



Journée parrainée par



*Journée technique et scientifique du CFMS,
coorganisée avec la FNTP - 16 septembre 2021
Amphi Auguste Brûlé, FNTP, 3 rue de Berri, Paris*


Ouvrages Portuaires

Le remblai sous les caissons de l'Anse du Portier à Monaco

Intervenants : Pierre Aristaghes & Thibaut Perini

Bouygues TP



- 
1. Contexte de l'opération
2. Problématiques géotechniques
3. Les matériaux granulaires sous caissons
4. Planche d'essai en carrière
5. Planche de convenueance
6. Conclusion

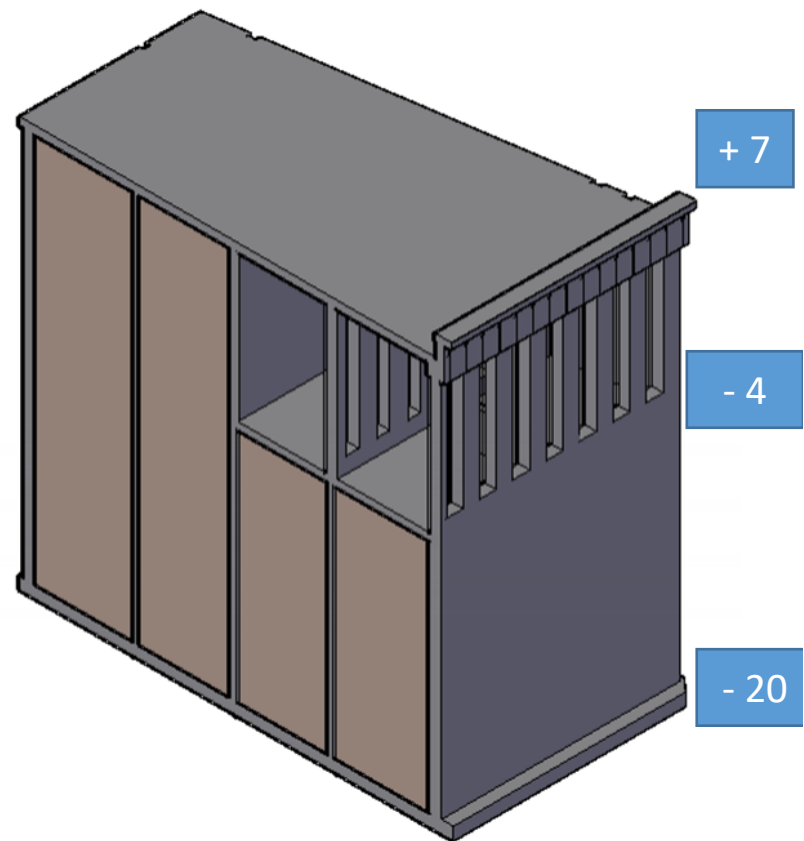
1. Contexte de l'opération



1. Contexte de l'opération



1. Contexte de l'opération



1. Contexte technique de l'opération

☐ Houle de projet :

- $H_{mo} = 4.4$ m à – 60 m devant le site, $T_p = 9$ to 11 s,
- Niveau de la mer jusqu'à + 1.80 m NGF

☐ Séisme de non-effondrement :

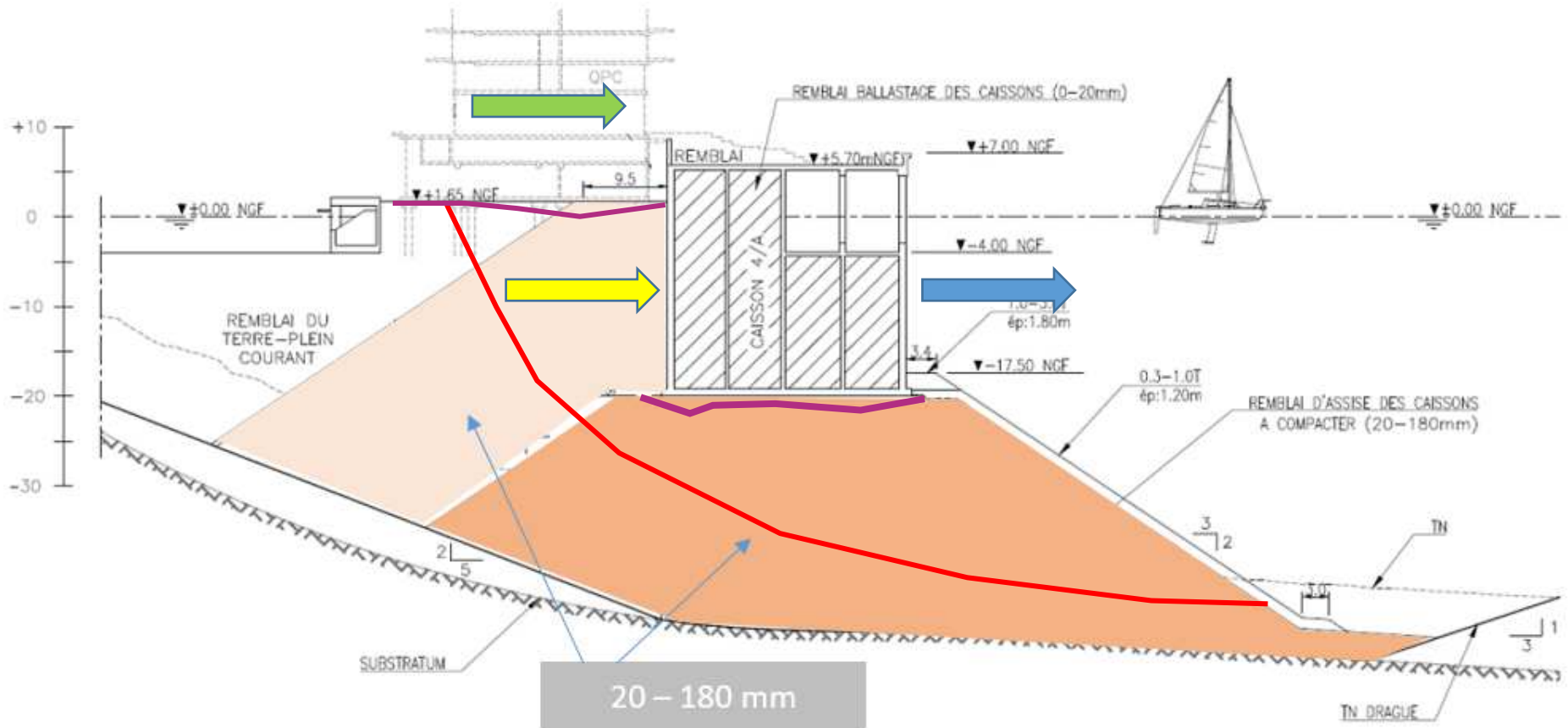
- Accélération au substratum : 0.16 g
- Facteur d'importance : 1.2
- Amplification par le sol : 1.5 \Rightarrow 0.29 g

☐ Charges sismiques induites par les immeubles sur pieux :*

- Équivalentes à 800 kN/ml (soit 40 kPa sur 20 m de hauteur)
- Combiné quadratiquement avec la poussée de Mononobe-Okabe et les forces inertielles sur le caisson y compris sa masse ajoutée.

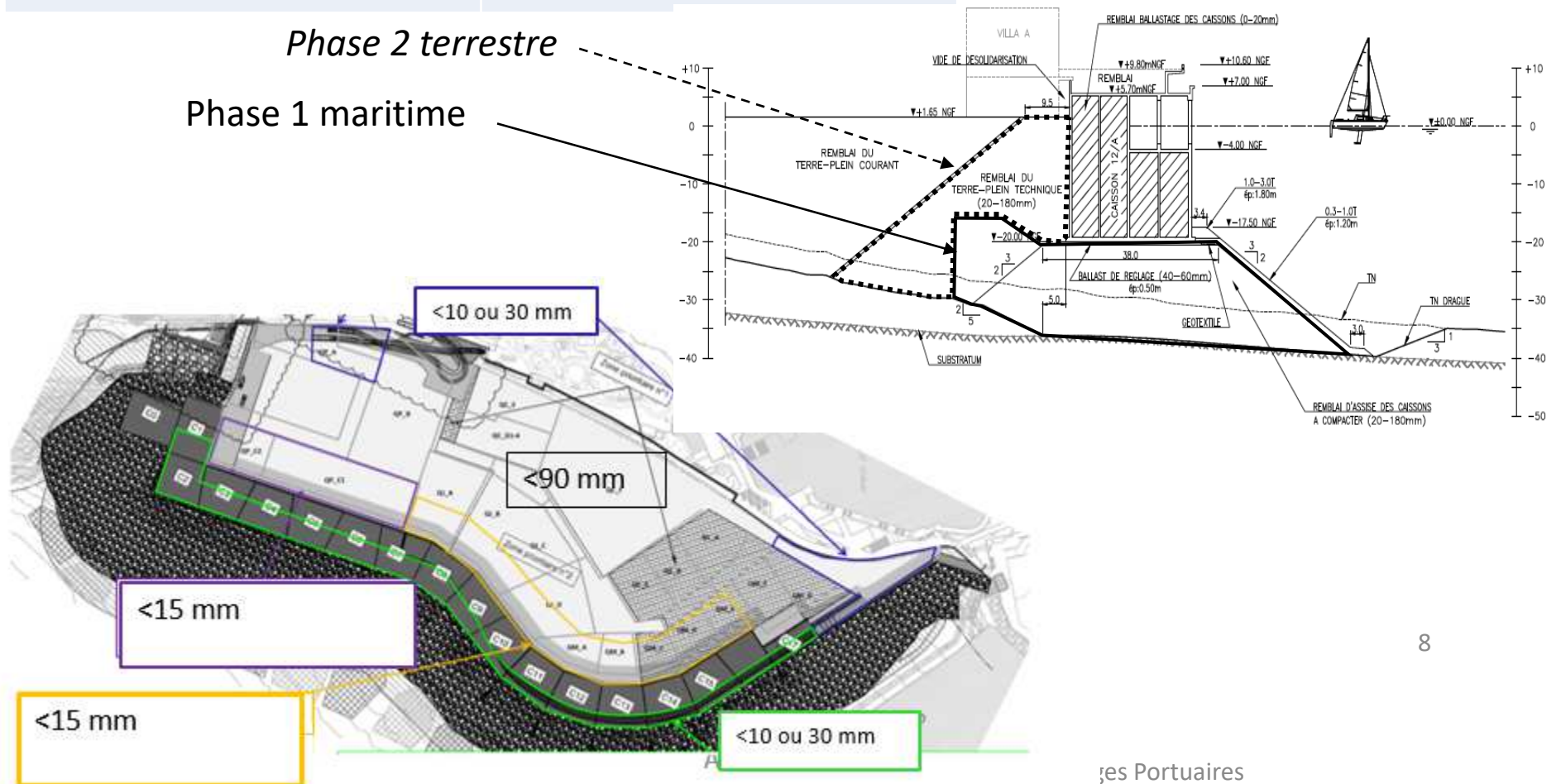
* évaluées par Tractebel via un modèle de comportement sismique global

2. Problématiques géotechniques



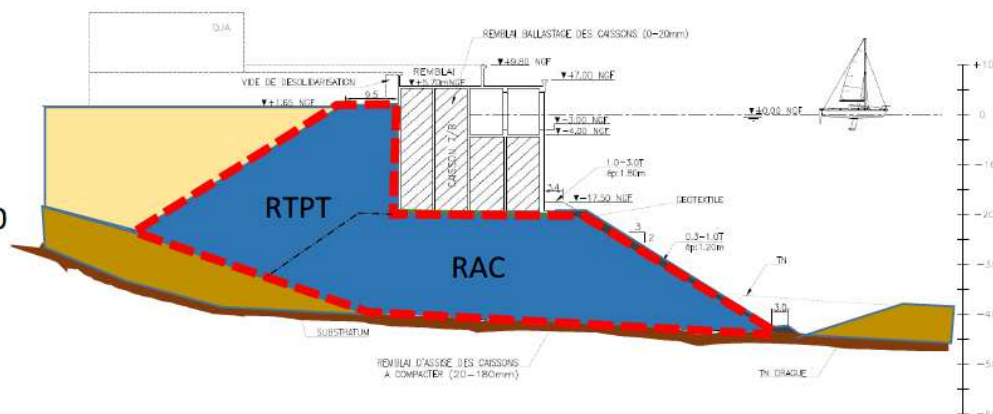
2. Les performances à atteindre

RAC/RTPT	$\phi' = 46/48^\circ$
RBC	$d > 2,1 \text{ t/m}^3$
RTPT phase 1	$E_m = 17,5 \text{ MPa}$
RTPT phase 2	$E_m = 17,5 \text{ MPa}$ (20m de profondeur)
Plateforme	Maitrise des tassements à 50 ans



3. Les matériaux granulaires sous caissons

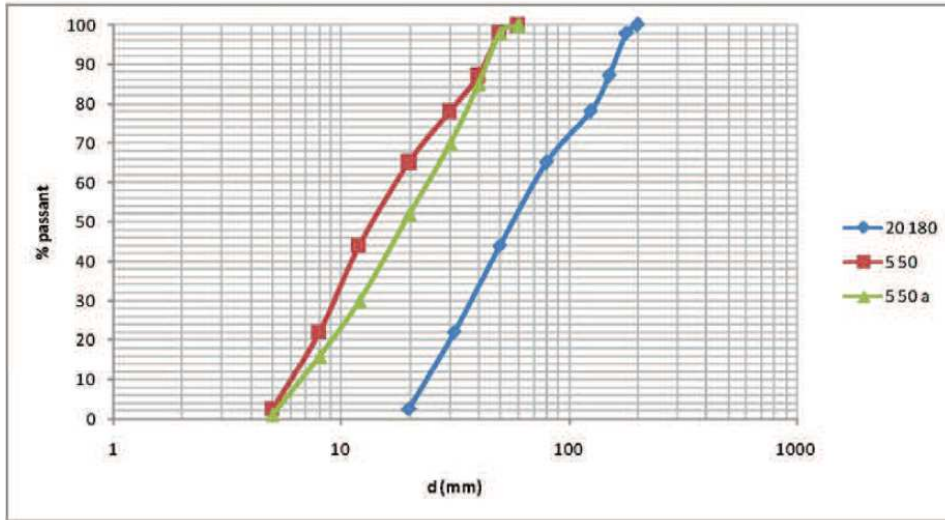
- Phases d'agrément
- Suivi de production (Gr, RC, MDE, MV etc..)
- Plusieurs niveaux de contrôles (CE1,2,CT)
- Essais triaxiaux sur matériaux homothétiques 5/50



720 000 m3 de 20/180 à produire → phase de VC maritime

3. Les matériaux granulaires sous caissons

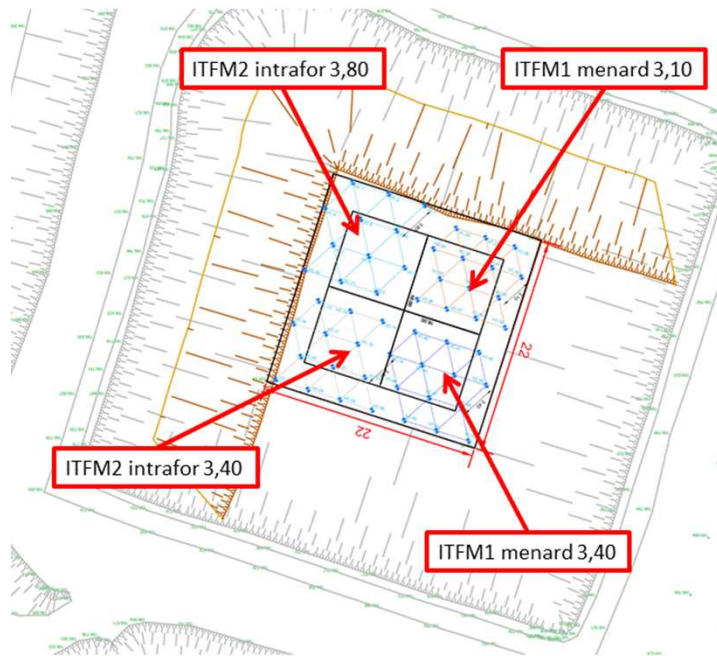
$\phi' = 48^\circ$ en statique



Saturation		
Eprouvette N°	f	
Caractéristiques initiales		
H	mm	500.0
D	mm	300.0
w	%	0.0
ph	kg/m ³	1628
pd	kg/m ³	1628
e		0.63
Gr	%	0
ps estime	kg/m ³	2660
Volume	cm ³	42411.5
E	%	100
Méthode de saturation : Par paliers		
Mode de rupture : En tonneau		



4. La planche d'essais en carrière



➤ Apporter les informations nécessaires pour définir le mode opératoire qui sera par la suite mis en œuvre tel que :

- ✓ Le choix de la maille de traitement,
- ✓ Le choix du vibreur,
- ✓ Les hauteurs de passe,
- ✓ Les temps de passe,
- ✓ Les ampérages cible (palier).

➤ Mesurer des tassements post traitement,

➤ Caractériser le 20-180 à l'état initial et final,

➤ Caractériser les nuisances sonores et vibratoires.



4. La planche d'essais en carrière



	AVT	APT
SP	3	14
CPT	18	41
CH	1	5
PS	1	/
Scan 3D	oui	oui

4. La planche d'essais en carrière

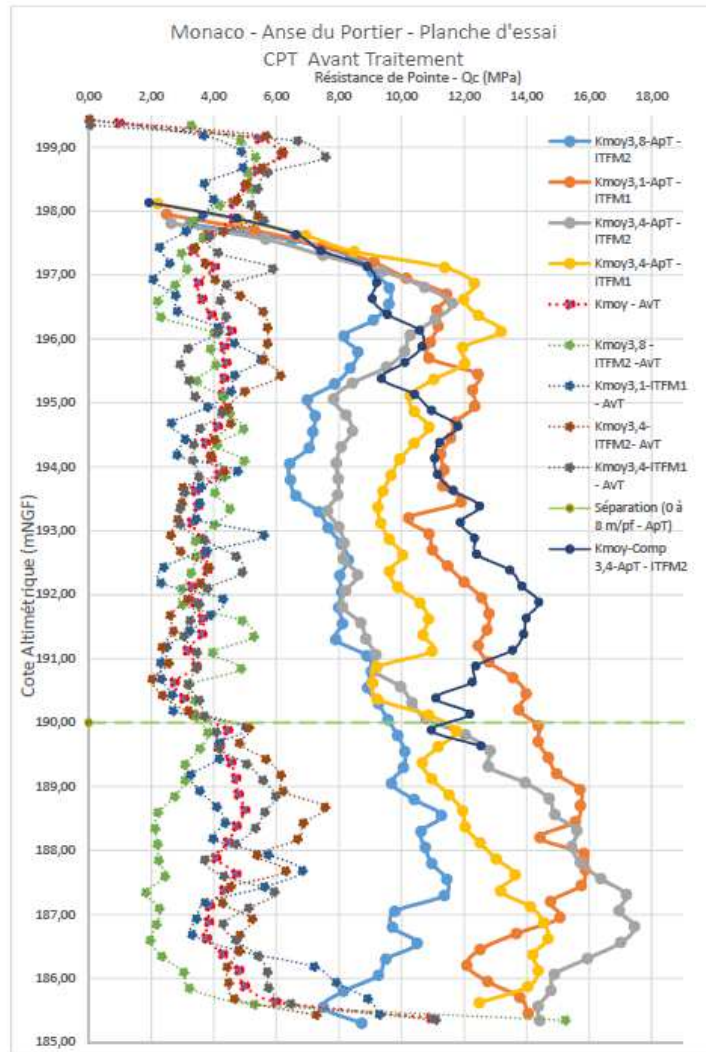


Figure 2: CPT avant et après traitement par maille.

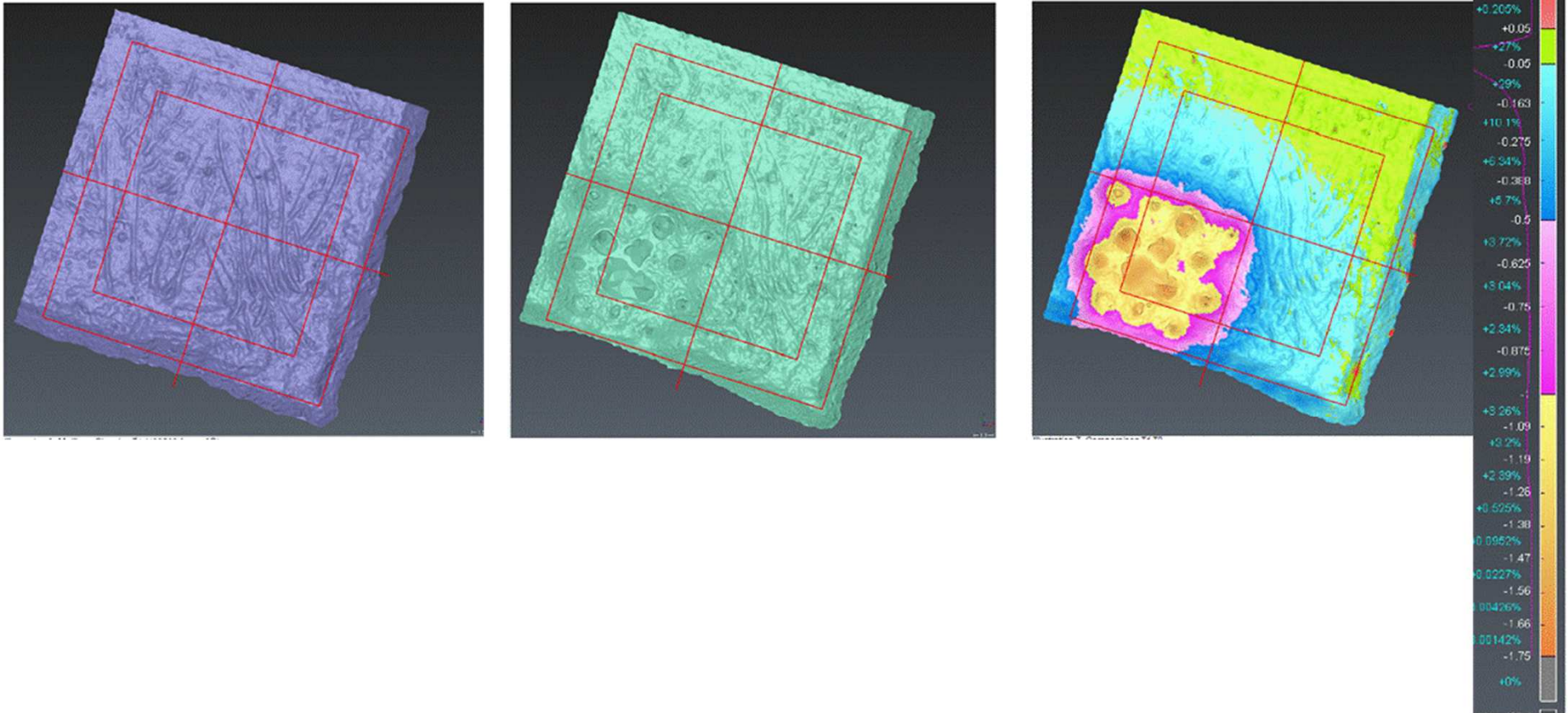
Jamiolkowski 1985

$$D_R = -98 + 66 \log_{10} \frac{q_c}{\sqrt{\sigma' v_0}}$$

Après vibrocompaction

Maille	Densité relative moyenne
3,1 - ITFM1	78,85 %
3,8 - ITFM2	66,95 %
3,4 - ITFM2	74,12 %
3,4 - ITFM1	74,10 %

4. La planche d'essais en carrière

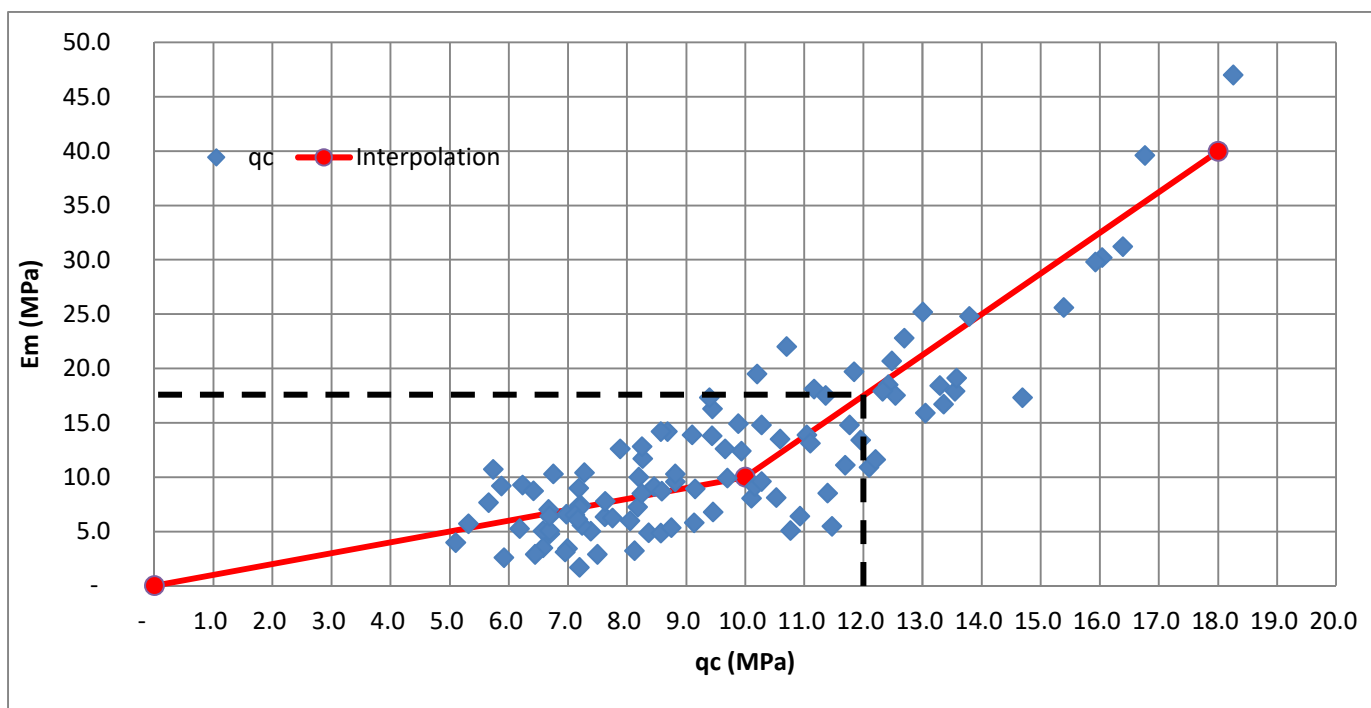


4. La planche d'essais en carrière : Bilan

1 - Angle de frottement > 46 ° atteint avant vibrocompaction

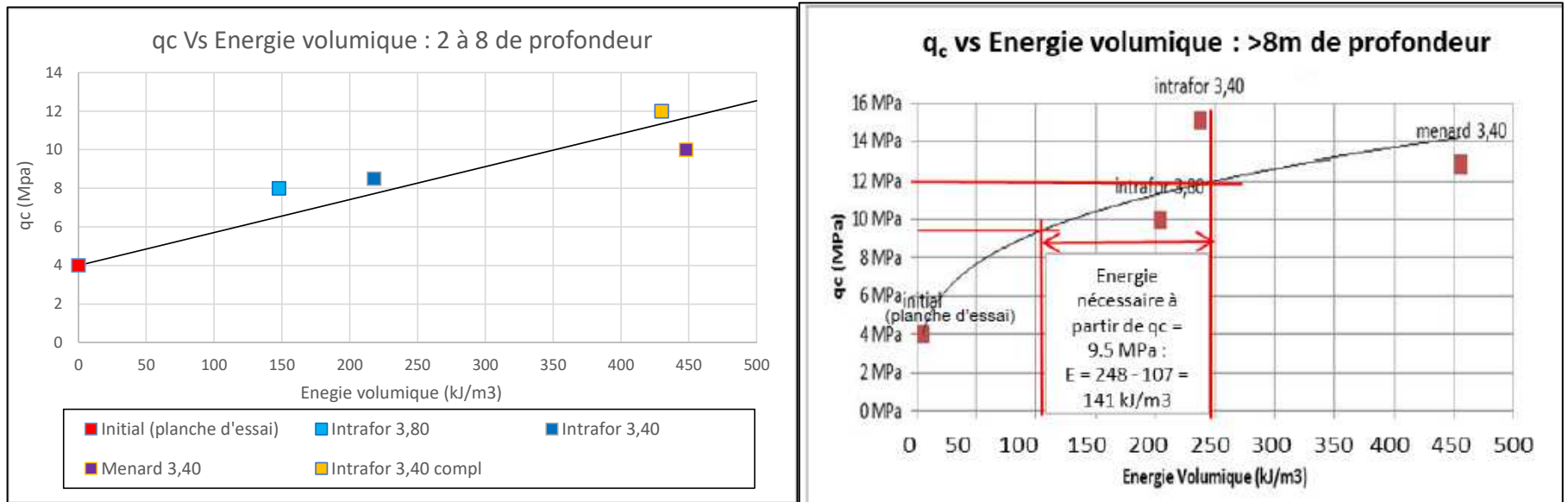
2 - Corrélations E_m VS q_c → définition d'un critère de réception direct in situ

$$E_m = 3.75 \times q_c - 27.5 \text{ pour } q_c > 10 \text{ MPa} \rightarrow E_m = 17,5 \text{ Mpa} \Leftrightarrow q_c = 12 \text{ Mpa}$$



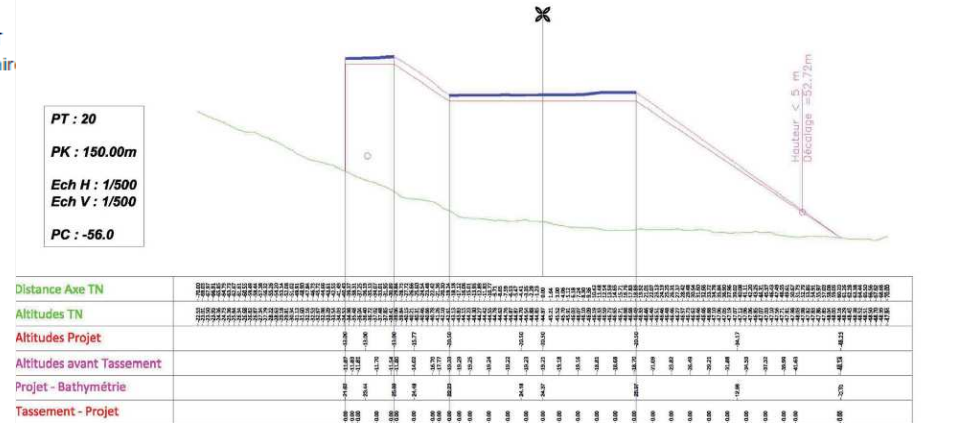
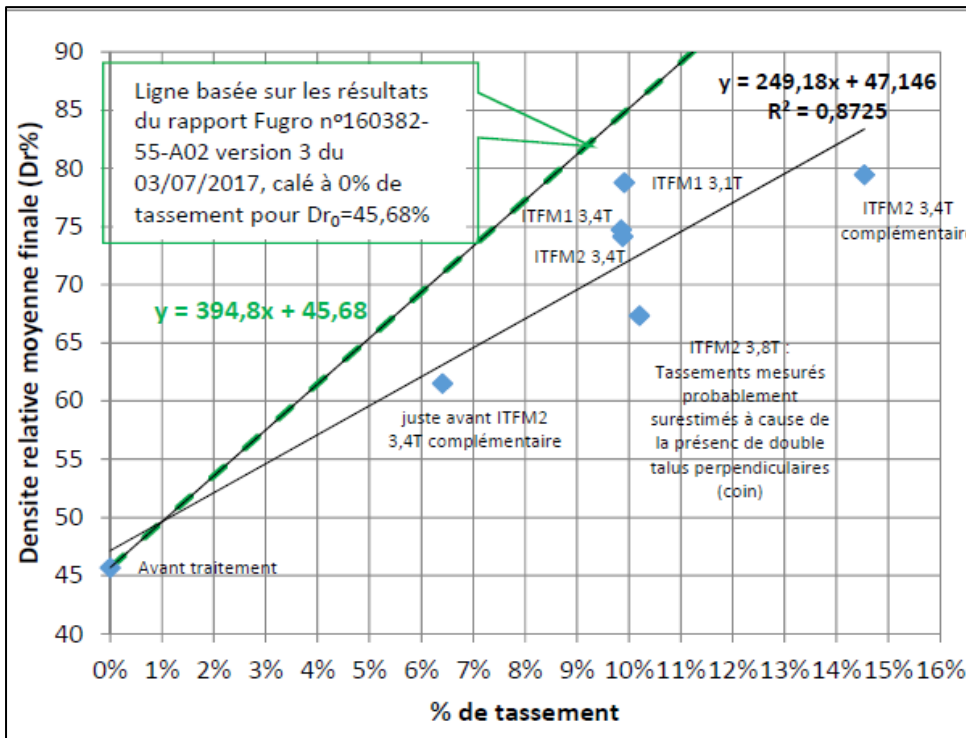
4. La planche d'essais en carrière -Bilan

3 – Lien direct entre l'énergie mise en œuvre (Ev) et le qc



4. La planche d'essais en carrière -Bilan

4- Corrélations Dr VS tassement → prévision du tassement w en fonction du qc



5. Planche de convenance

Caractérisation de la compacité initiale par les CPT

- 1) Calibration de l'outil CPT sur la planche d'essai avec résultats croisés
- 2) Réalisation de CPT préalables in situ au vibrocompactage permettant de déterminer la densité relative initiale (Dr_0) du matériau en place;

3) Résultats de CPT conduisant à un
 Dr_0 moyen ~61%

Pour mémoire : résultats de la planche d'essai:
 Dr_0 moyen ~45%

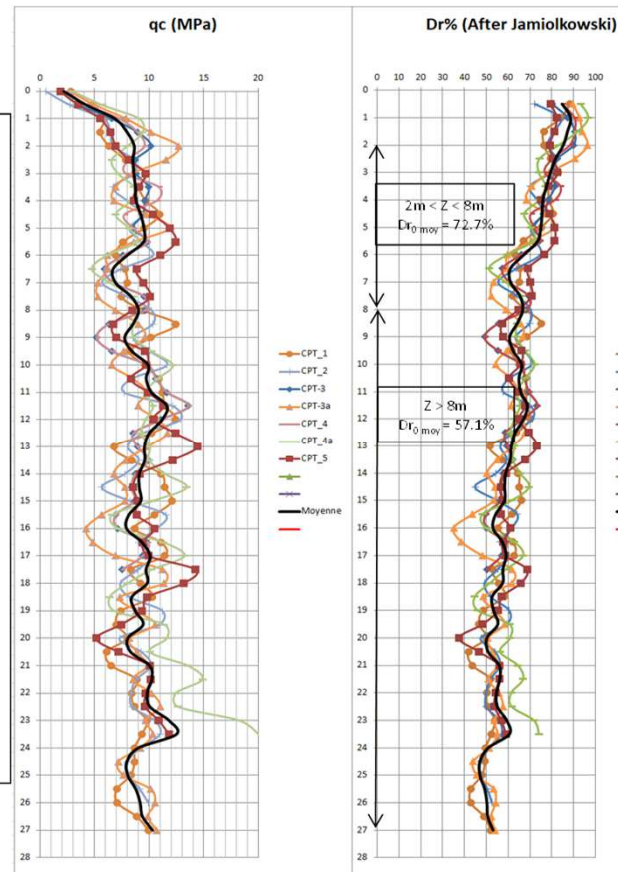
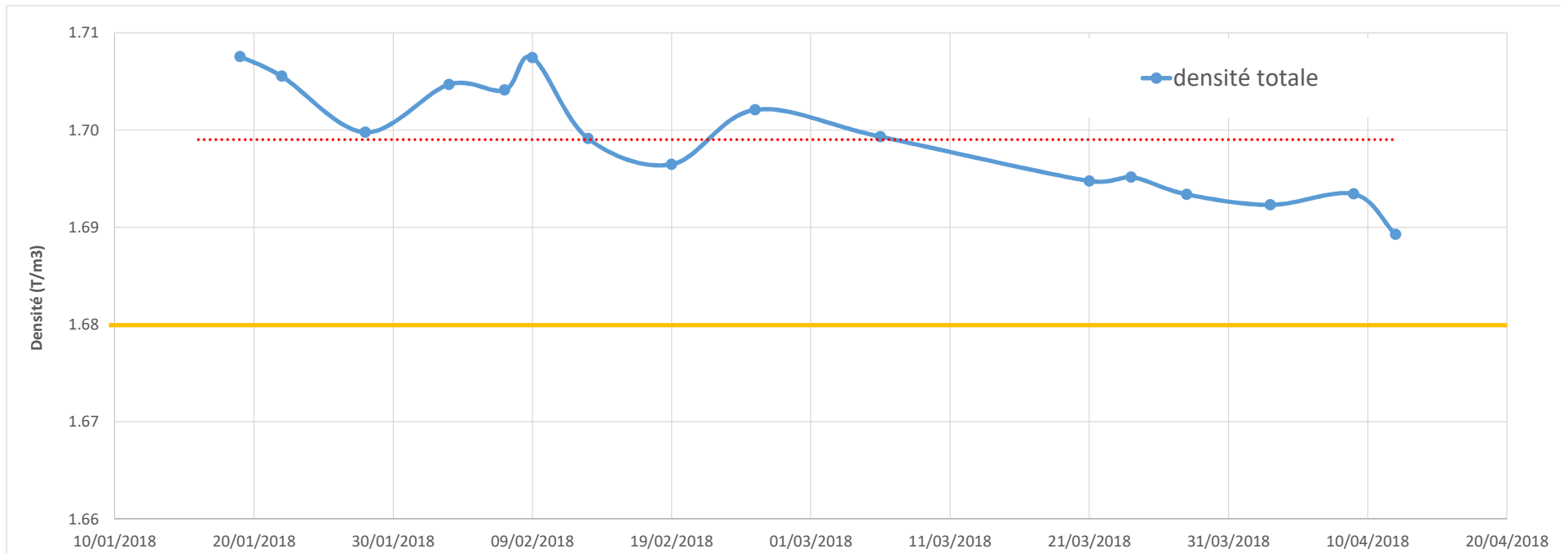


Figure 2 – MANTA – Assemblage des tiges

5. Planche de convenueance

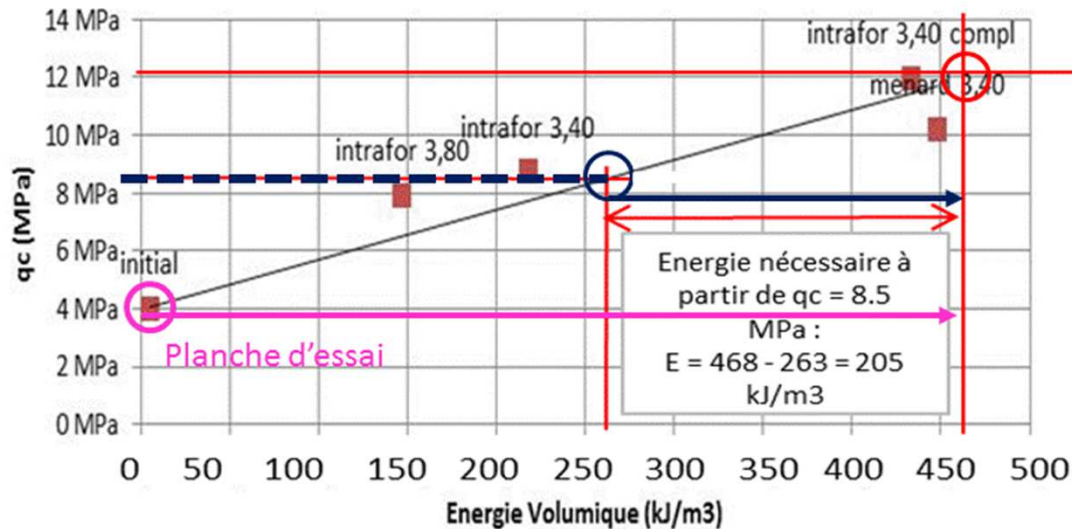
Caractérisation de la compacité initiale par la masse volumique

		Gs	2675	kg/m3		
Planche d'essai	Dr0%	e	γ_d calculé		γ_d mesuré	Ecart
				kg/m3		
	40	0.682	1594		1629	0.9%
	45.68	0.658	1615			
Planche de convenueance	50	0.64	1635		1695	0.5%
	61.5	0.592	1686			
	70	0.556	1724			
	80	0.514	1771			



5. Planche de convenueance

Planche de convenueance RAC –Détermination de l'énergie à mettre en œuvre Ex 2- 8 m de profondeur

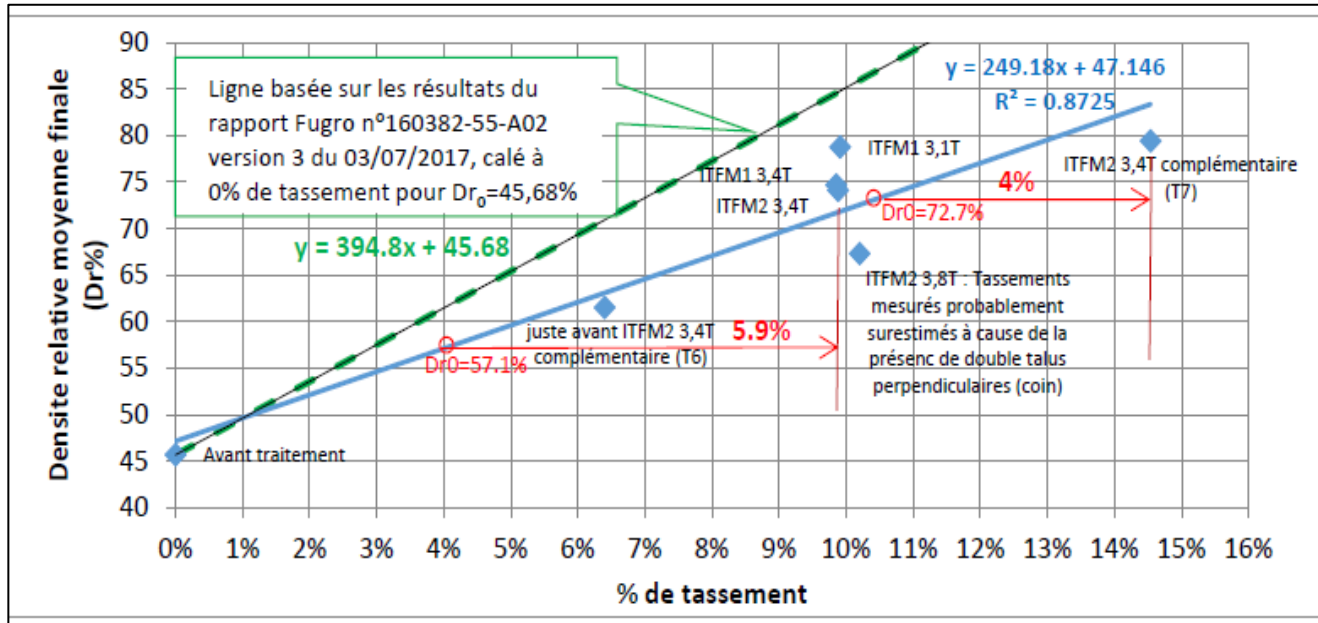


- Maille : 3,8m triangulaire
- Hauteur de passe : 70cm
- Critère de remontée :
 - Ampérage cible : 290A
 - Temps de passe :
 - 40sec pour des profondeurs inférieures à 8m
 - 30sec pour des profondeurs supérieures à 8m

- Entre 2 et 8 mètres de profondeur, il faut 468 kJ/m³ pour passer de 4MPa (état initial du remblai planche d'essai) à 12 MPa de q_c moyen
- Les pré-CPT de la convenueance montrent un état initial avec un q_c moyen de 8.5MPa
- L'énergie restant à fournir pour passer 8.5 à 12MPa est de **205kJ/m³**

5. Planche de convenance

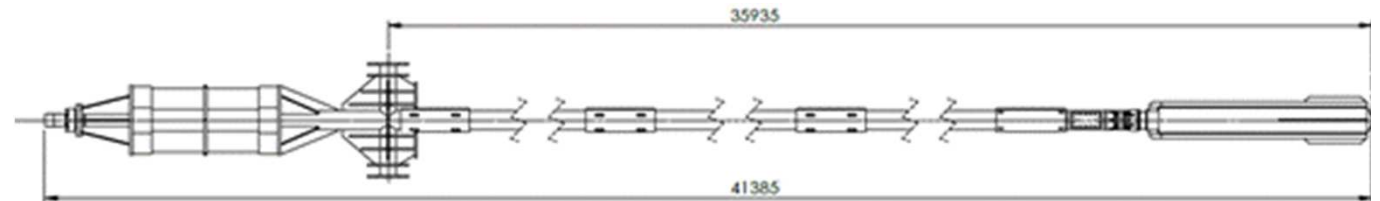
Planche de convenance RAC – Estimation des tassement et recalage des paramètres



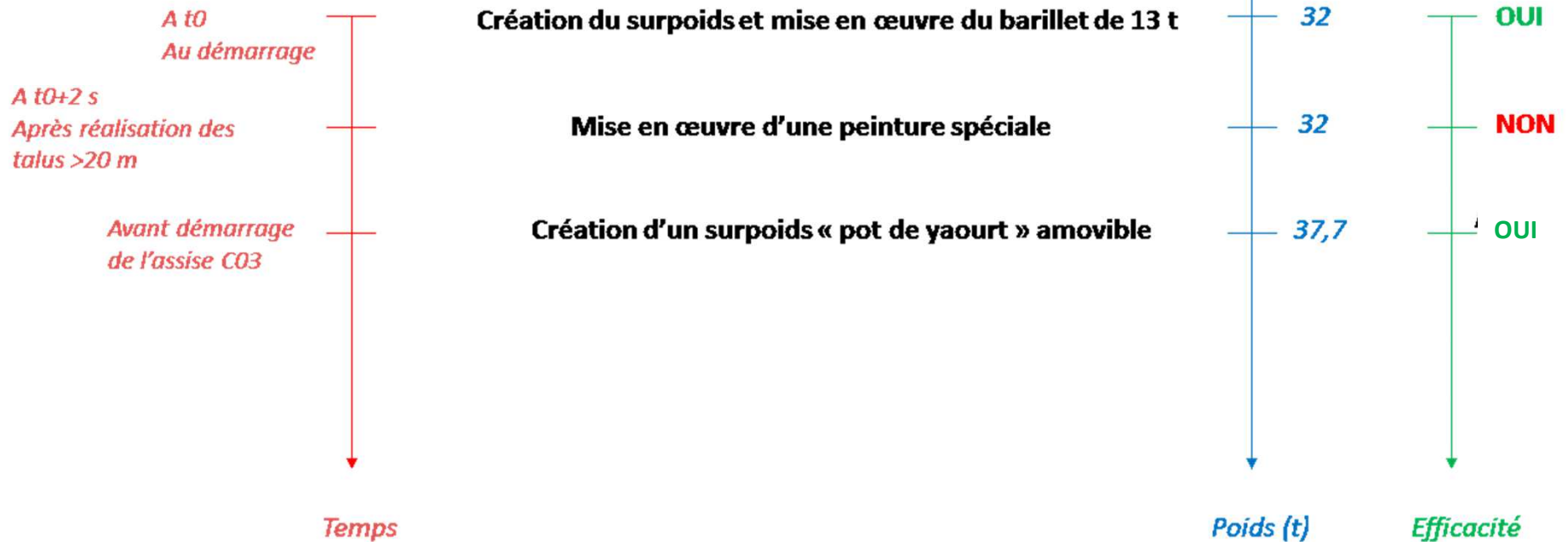
→ Tassement cible de 5%

5. Planche de convenance

Les adaptations de chantier

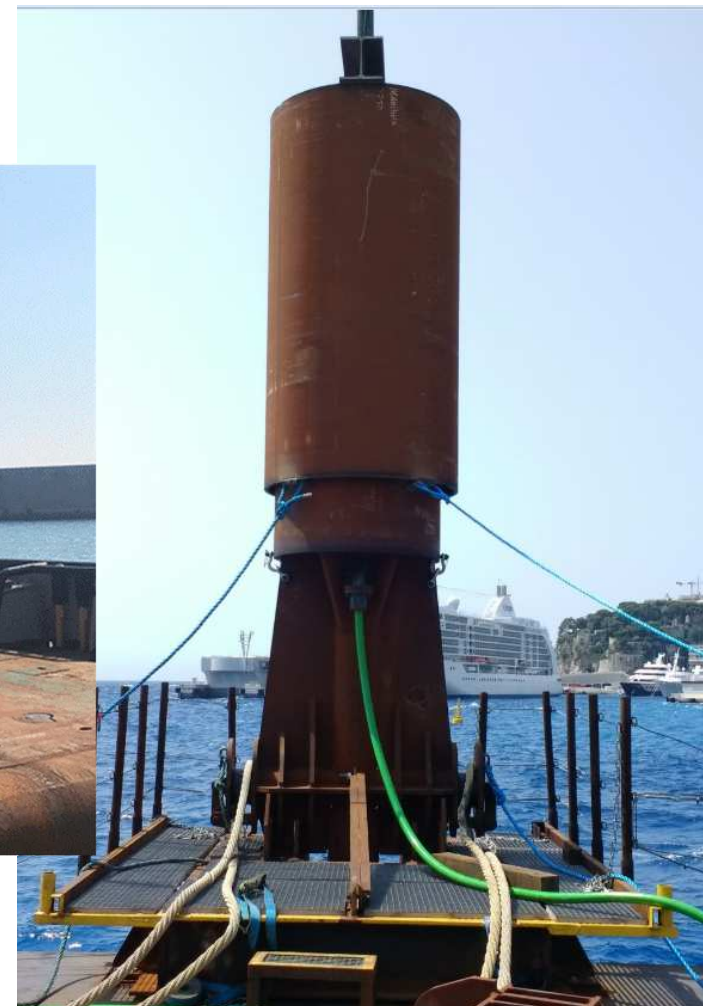
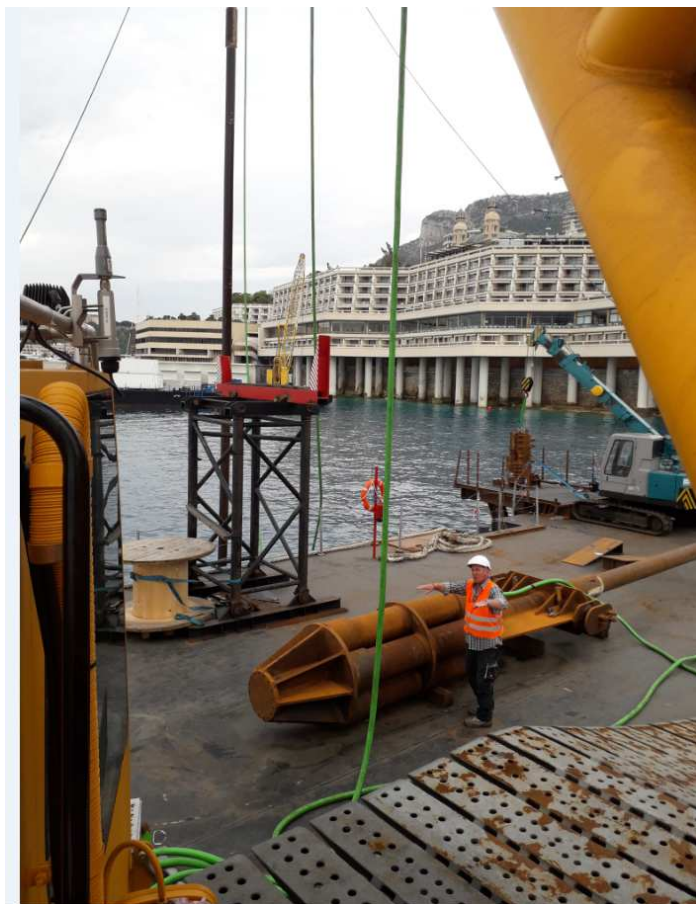


Conception initiale



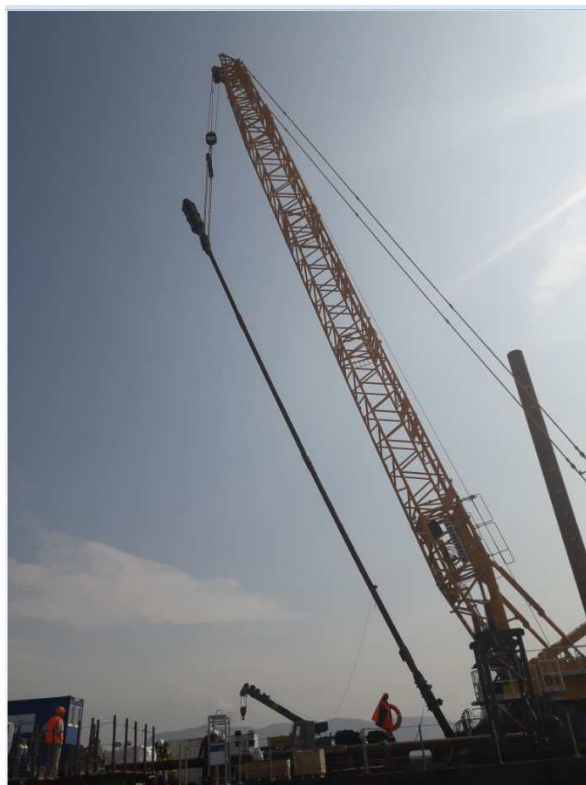
5. Planche de convenance

Les adaptations de chantier

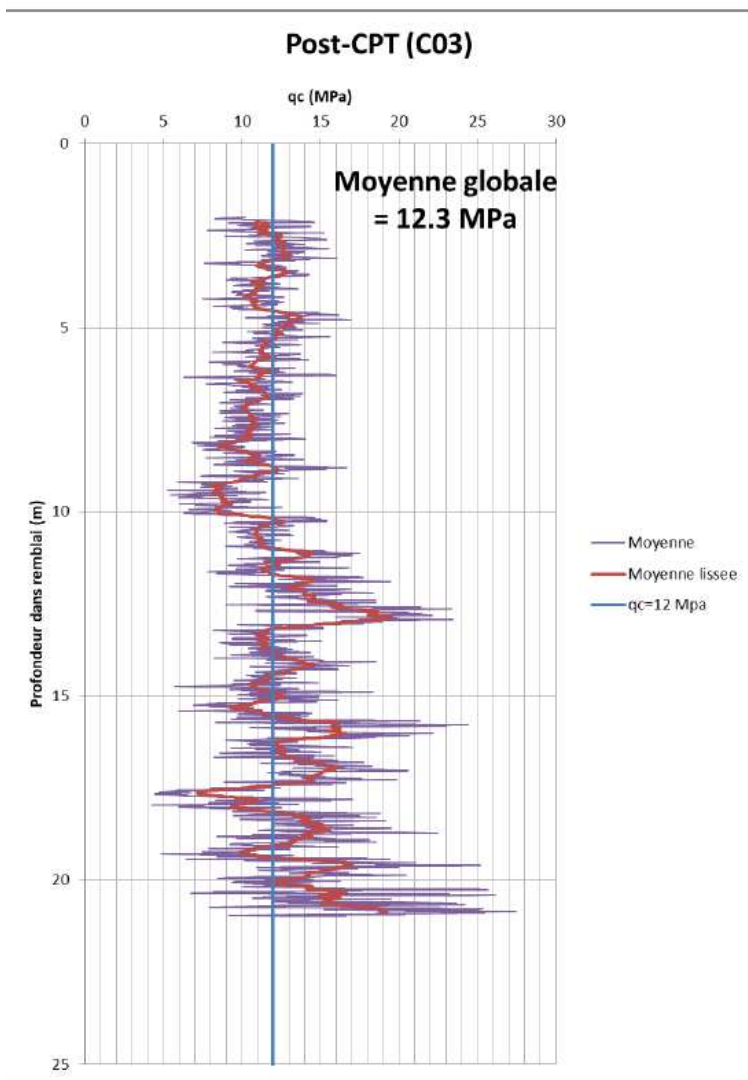


5. Planche de convenance

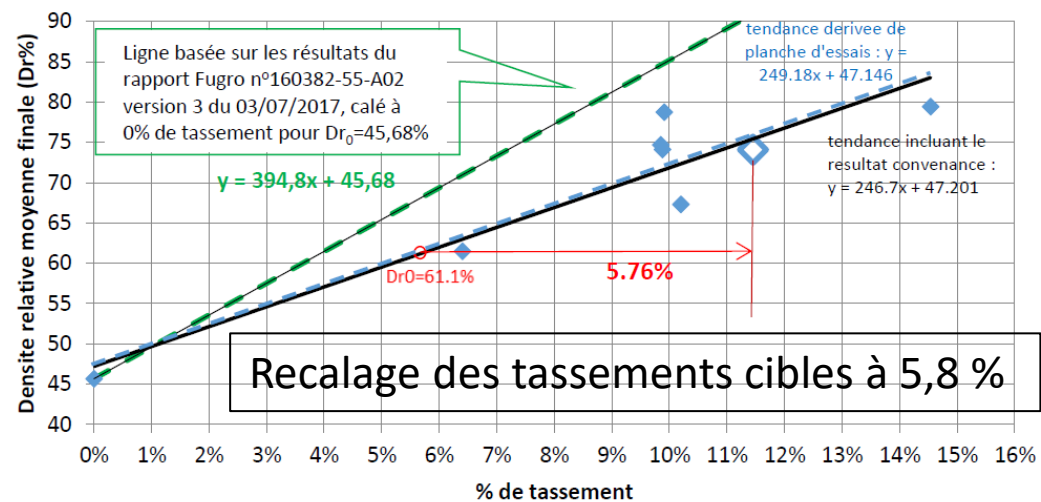
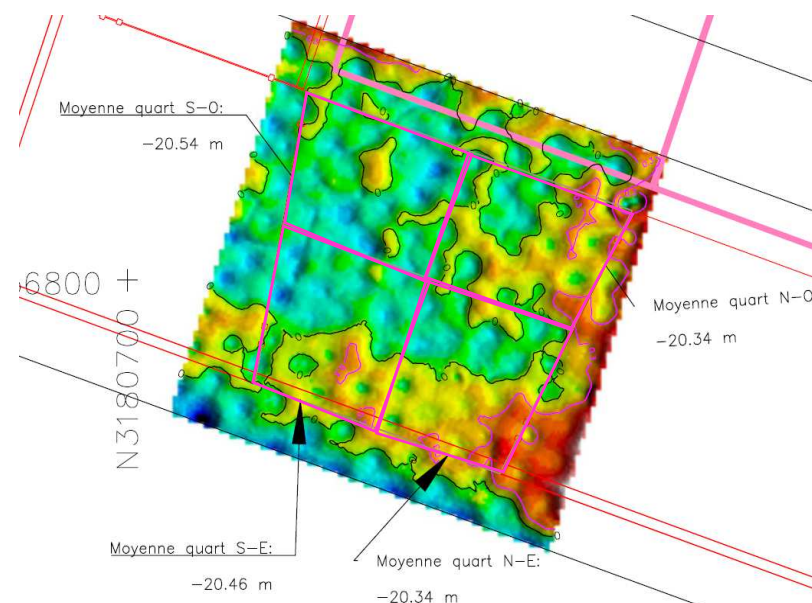
Adaptation en cours



5. La planche de convenance



Comparaison de la bathymétrie du 07/07/2018 avec le théorique après Vibrocompaction (-20.4m NGF)



6. Conclusion sur le matériau RAC-RTPT

- ❑ Un matériau très performant mais nécessitant des moyens spécifiques pointues (ingénierie & travaux)
- ❑ Adaptation des moyens et matériels en cours de chantier
- ❑ Très bon comportement prédictif des assises et des talus
- ❑ Expertise maritime requise pour réaliser ce type de travaux

