

Grands chantiers à l'international

Extension du port de Pointe Noire (CONGO)

Rémi DELUZARCHE
EGIS

JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU 11 JUIN 2024

EXTENSION DU PORT DE POINTE NOIRE

Sommaire

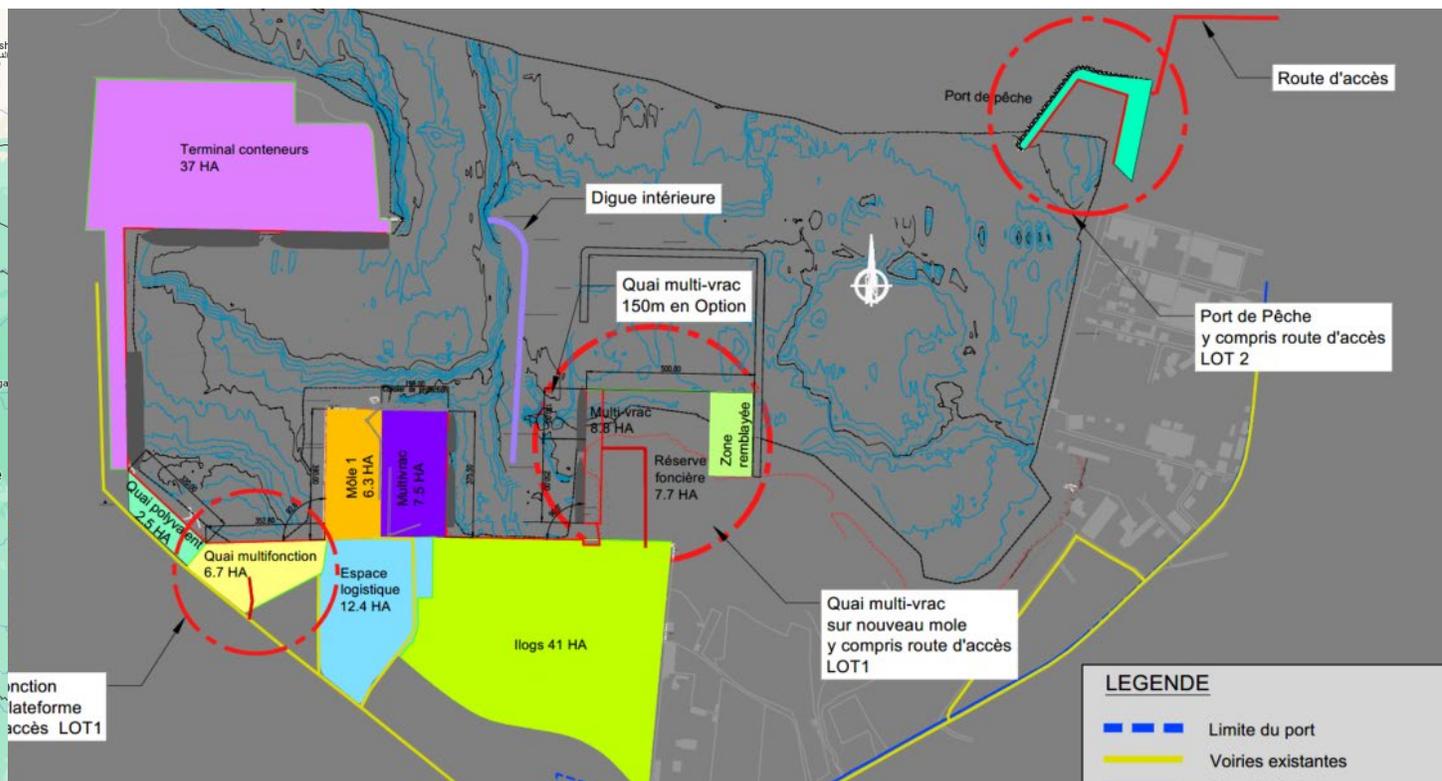
- Contexte du projet
- Les ouvrages à construire
- Géologie – Géotechnique
- Difficultés du chantier
- Diagnostic
- Adaptations des méthodes
- Conclusions

Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

CONTEXTE DU PROJET

Plan de développement du port



JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
1 JUIN 2024

Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

CONTEXTE DU PROJET

➤ Les intervenants

- MOA = Port autonome de Pointe Noire (PAPN)
- Financement : AFD
- Maîtrise d'œuvre travaux : EGIS
- Constructeur : Razel

➤ Chronologie

- Notification: printemps 2021
- Démarrage des travaux : début 2022
- Fin des travaux : 2024

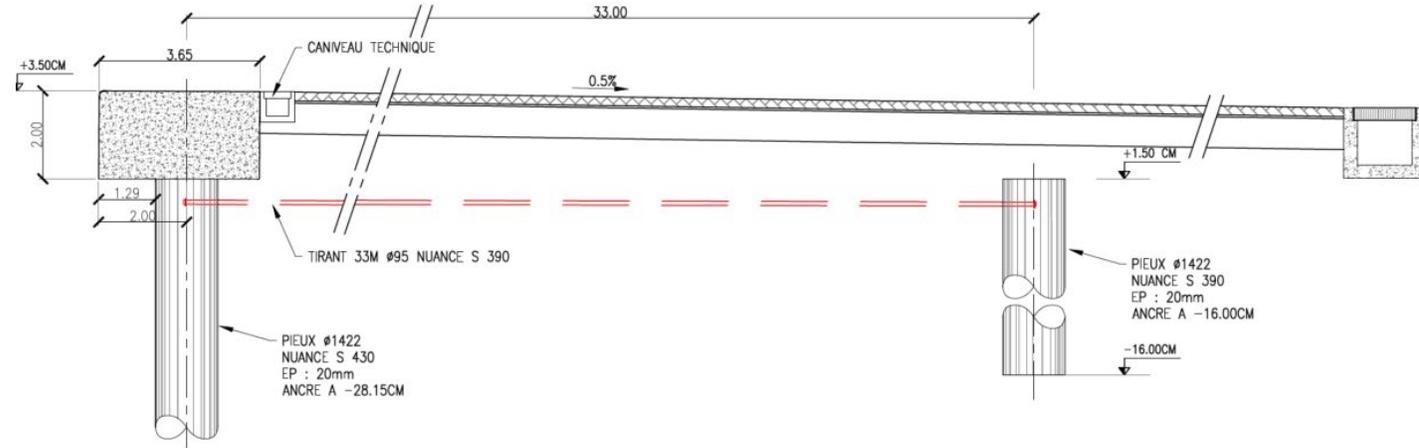
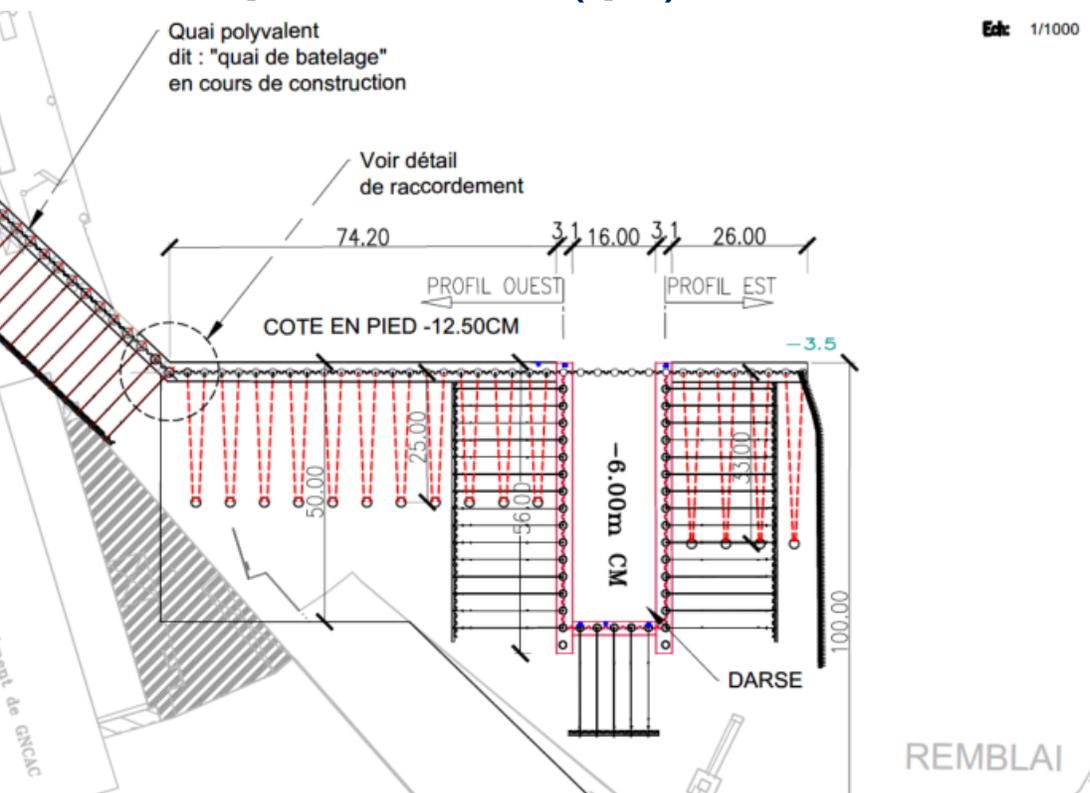
Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

LES OUVRAGES À CONSTRUIRE

➤ Quai multifonctions (QMF)

Quai polyvalent dit : "quai de batelage" en cours de construction

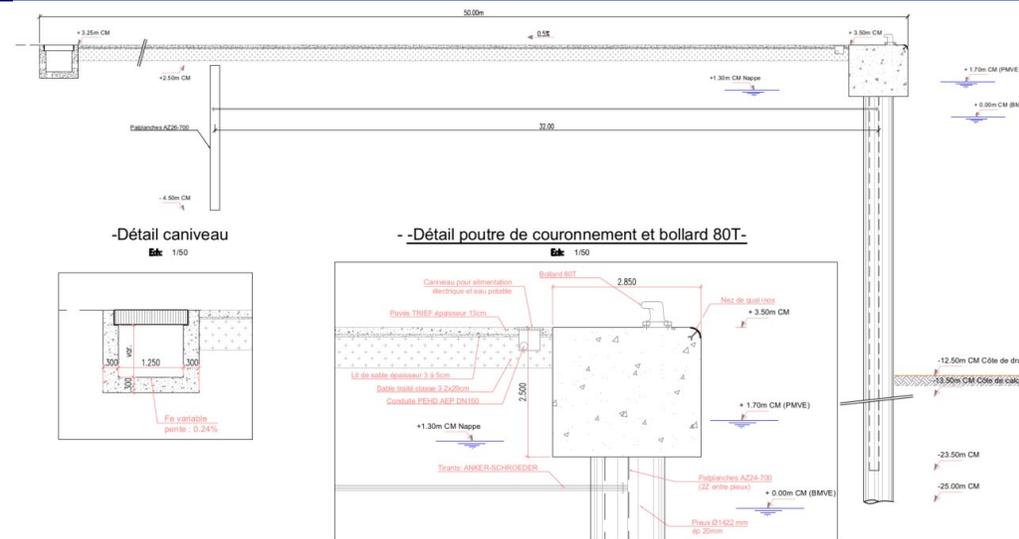


- **Combiwall** de 100 ml avec contre-rideau (pieux dans le marché / adapté en palplanches)
- **Pieux Ø1422mm**
- Darse de 16 x 50 m avec fond à -6 CM
- Cote de dragage à -12,50 CM
- Fiche des pieux à -18 CM (-10 dans la darse)
- Fiche des palplanches du CW à -15 CM (-7,5 dans la darse)
- Fiche du contre-rideau à -1,5 CM

Grands chantiers à l'international Extension du Port de Pointe Noire

LES OUVRAGES À CONSTRUIRE

➤ Quai multivrac (QMV)



- **Combiwall de 250 ml** avec contre-rideau + retours de 117 ml pour raccordement au quai ILOGS
- **Pieux Ø1829, 1422 et 1219**
- Cote de dragage à -12,50 CM (-16 CM sur 50ml)
- Fiche des pieux à -25 CM (-32 CM sur 50ml)
- Fiche des palplanches du CW à -23,5 CM (-27 sur 50ml)
- Fiche du contre-rideau à -4,5 CM

Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

LA GÉOLOGIE



FORMATIONS SÉDIMENTAIRES DE LA RÉGION CÔTIÈRE

Série des Cirques (Plio-Pleistocène)

P	Graviers, sables, argiles.
---	----------------------------

Système crétacique

C ⁶⁻⁹	Grès, sables, marnes, calcaires.
C ³¹ _{III}	Marnes, calcaires, grès.

- ➔ **Forte variabilité !**
- ➔ Au niveau du QMF (ouest), **alternance de grès et de marnes raides**
- ➔ Au niveau du QMV (Est) : **alternance de sables bitumineux, de marnes vertes et de marnes calcaires**

Grands chantiers à l'international Extension du Port de Pointe Noire

GÉOTECHNIQUE

QMF

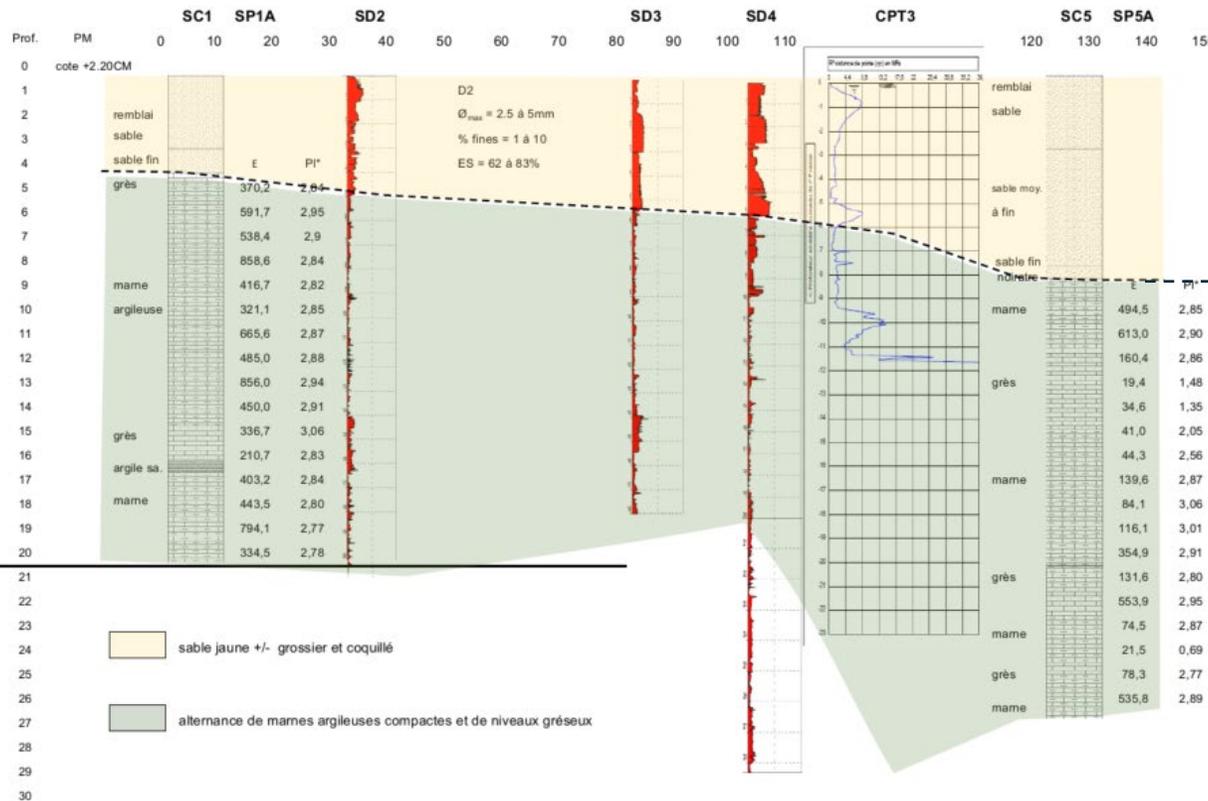
Campagne G3

- 6 sondages pressiométriques
- 6 sondages carottés
- 4 sondages destructifs

Modèle initial (G3)

- Sables
- Alternance de marnes verdâtres et de grès tendres

Nota : données du marché plus au large



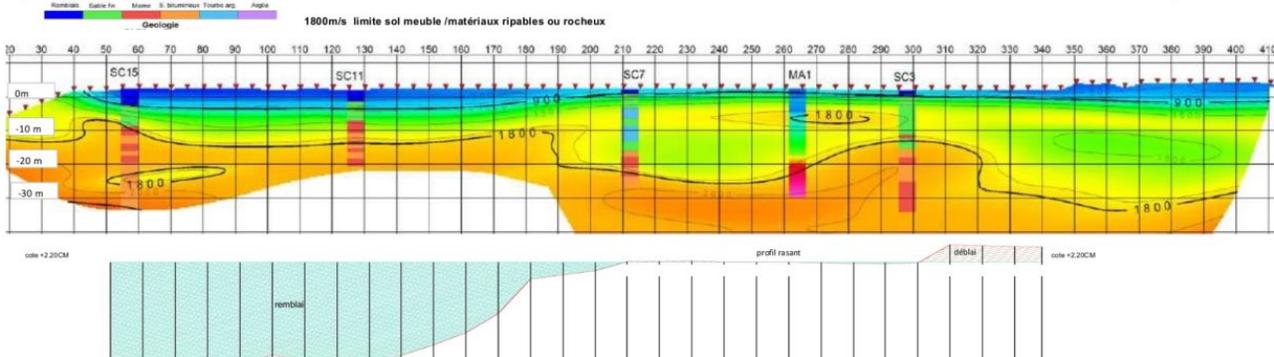
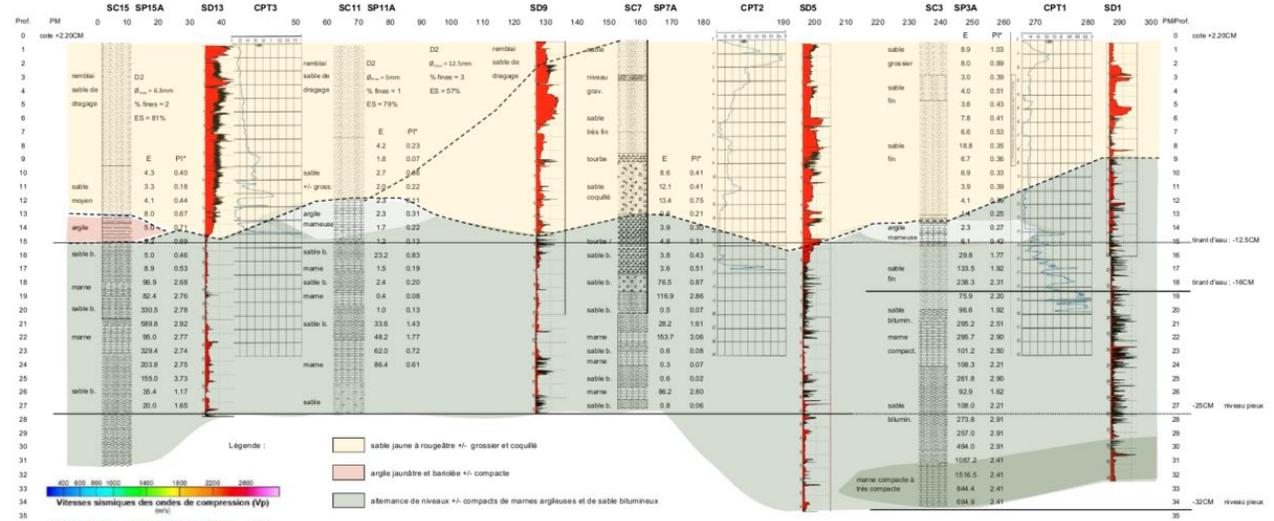
Famille	Dénomination	γ_h (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	$\phi'(^{\circ})$	c' (kPa)	E_M (MPa) Moy har.	α	p_l^* (MPa) Moy.
F1	sable remblai	19	10	35	0	10	1/2	1
F2	sable fin à grossier	18	10	26.8	0	4.98	1/3	0.46
F5	marnes verdâtres	20	12	32	40	167	1	2.69
F6	argiles sableuses et tourbeuses	19	11	15	5	3.6	1/2	0.51
F7	argiles marneuses plastiques	19	11	26	20	1.7	2/3	0.11
F9	grès tendre	20	12	35	0	88	1	2.63
F10	marnes gréseuses	20	12	33	10	216	1	2.71

- sable jaune +/- grossier et coquillé
- alternance de marnes argileuses compactes et de niveaux gréseux

Grands chantiers à l'international Extension du Port de Pointe Noire

GÉOTECHNIQUE

QMV



Campagne G3

- 8 sondages pressiométriques
- 8 sondages carottés
- 8 sondages destructifs

Modèle initial (G3)

- Sables (remblai)
- Principalement, alternance de marnes verdâtres et de sables bitumineux

Famille	Dénomination	γ_h (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E_m (MPa) Moy har.	α	pl^* (MPa) Moy géo.
F1	sable remblai	19	10	35	0	10	1/2	1
F2	sable fin à grossier	18	10	26.8	0	4.98	1/3	0.46
F3	sable bitumineux compact	18	10	31	0	81	1/2	2.25
F3 bis	sable bitumineux lâche	18	10	23	0	2.1	1/3	0.31
F4	marnes compactes à très compactes	20	12	35	20	695	1	2.41
F5	marnes verdâtres	20	12	30	10	82	1	2.28
F6	argiles sableuses et tourbeuses	19	11	15	5	3.6	1/2	0.51
F7	argiles marneuses plastiques	19	11	26	20	1.7	2/3	0.11

Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

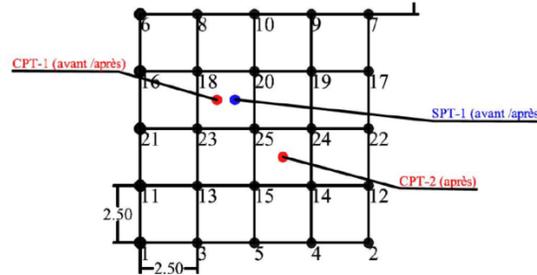
VIBROCOMPACTAGE

➤ Méthode « congolaise » :

- Poutre « H » avec bulbe en pied
- Vibration en tête
- 8 à 9m de remblai à vibrocompacter (critère : $q_c > 12 \text{ MPa}$)

➤ Planche d'essai

- 4 maillages testés (2,5 / 3,0 / 3,5 / 4,0)
- Résultats satisfaisants jusqu'à une maille de 3,5 \Rightarrow maille retenue



● : Point de vibrocompactage



Maille 2,5 m

Maille 3,0 m

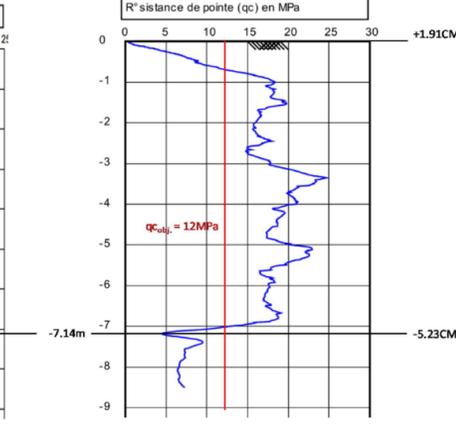
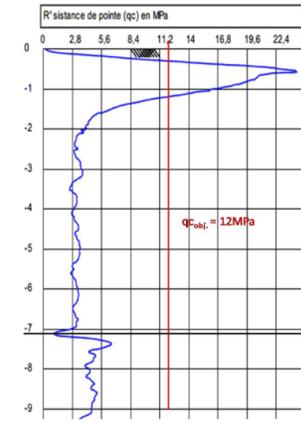
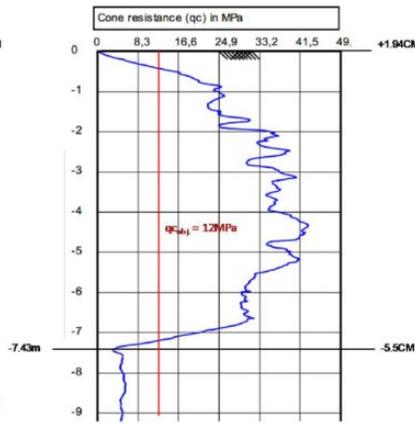
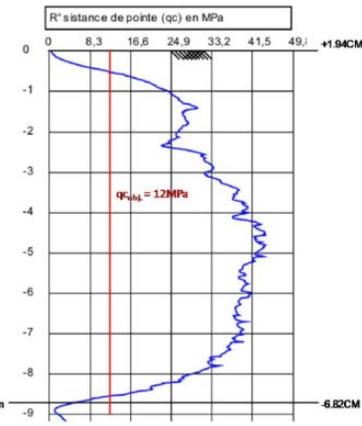
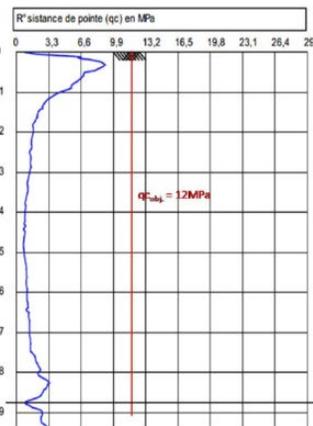
CPT1 avant vibrocompactage

CPT1 après vibrocompactage

CPT2 après vibrocompactage

CPT3 avant vibrocompactage

CPT3 après vibrocompactage



Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

QUELQUES DIFFICULTÉS DU CHANTIER (QMV)

- Présence d'épaves
- Enrochements et blocs béton à retirer
- Venues d'eau dans les remblais



Vue aérienne de l'épave

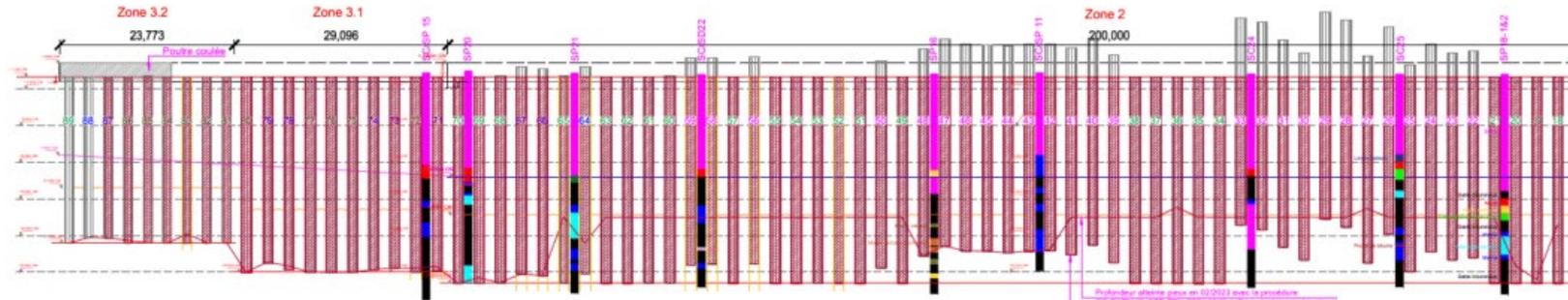


Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

DIFFICULTÉ DE BATTAGE

- QMV
- Remontée de bitume dans les pieux
- Refus prématurés



Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

DIFFICULTÉ DE BATTAGE

- QMF
- Refus prématurés
- Pieux déformés

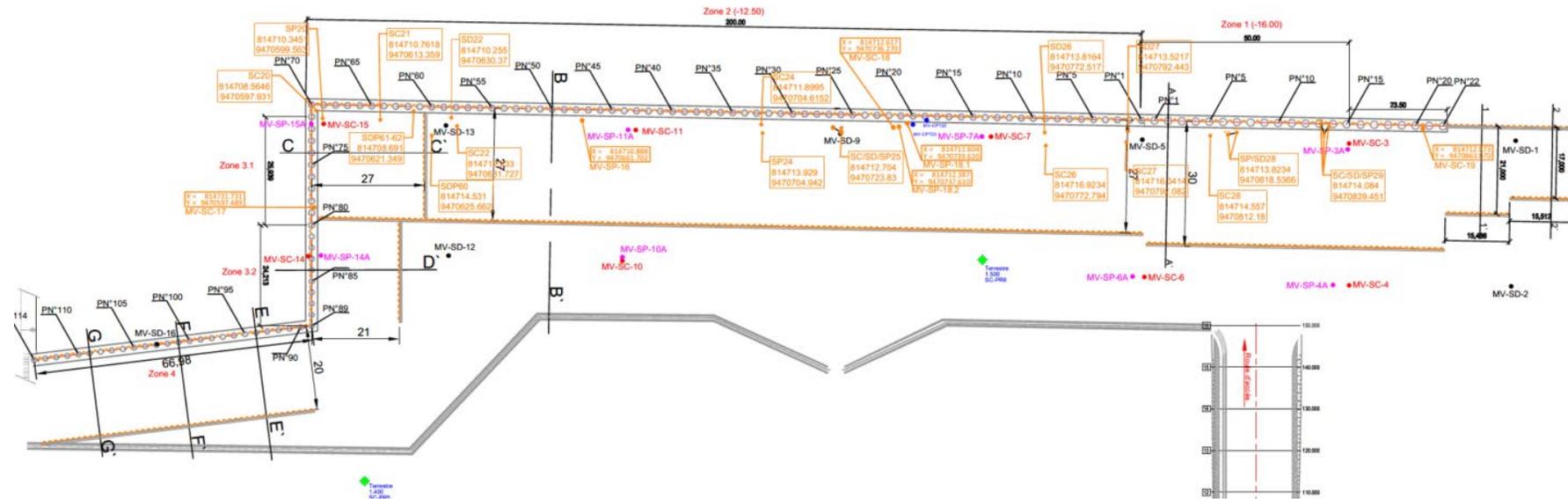
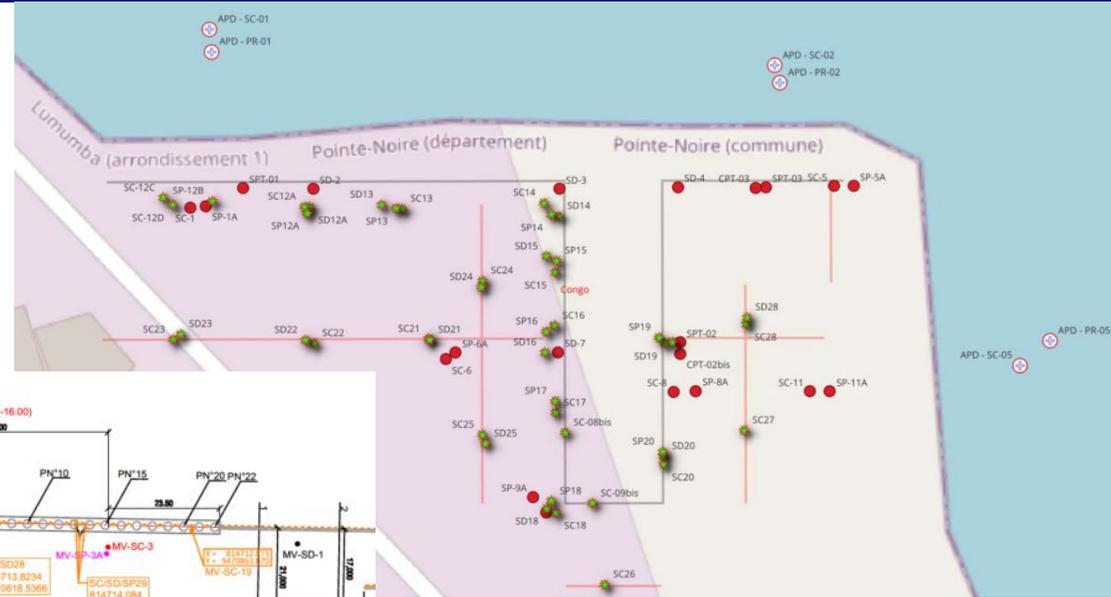


Grands chantiers à l'international Extension du Port de Pointe Noire

DIAGNOSTIC DES DIFFICULTÉ DE BATTAGE

➤ Campagne complémentaire conséquente

- QMV : 10 sondages pressiométriques et 9 sondages carottés
- QMF : 14 sondages pressiométriques et 21 sondages carottés



Grands chantiers à l'international Extension du Port de Pointe Noire

DIAGNOSTIC

➔ Remise en cause des essais pressiométriques : impact fort de la longueur des passes de forage dans les marnes

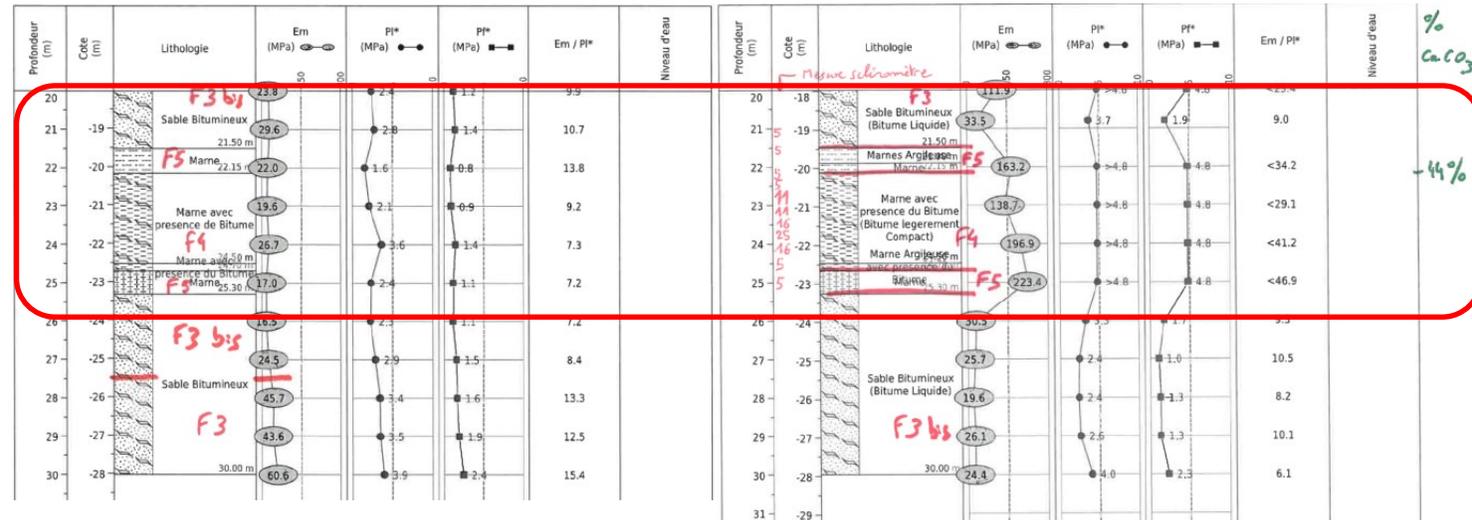
➔ **Forte sous-estimation des modules et donc des difficultés de battage**

➔ Cas des marnes :
APD : Em = 40MPa
G3 : Em = 82 MPa
G3 compl. : Em = 168 MPa

➔ Cas des sables bitumineux :
APD : Em = 40MPa
G3 : Em = 81 MPa
G3 compl. : Em = 107 MPa

2 sondages voisins

à gauche : passes de 5m / à droite : passes de 2m
Em = 7 à 34 MPa / Em > 100 à 200 MPa



Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

DIAGNOSTIC QMV

Analyse du rôle des marnes :

- Forte sensibilité à l'eau
- Présence de minéraux gonflants

- $18\% \leq$ proportion de la fraction argileuse $\leq 34\%$,
- Smectite $\approx 10\%$ (présente sur 2/3 échantillons),
- Illite $\approx 28\%$,
- Stratifié irrégulier Illite/Smectite $\approx 37\%$ (présent sur 2/3 échantillons),
- Polygorskite $\approx 37\%$ (présente sur 2/3 échantillons),
- Sépiolite $\approx 40\%$ (sur 1 échantillon),
- Kaolinite $\approx 5\%$

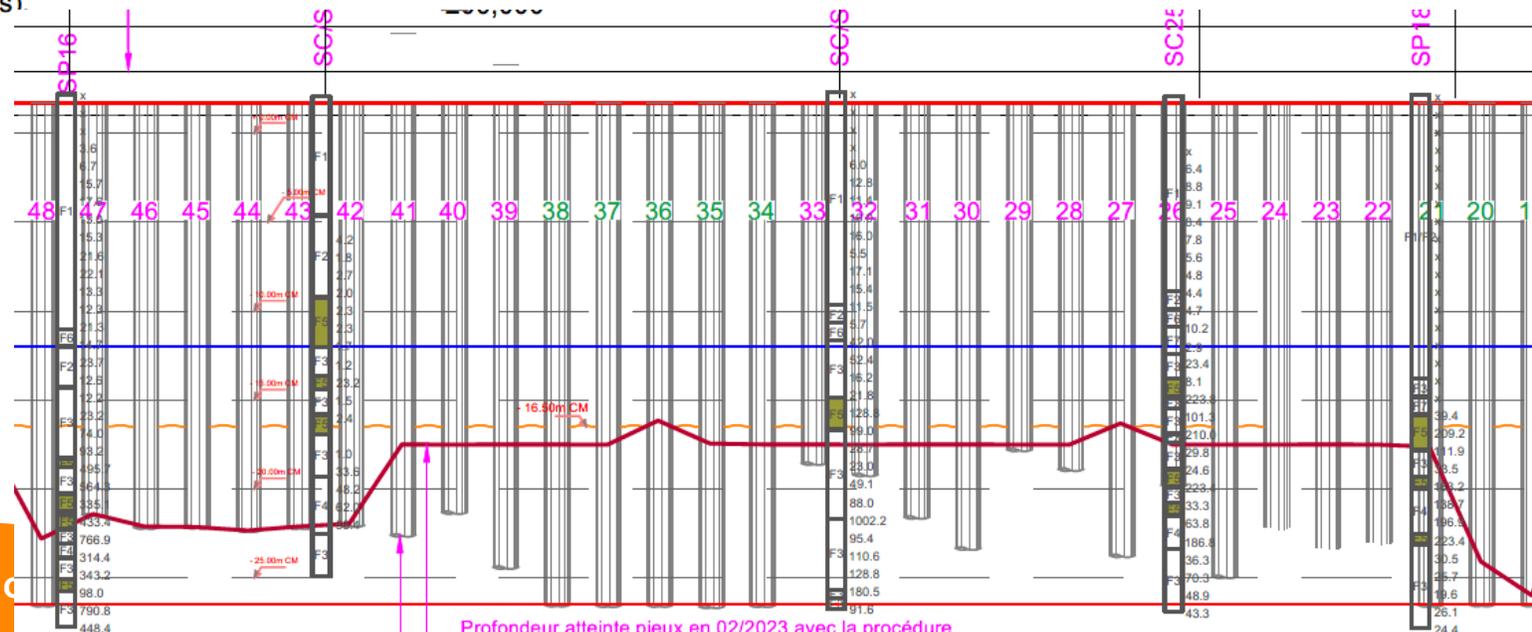
- Refus quasi-systématiques après avoir traversé une couche de marnes

Essais PDA :

- $R_{c,m} < R_{c,ELS}$
- Cicatrisation très rapide ?



Marne SC7-23,40 m, $R_c=7\text{mpa}$ Marne mise dans l'eau $t=0$ $t=10\text{ mn}$ dans l'eau $t=15\text{ mn}$ dans l'eau $t=30\text{ mn}$ dans l'eau



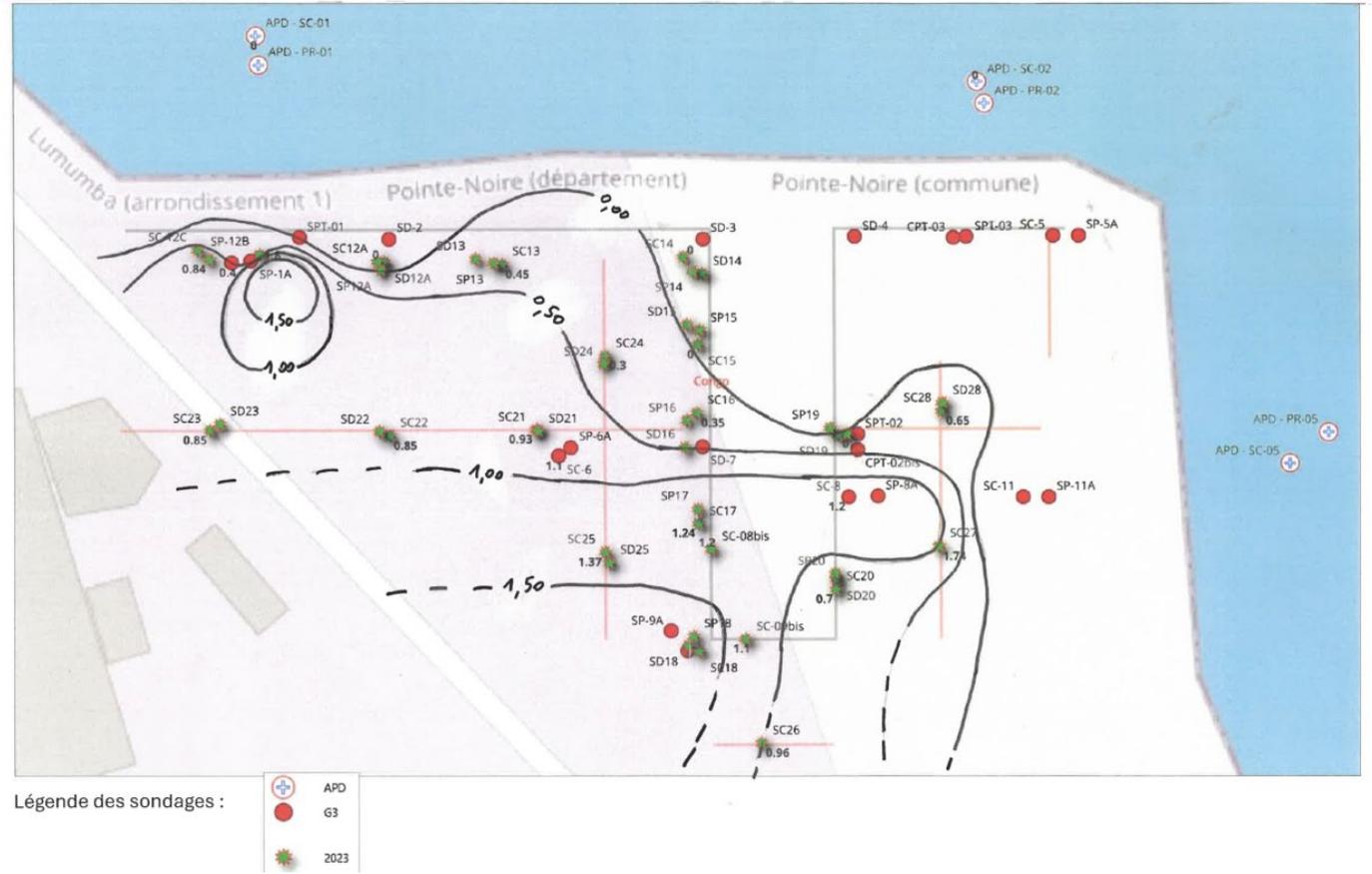
Profondeur atteinte pieux en 02/2023 avec la procédure CG-PAPN-IO-QSE-PEX-QMV-0016-d (Sans évidement des pieux)

Grands chantiers à l'international Extension du Port de Pointe Noire

DIAGNOSTIC QMF

- Présence d'une dalle de grès durs en surface du substratum, absente au large
- Effet de rebond au battage
- Marnes raides (voir QMV)

Extension et épaisseur de la dalle de grès rencontrée entre -0,66 et -2,80m CM



Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

ADAPTATION DES MÉTHODES

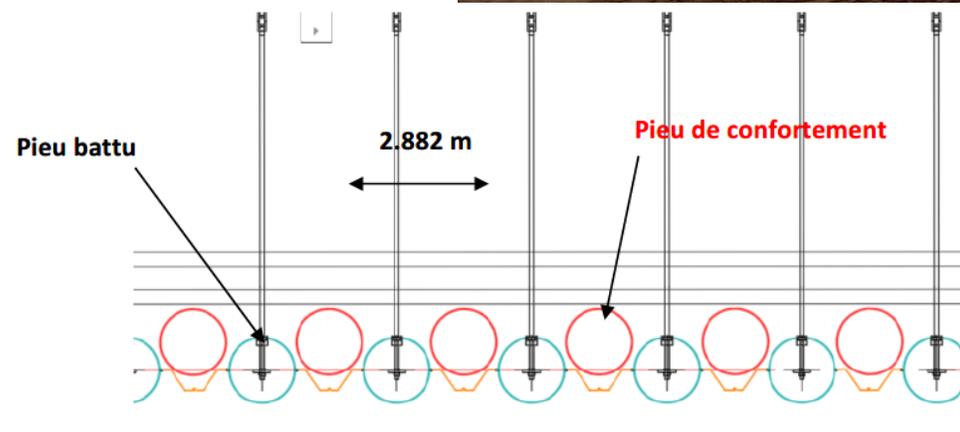
➤ Procédure définitive

- Vibrofonçage du premier tronçon de tube jusqu'au substratum
- Forage à la boue bentonitique jusqu'à la pointe du pieu
- Remplissage en sable
- Soudure du deuxième tronçon de pieu
- Battage à la cote

⇒ **Plus de difficulté avec cette méthode**

➤ Cas des pieux au refus déjà réalisés

- Soit justification par le calcul
- Soit ajout de deux pieux à l'arrière



Grands chantiers à l'international

Extension du Port de Pointe Noire

CONCLUSIONS

- Bonne illustration d'une campagne « G2 PRO » insuffisante
- Intérêt d'une supervision rapprochée de la campagne de reconnaissance
- Le REX de chantiers voisins ne suffit pas à lui seul
- Géologie particulièrement difficile : forte variabilité spatiale + comportement particulier
⇒ aurait dû nécessiter une campagne à la hauteur en phase de conception
- Le battage s'est révélé plus dimensionnant que les phases définitives
⇒ nécessité de distinguer les deux situations dans l'analyse géotechnique
- Poids prépondérant des paramètres C' , ϕ' dans le dimensionnement vs. poids du modèle pressiométrique
⇒ malgré la réévaluation des caractéristiques pressiométriques, peu de gain sur le dimensionnement
⇒ intérêt de faire davantage de triaxiaux

CONCLUSIONS

- Bonne illustration d'une campagne « G2 PRO » insuffisante
- Contraintes locales expliquant la faible qualité des données
- Le REX de chantiers voisins ne suffit pas à lui seul
- Géologie particulièrement difficile : forte variabilité spatiale + comportement particulier
⇒ aurait dû nécessiter une campagne à la hauteur en phase de conception
- Le battage s'est révélé plus dimensionnant que les phases définitives ⇒ nécessité de distinguer les deux situations dans l'analyse géotechnique
- Poids prépondérant des paramètres C' , φ' dans le dimensionnement vs. poids du modèle pressiométrique ⇒ malgré la réévaluation des caractéristiques pressiométriques, peu de gain sur le dimensionnement



Photo : RAZEL

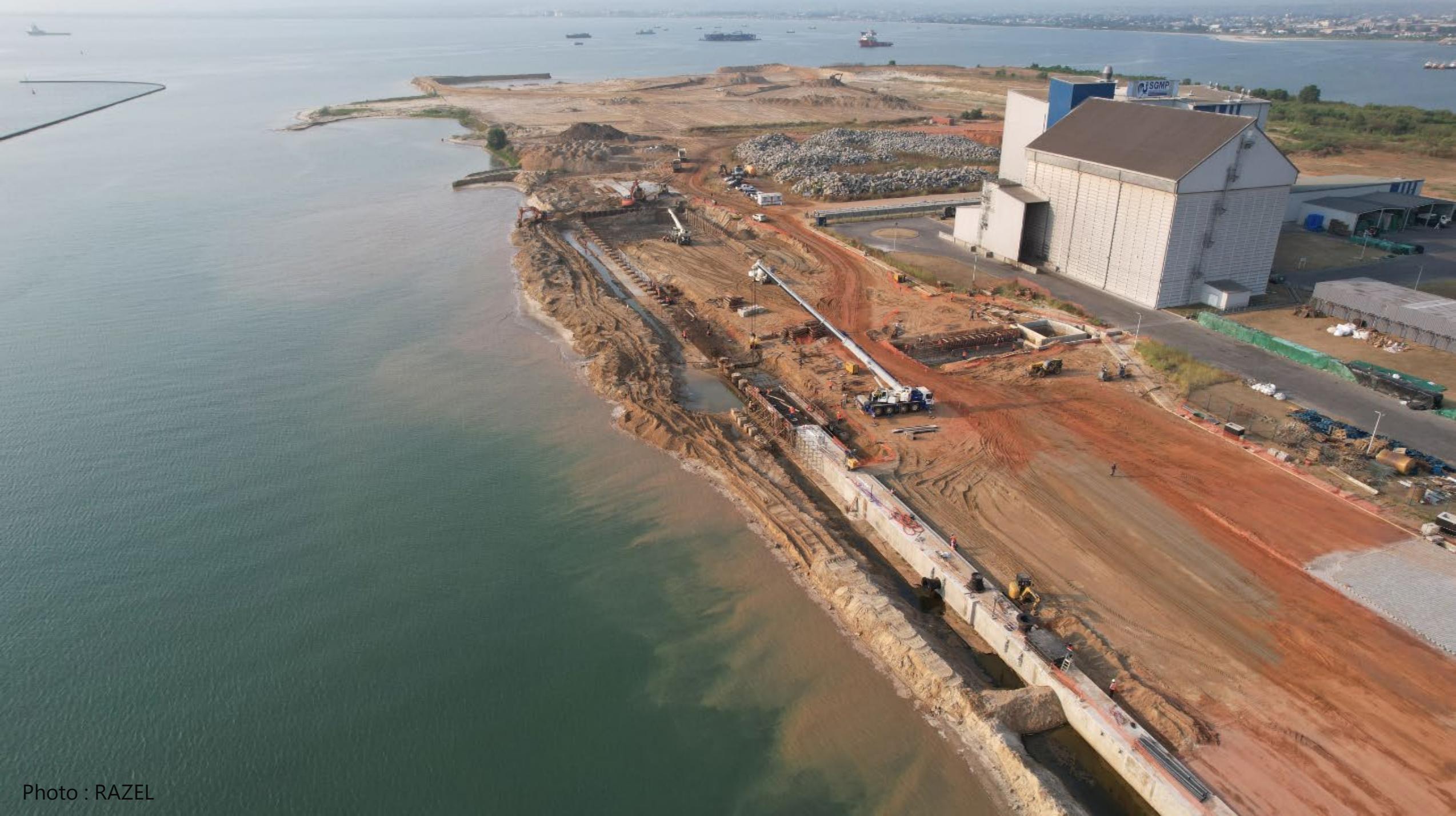


Photo : RAZEL