



Journée parrainée par



Projet de la Pointe de Grives en Martinique

Intervenants ARTELIA : G. CASSE, W. WAGNER

Collaboration ARTELIA : F. ANDRIAN, S. DESPREZ



Sommaire

1. Introduction
2. Le projet d'extension
3. Les contraintes
4. Les solutions
5. Conclusion



Image : GPMLM

1 - Introduction

- Agrandissement du canal de Panama offre de nouvelles opportunités de développement du trafic maritime dans les Caraïbes
- L'augmentation de la taille des navires dans le canal, amène de plus grands navires dans la zone caribéenne
- Les navires chercheront des lieux avec de bonnes conditions de transbordement (taille du terminal, tirant d'eau...)



Port de la Martinique : Point stratégique commercial (98%)

Zone portuaire

55 Ha
Exploités

>1 ha
Espace
naturel

3 ha
À construire

Echange commercial

Connecté avec

+30

Ports de la zone Caraïbe

Personnel

115
salariés



1 Transit croisière
2 Terminal ferry

3 Radoub - réparation naval
4 Terminal croisière

5 Terminal vraquier
6 Terminal biomasse

7 Appontement pétrolier
8 Terminal conteneurs

Trafic
diversifiés

2,9 Mt
Marchandises

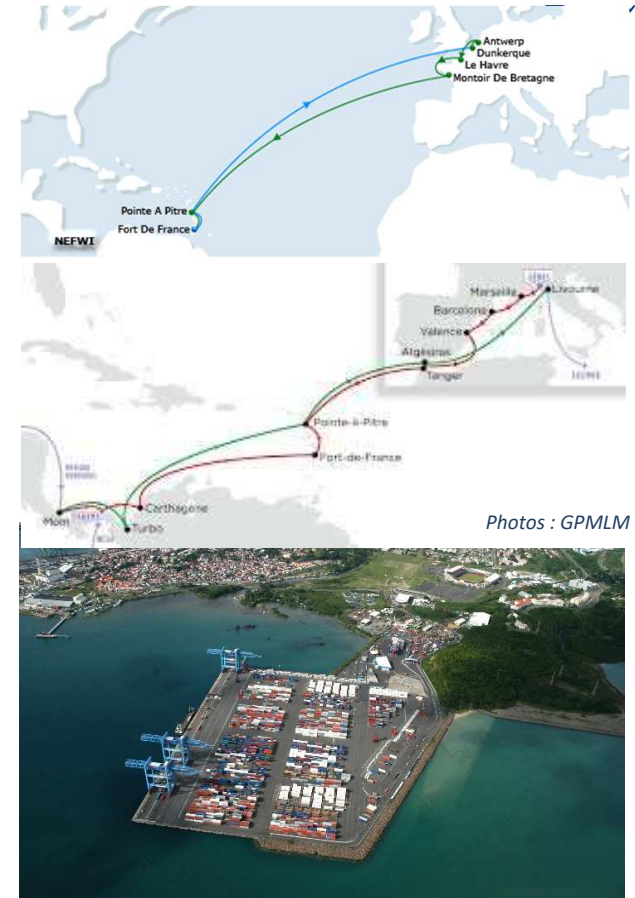
1,4 Mt
vracs



500 000
passagers

Port de la Martinique :

- Point stratégique pour l'importation de marchandise, avec des lignes régulières en provenance d'Europe du Nord et du Sud (150 000 EVP/an)
- Création en 2004 d'un terminal à conteneurs moderne et performant :
 - Un quai abrité en eau profonde, facile d'accès depuis le large
 - 1 quai principal de 460 m de long avec 13 m de tirant d'eau
 - 3 portiques de chargement / déchargement
 - 14 chariots cavaliers
 - Zone de 12 ha dédiée au stockage des conteneurs (stock max de 250 000 EVP)



Programme du projet ambitieux de développement du port



Photo-schémas : GPMLM

Voilet 1 : augmenter une partie de la plateforme de stockage des conteneurs

Voilet 3 : développer la zone logistique pour optimiser les opérations et réduire les coûts des produits finis

Voilet 2 : adapter la taille du quai principal aux nouveaux navires attendus et conserver le trafic existant

■ Objectifs de l'autorité portuaire :

- Sécuriser les lignes mères venant d'Europe, en adaptant les structures aux nouveaux navires ;
- Améliorer le trafic domestique, en offrant des capacités supplémentaires au transbordement ;
- Optimiser les coûts, tout en minimisant les impacts sur l'environnement.

■ Double défi pour ARTELIA sur ce projet d'extension :

➔ Objectifs de MOE :

- Réaliser la conception puis superviser les travaux de construction ;
- Respecter les objectifs financiers fixés en conciliant conception du projet et protection de l'environnement ;

➔ Conditions :

- Réaliser un design avec une réglementation environnementale très contraignante et de mauvaises conditions géotechniques dans une zone à très forte sismicité.

2 – Le projet d'extension

Photo: GPMLM

- Phase 1 : livrée en 2016
 - Extension du terre-plein à conteneurs
- Phase 2 : marché attribué à venir
 - Extension du terre-plein
 - Extension du quai avec un tirant d'eau de 12,5m pour les Over-Panamax de 260 à 294m de long



Extension Phase 1 : Terre-plein Sud-Est du terminal à conteneurs

Travaux réalisés en 2016 :

- 2.4 ha de TP en remblai de carrière (0/300mm – 140 000m³)
- 550m de digue d'encloture en enrochements (0,5-1,5T et 2-5T – 27 000m³)

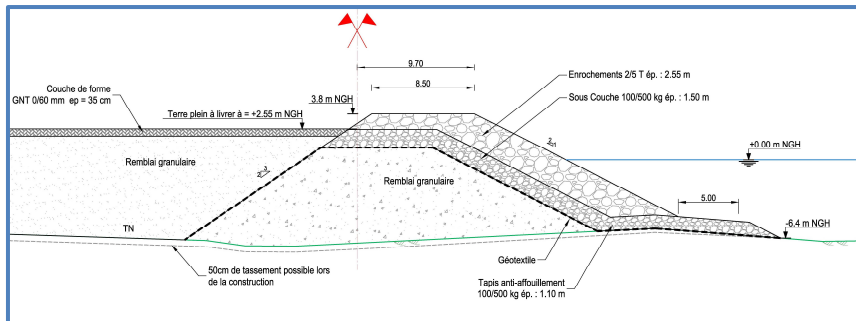


Photo: ac-martinique.fr

Extension Phase 2 : Quai et terre-plein Nord du terminal à conteneurs

Travaux à venir 2022 :

■ Tranche ferme :

- 112m de quai sur pieux au Nord
- 1 duc d'Albe d'amarrage au Nord
- 2.4 ha de TP en remblai de carrière (0/300mm – 140 000m³)
- 500m de digue d'encloture en enrochements (0,5-1,5T et 2-5T – 27 000m³)

■ Tranche conditionnelle :

- 30m de quai sur pieux au Sud
- 2 ducs d'Albe d'amarrage au Sud

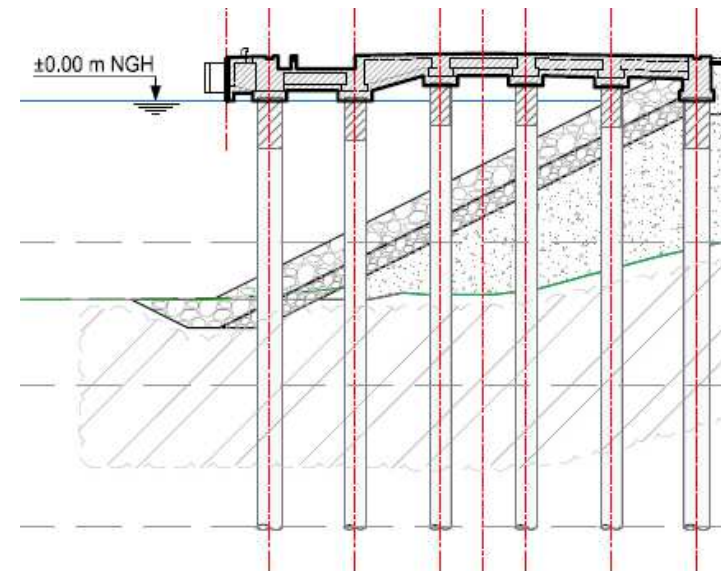


Photo: googleMap

Extension Phase 2 : Quai sur pieux

- Dalle BA sur réseau de poutres BA
- 15 files de 6 pieux tubulaires en acier
 - Espacées de 7,5 m longitudinalement
 - 6 m transversalement
 - Liaisons poutres avec bouchons en BA de 3 m

Éléments		Matériau	Dimensions
Dalle		Béton armé	0,4m épaisseur 30m x 112m
Poutres	De couronnement avant	Béton armé	Largeur 3,0m Retombée 3,0m
	Arrière	Béton armé	Largeur 2,0m Retombée 3,0m
	Transversales	Béton armé	Largeur 2,0m Retombée 1,6m
	Longitudinales	Béton armé	Largeur 1,8m Retombée 1,4m
Pieux	Externes (files 1 et 6)	Acier	Φ 1 800mm ép.40mm
	Internes (files 2 à 5)	Acier	Φ 1 500mm ép.30mm



Plan ARTELIA

3 – Contraintes du projet

3.1 – Conditions géotechniques médiocres

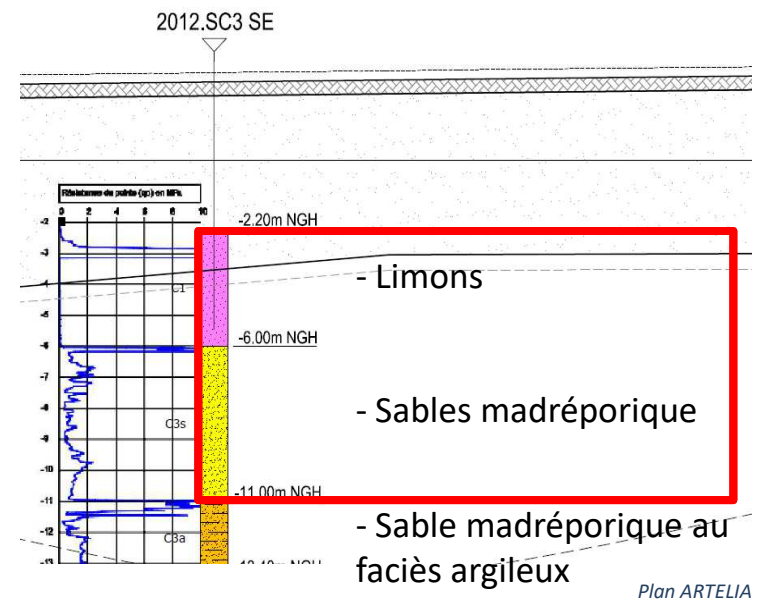
- Localisation : embouchure d'une rivière

Résultats campagne géotechnique :

→ **Matériaux compressibles** (vases argileuses et sables madréporiques)

Résultats des études géotechniques complémentaires menées par ARTELIA

→ **Tassements significatifs attendus : nécessité de substituer/renforcer le sol**



Tassement possible : 0,5 à 1 mètre

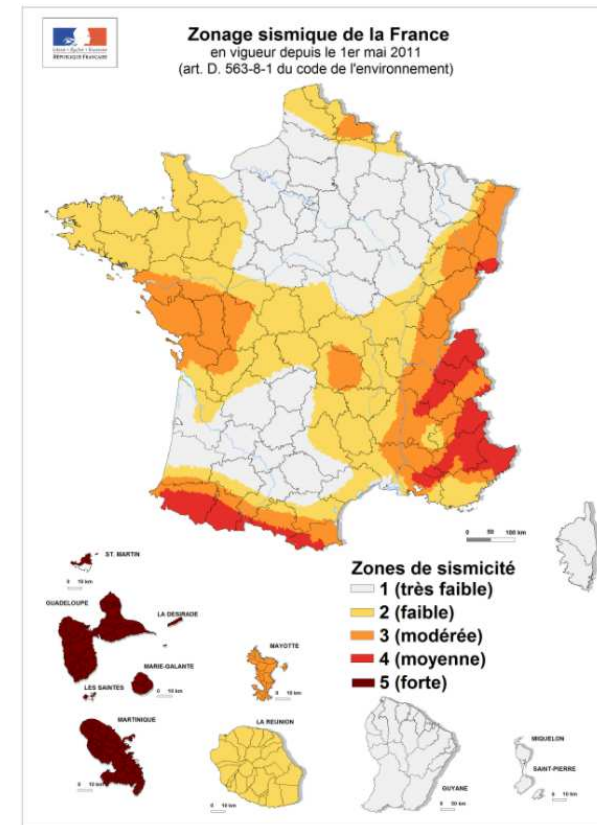
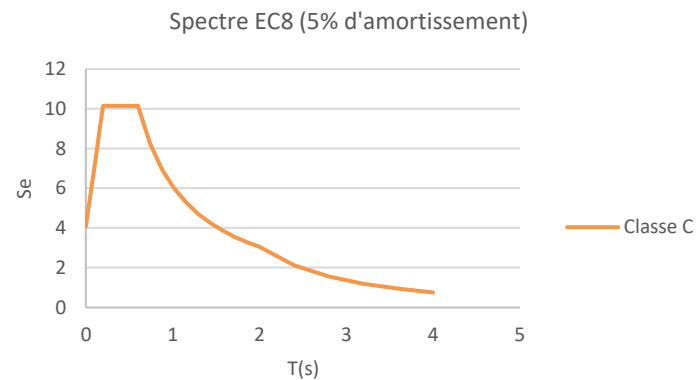
3.2 – Contraintes environnementales

- Evolution de la réglementation de la zone avec une pression écologique importante : la baie de Fort-de-France est devenue une réserve de biodiversité.
 - Interdiction de draguer,
 - Interdiction de prélever du sable pour la substitution (spécialement le sable madréporique du récif situé en face du terminal).

- Evolution du projet :
 - Nouveau phasage : extensions en 2 étapes → Sud-Est puis Nord
 - Nouvelles conceptions (intégration des tassements)
 - Nouvelles méthodes de construction

3.3 – Forte sismicité

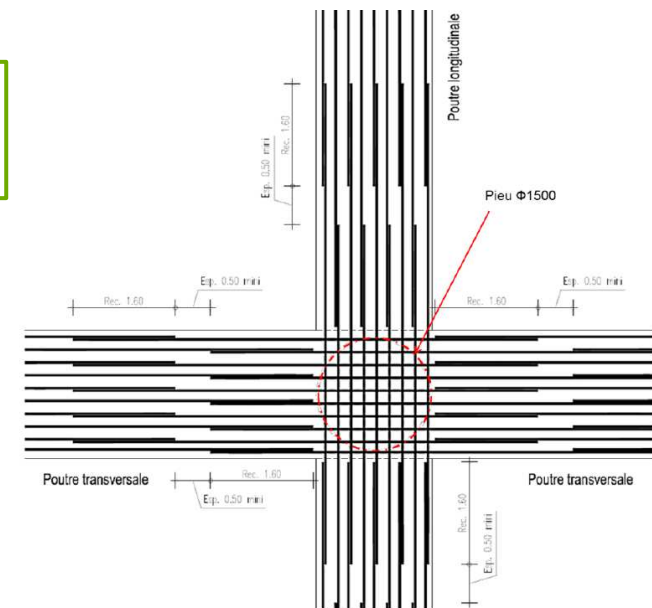
- Accélération référence $a_g = 0,3g$
- Catégorie d'importance III
 - Coefficient d'importance $\gamma_I = 1,2$
- Classe de sol C



3.3 – Forte sismicité

Conséquence : impossibilité de dimensionner la structure par les approches classiques

- Sollicitations trop importantes dans les bouchons
- Pas assez d'espace pour mettre en place les aciers nécessaires
- Besoin d'un calcul plus détaillé (réaliste)

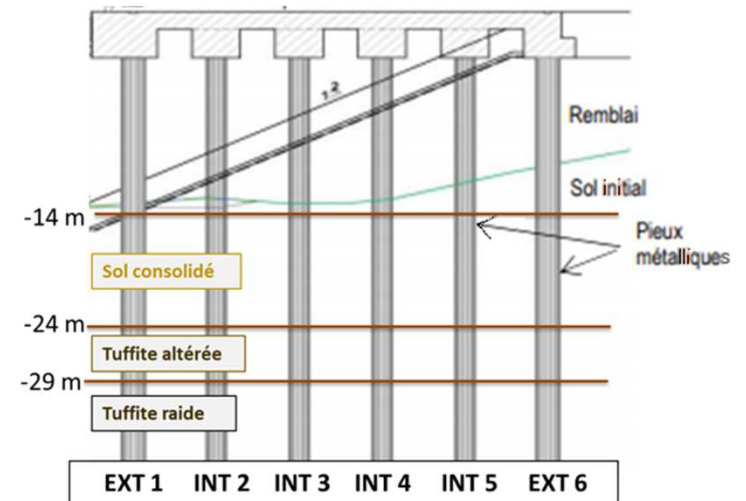


Plan ARTELIA

4 – Solutions

Modélisations numériques du quai

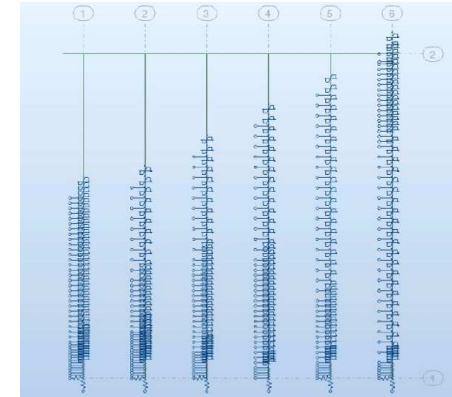
1. Solution de référence – analyses modales spectrales
Modèles à barres 1D (monopieu), 2D et 3D
2. Solution améliorée – Calculs dynamiques temporels non-linéaires
Structure + fondation
File transversale de pieux
2D et 3D



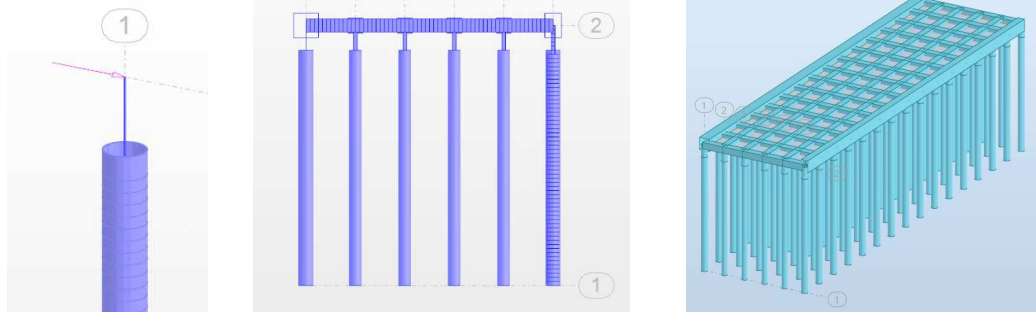
Plan ARTELIA

4.1 – Analyses modales spectrales

- Solution de référence
- ISS modélisés par des ressorts élasto-plastiques
- Prise en compte du talus + différentes couches de sol
- Coefficient de comportement appliqué au spectre ($q = 1,5$)



Modélisation ARTELIA



Modélisations ARTELIA

- Paramètres des ressorts basés sur les essais pressiométriques (courte durée)
- Hypothèse d'un milieu semi-infini
- Comportement indépendant des pieux

➤ Sollicitations trop importantes dans les pieux/bouchons

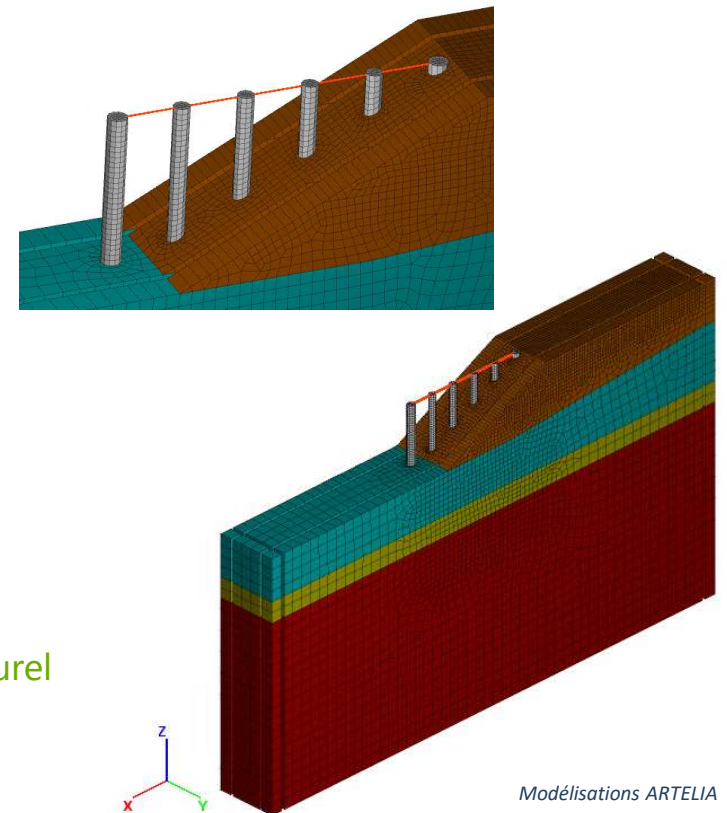
4.2 – Calculs dynamiques temporels non-linéaires

■ Sol

- Paramètres issus des essais géophysiques
- Modèle constitutif élasto-plastique (Mohr-Coulomb)
- Amortissement hystérétique (G/G_{max})
- Frontières radiatives

■ Structures

- Pieux modélisés par des éléments volumiques (relations d'équivalence – EI , ρ)
- Poutre transversale modélisée en tant qu'élément structurel
- Amortissement visqueux type Rayleigh

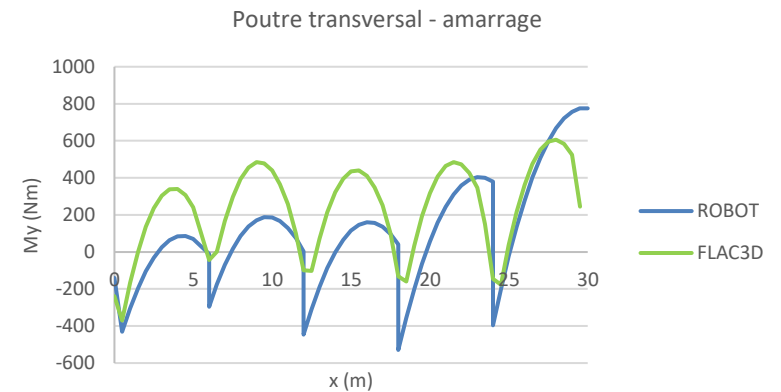
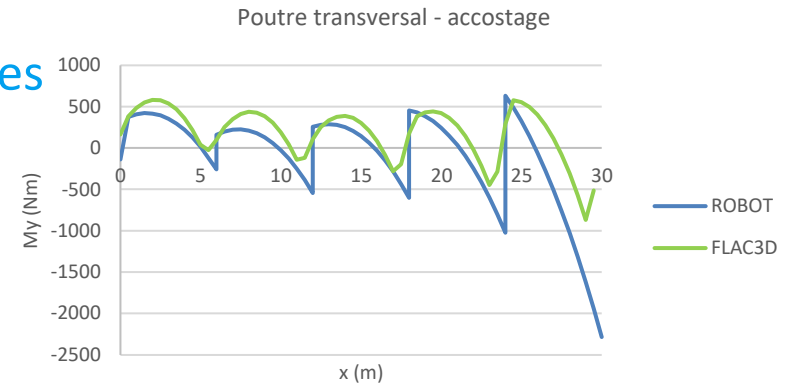
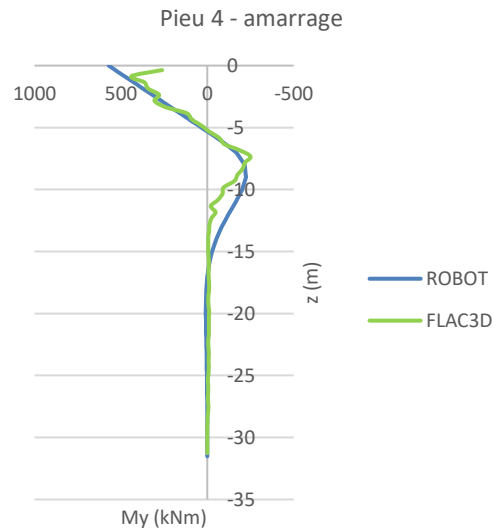
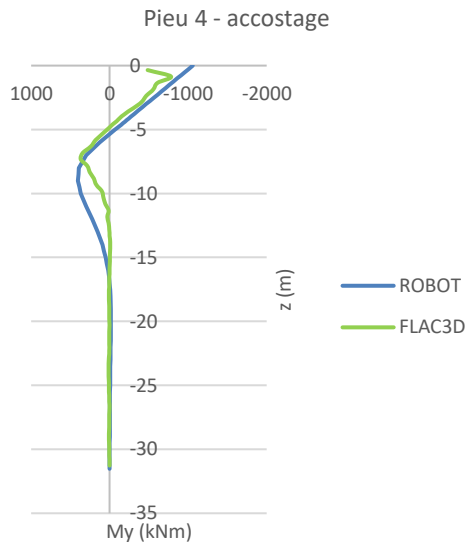


Modélisations ARTELIA

4.2 – Calculs dynamiques temporels non-linéaires

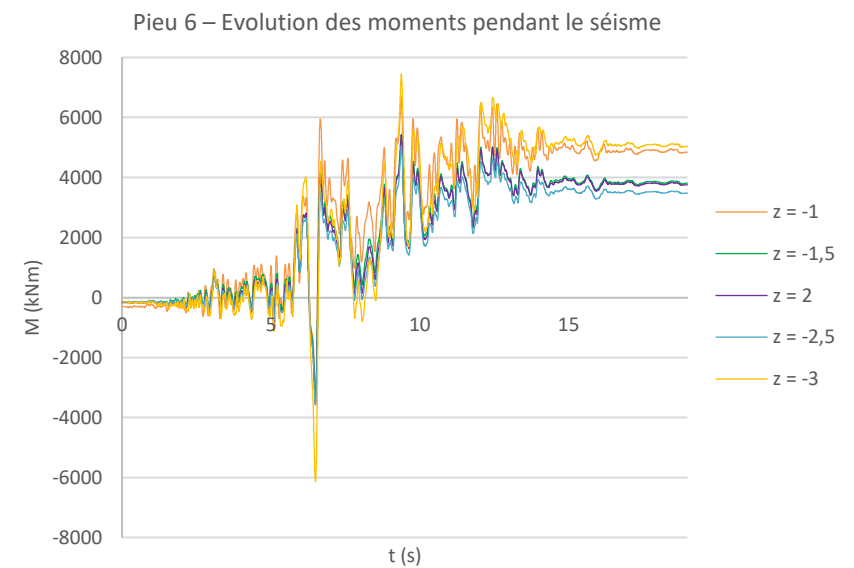
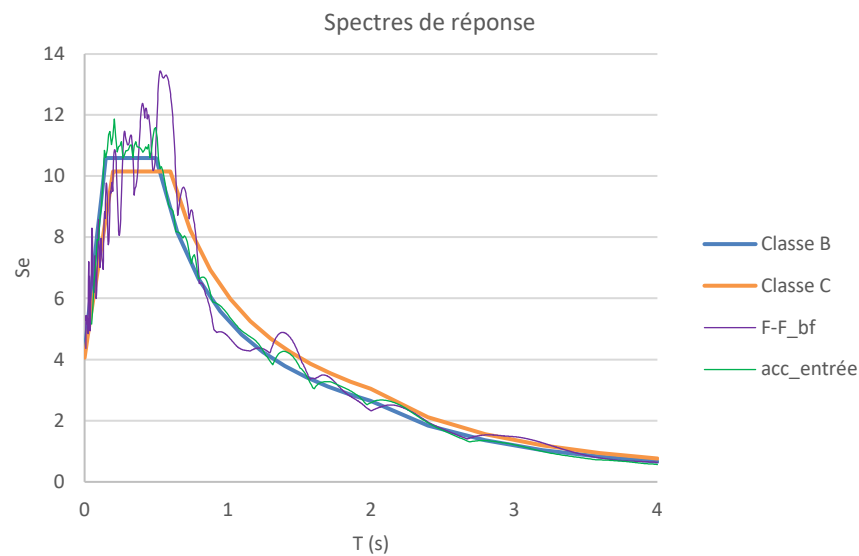
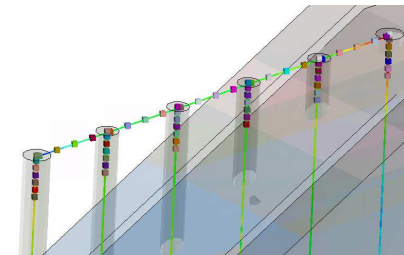
■ Comparaison des résultats statiques (Moments)

- Cas accidentels – accostage et amarrage
- Comparaison en moments



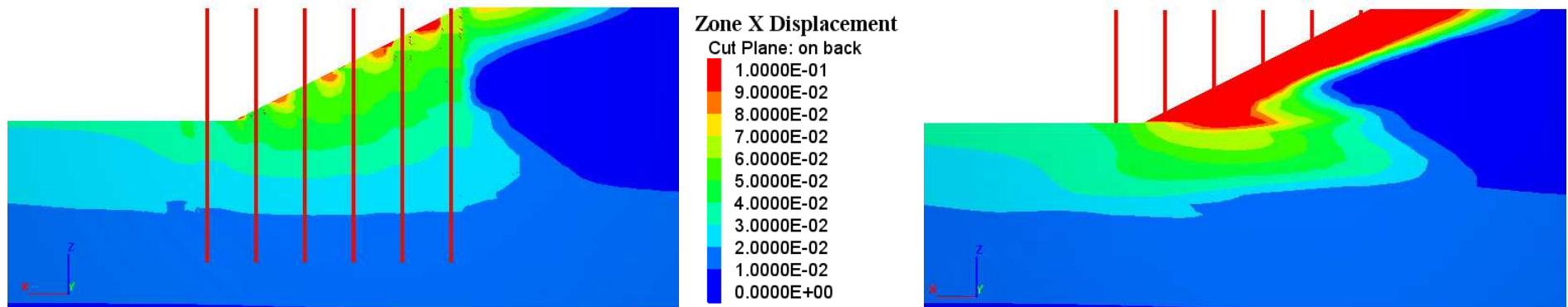
4.2 – Calculs dynamiques temporels non-linéaires

■ Calculs dynamiques temporels



4.2 – Calculs dynamiques temporels non-linéaires

- Calculs dynamiques temporels non-linéaires
 - Etat post-sismique



4.2 – Calculs dynamiques temporels non-linéaires

■ Analyse du dimensionnement

→ Réduction des sollicitations de l'ordre de 60% par rapport à l'analyse modale spectrale

Colonne 1	Moments max (MNm) Modale spectrale	Moments max (MNm) Dynamique temp. n-l	Différences
Pieux internes ($\Phi = 1500$)	26,3	9,9	62%
Pieux externes ($\Phi = 1800$)	32	10,8	66%

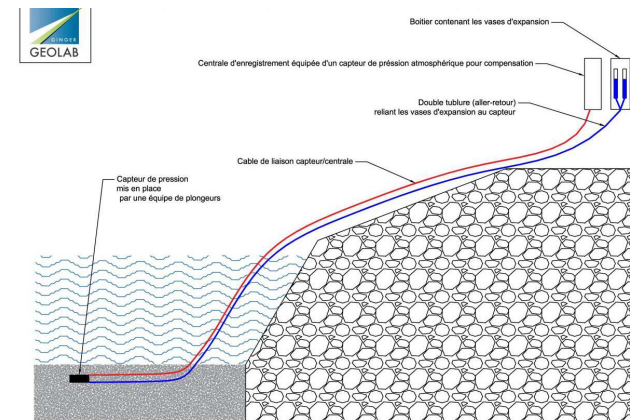
5 – Conclusion

- Dimensionnement de la structure possible grâce à une méthode plus réaliste de calcul
- Compréhension plus complète des interactions sol-structure
 - Comportement d'ensemble pieux + sol
 - Effets 3D de la géométrie des pieux
- Possibilité d'analyser le comportement post-sismique du talus

Travaux du TP Sud réalisés :

Utilisation de la méthode observationnelle :

- Instrumentation du terre-plein pour suivre les tassements au fil des travaux (capteurs de tassement, cellules de pression, acquisition automatique)
- Solution de renforcement de sol proposée en cas de dépassement des critères



Détails de cette mise en œuvre dans l'article de la revue TRAVAUX n°937 – Travaux maritimes et fluviaux de novembre 2017 (p.44-49).



Merci pour votre
attention!



GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE

www.arteliagroup.com