. Wood, Ming Pan, Colby K. Fisher, Diego G. Miralles, Albert I. J. M. van Dijk, Tim R. McVicar, and Robert F. Adler. 2019. “MSWEP V2 Global 3-Hourly 0.1 Precipitation : Methodology and Quantitative Assessment.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 100 (3) : 473–500. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0138.1>.
- Fisher, R. A., and L. H. C. Tippett. 1928. “Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Member of a Sample.” *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 24 (2) : 180–90. <https://doi.org/10.1017/S0305004100015681>.
- , B. 1943. “Sur La Distribution Limite Du Terme Maximum D’Une Serie Aleatoire.” *Annals of Mathematics* 44 (3) : 423–53. <https://doi.org/10.2307/1968974>.
- Jenkinson, A. F. 1955. “The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) Values of Meteorological Elements.” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 81 (348) : 158–71. <https://doi.org/10.1002/qj.49708134804>.
- , S. K., and Vijay Singh. 2003. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer Science et Business Media.
- Prakash, Satya. 2019. “Performance Assessment of CHIRPS, MSWEP, Sm2rain-CCI, and TMPA Precipitation Products Across India.” *Journal of Hydrology* 571 (April) : 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.011>.
- Stampoulis, Dimitrios, and Emmanouil N. Anagnostou. 2012. “Evaluation of Global Satellite Rainfall Products over Continental Europe.” *Journal of Hydrometeorology* 13 (2) : 588–603. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-086.1>.
- Tan, Mou Leong, and Harrif Santo. 2018. “Comparison of GPM IMERG, TMPA 3b42 and PERSIANN-CDR Satellite Precipitation Products over Malaysia.” *Atmospheric Research* 202 (April) : 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006>.
- Xu, Ran, Fuqiang Tian, Long Yang, Hongchang Hu, Hui Lu, and Aizhong Hou. 2017. “Ground Validation of GPM IMERG and TRMM 3b42v7 Rainfall Products over Southern Tibetan Plateau

Based on a High-Density Rain Gauge Network.” Journal of Geophysical Research : Atmospheres
122 (2) : 910–24. <https://doi.org/10.1002/2016JD025418>.

CRÉDIT

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la mise en œuvre de ce rapport et je m'excuse pour tous ceux dont le nom a été malencontreusement oublié.

Personnes

1- Ingénieur Jean Robert FELISIER, Ingénieur, responsable du volet *Abris communautaires* pour l'Ambassade de Suisse, bureau de Port-Salut

2- Exumé J.M Fontaine, ingénieur geotechnicien, participant à l'étude des risques naturels du site, email : exumefontaine14@gmail.com

3- Bathelemy Ralph Cliftong, ingénieur hydrologue, participant à l'étude des risques naturels du site, email : bathelemyr@yahoo.fr

Firmes/Bureaux d'Etudes

1- Unité de Recherche en géosciences (URGÉO) de l'Université d'État d'Haiti pour les essais pandas.

2- Société d'ingénierie Construction et d'Orientation diverses (SICOD), pour la réalisation des essais de laboratoire.