

Journée parrainée par



Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

Intervenant : Gilles LEFRANC (VINCI Construction Maritime et Fluvial)



Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Projet de terminal pour navires porte-conteneurs à Port au Prince en Haïti

Quai de 160 m de long avec 12 m de tirant d'eau

Maitrise d'Ouvrage



Maitrise d'Œuvre

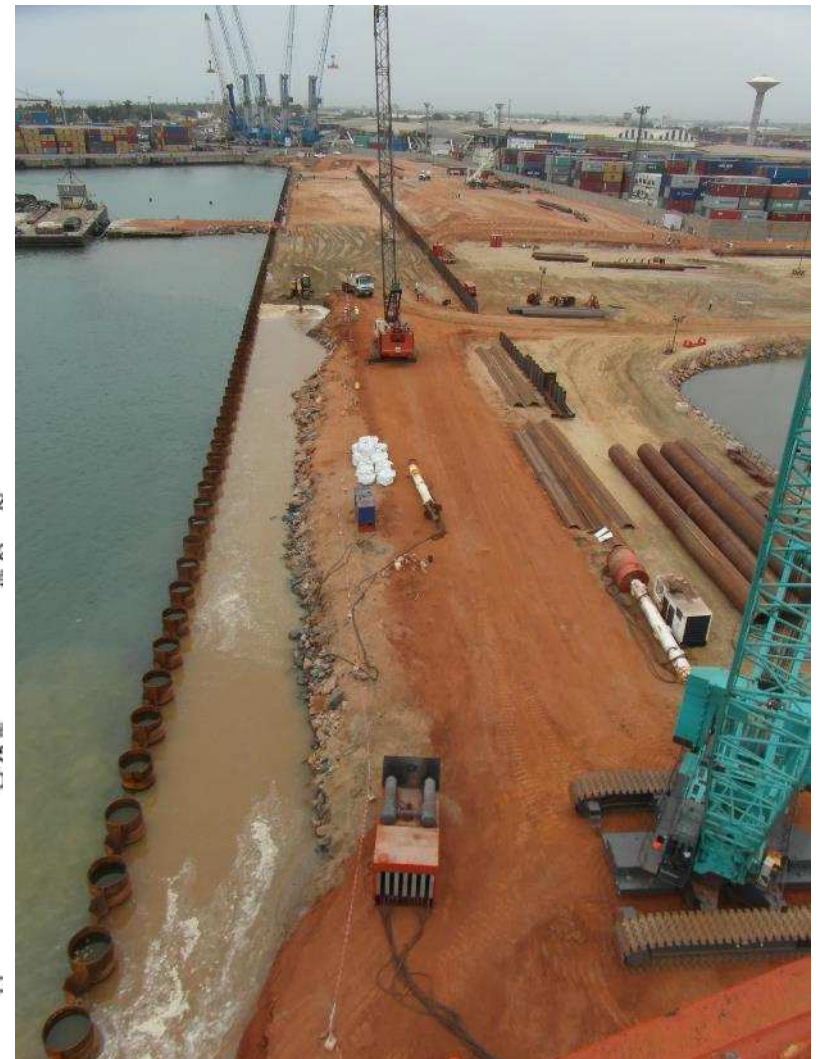
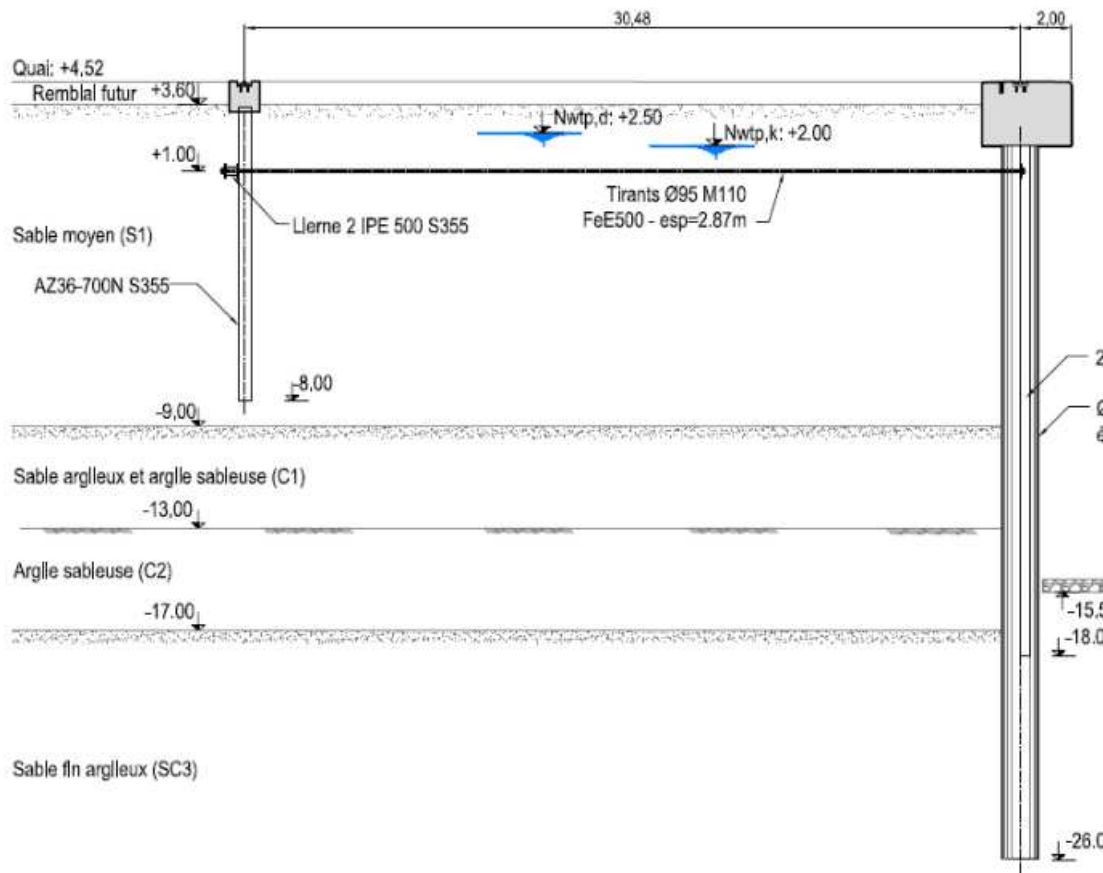


Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

■ 2015 : Conception initiale

Choix d'une structure « *usuellement* » économique : rideau mixte ancré...

... comme le quai Bolloré à Lomé au Togo :



Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Cependant, à Lomé, le risque sismique est faible...
En Haïti, l'action sismique est prépondérante,
=> l'étude sismique est lancée en parallèle de la conception :

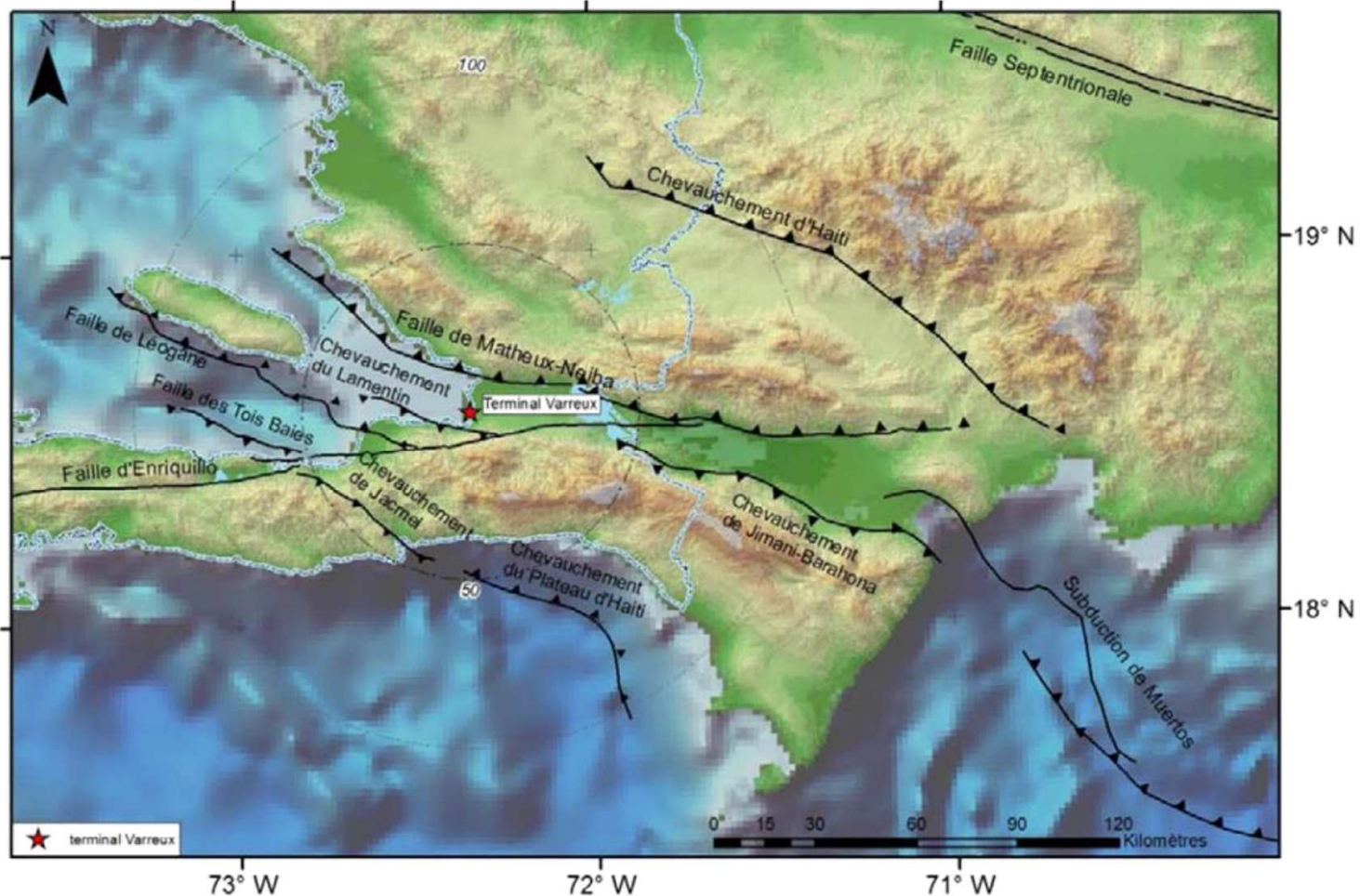


Figure 17 du rapport GEOTER des failles identifiées autour du site

- Comme redouté, l'action sismique est **très** importante :

Le séisme considéré correspond à un **PGA** _{10% ; 50 ans} : **0,42 g** soit une **période de retour de 475ans** (Type de séisme pris en compte pour le calcul selon l'Eurocode 8 aux ELU) :

- Accélération sous séisme : $a_N = 0,42 \text{ g} = 4,120 \text{ m/s}^2$
- Zone de sismicité : zone 5
- Catégorie d'importance de l'ouvrage : **catégorie I**
- Type de sol : **D**

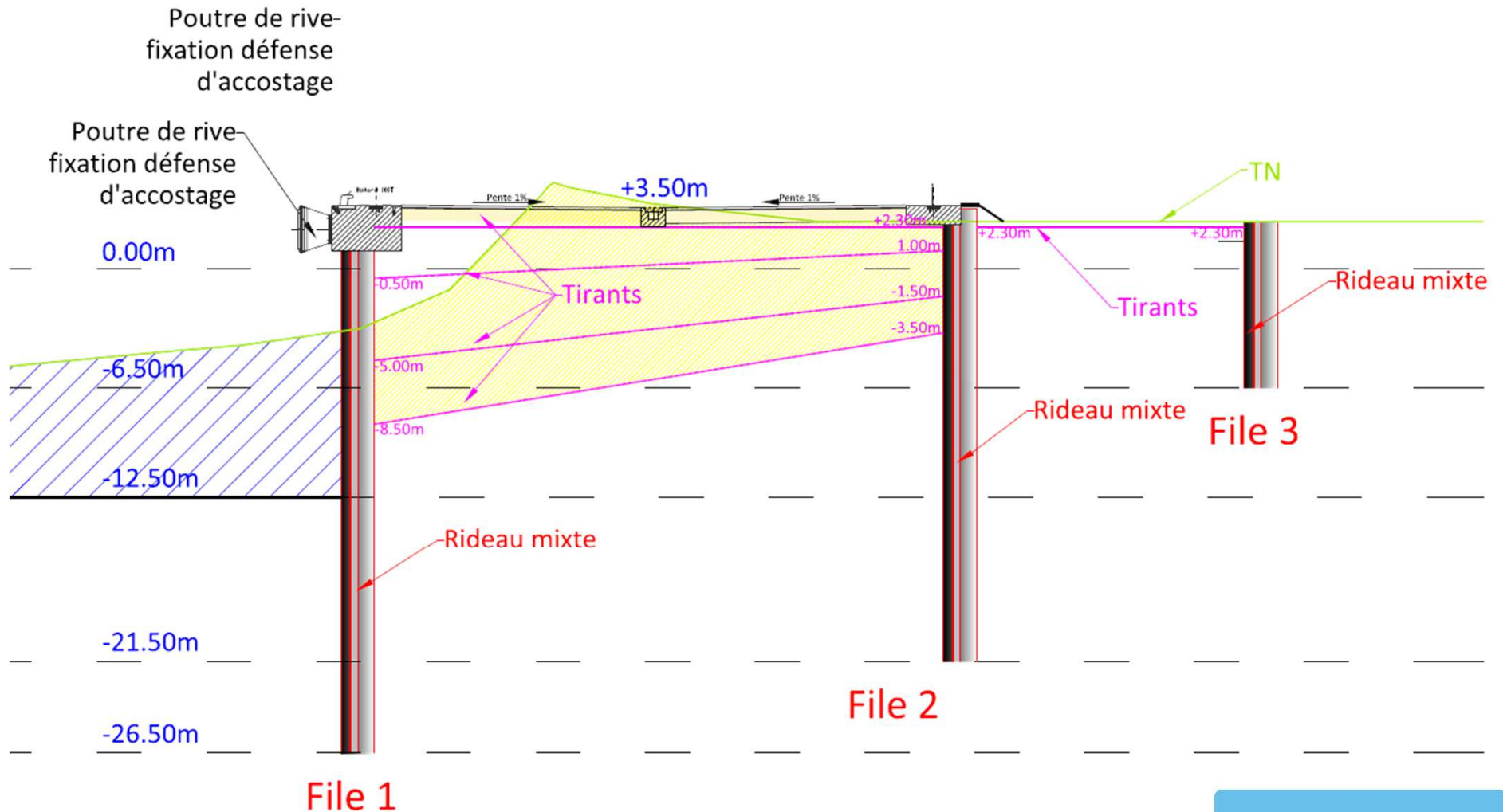
Extrait du C.C.T.P.

ZONES DE SISMICITÉ	A_{gr}
2 (faible)	0,7
3 (modérée)	1,1
4 (moyenne)	1,6
5 (forte)	3

A titre de comparaison, les valeurs du décret Français

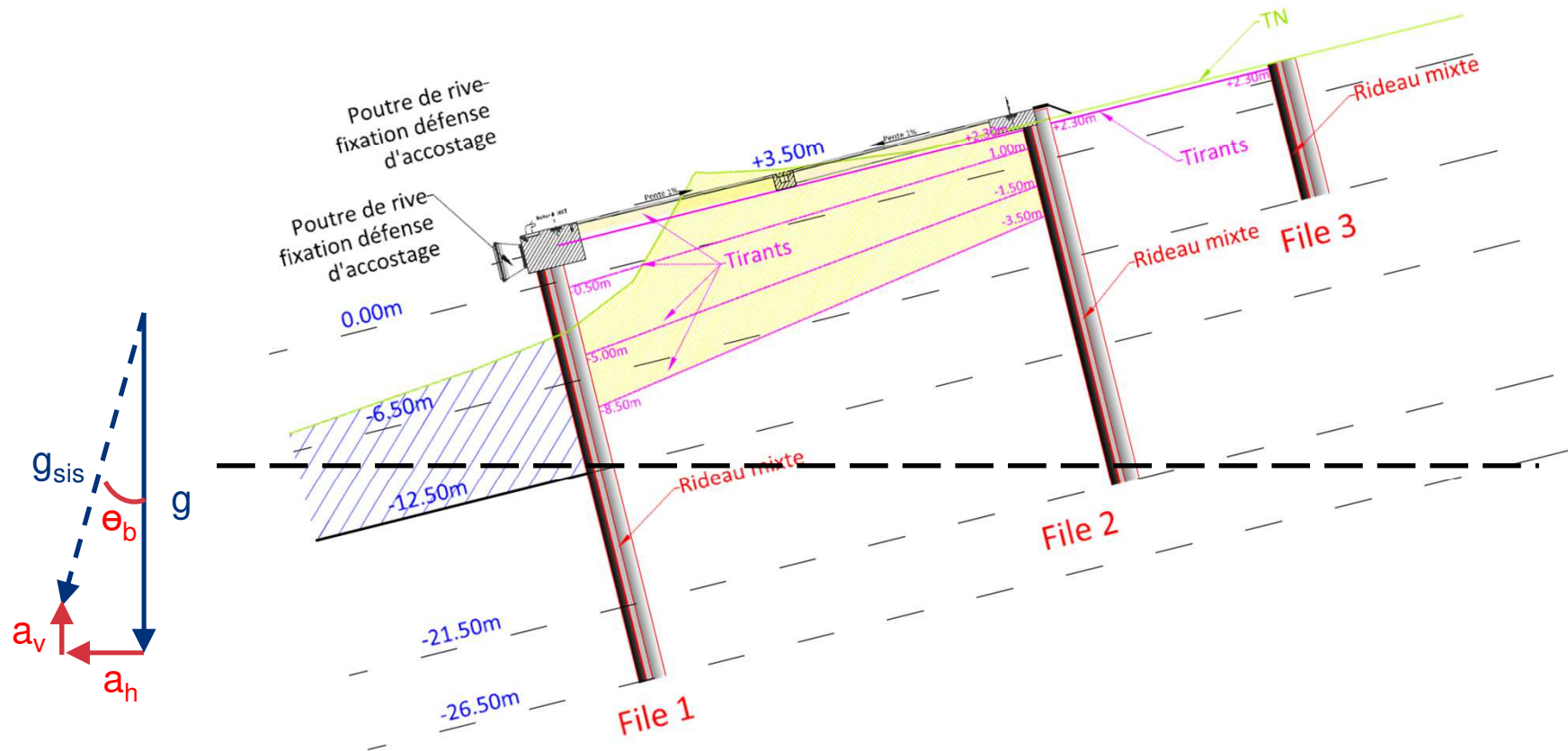
Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Le prédimensionnement de la structure au séisme abouti alors à des structures non viables économiquement : 3 rideaux mixtes + 4 niveaux de tirants !



Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Car, pour un p_{ga} de $0,42g$, on calcule en pseudo-statique :
 - $a_h = 0,5 \times \gamma_i \times S_x a = 0,23g$
 - $a_v = 0,33 a_h = 0,075g$
- => soit une inclinaison équivalente de la gravité d'environ 14° :



■ A cela, s'ajoute le risque de la liquéfaction...

Le tableau 33 fournit la synthèse de l'analyse liquéfaction et les coefficients FS moyens par formation.

	SC1			SC2			Risque de liquéfaction	Coefficient de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction
	Haut (cote)	Bas (cote)	Epaisseur (m)	Haut (cote)	Bas (cote)	Epaisseur (m)		
Limons/Sables coralliens	+2.21	-8.29	10.5	+2.84	-0.96	3.8	OUI	0.5
Sables coralliens	-8.29	-18.39	10.1	-0.96	-12.16	11.2	OUI	0.5*
Argile sableuse gris-verdâtre	-18.39	-26.69	8.3	-12.16	-17.76	5.6	OUI	0.84
Argile sableuse gris-bleu à brune	-26.69	<-32.89	>6.2	-25.46	<-32.26	>6.8	NON	-



Résultats des calculs de liquéfaction du rapport GEOTER

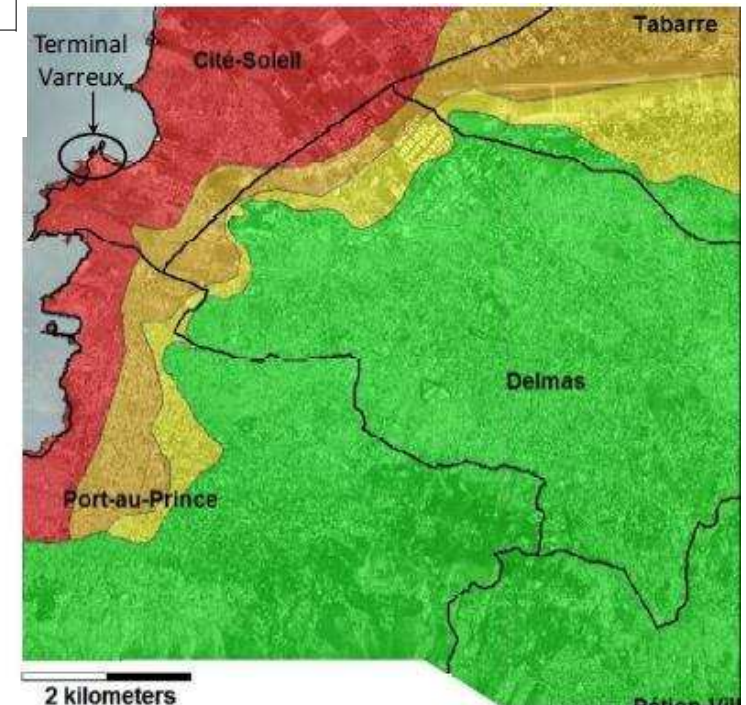
Tableau 33 : Synthèse de l'analyse liquéfaction au niveau de la zone « Nouveau quai »

* voir le chapitre 11. Conclusion concernant l'approche SPT sur la détermination de CRR et FS des sables coralliens

Extrait du micro zonage sismique de l'agglomération de Port-au-Prince réalisé en 2014 précisant le risque de liquéfaction



Carte de liquéfaction



- Induisant un fort risque de rupture des talus...

Risque de « Lateral Spreading » :

Il existe des fronts libres au niveau du « quai existant » et du « nouveau quai » situés en bordure de mer. Les sondages réalisés à terre ont montré que les sols en surface étaient liquéfiables, notamment les remblais et les sables coralliens. Il y a un risque d'**étalement de ces sols liquéfiables** au voisinage de ces fronts libres. Le sol liquéfié ayant perdu sa résistance au cisaillement développera des déformations qui s'accumuleront durant la sollicitation sismique entraînant alors des déplacements importants. Le risque de *Lateral spreading* est d'autant plus important que l'on a constaté une continuité des formations géologiques.

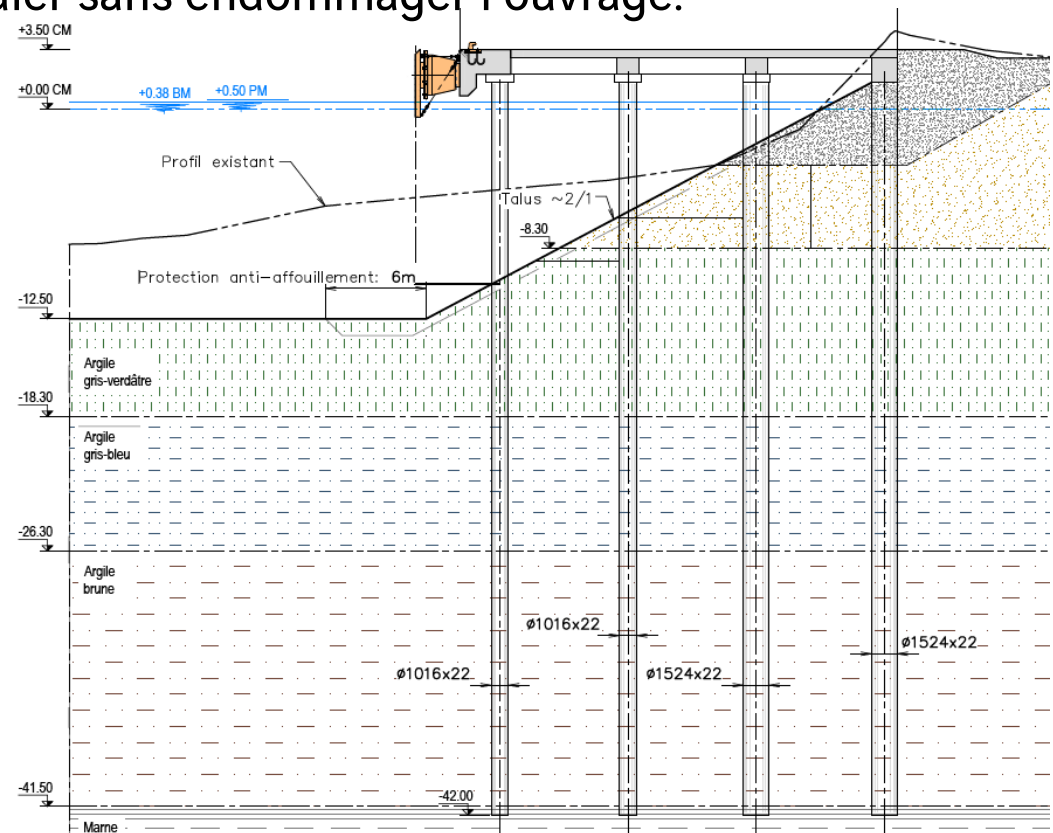
Aussi, la **présence de couche presque imperméable**, telles que les remblais argileux, les Argiles noir ou limons argileux surmontant la couche liquéfiable des sables coralliens peut former une barrière qui **empêche la dissipation des pressions interstitielles** qui se développent sous sollicitation sismique.

Il y a un **risque de *Lateral spreading* au niveau des quais**. L'analyse du traitement de la liquéfaction devra également traiter ce risque en étudiant l'emprise et les débords du plan de traitement.

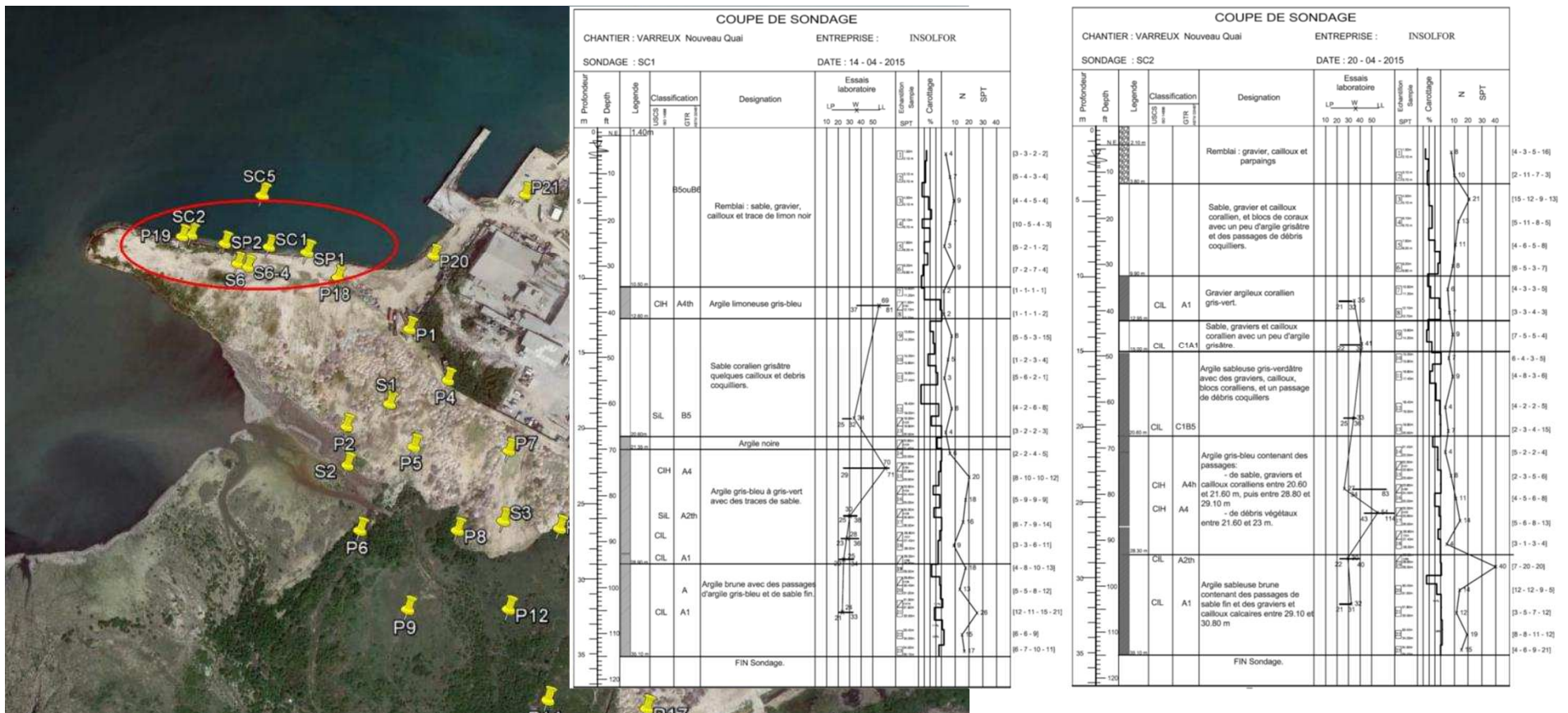
■ Fin 2015 : Conception de l'entreprise

- Limiter les efforts des accélérations sismiques => limiter la masse excitée
- Structure pouvant dissiper de l'énergie => fort degré d'hyperstaticité pour permettre la formation de rotules plastiques avant rupture
- Permettre au sol liquéfié de s'écouler sans endommager l'ouvrage.

⇒ Quai sur pieux



- Campagne de sol : Initialement prévue pour un rideau mixte avec des sondages (2 carottés + 2 pressiométriques) descendant jusqu'aux environs de -35mCM...



...sans atteindre les marnes beiges compactes nécessaire à la portance des pieux.

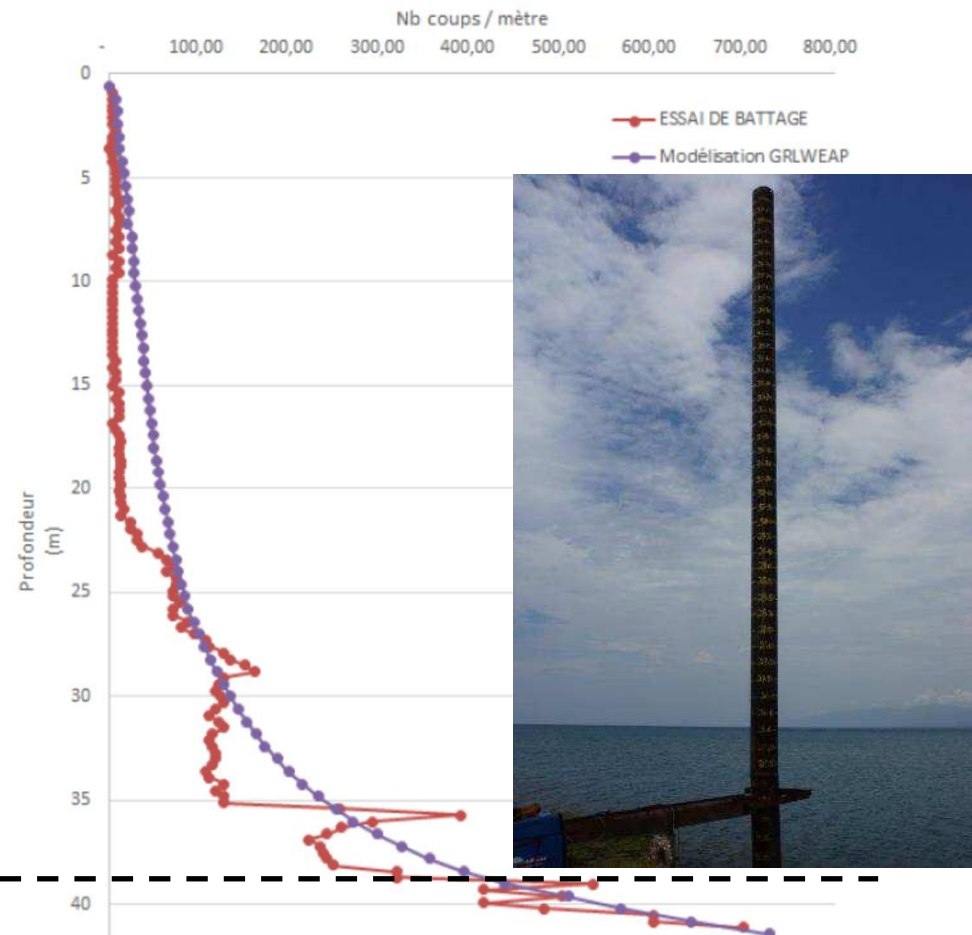
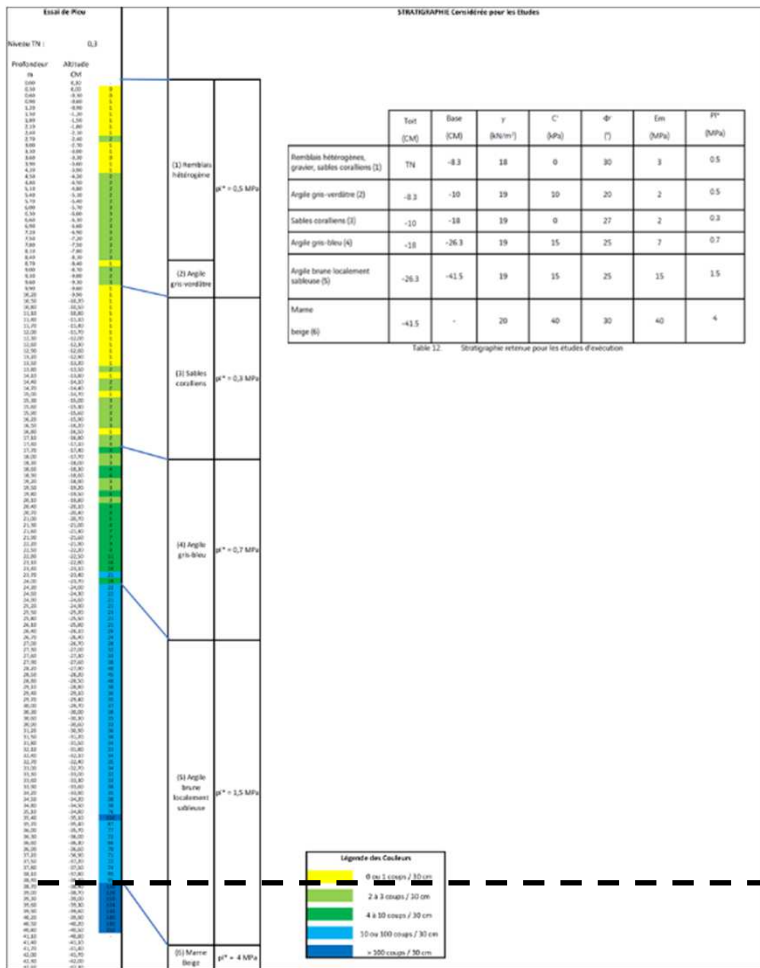
Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Heureusement, dans l'optique de l'extension du quai existant (sur pieux) à un peu plus de 400m, des sondages (SC3 et SC4) ont été descendus dans ces marnes.



Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Ainsi, il est prévu et réalisé en période de préparation un essai de battage afin de confirmer l'hypothèse retenue pour le niveau du toit des marnes. Les résultats de l'essai sont ensuite corrélés au modèle géotechnique retenu...



Toit des marnes aux environs de -39mCM => OK

- La conception est donc pré-dimensionnée avec les caractéristiques géomécaniques suivantes :

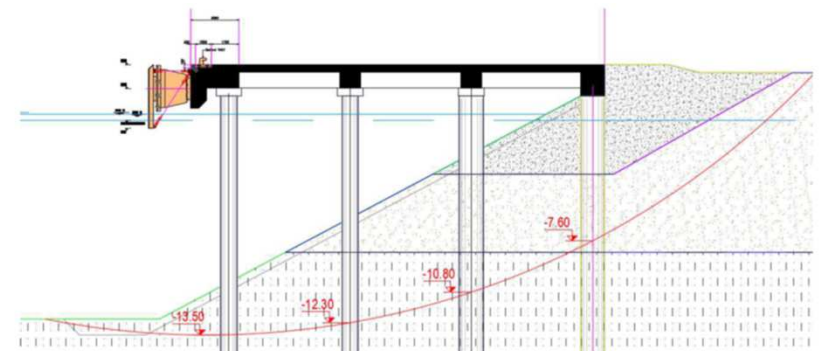
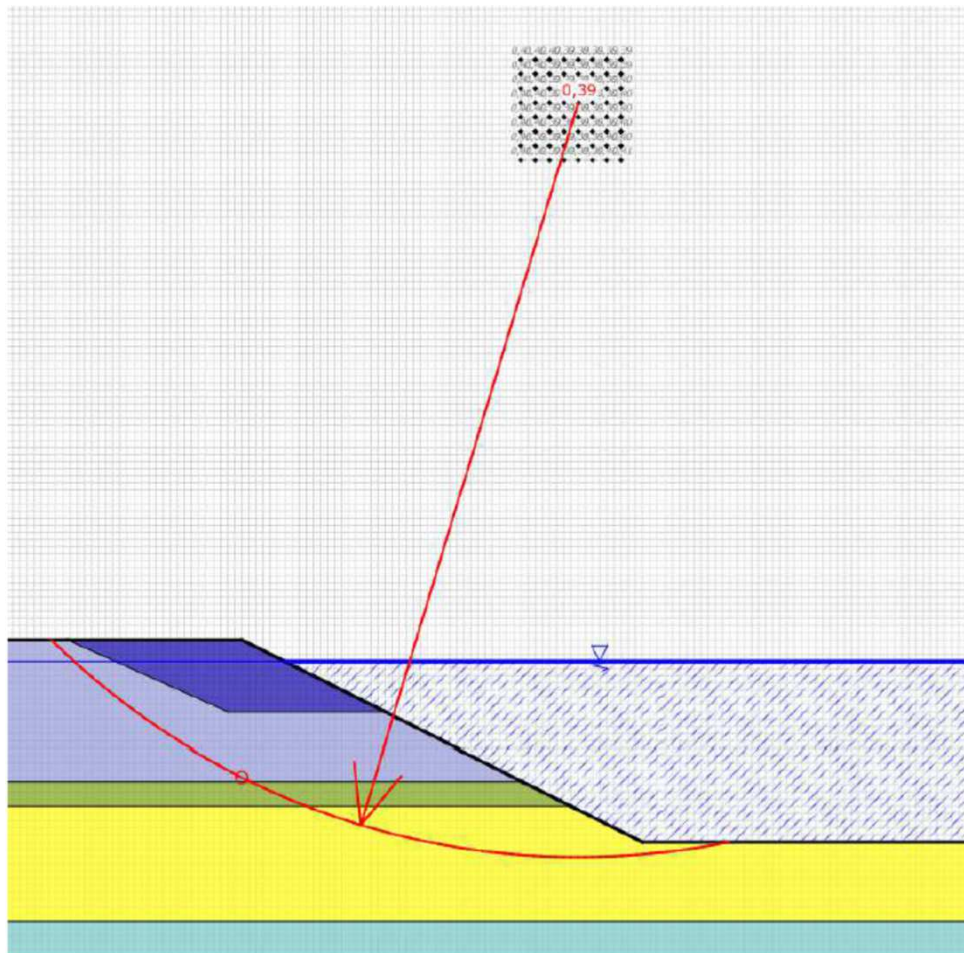
	Toit (CM)	Base (CM)	γ (kN/m ³)	C' (kPa)	Φ' (°)	E_m (MPa)	PI^* (MPa)
Remblais hétérogènes, gravier, sables coralliens (1)	TN	-8.3	18	0	30	3	0.5
Argile gris-verdâtre (2)	-8.3	-10	19	10	20	2	0.5
Sables coralliens (3)	-10	-18	19	0	27	2	0.3
Argile gris-bleu (4)	-18	-26.3	19	15	25	7	0.7
Argile brune localement sableuse (5)	-26.3	-41.5	19	15	25	15	1.5
Marne beige (6)	-41.5	-	20	40	30	40	4

- Les remblais sont constitués de matériaux de démolition suite au séisme de 2010...



Sondage à la Pelle dans les remblais

- Prise en compte du risque de « Lateral Spreading » :
Permettre au sol de s'écouler entre les pieux sans endommager l'ouvrage.
=> Recherche d'une surface de glissement du talus avec un coefficient de sécurité minimum vis-à-vis de la rupture sous séisme :



- Puis, application des efforts sur les pieux selon les formules de Ito et Matsui (1975), développé par De Beer & Carpentier (1977) détaillé dans l'article de Seyhan Firat (2009) qui ont pour but d'établir les efforts que subissent des pieux lors d'un glissement de terrain :

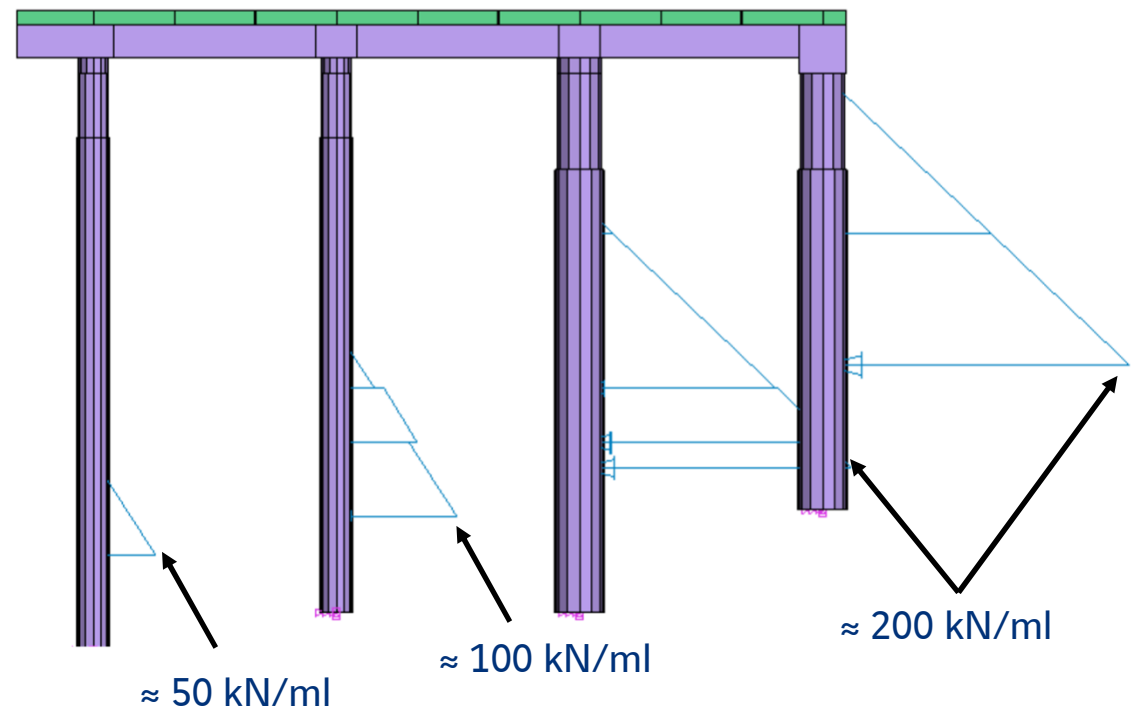
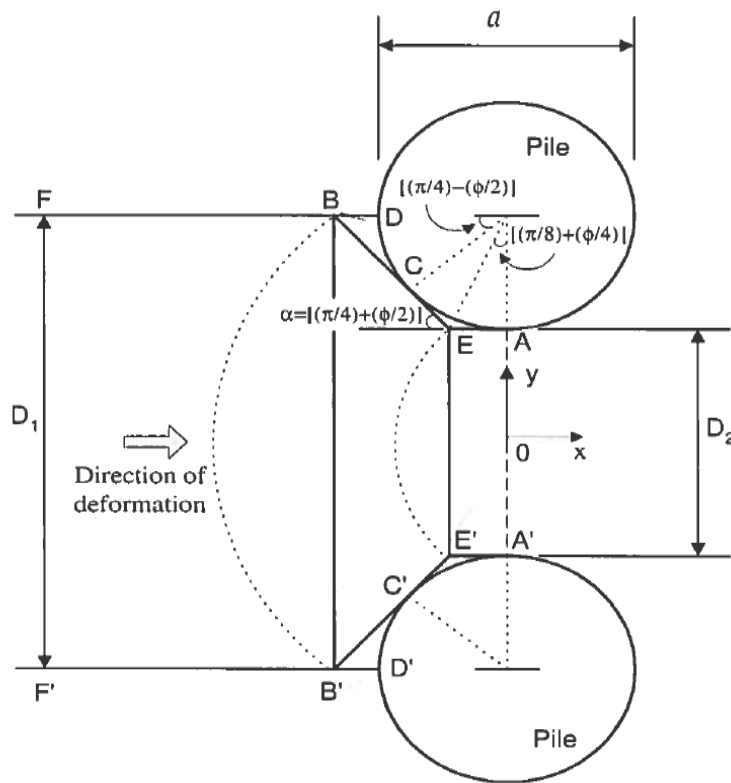
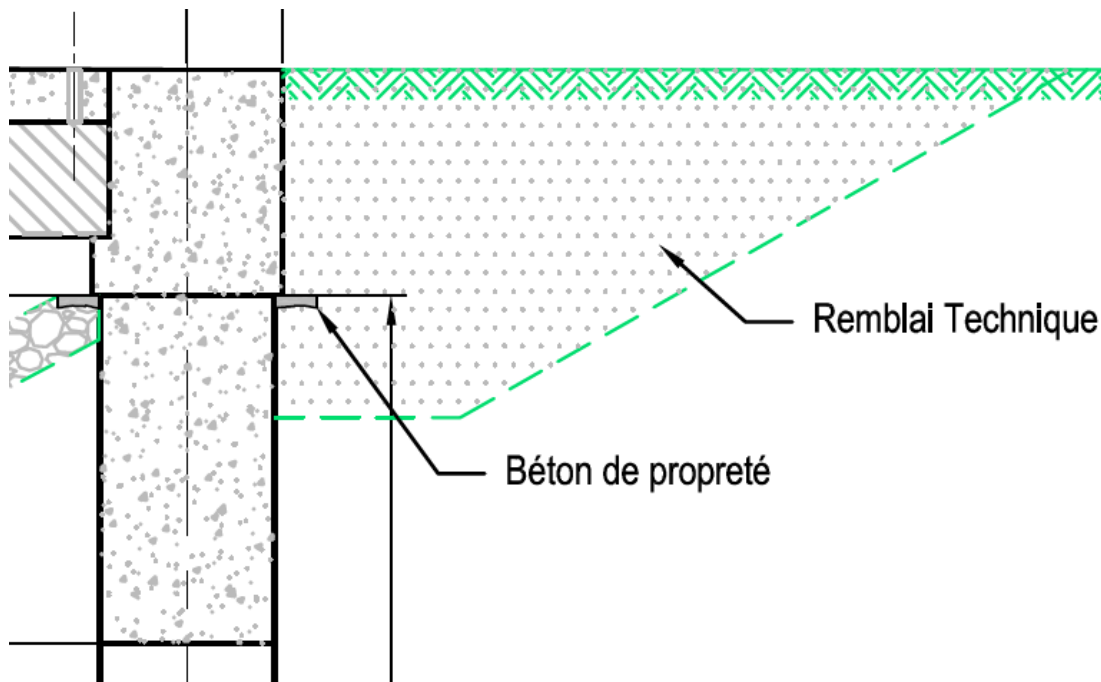
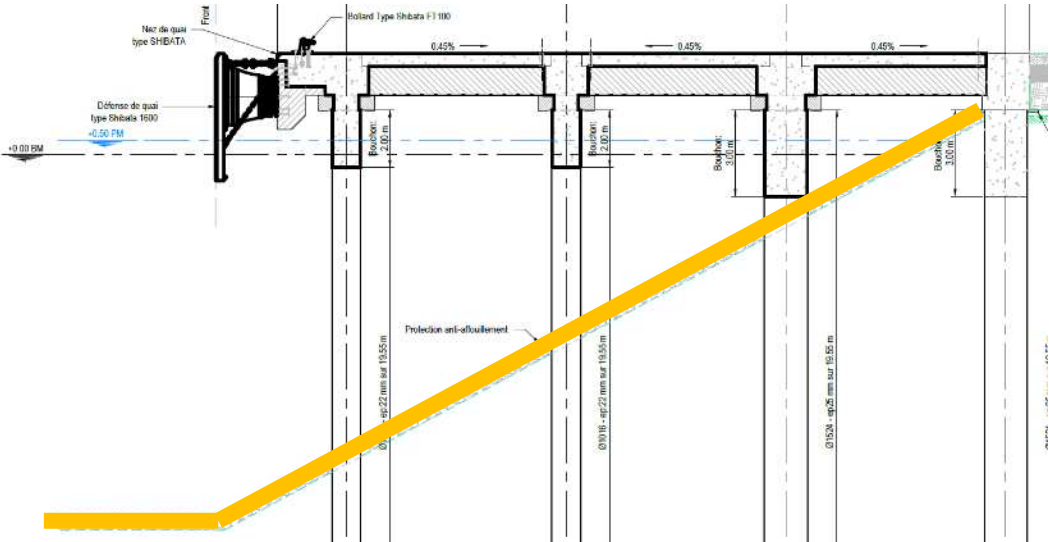


Figure 1. Plastic state of soil just around piles (Ito and Matsui, 1975).

- Les choix économiques => nécessaire pour rendre viable de projet :
 - Classement de l'ouvrage en catégorie I, importance mineur vis-à-vis des personnes
 - Rupture de talus possible sans endommagement de la structure et de ces équipements
 - Culée « souple » en grave => simple à reconstituer, maintenue en partie supérieure par la poutre arrière du quai

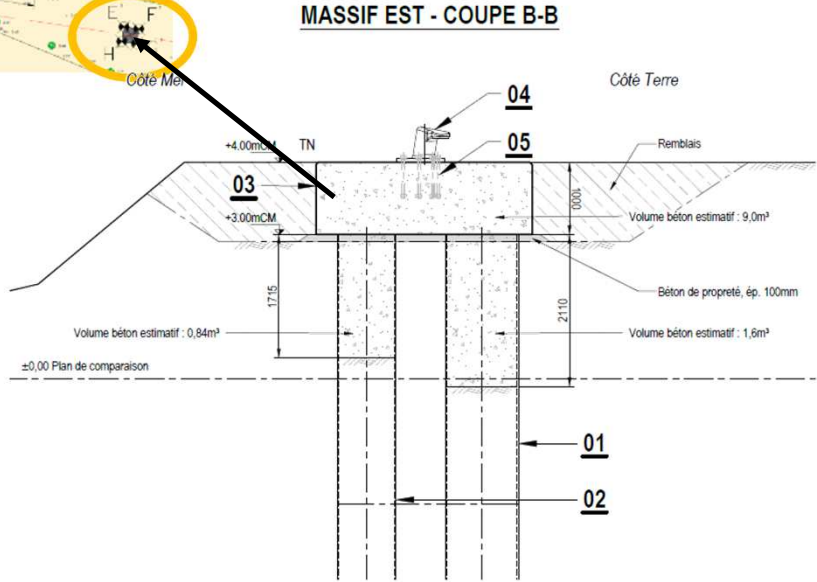
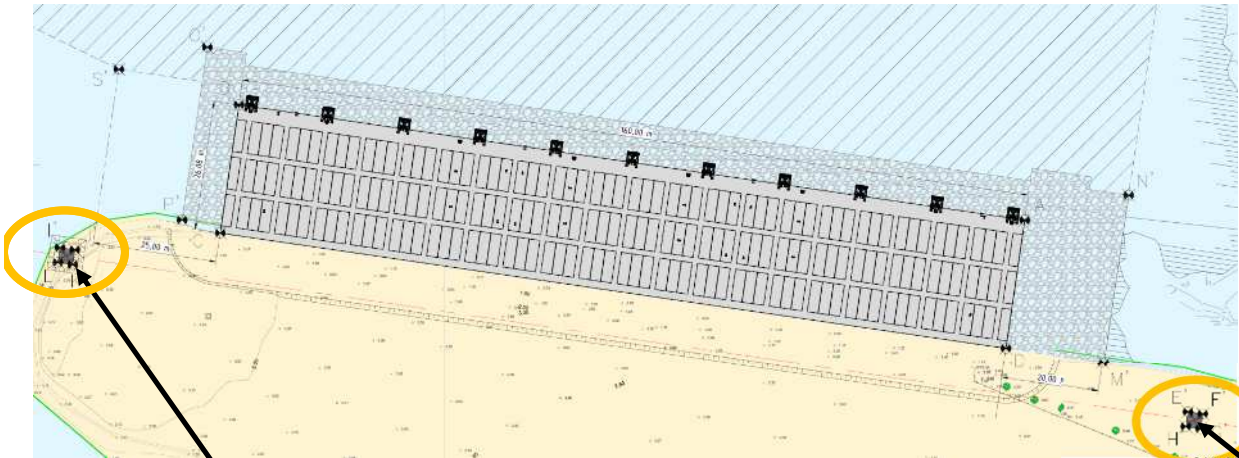


- Protection de la pente contre l'érosion en gabions : structure simple et réparable

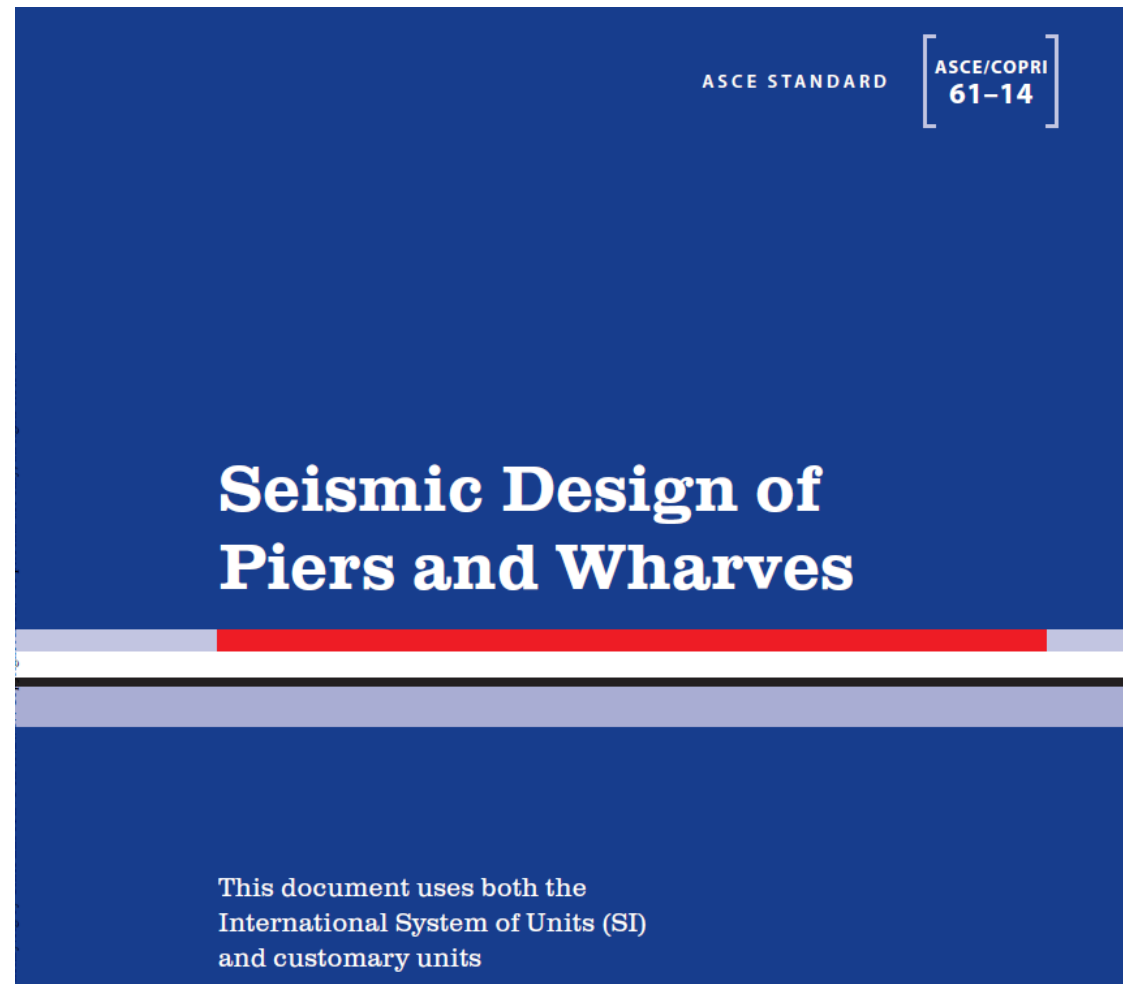


Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

- Reduction de la longueur de quai par ajout de 2 massifs d’amarrage latéraux à terre :



- En plus du dimensionnement à l’Eurocode 8 (pas de règlements spécifiques en Haïti), le quai a été vérifié selon le document de l’ASCE (2014) fondé sur les règles de dimensionnement du Port of Los Angeles :



- Calcul de la capacité de déplacement du quai avant atteinte du critère limite dans une des rotules plastiques :

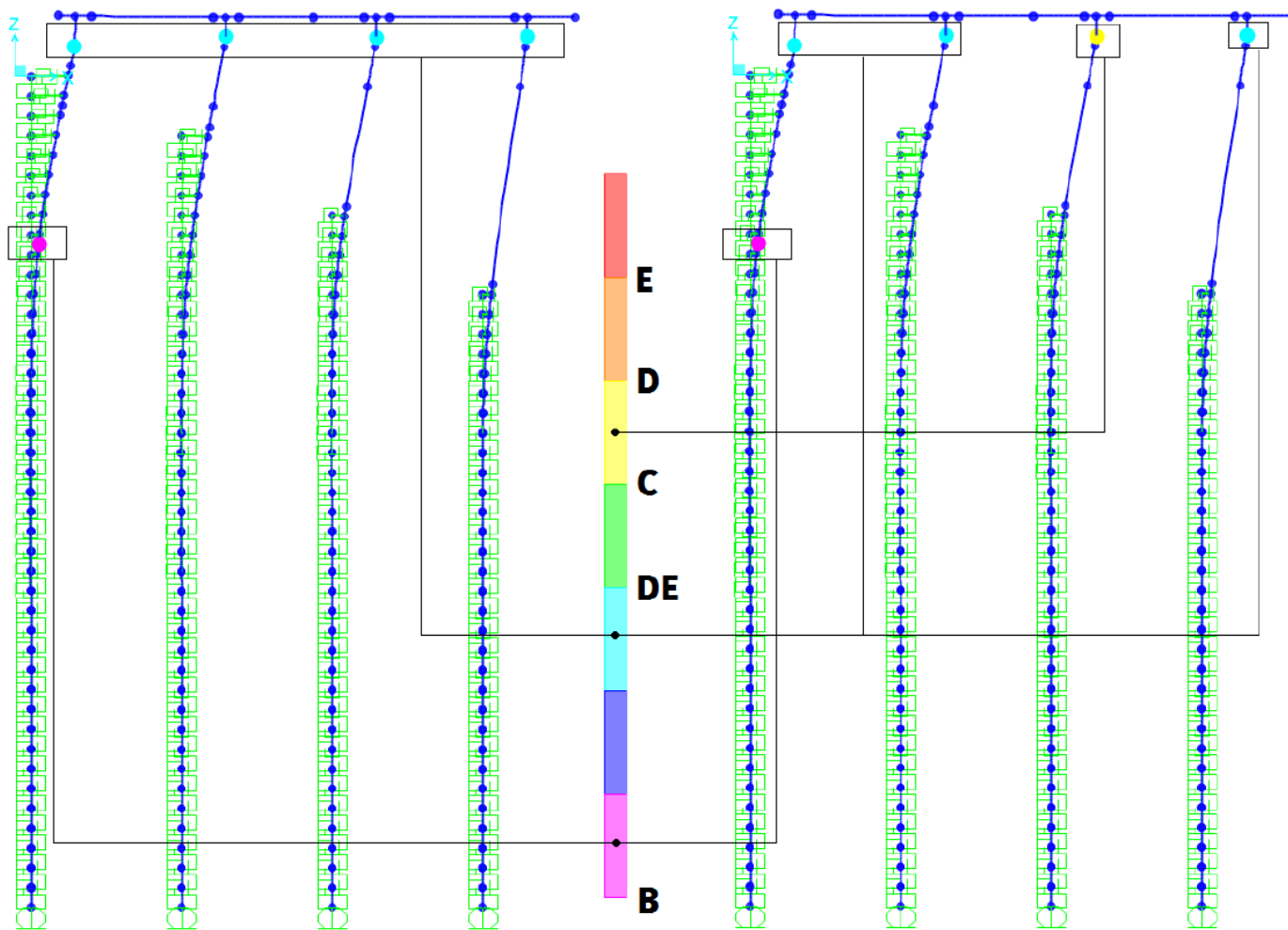


Figure 12. Files 6+16 – Avant dépassement critère DE (Gauche) et 1^{ère} rotule dépassant DE (Droite)

- Vérification que la structure n'atteigne pas ce déplacement limite sous action sismique en fonction des l'amortissement considérée avec une étude de sensibilité sur les raideurs de sols.

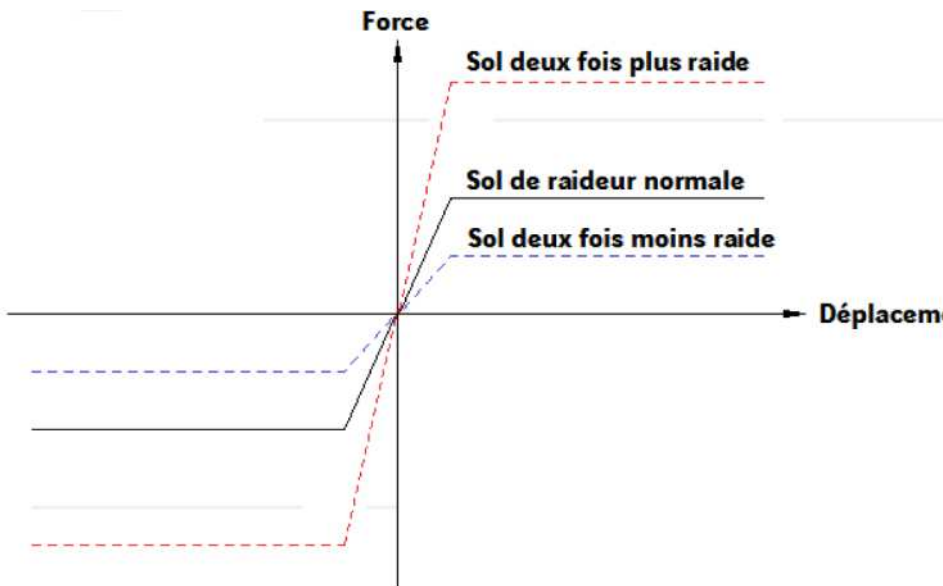
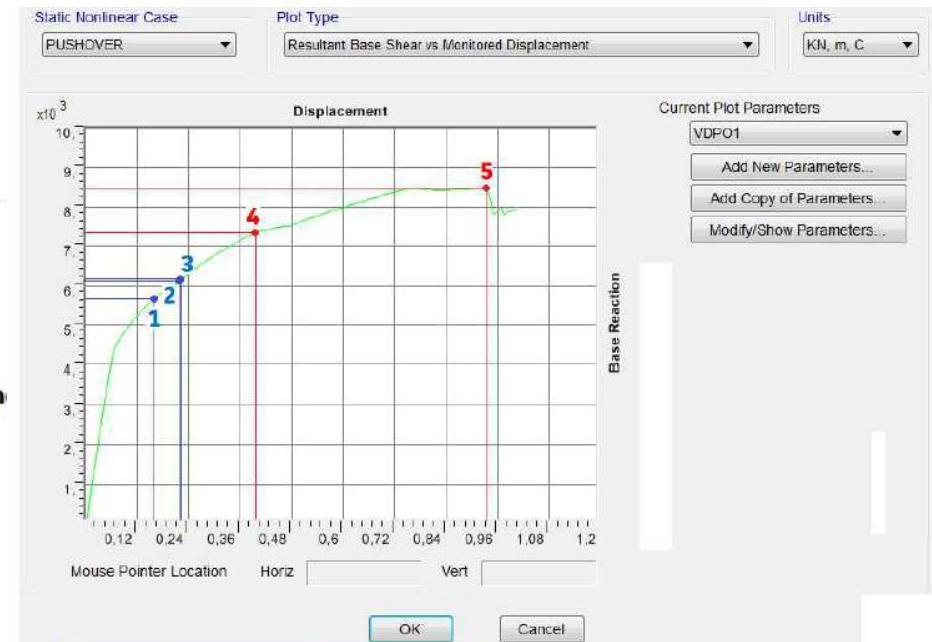


Figure 14. Principe de modélisation du sol pour l'étude de sensibilité



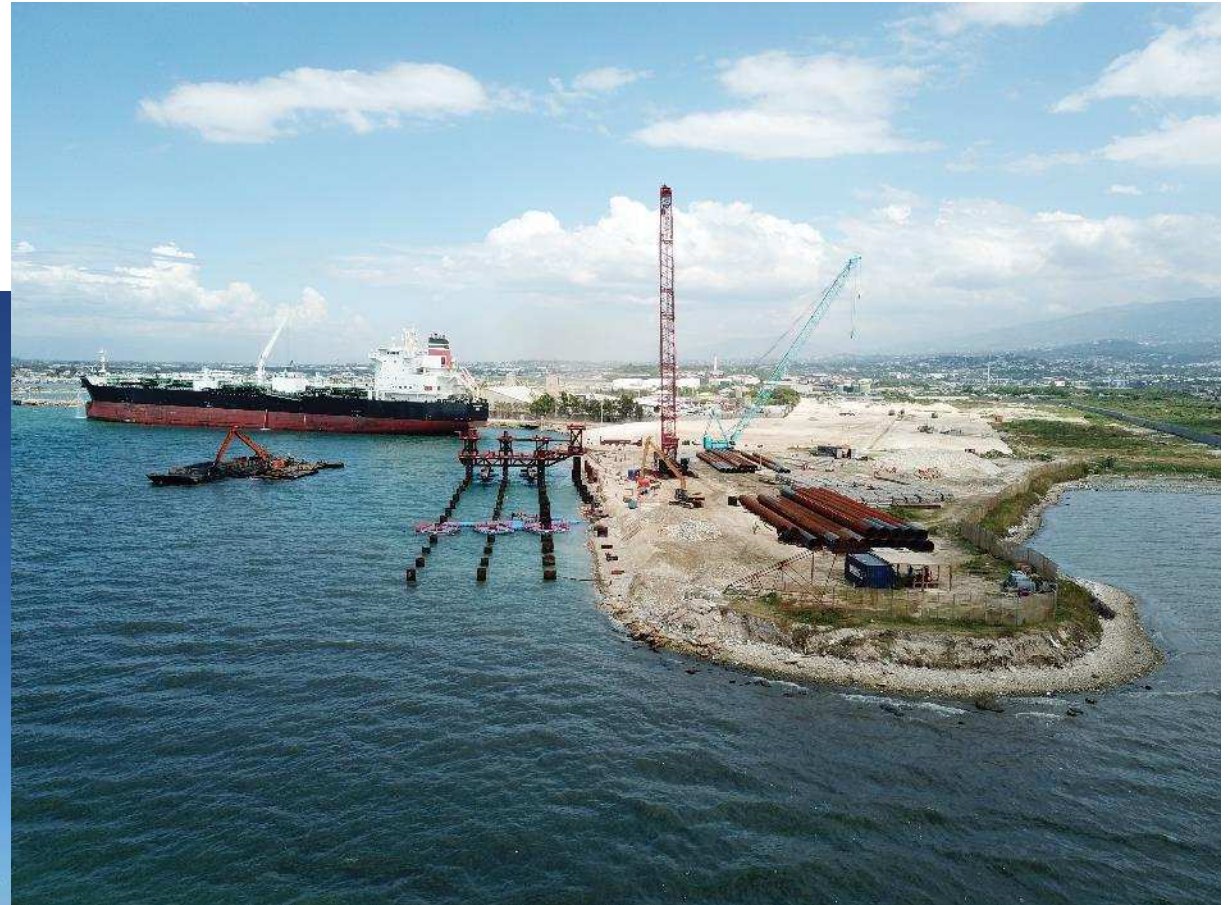
- 1 Calcul élastique simplifié
- 2 Approximation multilinéaire (amortissement + baisse de rigidité)
- 3 Approximation bilinéaire (amortissement + baisse de rigidité)

Déplacement cible (point de fonctionnement du système structure/action sismique)

- 4 Critère DE pour une rotule plastique
- 5 Rupture de la structure

Port au Prince – Terminal Varreux Bolloré

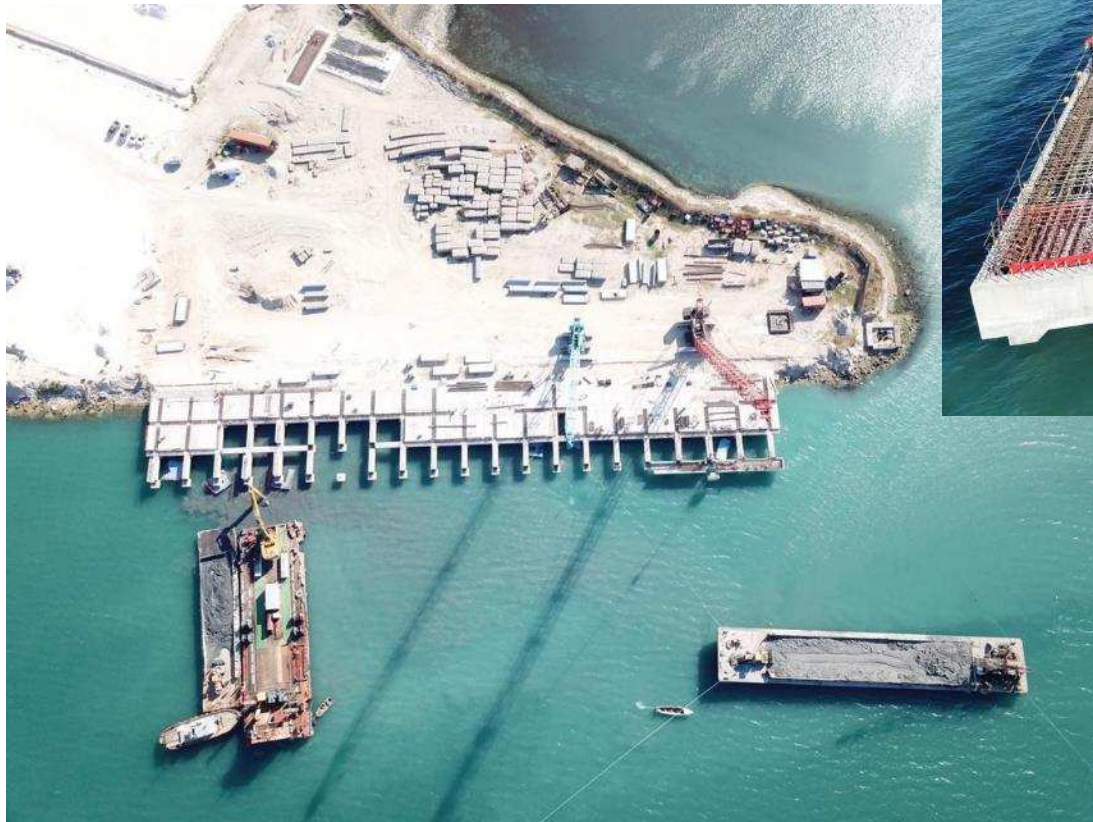
- O.S. : Fin Octobre 2018 => Réception Fin Mars 2020
Battage des pieux :



■ Mise en place des poutres préfabriquées :



■ Installation des dalles :



■ Clavages et Installations des Equipements du quai:



■ Déchargement de la grue portuaire :

