

# HAROPA : 22/06/2022

## Réaménagement du Quai Joannès-Couvert



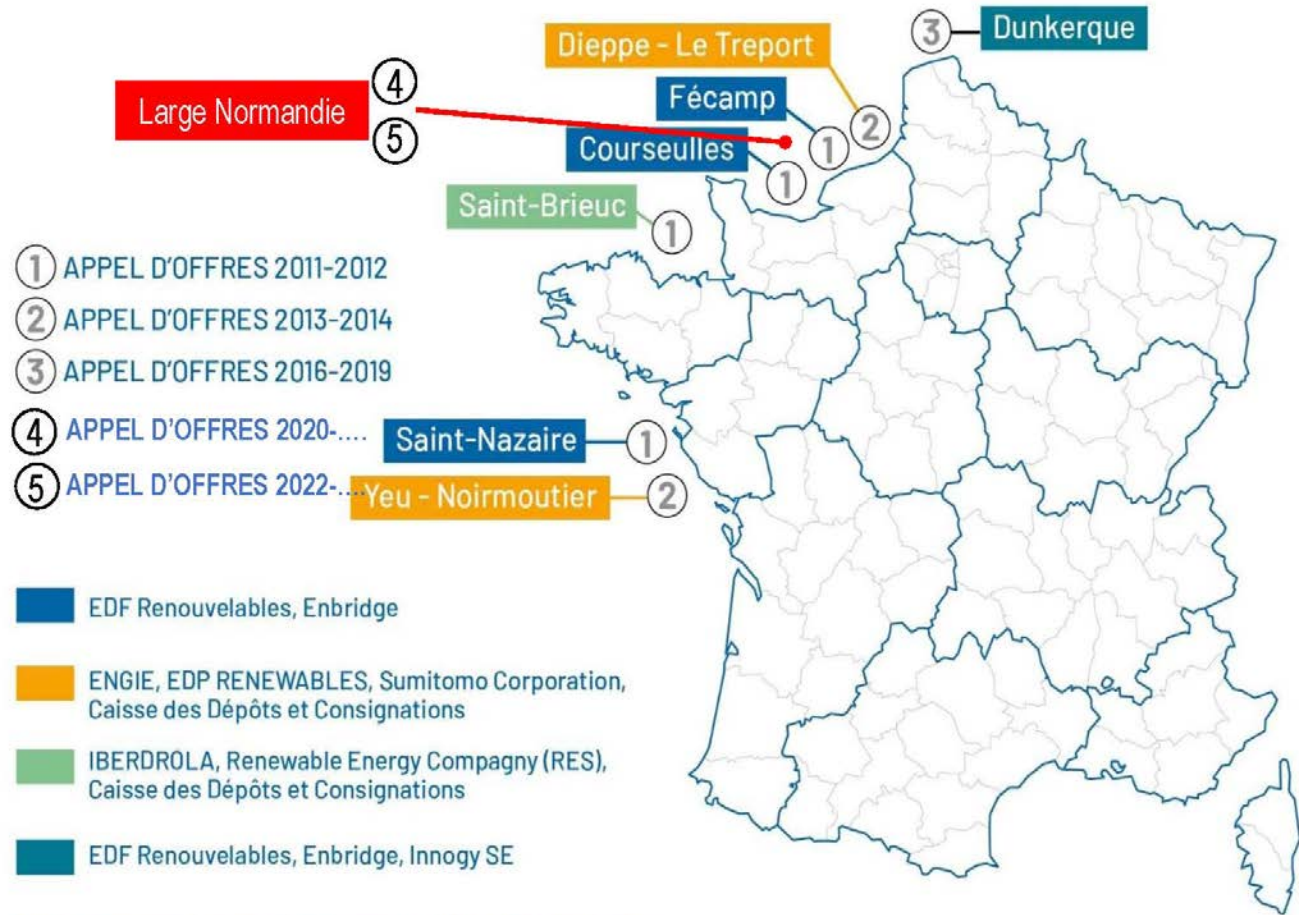
La conception

# Sommaire

1. Contexte de l'opération ;
2. Genèse de la solution APS ;
3. Premières optimisations AVP ;
4. Phases conception : quelques points clefs :
  - Effet du spudcan sur la structure ;
  - Modélisations AVP/PRO et ses conséquences sur la conception ;
  - Solution de base finalement retenue ;
5. Quelques autres spécificités :
  - Pieux maritimes ;
  - Renforcement de sol du terre-plein arrière ;
6. Conclusions / questions.

# 1. Contexte - besoin de l'industriel

Les champs éolien offshore



NB : à Fécamp et Courseulles, la société WPD Offshore France est également membre du groupement

# 1. Contexte - besoin de l'industriel

Les sites industriels et les ports

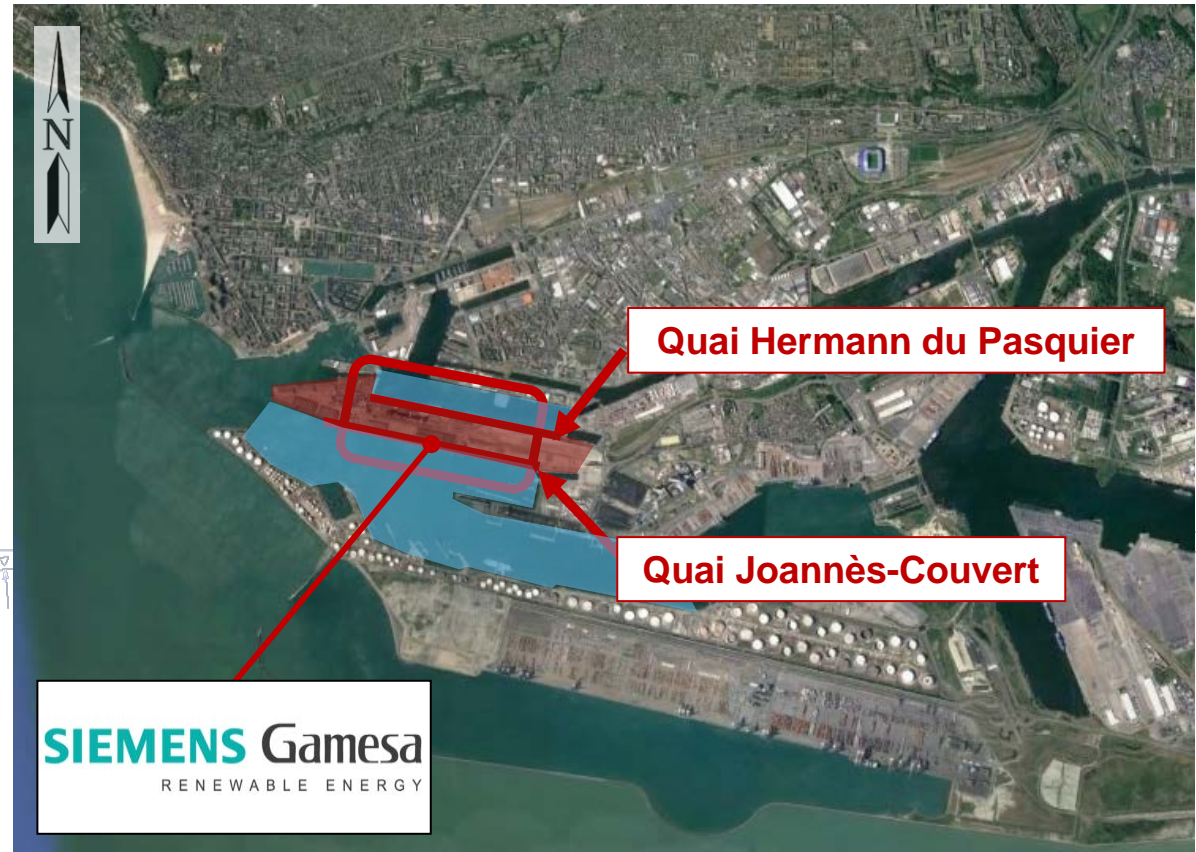


2



# 1. Contexte - besoin de l'industriel

- SIEMENS Gamesa ;
- Nord-Ouest embouchure de la Seine ;
- Sud-Ouest du Havre ;
- Partie Sud du terre-plein - quai Joannès-Couvert au niveau du bassin de marée Théophile Ducrocq.



# 1. Contexte - besoin de l'industriel

Les aménagements - SIEMENS Gamesa





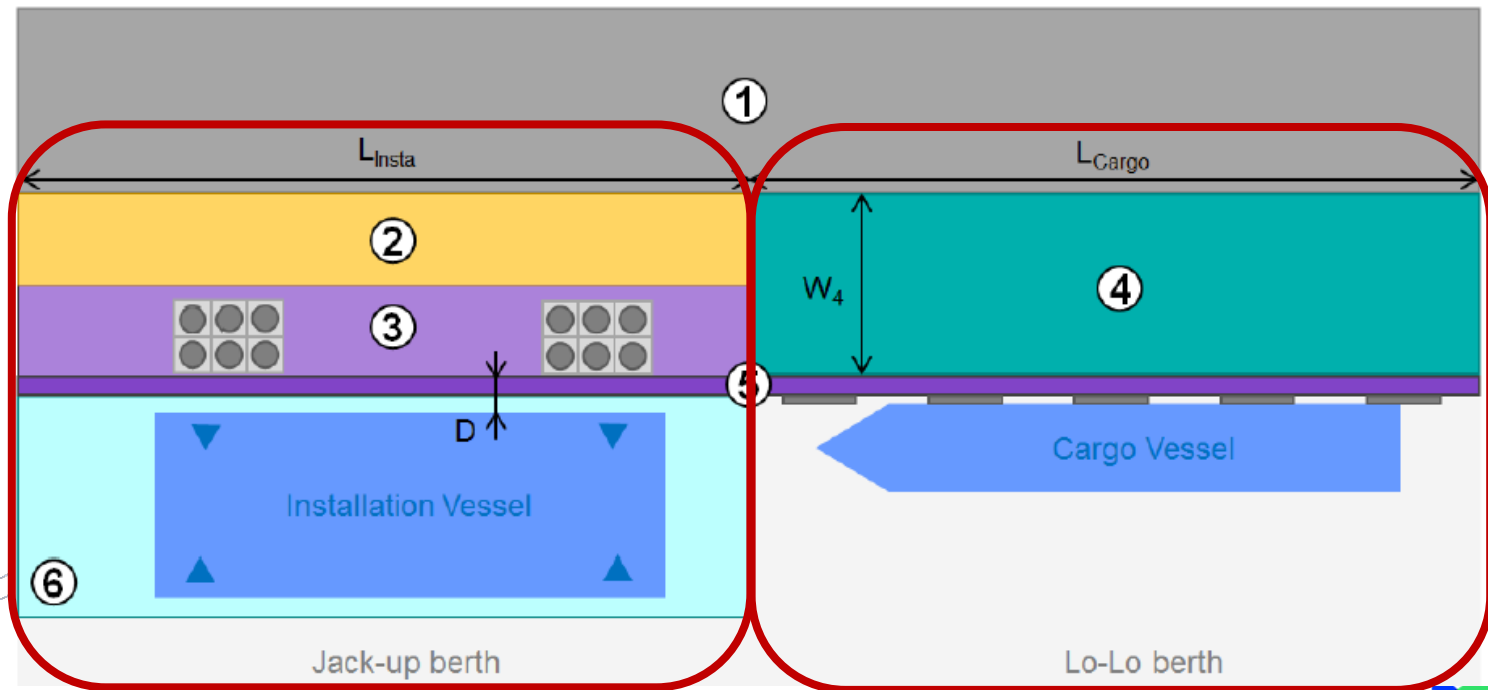
# 1. Contexte - besoin de l'industriel

Configuration d'exploitation d'un ouvrage existant



# 1. Contexte - besoin de l'industriel

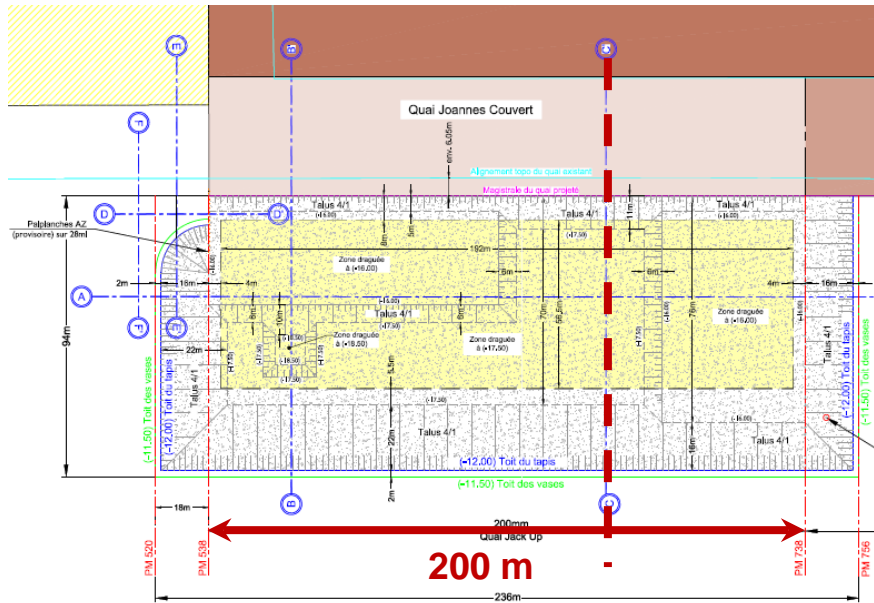
- Quai d'installation « Jack-up » (200 m) :
  - Opérations de stockage bord à quai, pré-assemblage et chargement/déchargement ;
  - Renfort des fonds pour accueil navires d'installation auto-élévateurs ;
- Quai Import Export « Lo-Lo » (200 m) :
  - Opérations de stockage bord à quai et chargement/déchargement.



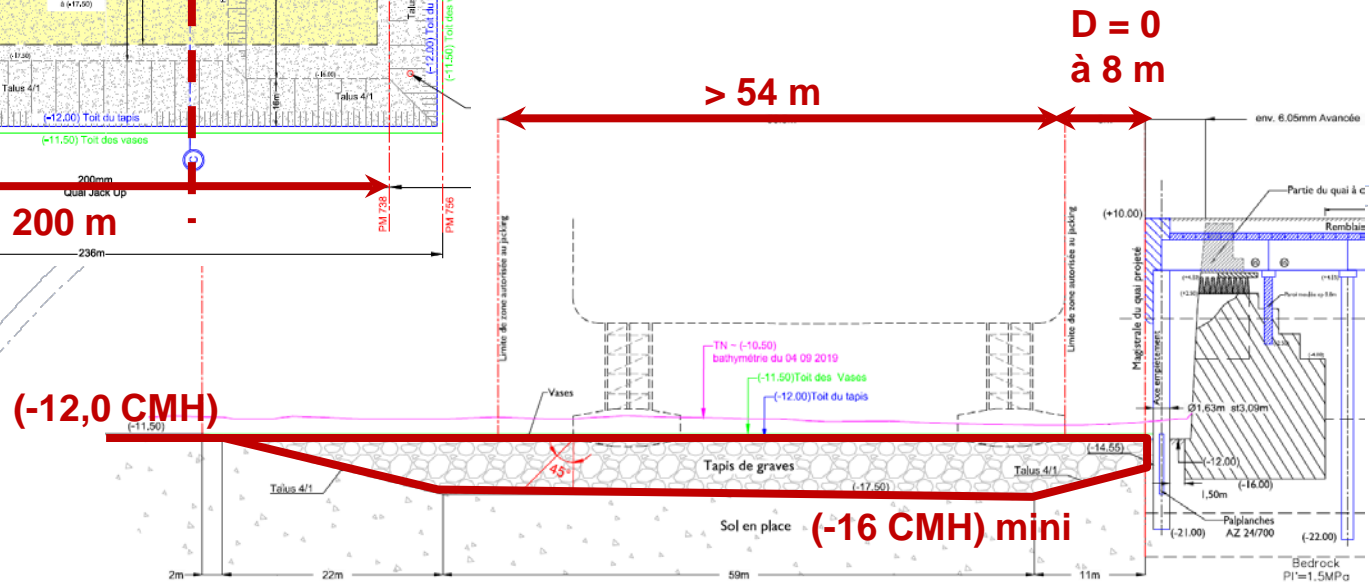


# 1. Contexte - besoin de l'industriel

- Renfort des fonds pour accueil navires d'installation auto-élévateurs :



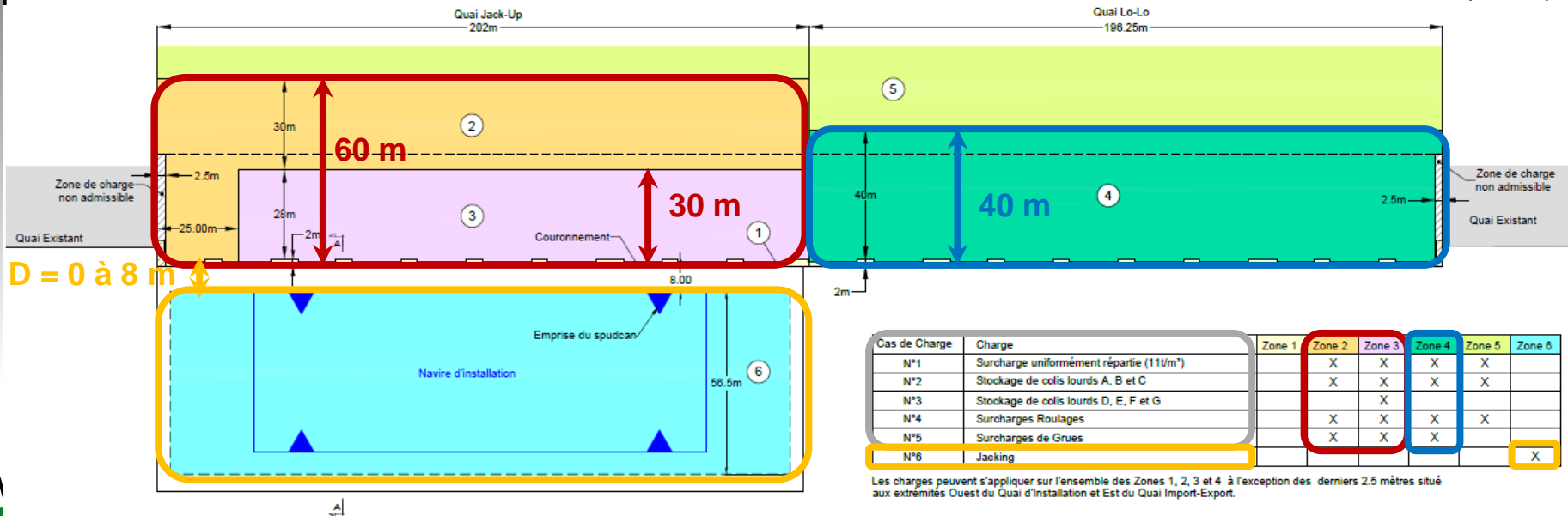
Vue en plan



Coupe

# 1. Contexte - besoin de l'industriel

- Les charges à stocker bord à quai :
  - Nacelles ~500 t / Pales ~60 t / Générateur ~ 200t / Sections de tours ;
  - Tours assemblées ~1500 t y compris casier métallique et ballast (Pression ELS 15 t/m<sup>2</sup> sans vent à 30 t/m<sup>2</sup> avec vent) : (3)
- Les charges roulantes et de manutention :
  - SPMT jusqu'à 22 files : 45 à 48 t par essieu ;
  - 2 Grues sur chenilles LR 11350 & LR 1750 : Pression max. sous chenilles 80 t/m<sup>2</sup> : (2/3/4).



# 1. Contexte - besoin de l'industriel

## Le navire projet :

- Configuration exploitation éolienne offshore :
  - Déplacement 40 000 t ;
  - Longueur 170 m x Largeur 50 m x tirant d'eau 10 m ;
  
- Autre configuration d'exploitation – Accueil paquebots :
  - Déplacement 100 000 t ;
  - Longueur 360 m x Largeur 47 m x tirant d'eau 9,3 m
  
- Hauteur d'eau disponible :
  - Quai Jack-up 12 m minimum ;
  - Quai Lo-Lo 10,5 m à 11,5 m.

*Pacific Orca*



*Baltic Winter*



*Oasis of the seas*





# 1. Contexte - besoin de l'industriel

## Les navires Jack-up

*Pacific Orca*

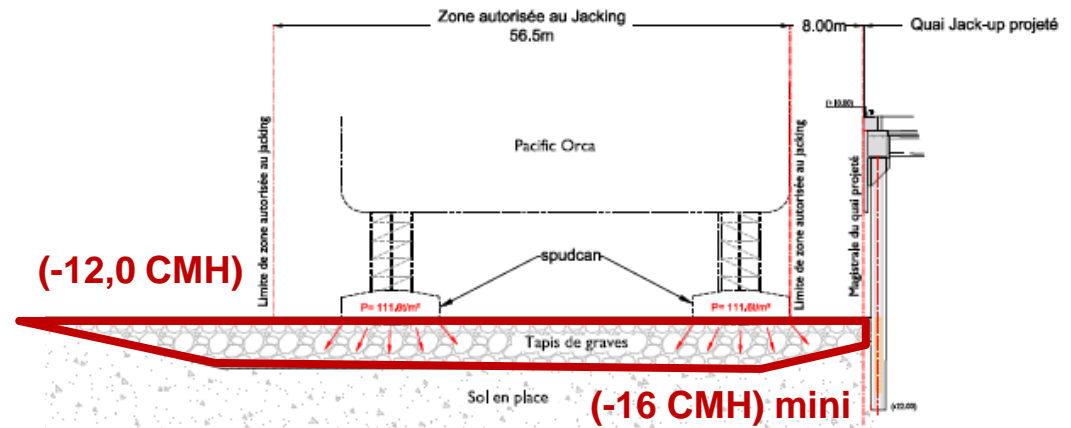
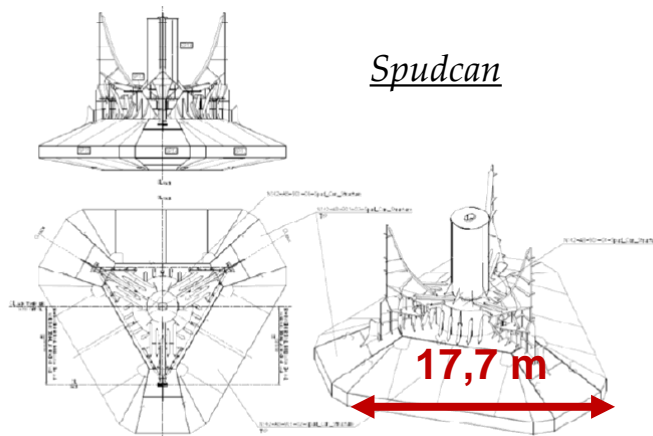


Navire	Pacific Orca	Innovation
Nombre de pied	6	4
Préchargement max. par pied	10 650 t	18 180 t
Surface d'un spudcan	95,4 m <sup>2</sup>	245 m <sup>2</sup>
Diamètre équivalent	11 m	17,66 m
Pression appliquée par pied	111,6 t/m <sup>2</sup>	74,2 t/m <sup>2</sup>

*Innovation*



*Coupe tapis*



# 1. Contexte - les acteurs

Client/Exploitant



AMO technique du Client



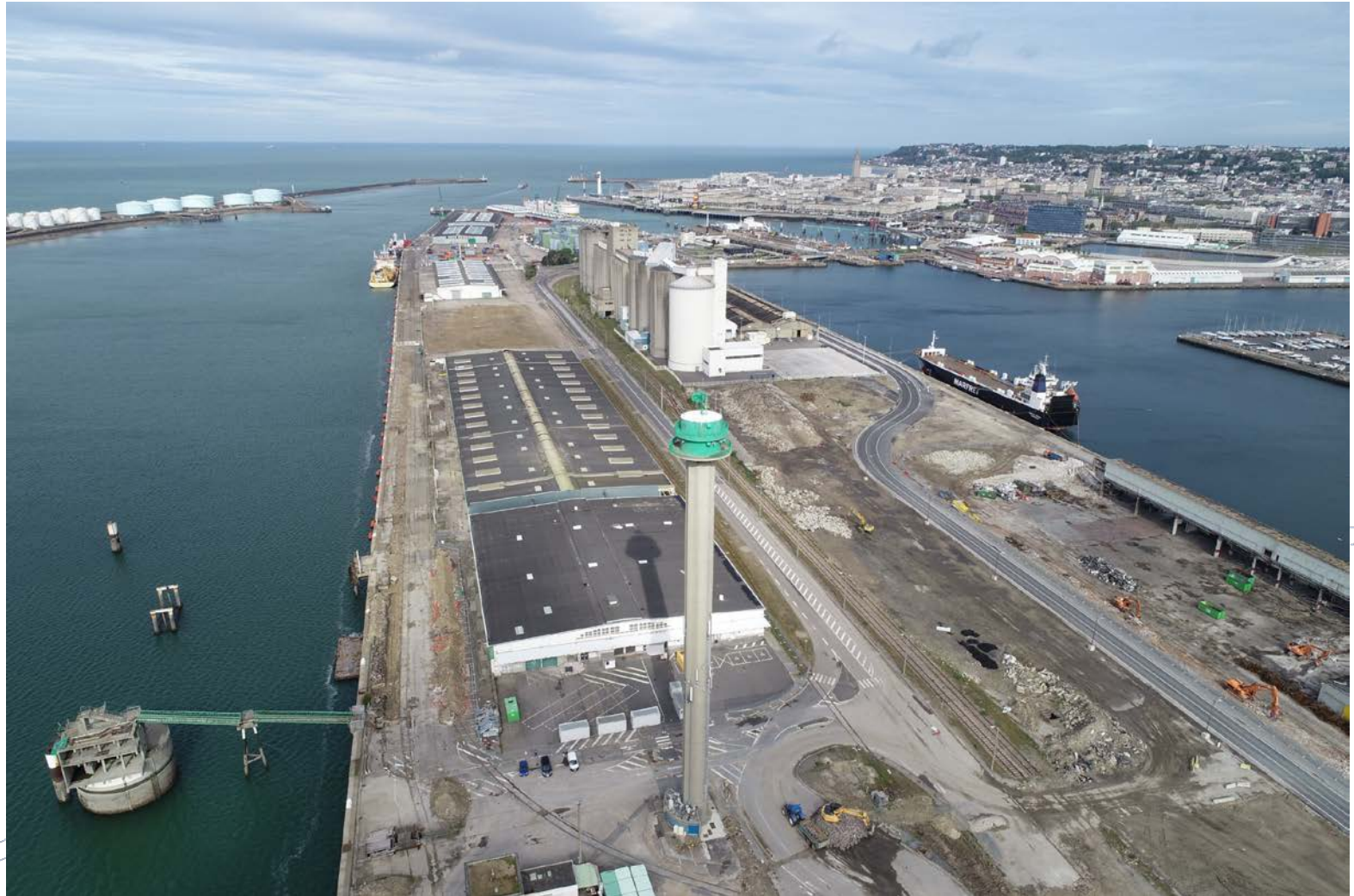
Maitre d'ouvrage/Maitre d'oeuvre



AMO du Moe

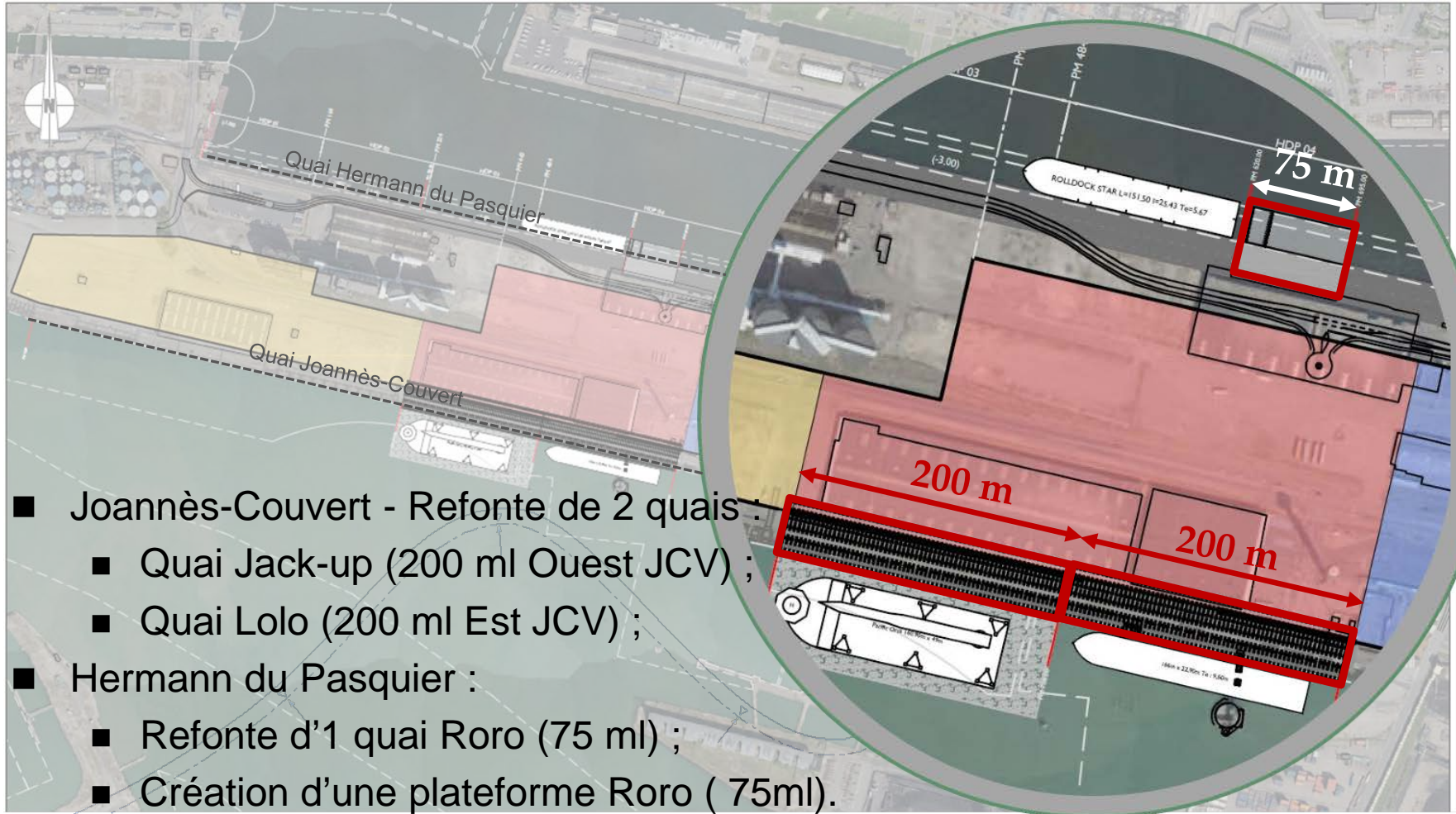


# 1. Contexte - le site





# 1. Contexte - l'intégration des ouvrages



- Joannès-Couvert - Refonte de 2 quais :
  - Quai Jack-up (200 ml Ouest JCV) ;
  - Quai Lolo (200 ml Est JCV) ;
- Hermann du Pasquier :
  - Refonte d'1 quai Roro (75 ml) ;
  - Création d'une plateforme Roro (75ml).

# 1. Contexte - les existants

- Quai des transatlantiques :
  - Quai Plein 500 m de long entre 1905 et 1920 ;
  - Ancienne gare maritime du Havre sauvée par M. Freyssinet en 1933, puis détruite pendant la seconde guerre mondiale.



1935  
Extrait film histoire du



Photo aérienne de 1939 (extrait Remonter le temps IGN)

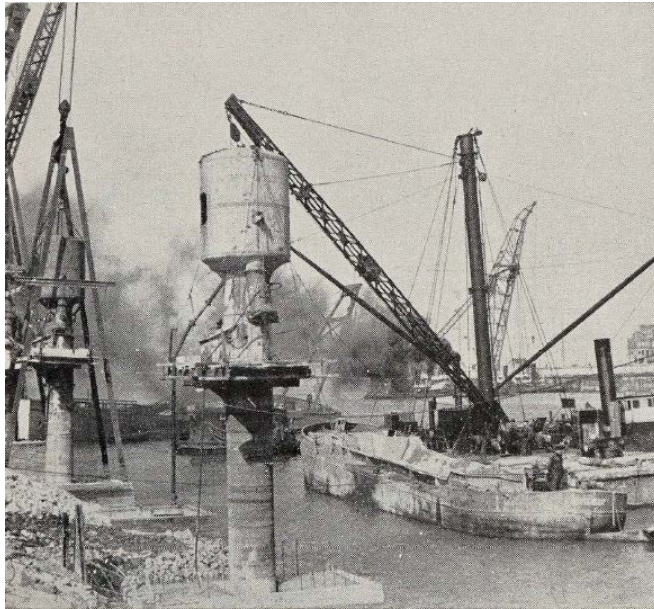
- 2<sup>de</sup> gare maritime du Havre :
  - Détruite en 2020 ;
  - 300 m de long.



Photo aérienne de 2020 (extrait Google Earth)

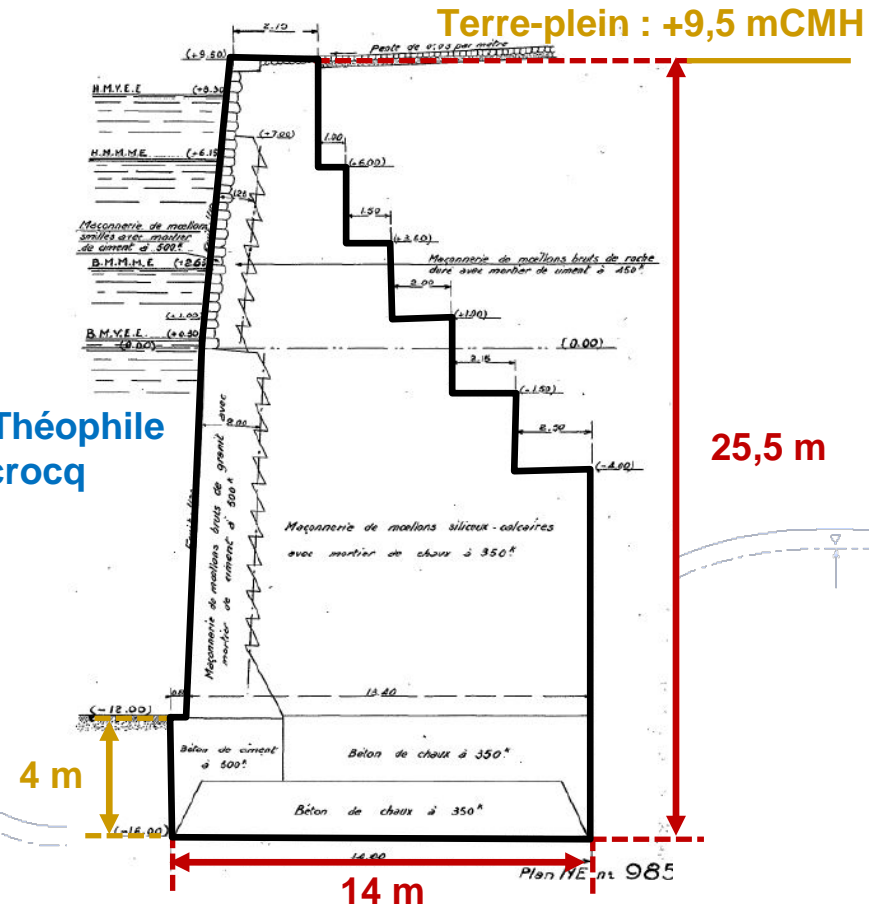
# 1. Contexte - les existants

- Construction entre 1905 et 1920 ;
- Quai plein: ouvrage-poids en muraille pleine à redans.



De Cot P, 1950, La reconstruction des quais du port du Havre, *Revue Travaux*, juin 1950

Bassin Théophile Ducrocq

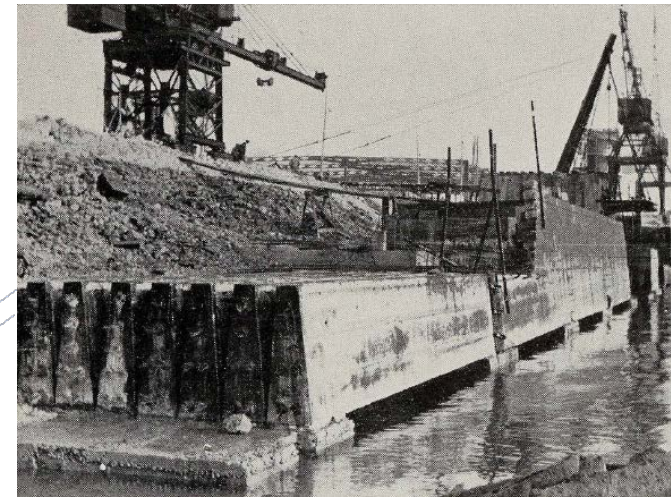
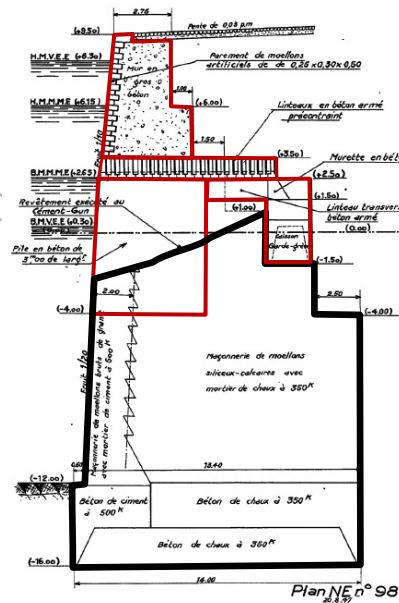
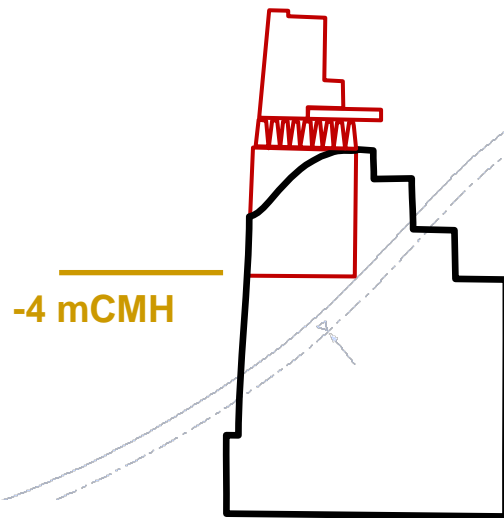
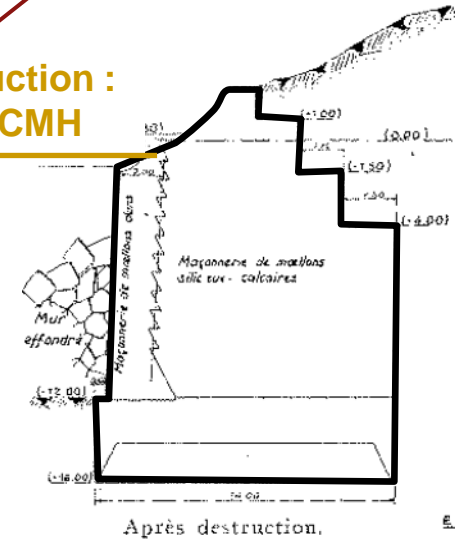




# 1. Contexte - les existants

- Destruction des quais du Havre 1939-1945 ;
- Reconstruction années 50 - 3 t/m<sup>2</sup> :
  - Piles béton espacées tous les 11 m ;
  - Linteaux BA et BP ;
  - Dalles BA ;
  - Murs en gros béton.

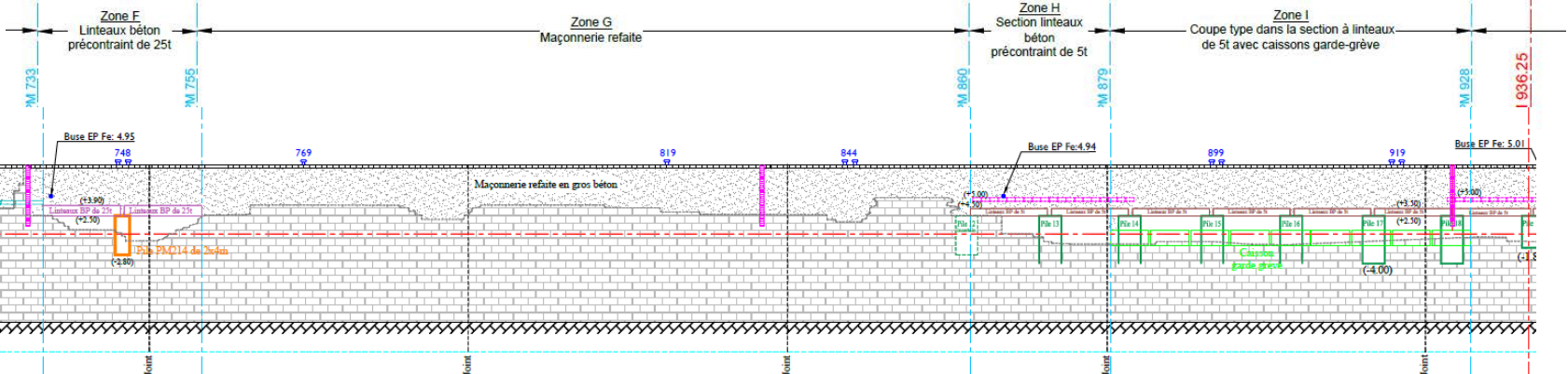
**Destruction :  
-1 mCMH**



# 1. Contexte - l'état des existants

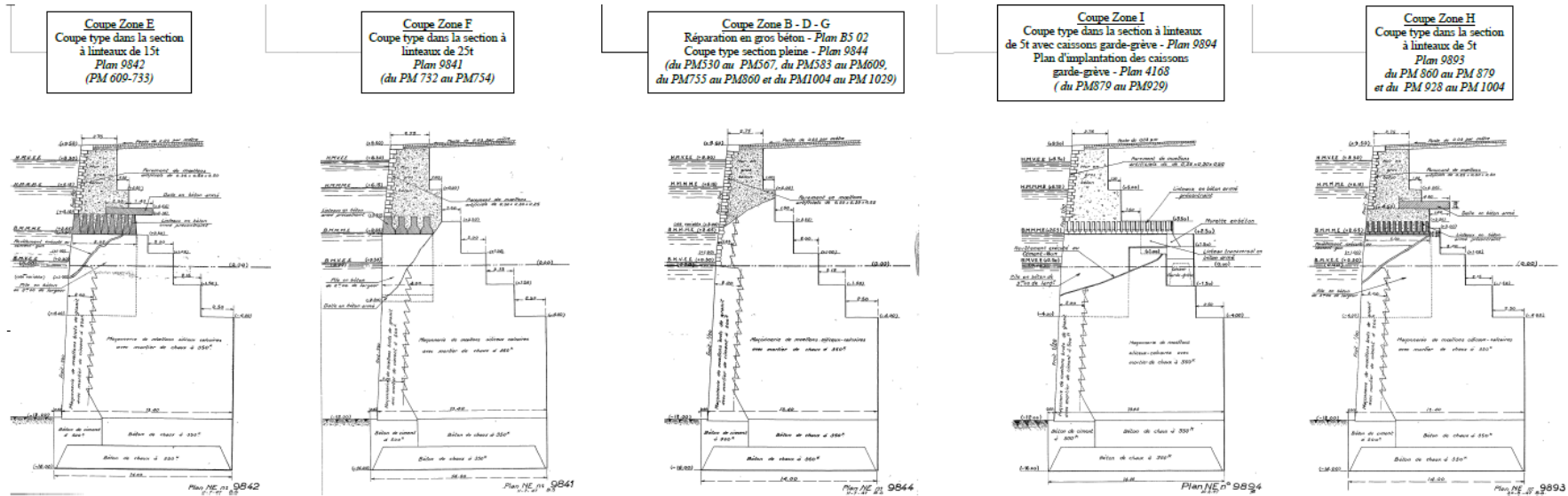


Quai plein



# 1. Contexte - l'état des existants

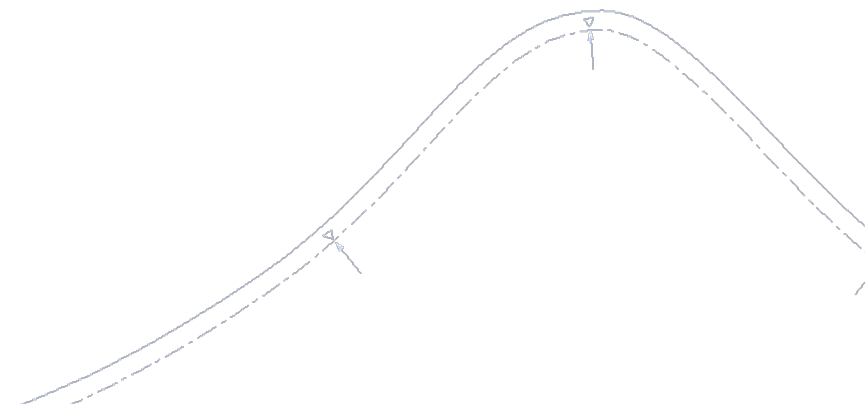
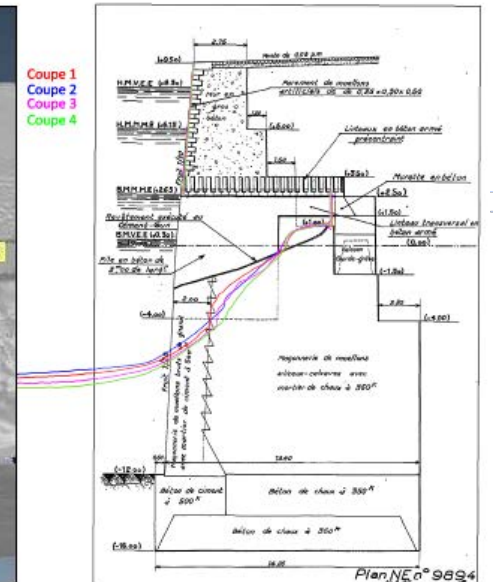
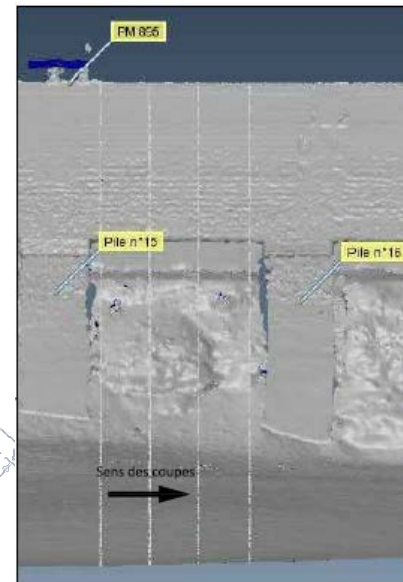
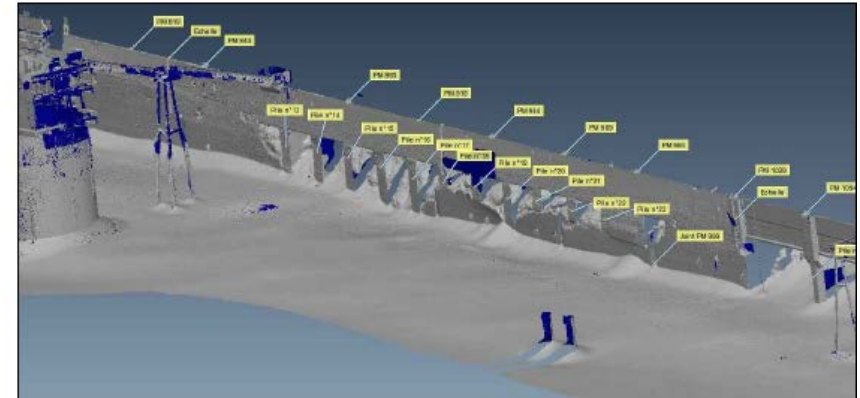
- Diagnostic des existants apprécié via :
  - Synthèse des plans d'archives ;





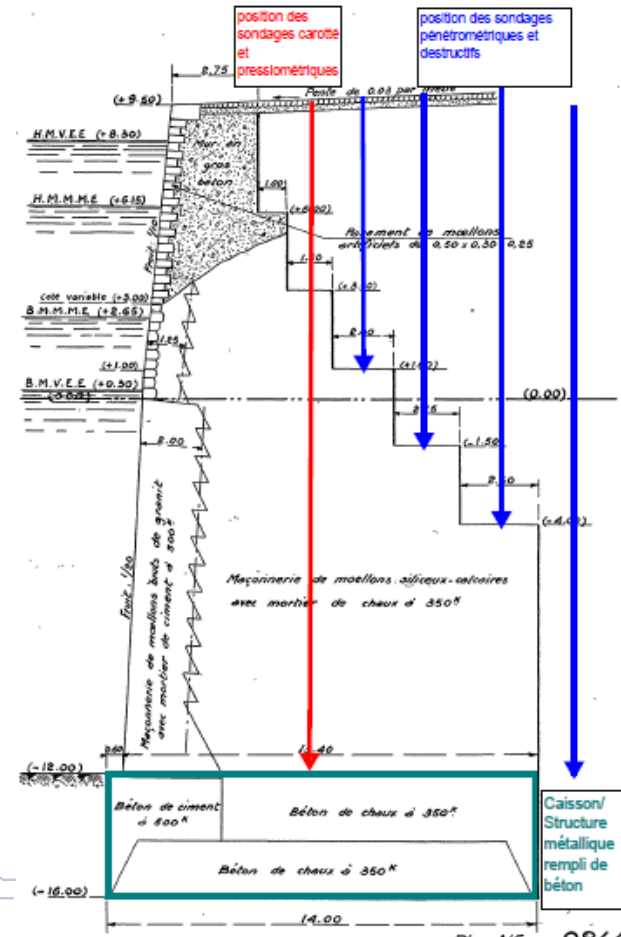
# 1. Contexte - l'état des existants

- Diagnostic des existants apprécié via
  - Synthèse des plans d'archives ;
  - **Relevés multifaisceaux** ;
  - Géométrie et carottages redans ;
  - Historique et cartographie des fontis ;
  - Historique des plans bathymétriques.

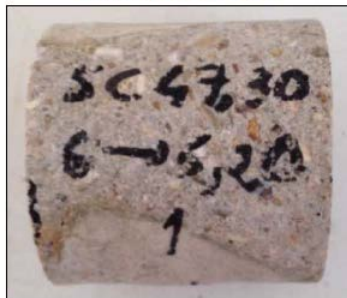


# 1. Contexte - l'état des existants

- Diagnostic des existants apprécié via :
  - Synthèse des plans d'archives ;
  - Relevés multifaisceaux ;
  - **Géométrie et carottages redans ;**
  - Historique et cartographie des fontis ;
  - Historique des plans bathymétriques.



ECHANTILLON DE 6.0 - 6.2 M



Avant écrasement



Après écrasement

# 1. Contexte - l'état des existants

- Diagnostic des existants apprécié via :
  - Synthèse des plans d'archives ;
  - Relevés multifaisceaux ;
  - Géométrie et carottages redans ;
  - **Historique et cartographie des fontis ;**
  - Historique des plans bathymétriques.

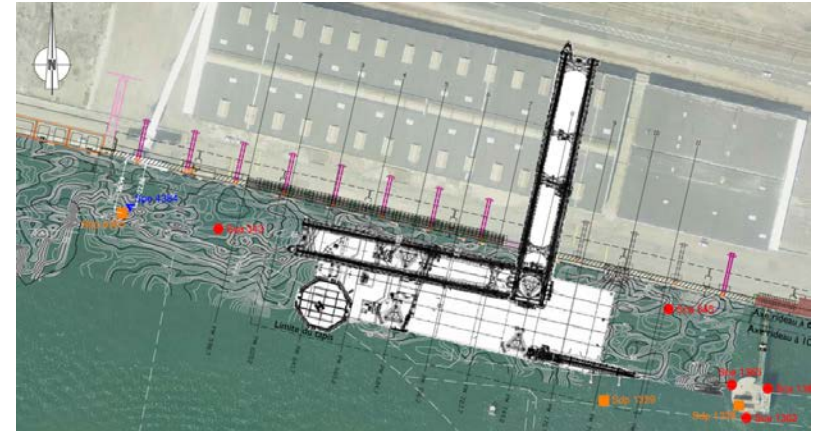


➤ Nécessité de disposer d'une nouvelle structure étanche

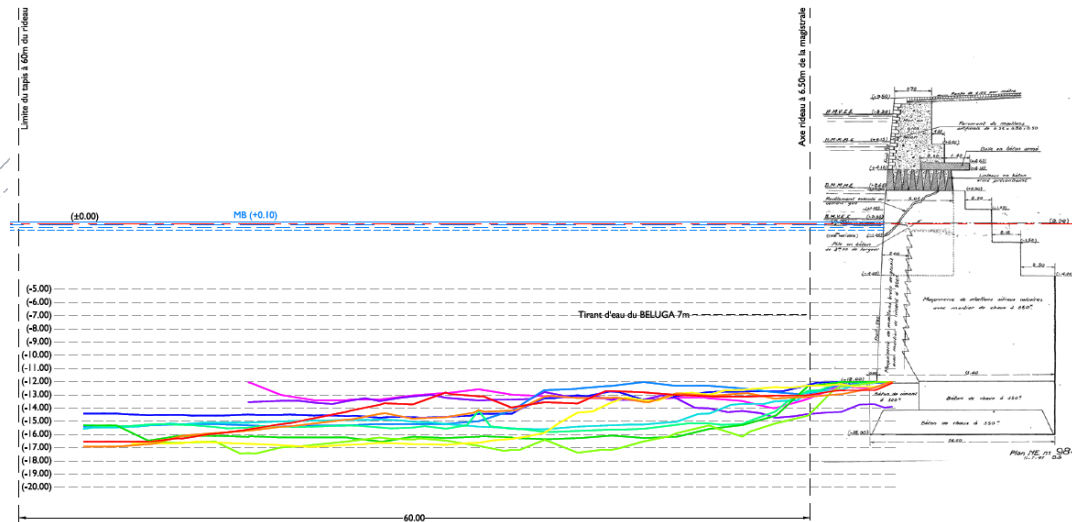


# 1. Contexte - l'état des existants

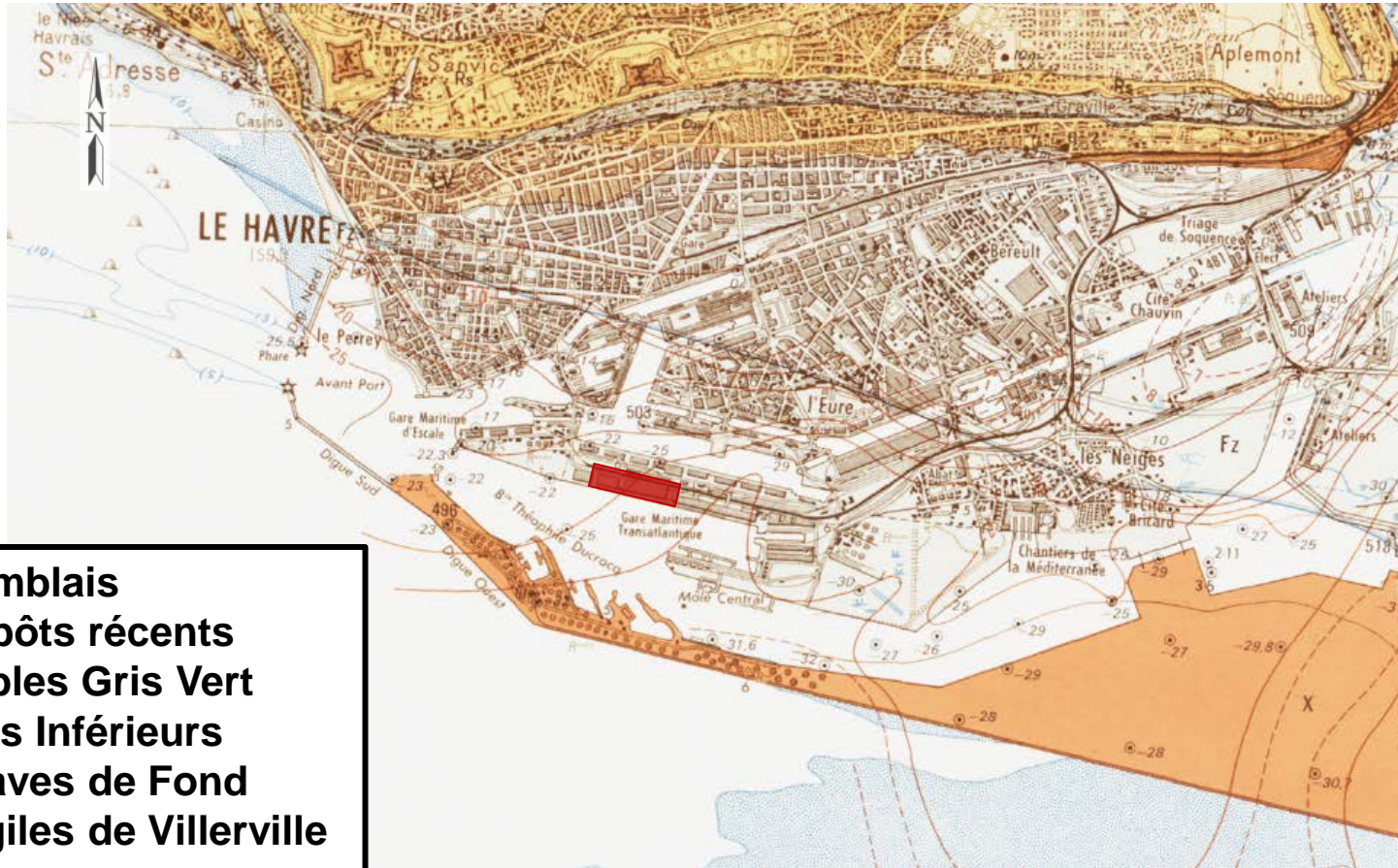
- Diagnostic des existants apprécié via :
  - Synthèse des plans d'archives ;
  - Relevés multifaisceaux ;
  - Géométrie et carottages redans ;
  - Historique et cartographie des fontis ;
  - **Historique des plans bathymétriques.**



Coupes compilées



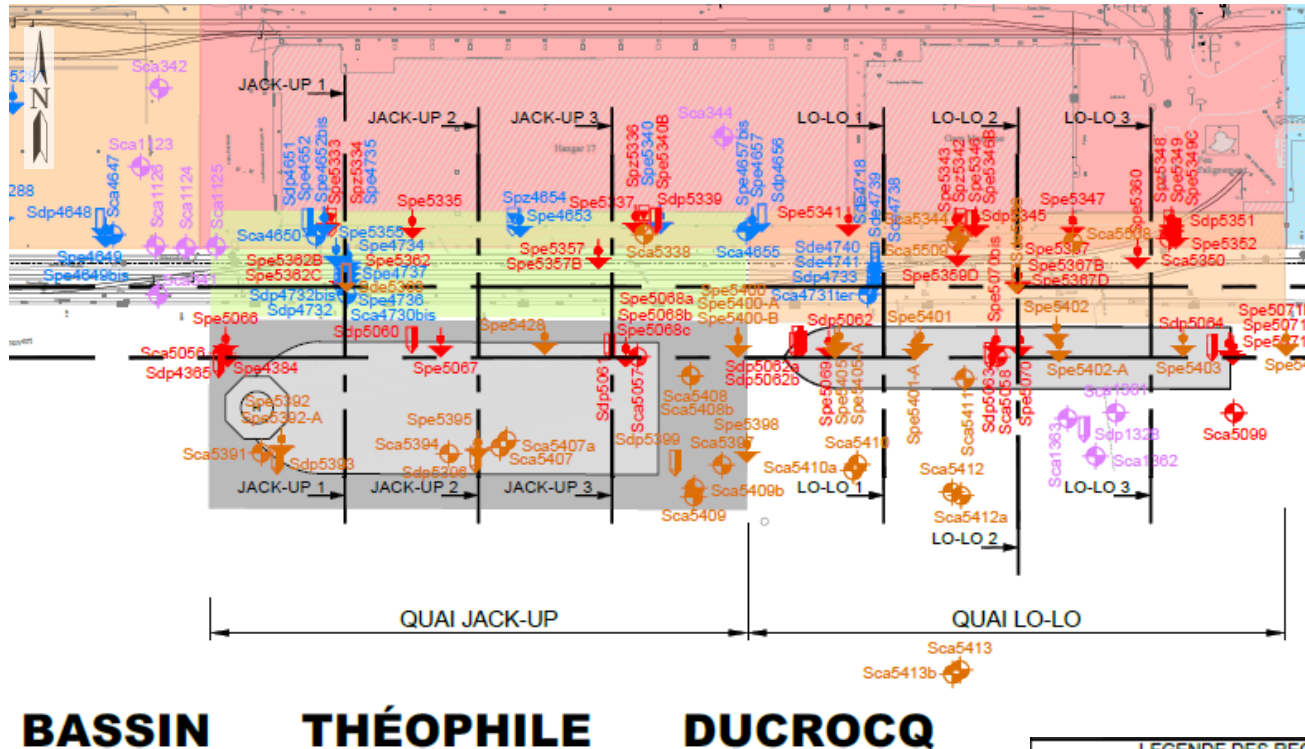
# 1. Contexte - géologie/géotechnique



- Remblais
- Dépôts récents
- Sables Gris Vert
- Silts Inférieurs
- Graves de Fond
- Argiles de Villerville

Carte géologique du Havre - n°87 - BRGM

# 1. Contexte - géologie/géotechnique



**Campagnes historiques (1907-1909) et reconnaissances 2010 à 2019 :**

- 34 carottés (11 terrestres + 23 maritimes) ;
- 19 pressios (8 terrestres + 11 maritimes) ;
- 46 CPT (21 terrestres + 25 maritimes) ;
- 4 sondages équipés de piézomètres ;
- 22 carottages structurels.

Plan d'implantation des sondages (Terrasol)

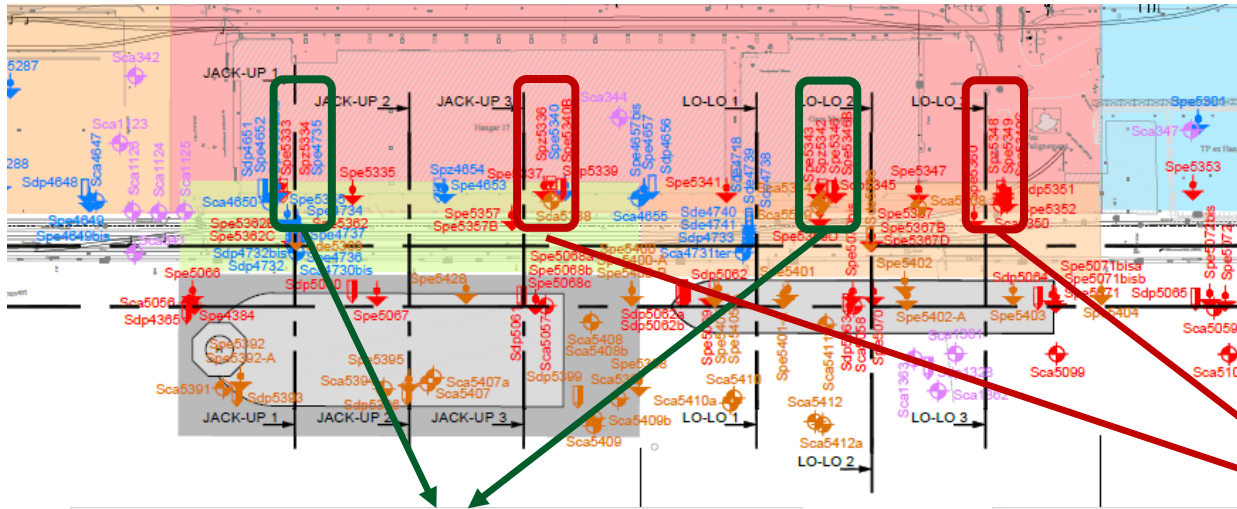
**LEGENDE DES RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES**

<ul style="list-style-type: none"> <li>⬇ Pénétromètre statique</li> <li>⊕ Carotté</li> <li>⚡ Pelle mécanique</li> <li>⊕ Piézomètre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⬇ Destructif</li> <li>⬇ Pressiomètre</li> <li>⬇ Tarière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Campagnes d'archives diverses</li> <li>Campagnes Technosol</li> <li>Campagnes Giger CEBTP</li> <li>Campagnes Bachy</li> <li>Campagnes Fugro</li> <li>Campagnes Fugro 2019</li> </ul>
---	---	---



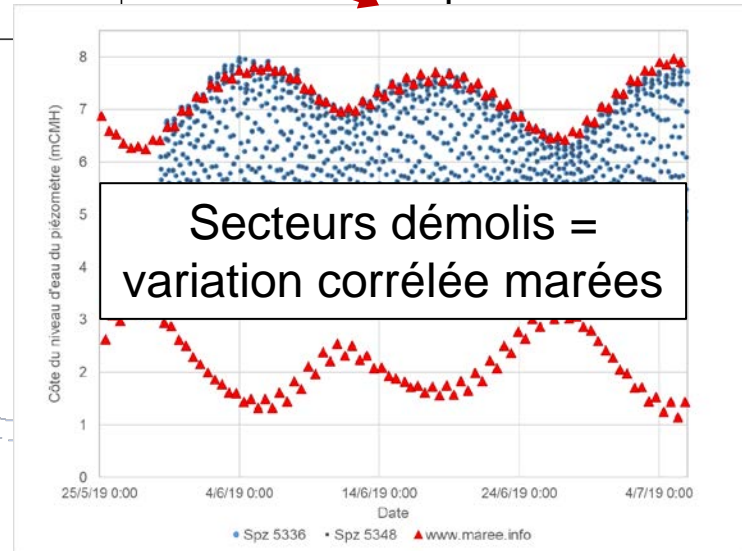
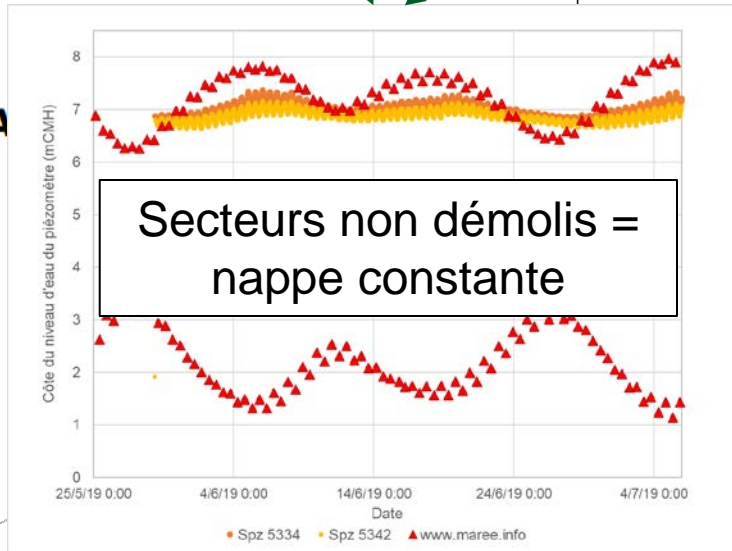


# 1. Contexte - niveaux de nappe



- Côté bassin :
  - +9,45 CMH (HMVEE) ;
  - +0,05 CMH (BMVEE) avec surcote/décote ;
- Côté terre-plein : 4 piézomètres et 2 comportements distincts.

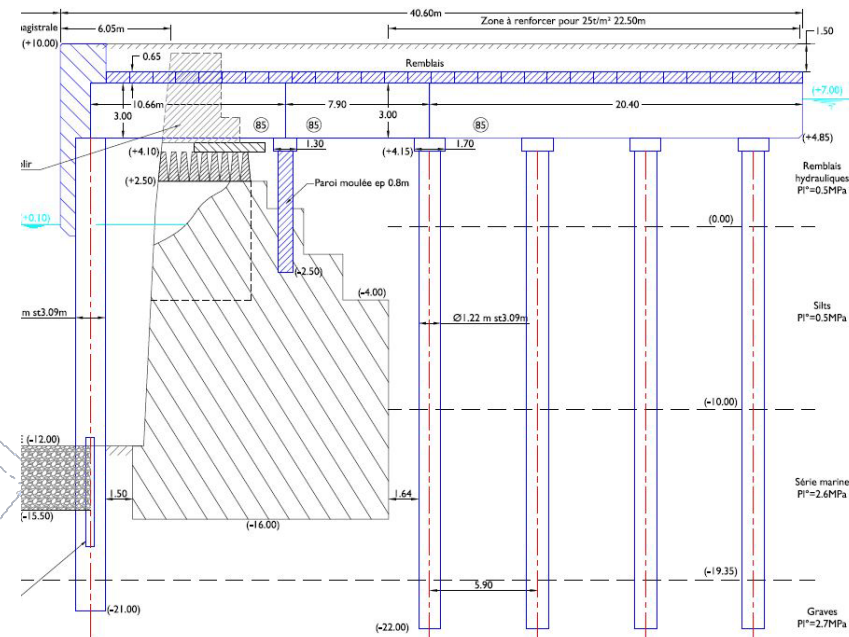
BA



## 2. Genèse de la solution APS

- Intégrer la présence des structures existantes :
  - Limitation des poussées ;
  - Reprise éventuelle de sollicitations verticales ;
- Comportement uniforme en bord à quai sur toute la zone de chargement ;
- Structure étanche (pas d'affouillement)
- Limitation du travail à la marée et les démolitions ;
- Surcharges d'exploitation 15 et 24 t/m<sup>2</sup>.

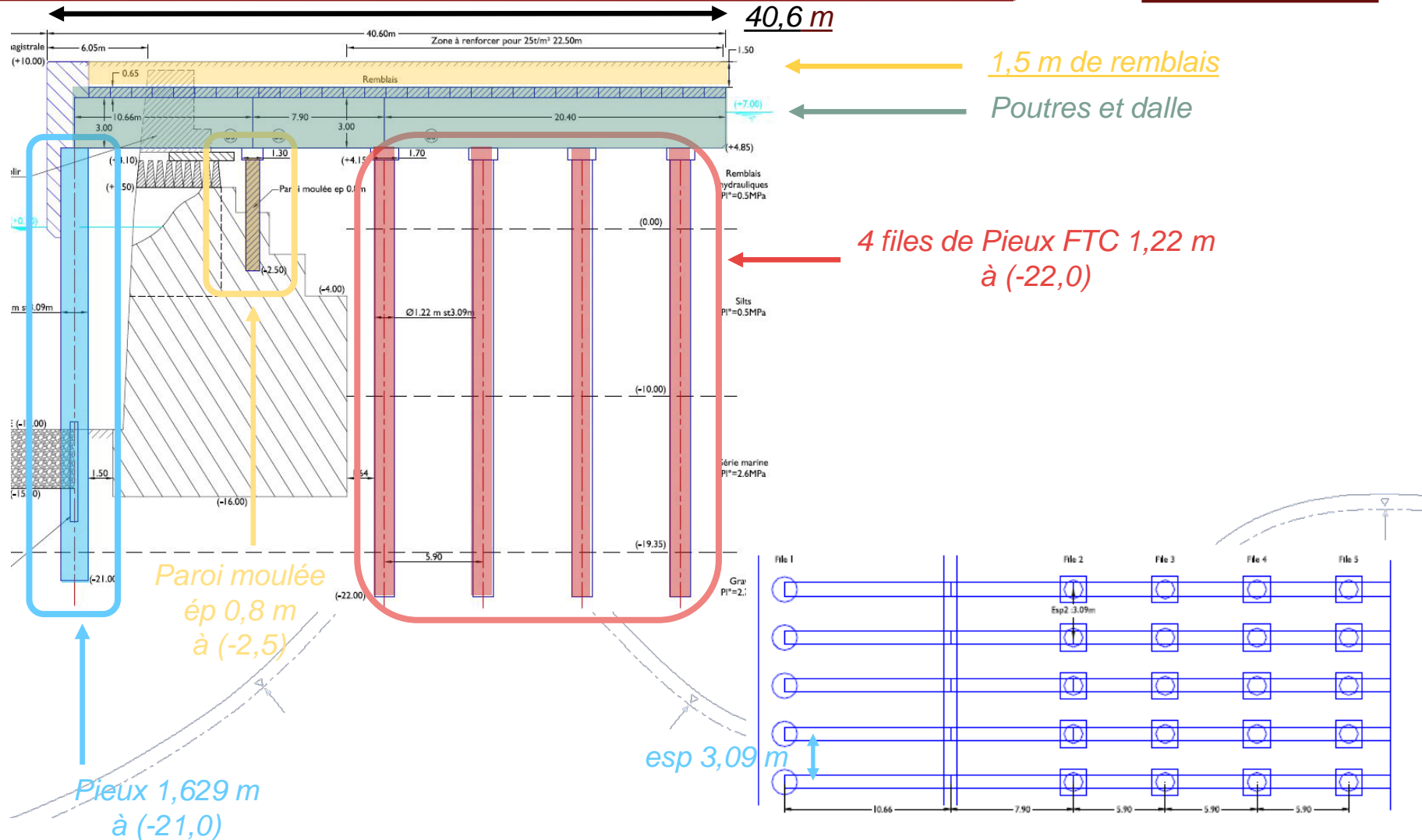
- Calcul avec pianotage de charge 24 t/m<sup>2</sup> et 15t/m<sup>2</sup> ;
- Appuis simple.





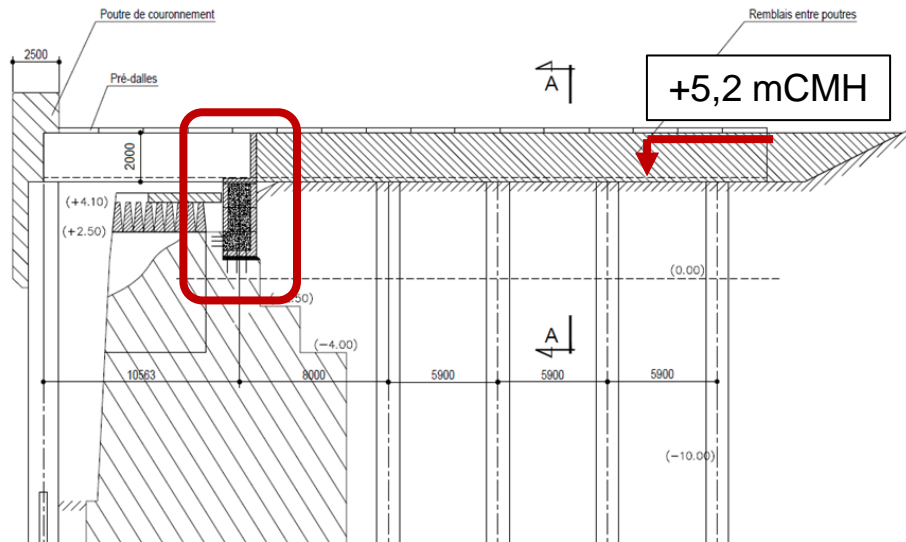
## 2. Genèse de la solution APS

*Quai à 24 t/m<sup>2</sup>*

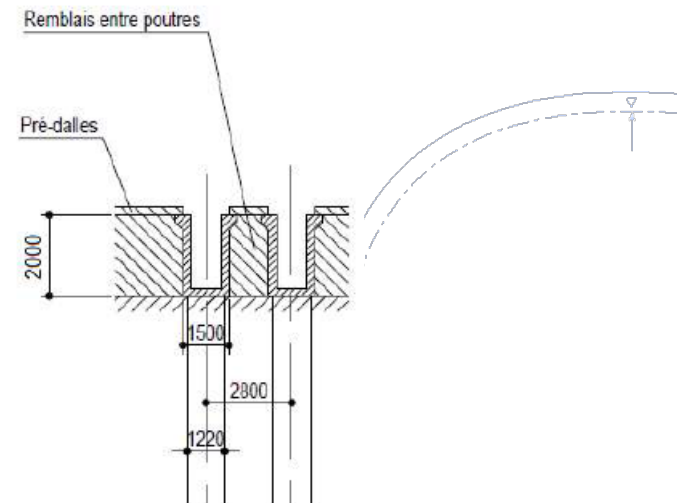


### 3. Les premières optimisations AVP

- Appui sur le mur : appui continu sur le redan à +1.00 CMH ;
- Réhaussement de la sous-face des poutres : +4,85 à +5,2 mCMH ;
- Optimisation de la structure :
  - Poutres : liaisonnées à la dalle + hauteurs diminuées à 2 m + élargissement ;
    - Suppression des chapiteaux ;
  - Dalle : 25 cm de prédalles et 40 cm coulée en place ;
    - Diminutions d'acier en travée ;
    - Retransmission et répartition des efforts horizontaux (accostage, amarrage et vent sur tours préassemblées) sur plusieurs files de pieux plutôt qu'une seule.



*Coupe transversale à quai (Setec TPI)*



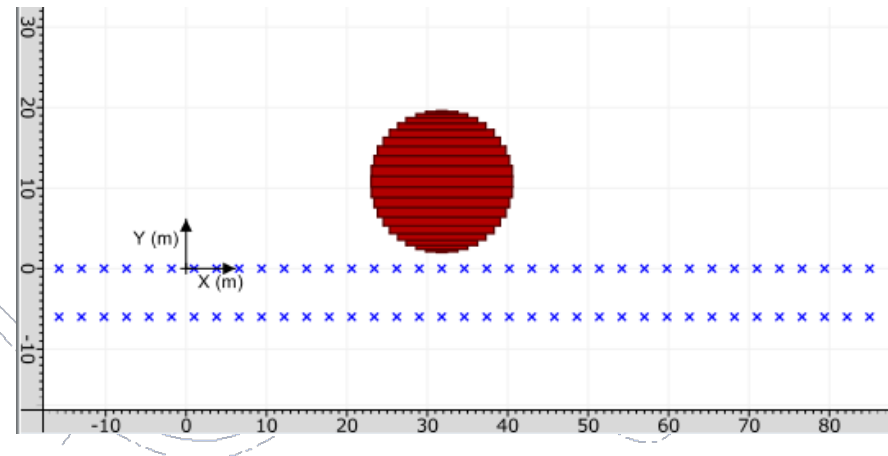
*Coupe longitudinale (Setec TPI)*

# 4. Phases conception : qqs points clefs

- Effet du spudcan sur la structure :
  - Module Tasseldo (formule approchée de Steinbrenner) ;



Jack-up	$D_{\text{ég}}$ (m)	q (kPa)
Innovation	17.7	742
Pacific Orca	11	1116



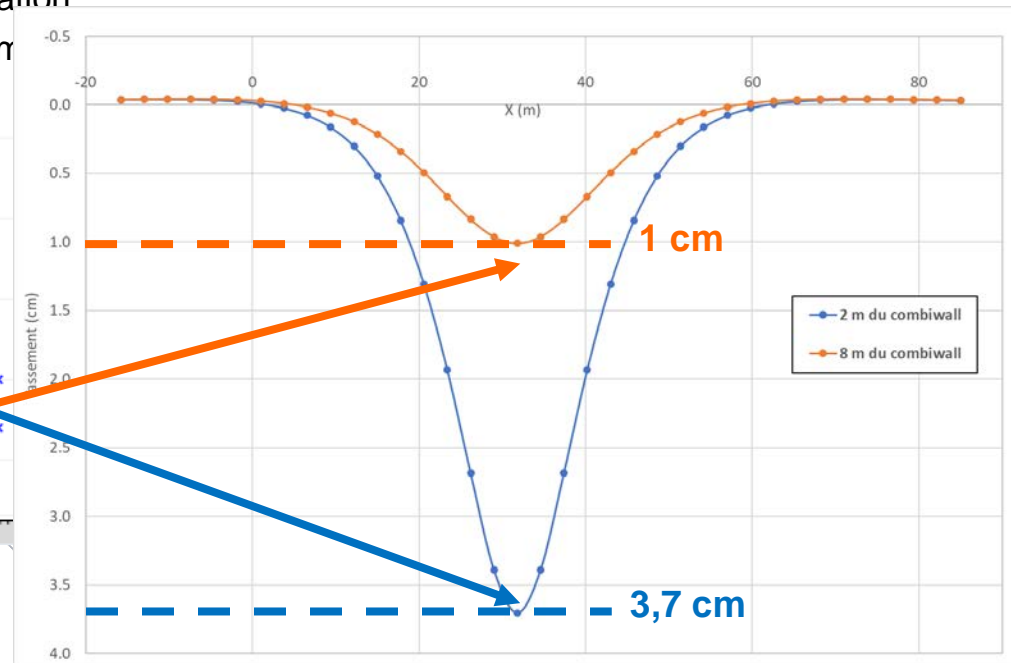
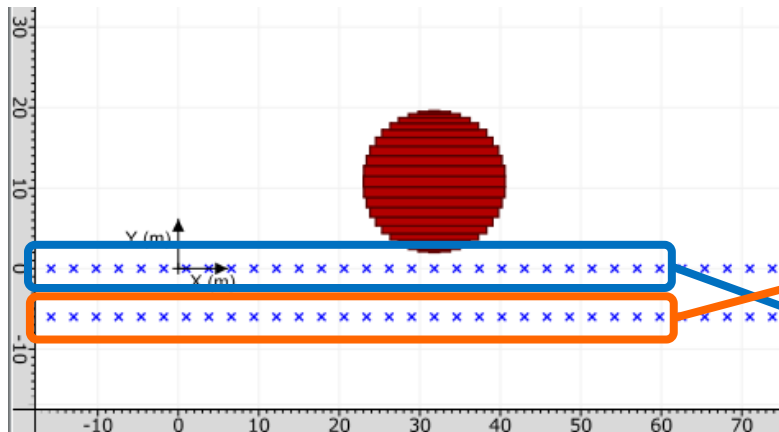


# 4. Phases conception : qqs points clefs

## ■ Effet du spudcan sur la structure :

- Module Tasseldo (formule approchée de Steinbrenner) ;
- Etudes paramétriques =
  - Cas dimensionnant spudcan Innovation .
  - 1 seul spudcan suffisant dans le dim

Jack-up	$D_{\text{ég}}$ (m)	q (kPa)
Innovation	17.7	742
Pacific Orca	11	1116

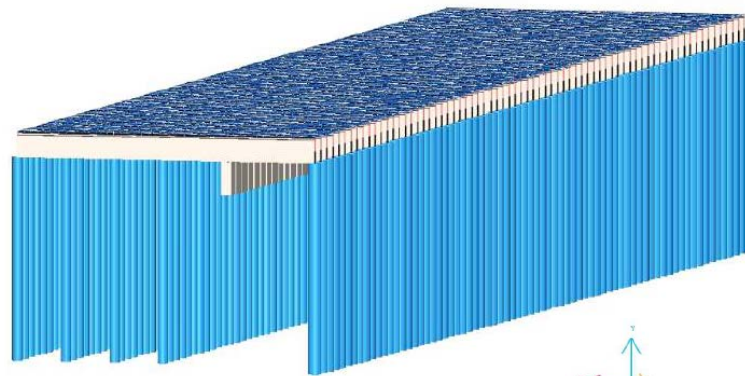


*Tassement 3D induit par 1 spudcan Innovation*

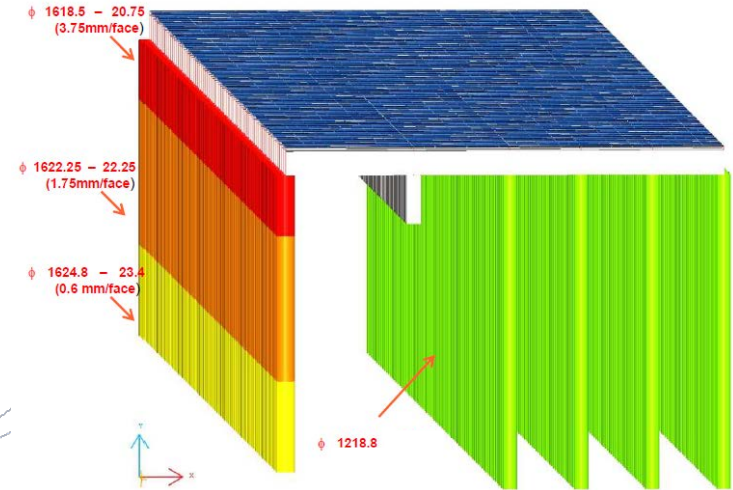
**=> Spudcan à éloigner au maximum de la contrainte industrielle, soit 8 m**

## 4. Phases conception : qqs points clefs

- Effet du spudcan sur la structure :
  - Structure modélisée sous Pythagore ;
  - Eléments de type barre (pieux et poutres) / coque (dalle) ;
  - Raideurs latérales couches ;
  - Appuis fixes en pointe ;
  - Prise en compte de la corrosion.



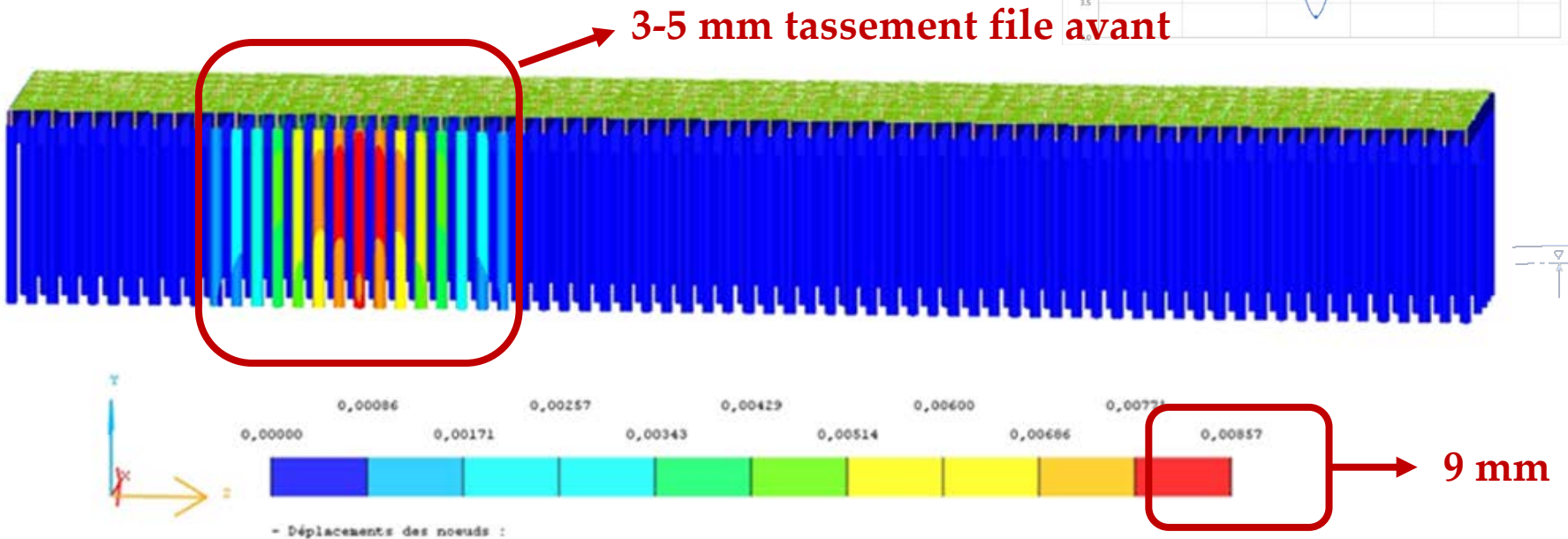
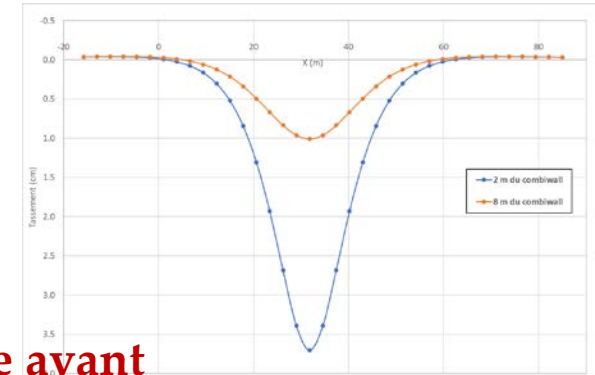
*Vue générale du modèle aux éléments finis (Setec TPI)*



*Visualisation des pieux avec corrosion (Setec TPI)*

## 4. Phases conception : qqs points clefs

- Effet du spudcan sur la structure :
  - Effet 1 seul spudcan testé ;
  - ~1 cm de tassement pour 1 spudcan situé à 8m du bord à quai.



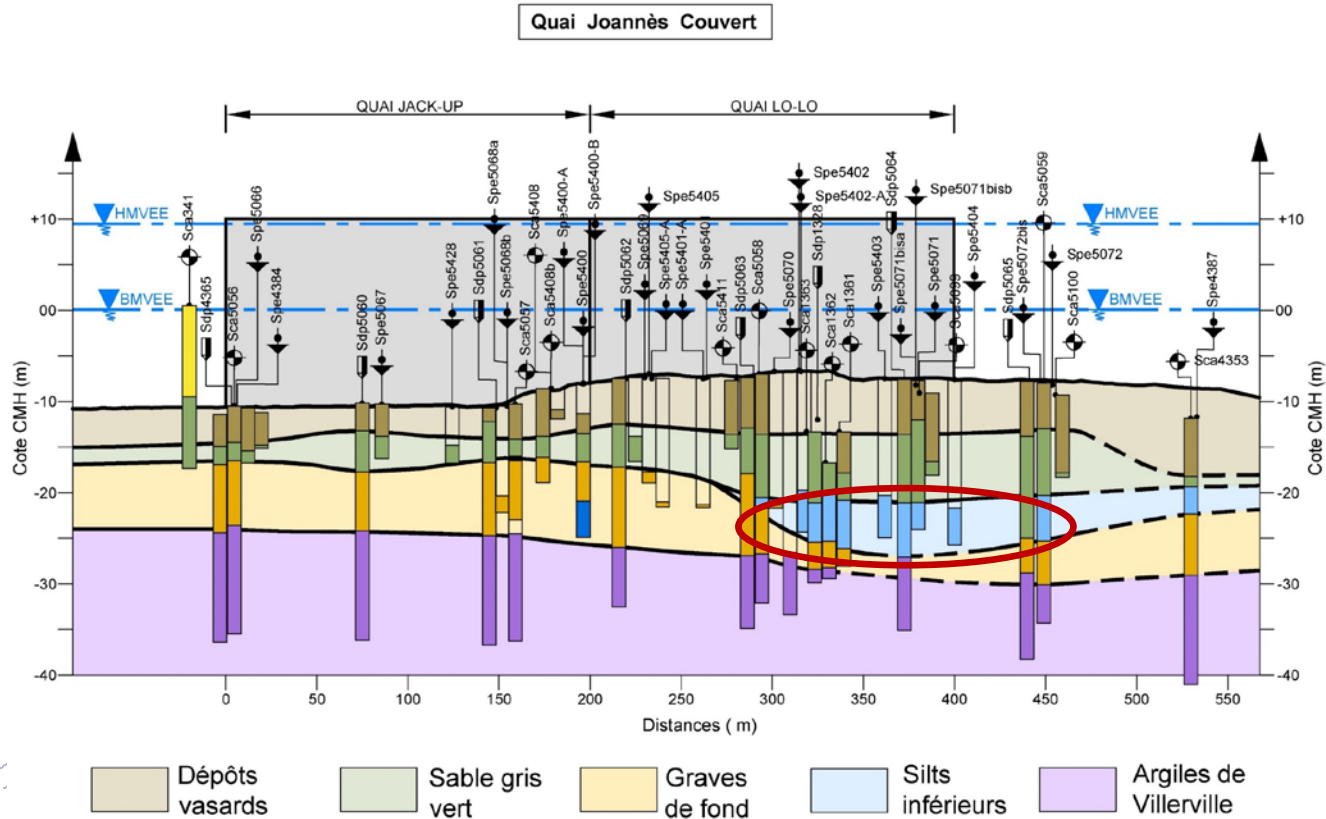
*Tassement induit par les spudcans Innovation (Setec TPI)*

**=> Conception AVP du quai Jack-up à sécuriser**



# 4. Phases conception : qqs points clefs

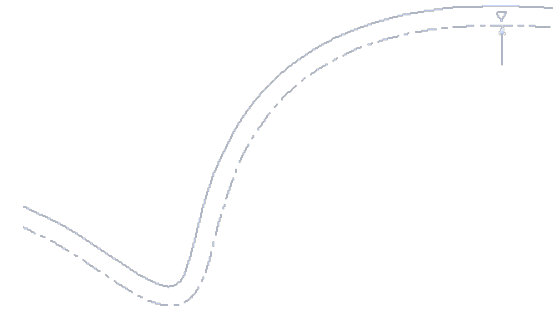
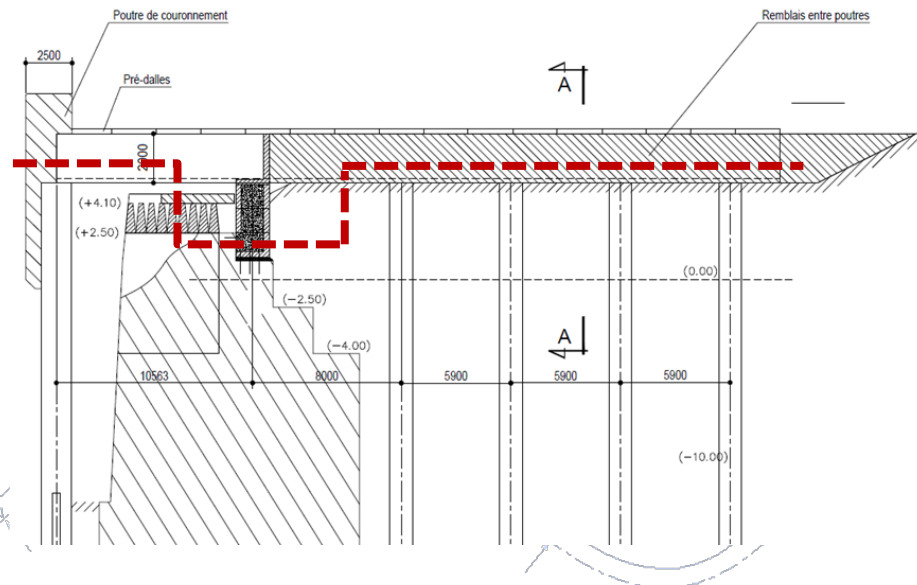
- Adaptation du projet au contexte géologique :



**=> Besoin d'études avancées également pour le quai LoLo.**

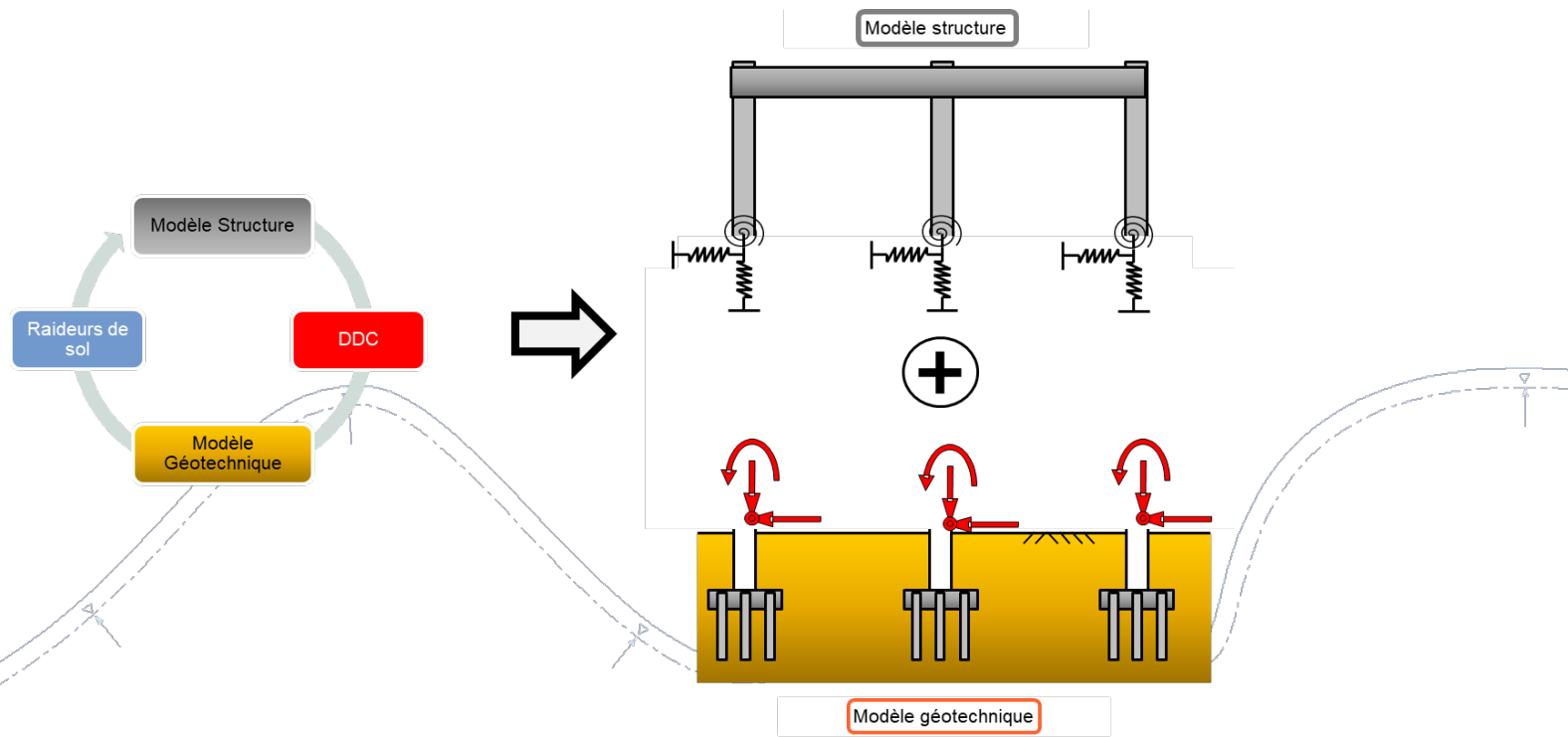
## 4. Phases conception : qqs points clefs

- Modélisations AVP/PRO et ses conséquences sur la conception :
  - Elaboration méthodologie spécifique d'interaction sol-structure (ISS) ;
    - Introduction de raideurs verticales ;



## 4. Phases conception : qqs points clefs

- Modélisations AVP/PRO et ses conséquences sur la conception :
  - Elaboration méthodologie spécifique d'interaction sol-structure (ISS) ;
    - Introduction de raideurs verticales ;

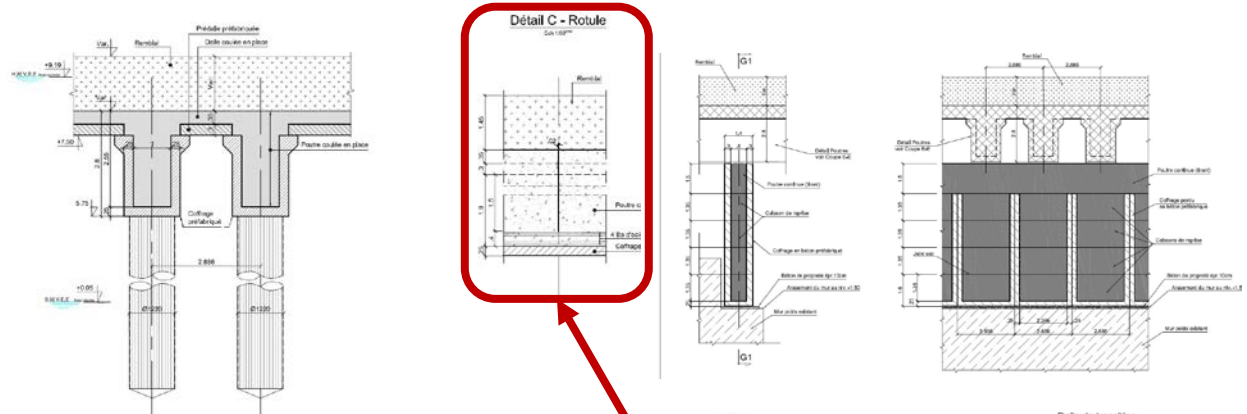






# 4. Phases conception : qqs points clefs

## ■ Modélisations AVP/PRO et ses conséquences sur la conception :

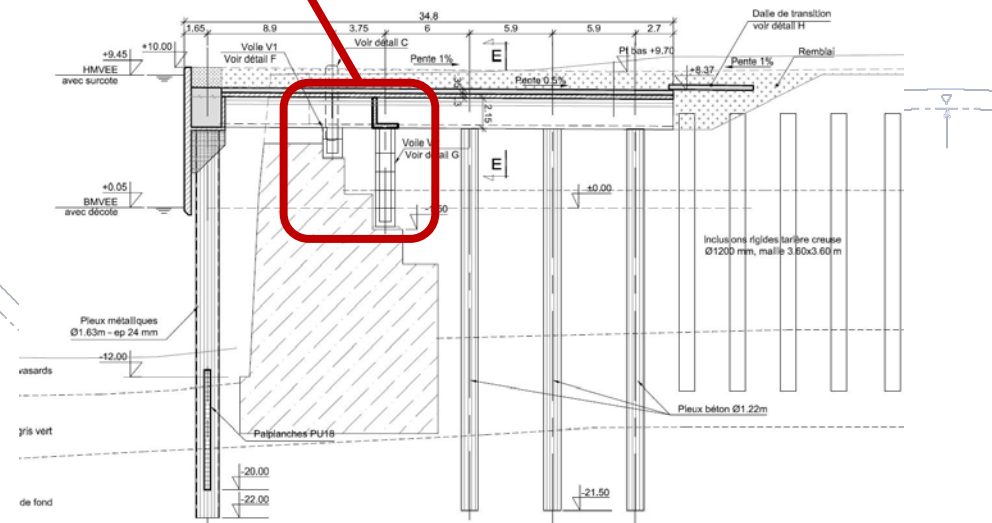


Suite réduction largeur dalle :

- 3 files de pieux arrière ;

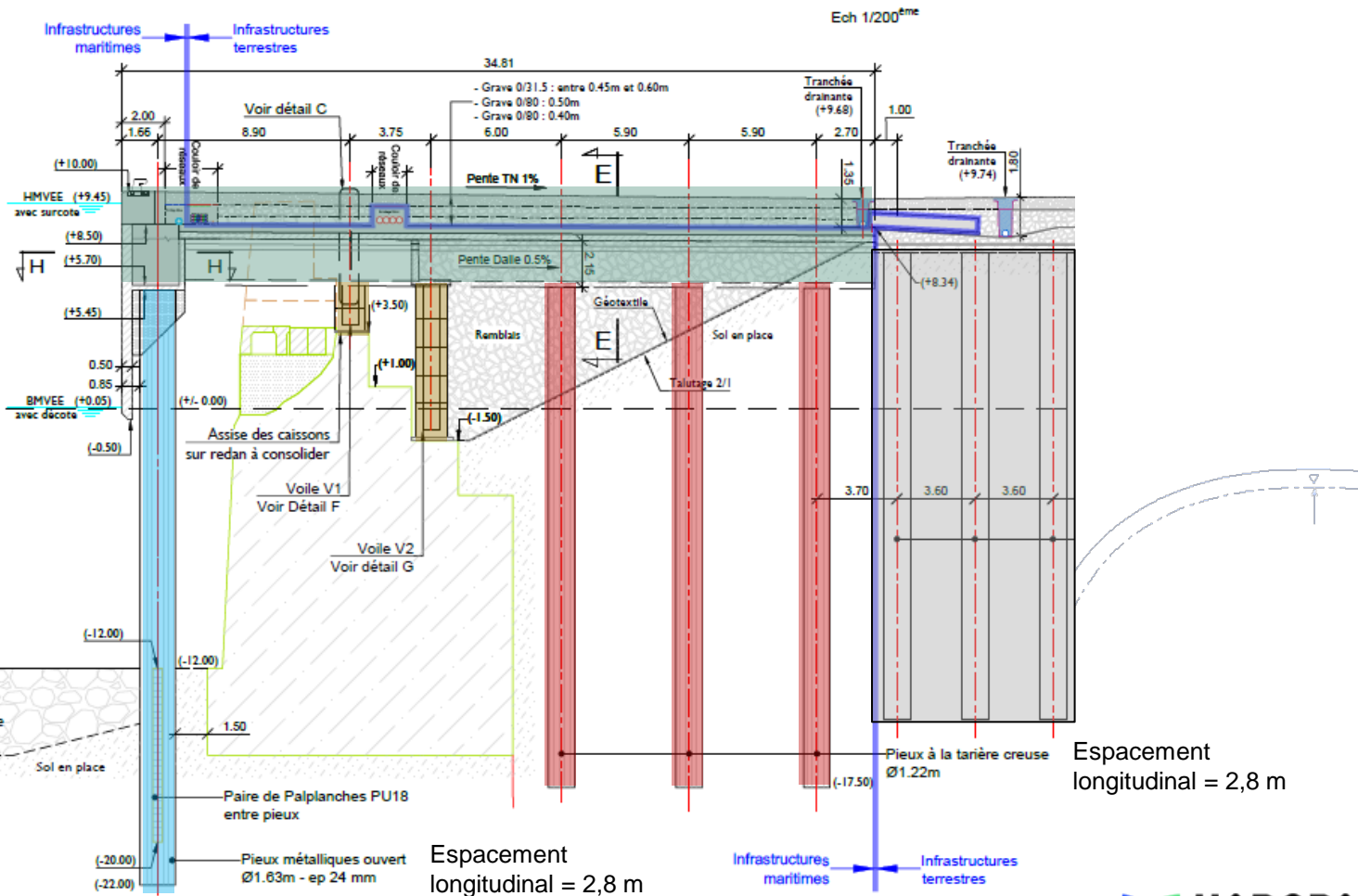
Suite itérations ISS :

- Création 2 appuis sur mur ;
- Rotule - V1 ;
- Réhaussement de la sous-face des poutres : +5,2 à +5,7 mCMH ;
- Poutre de couronnement affinée des voiles V1 et V2 revus pour retransmission des efforts ;
- Optimisation du masque pour en réduire son poids.



# 4. Phases conception : qqs points clefs

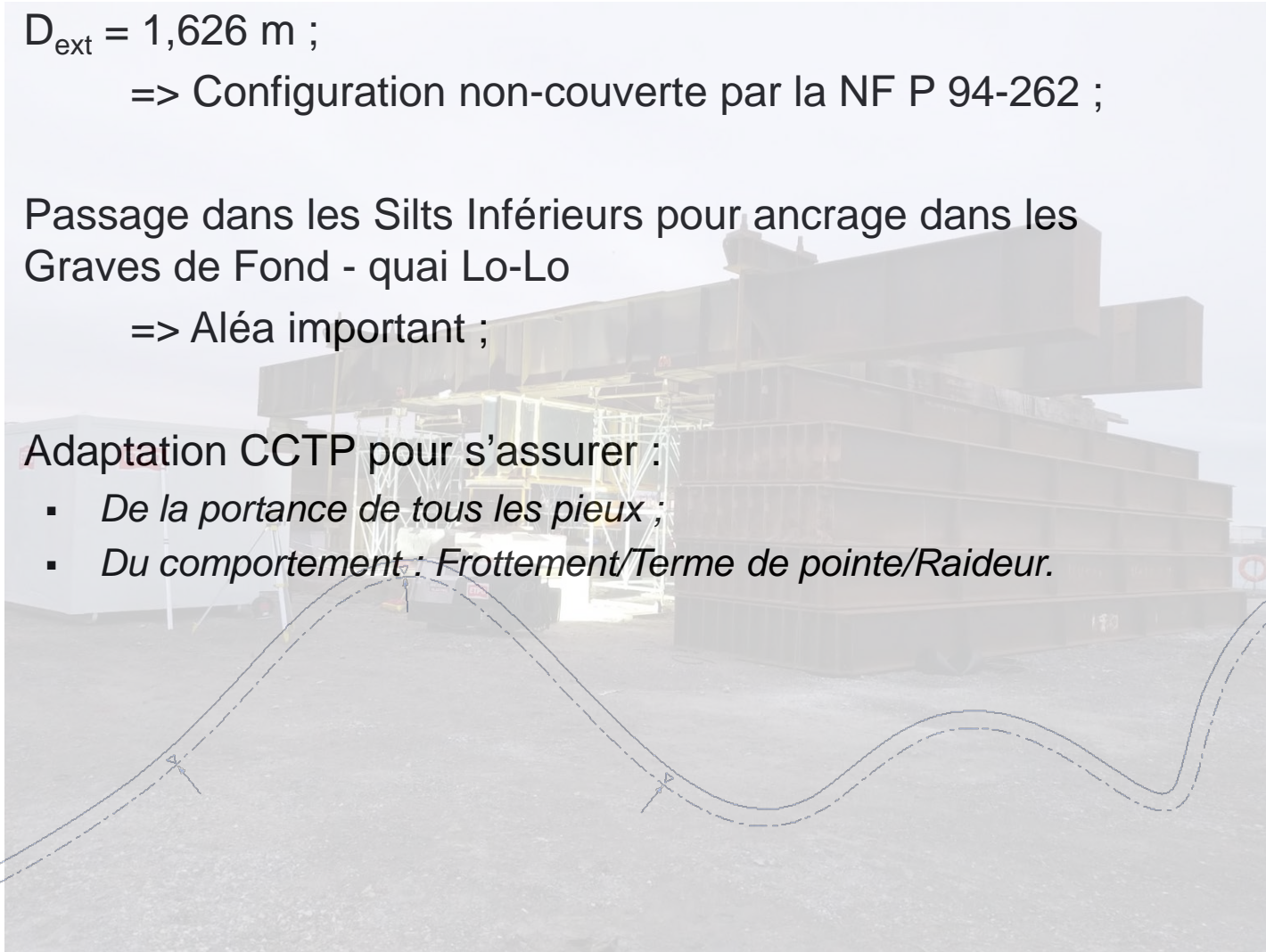
## ■ Solution de base retenue au DCE :





## 5. Qqs spécificités - pieux maritimes

- $D_{\text{ext}} = 1,626 \text{ m}$  ;  
=> Configuration non-couverte par la NF P 94-262 ;
- Passage dans les Silts Inférieurs pour ancrage dans les Graves de Fond - quai Lo-Lo  
=> Aléa important ;
- Adaptation CCTP pour s'assurer :
  - *De la portance de tous les pieux ;*
  - *Du comportement : Frottement/Terme de pointe/Raideur.*



## 5. Qqs spécificités - pieux maritimes

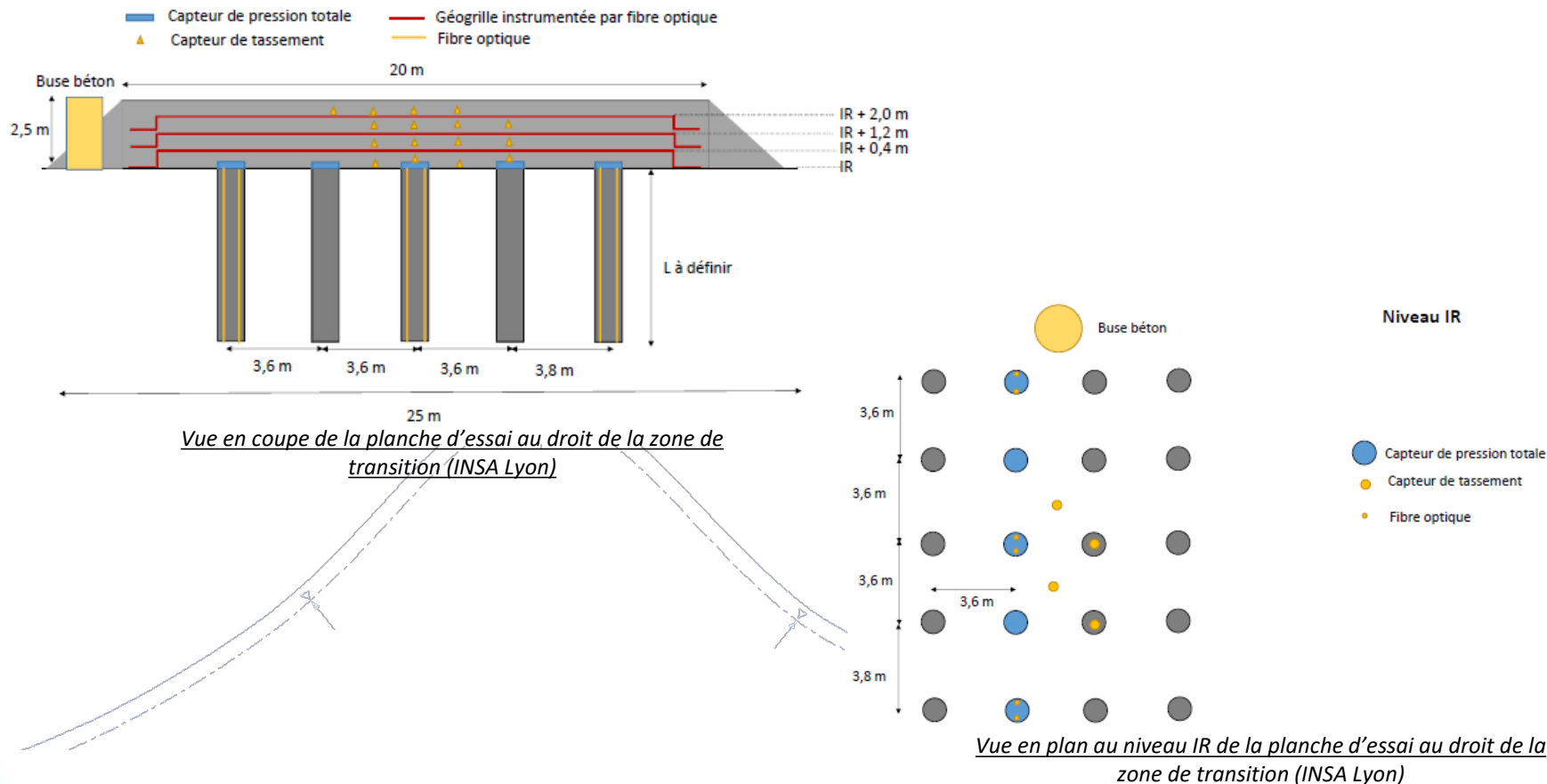
### ■ Moyens mis en œuvre

- *Campagne géotechnique complémentaire,*
- *Essais avec suivi PDA :*
  - *Dynamiques nautiques (8) : J/J+2/J+7/J+30,*
  - *Dynamiques/Statiques terrestres\* (2),*
  - *Pieu ouvert/pieu ouvert avec diaphragme,*
  - *Zone sans silt/avec silts/avec silts traités,*
- *Corrélation attendue // données de battage - « Inspector chart »,*
- *Suivi de battage : Tous les pieux dont 1/8 instrumentés (phase de chantier et d'exploitation),*
- *Intégration dans le modèle de calcul de la raideur des essais,*
- *Traitement par injection au droit des silts si portance non assurée d'après le suivi de battage => essais préalables.*

\*en se rapprochant des conditions d'exploitation maritimes (casing)

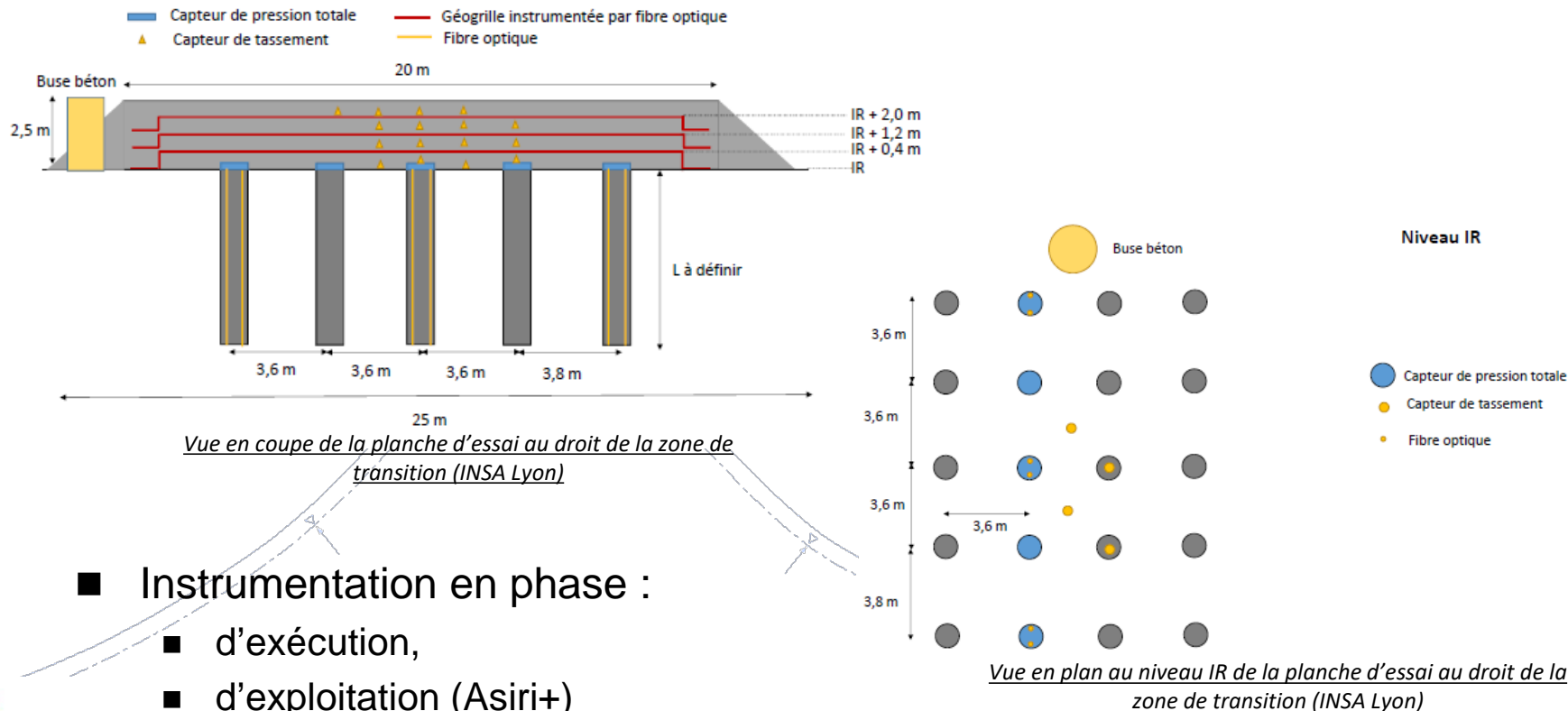
# 5. Qqs spécificités - inclusions rigides

## ■ Renforcement de sol du terre-plein arrière :



## 5. Qqs spécificités - inclusions rigides

- Renforcement de sol du terre-plein en arrière de la plateforme :
  - Tassement différentiel : 3 cm maxi entre appui de grue en opération
  - Calage/Vérification du modèle de calcul : Planche d'essai instrumentée

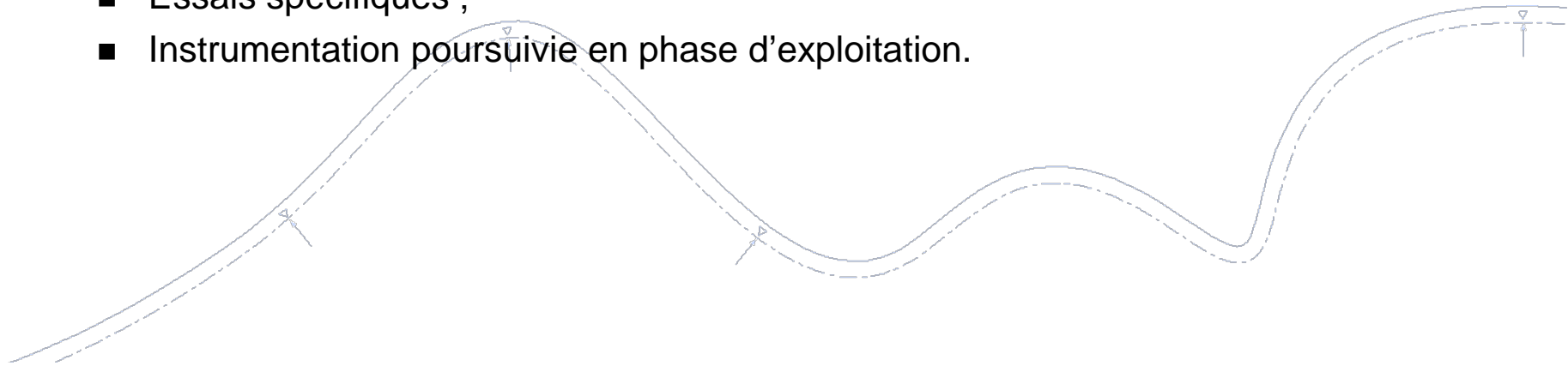


- Instrumentation en phase :
  - d'exécution,
  - d'exploitation (Asiri+)



## 6. Conclusions / questions

- Deux ouvrages répondant au besoin de SIEMENS Gamesa tout en s'intégrant au contexte du site (existants, géotechniques et hydrogéologie) ;
- Des études avancées de type ISS nécessaires pour aboutir à une conception saine ;
- Une adaptation du cahier des charges des entreprises :
  - Reconnaissances complémentaires ;
  - Essais spécifiques ;
  - Instrumentation poursuivie en phase d'exploitation.

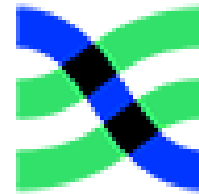


Merci pour votre attention

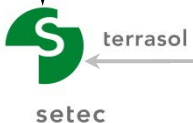
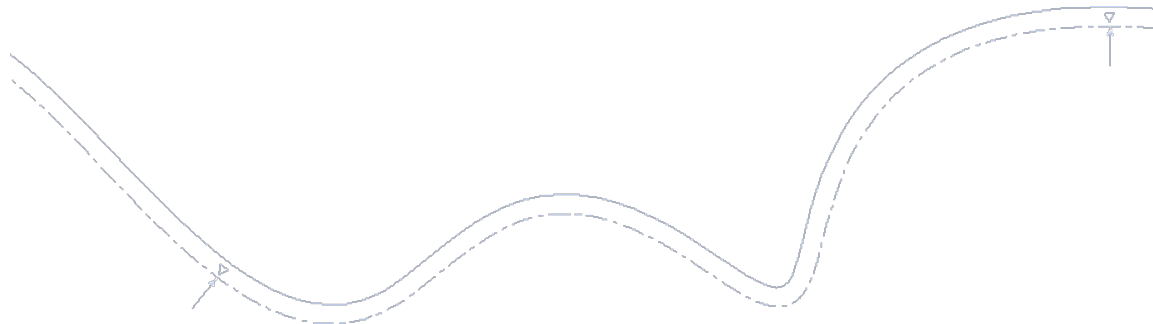


terrasol

setec



**HAROPA  
PORT**  
Le Havre  
Rouen  
Paris



# 1. Contexte - les acteurs

## Le Groupement



## Les études d'exécution



## 2. Avancement des travaux

### ■ Quai Jack-up :

Réalisé :

- Pieux FTC ;
- Voiles V1, V2 ;
- Inclusions rigides ;
- Combiwall.

En cours de réalisation :

- Démolitions du quai ;
- Couronnements ;
- Poutres ;
- Hourdis.





## 2. Avancement des travaux

### ■ Quai Lo-Lo :

En cours de réalisation

- Démolitions du quai (zone I) ;
- Pieux de V1 & V2 ;
- Inclusions rigides ;
- Vidange de la pile ;
- Dépose des infrastructures sur le bassin.

