

Ouvrages remarquables  
et évolution des pratiques

# MONACO: Le Grimaldi Forum vs Testimonio II



**cfms**

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE  
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

# Contexte et description de chacun de ces deux chantiers

SAINTE BARBE DES 4s – 04/12/2025  
OUVRAGES REMARQUABLES ET ÉVOLUTION DES PRATIQUES  
MONACO – LE GRIMALDI FORUM VS TESTIMONIO II



**SOLETANCHE BACHY**



# Le Centre Culturel et des Expositions, ou « Grimaldi Forum »: déjà un lieu gagné sur la mer

À l'origine, il y avait que la mer et une petite formation rocheuse. À l'emplacement du Grimaldi Forum.

## Un site gagné sur la mer

Un siècle d'aménagements:

- Début années 60: Forme actuelle de la Plage du Larvotto et terre-plein du Portier avec le Hall du Centenaire
- Années 90: Création du Forum Grimaldi
- 2025: Extension de l'Anse du Portier avec « Mareterra »

## Les intervenants

- OA: Etat de Monaco
- Architecte: NOTARI-GENIN
- MOe structure: Coyne & Bellier
- Entreprise : Soletanche Sam (hommage à Joseph Lavisse et merci à François Louvel!)



© Grimaldi Forum Monaco – Le chantier monumental du Grimaldi Forum



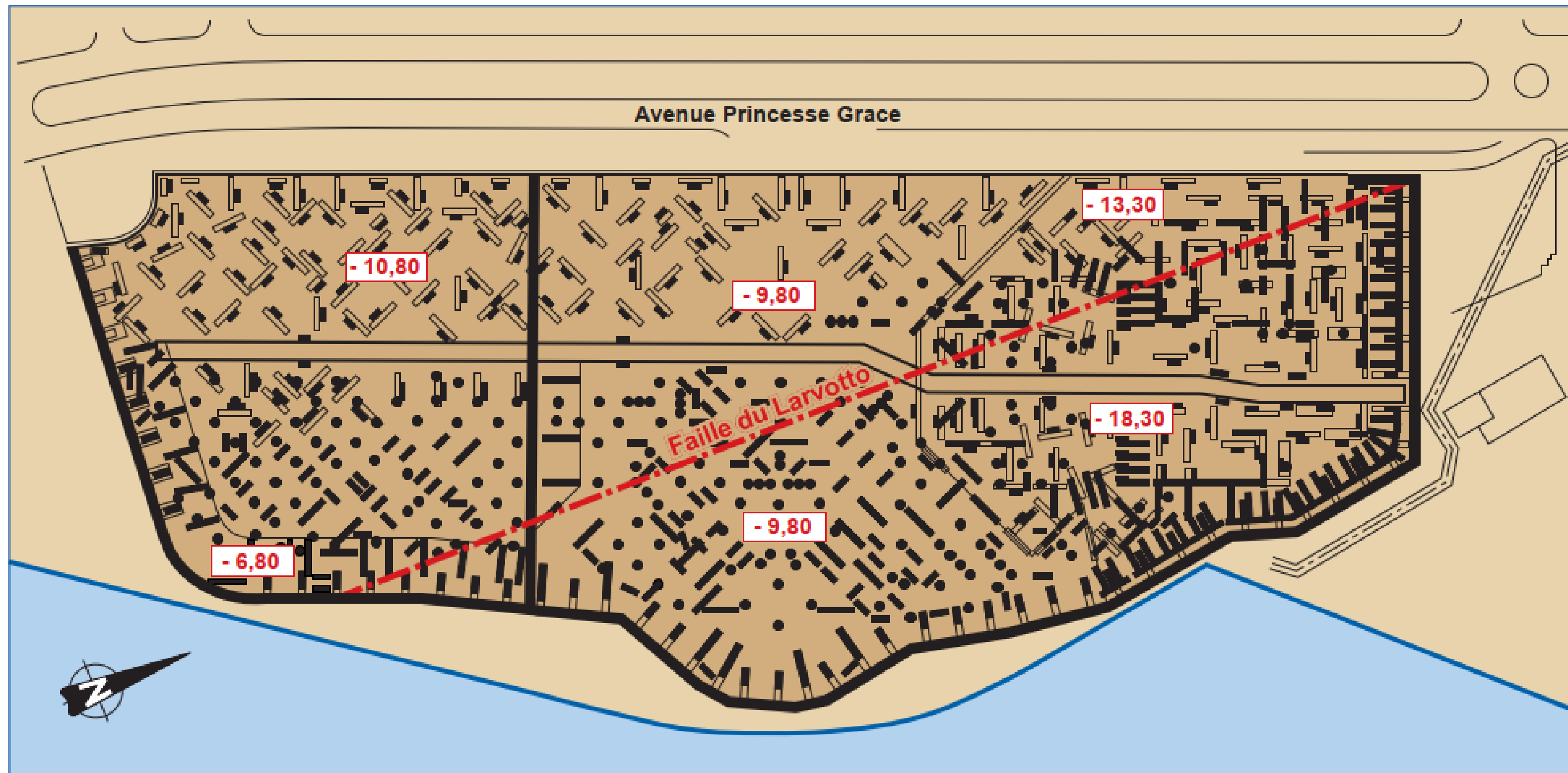
# Le Centre Culturel et des Expositions, ou « Grimaldi Forum »: Vue en plan

## Situation

- Sud et Ouest; parking du Portier et du Centre
- Nord: Plage du Larvotto
- Est: Digue

## Géologie

- Remblais, Sables
- Substratum Jurassique (Ouest) et MC (Est) séparé par la **faille du Larvotto**
- Substratum plonge vers la mer



*Vue en plan des différents niveaux des fonds de fouille*

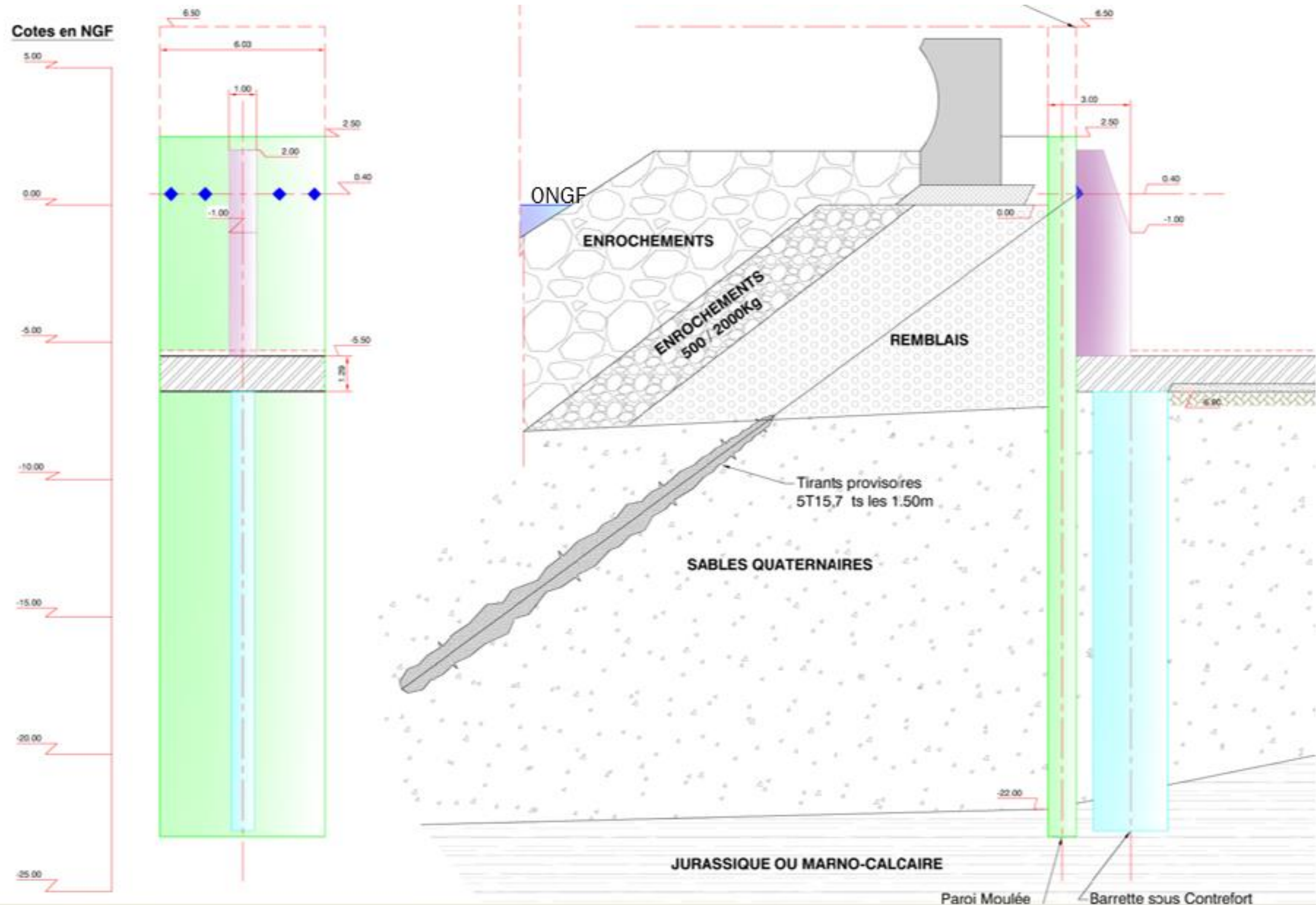
# Le Centre Culturel et des Expositions, ou « Grimaldi Forum »: Coupe générale

## La conception initiale

- Fouille d'environ 10 m de profondeur à-côté de la mer
- Paroi moulée tirantée en phase de travaux (tirants provisoires)
- Fond injecté (définitif)
- Phase service: contreforts en GC + radier + barrette à l'aplomb des contreforts
- Radier drainant

## Une enceinte auto-stable

- Interdiction que le radier s'appuie vers le côté du parking existant, yc sous séisme
- Barrettes et bêches intérieures
- La structure GC intérieure est déconnectée du soutènement





# Testimonio II, un projet immobilier exceptionnel dans un grand versant

## Un projet immobilier

- Logements privés et domaniaux
- Parkings (13 niveaux)
- École internationale
- Deux tours de grande hauteur

## Dans le versant

- Entre bld d'Italie et l'avenue Princesse Grace
- En passant par le bld du Larvotto
- Soit plus de 40 m

## Les intervenants

- OA: Marzocco / Vinci Immobilier
- Architecte: Arquitectonica / Giraldi
- MOe structure: Tractebel
- Entreprises : Vinci / Soletanche Sam / Caroli

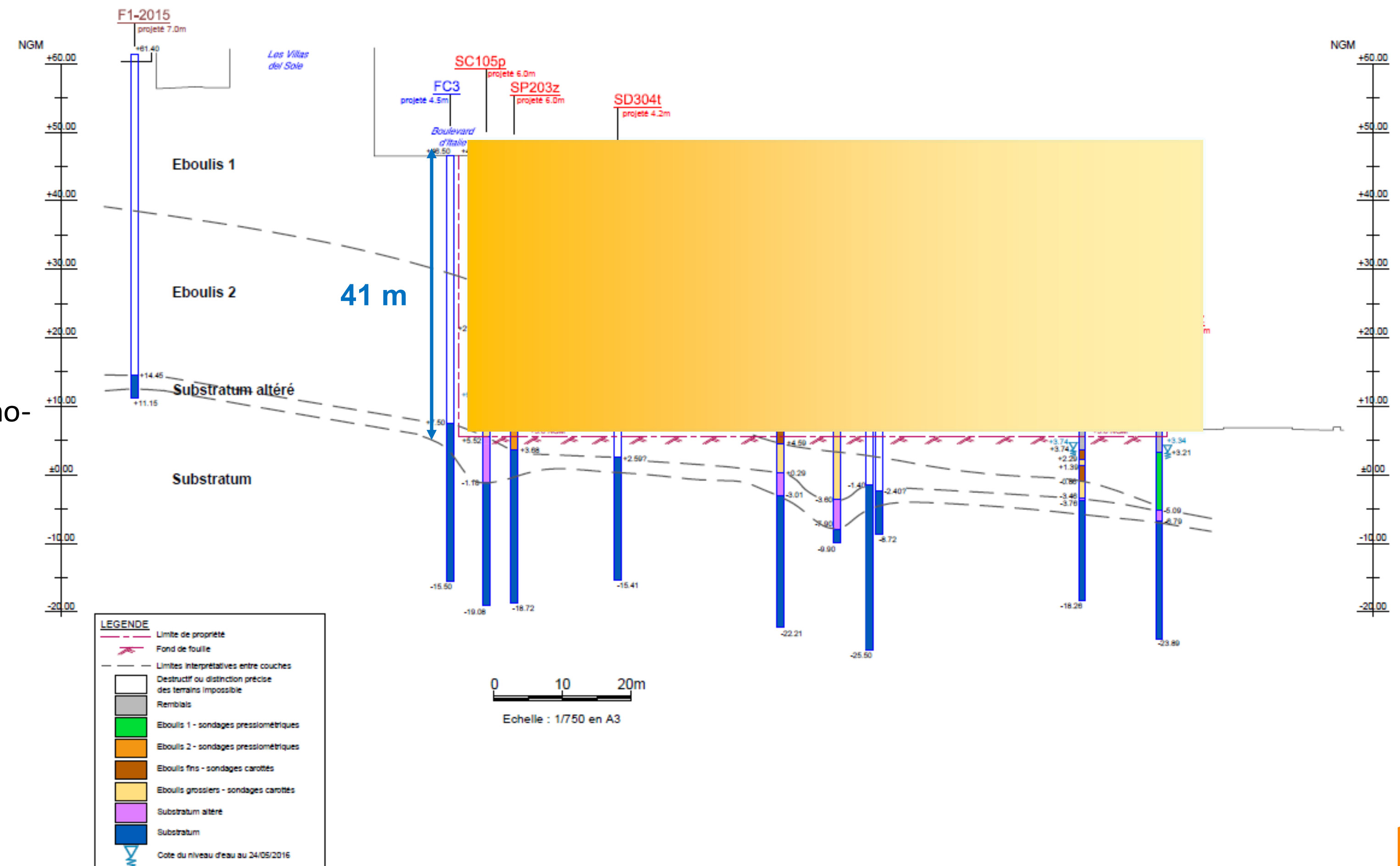




# Testimonio II, un projet immobilier exceptionnel dans un grand versant

## Géologie

- Éboulis principalement
- Ancrage fondations dans le substratum marno-calcaire

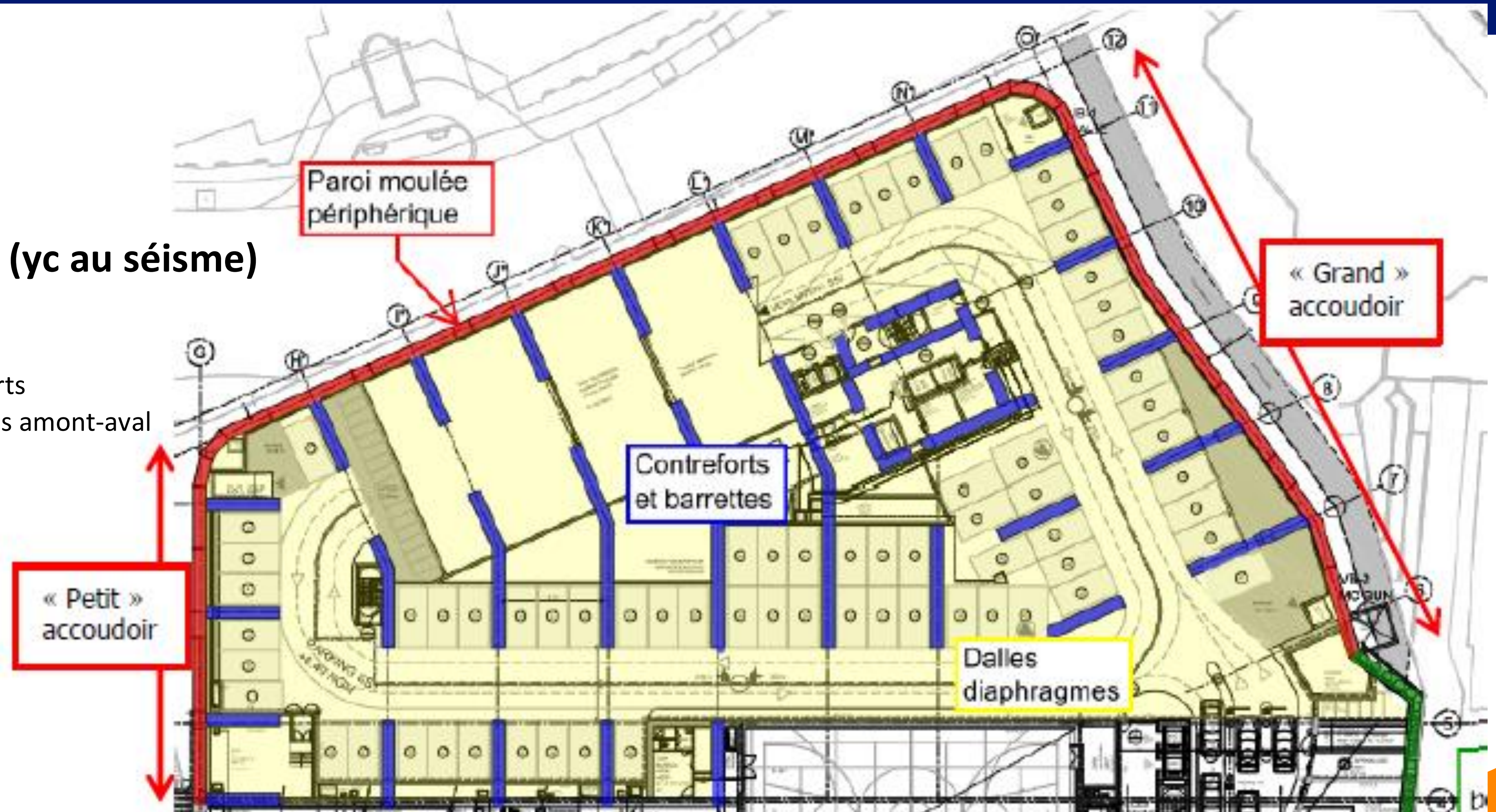




# Testimonio II: Structure en U auto-stable

## Grand socle auto-stable (yc au séisme)

- Aucun tirant
- Enceinte en paroi et contreforts
- Barrettes intérieures orientées amont-aval



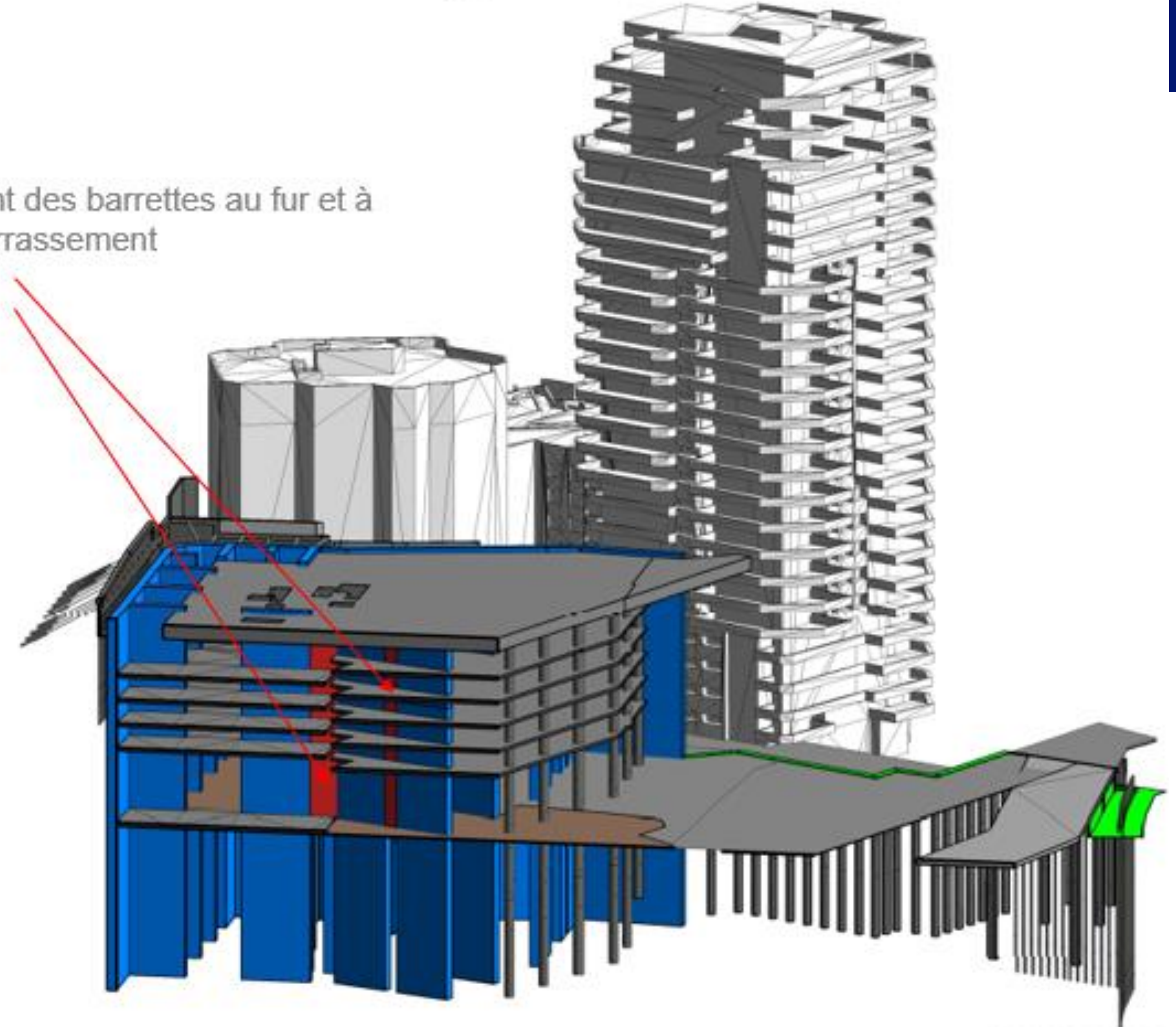


# Testimonio II: Structure en U auto-stable

## Liaisonnement des barrettes

- Excavation en taupe
- Rigidification progressive de la boîte par liaisonnement horizontal des éléments résistants intérieurs (barrettes) -> plots de clavage
- Dans un même panneau de paroi, les cages sont liaisonnées

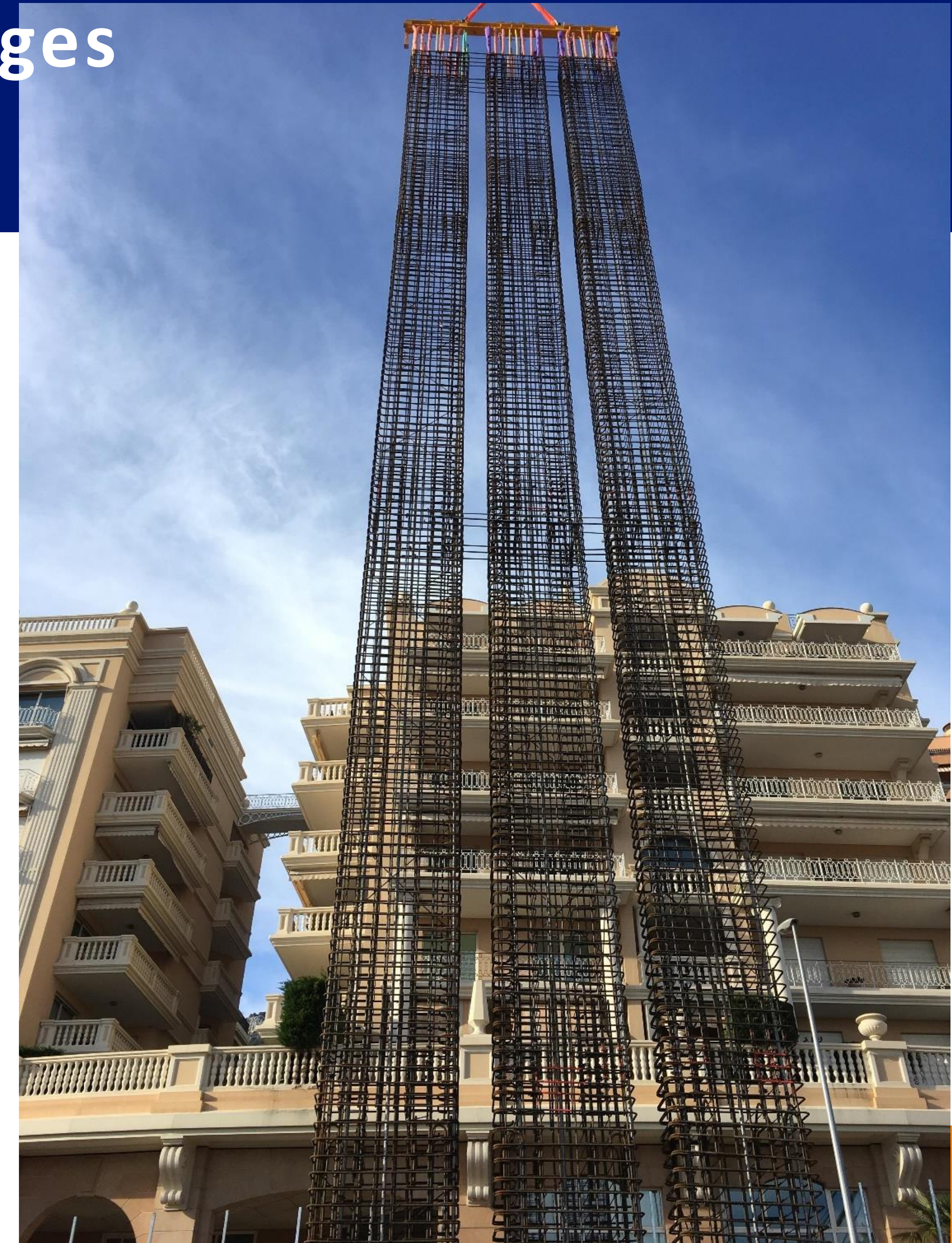
Liaisonnement des barrettes au fur et à mesure du terrassement



**Importance du phasage**



# Testimonio II: Liaisonnement des cages



SAINTE BARBE DES 4S – 04/12/2025  
OUVRAGES REMARQUABLES ET ÉVOLUTION DES PRATIQUES  
MONACO – LE GRIMALDI FORUM VS TESTIMONIO II



# Les études et méthodes de dimensionnement



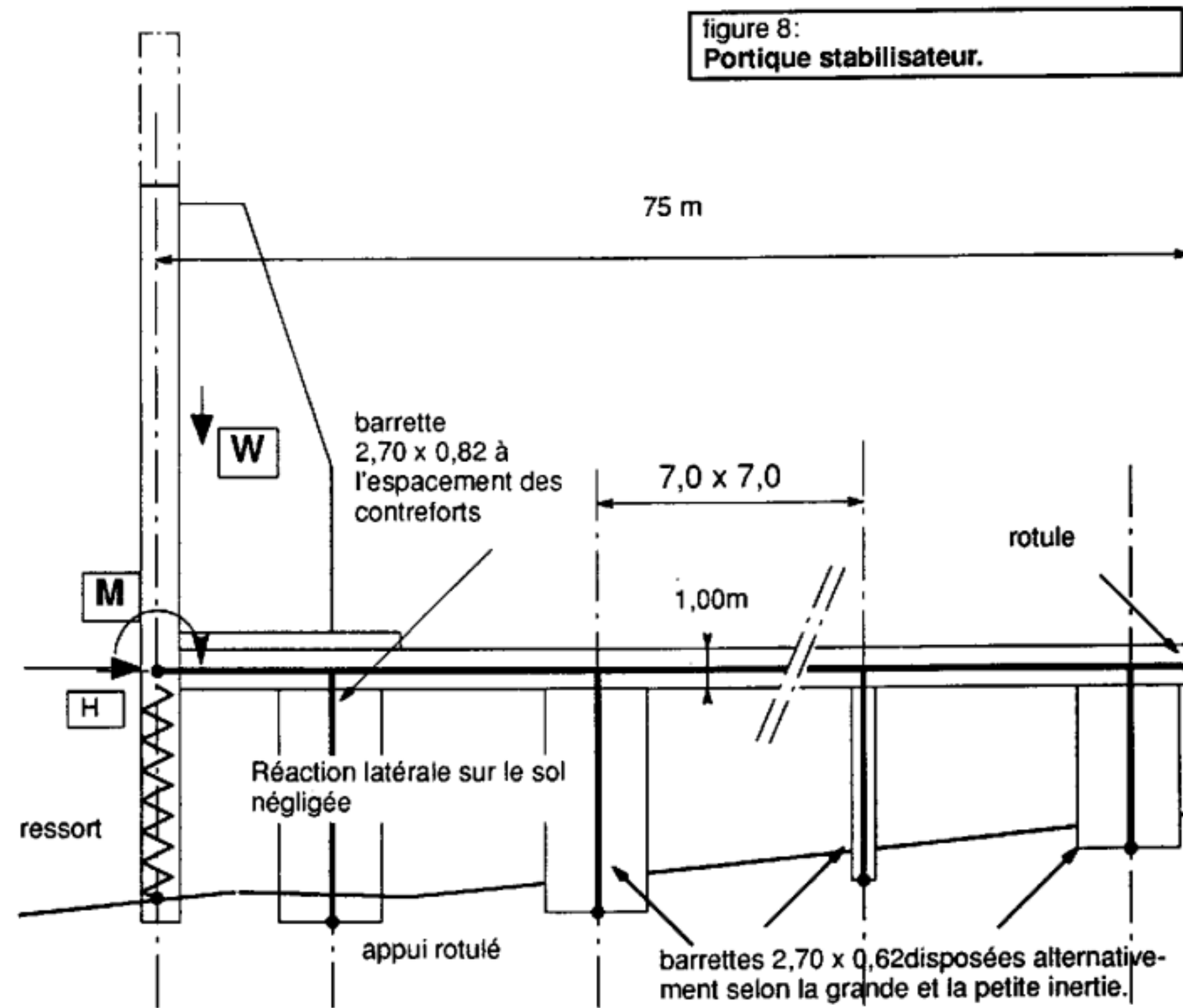
# Grimaldi Forum : Une structure complexe calculée avec des moyens simples

## Méthode au coefficient de réaction

- Écran de soutènement calculé avec modèle au coefficient réaction
- Modifications d'inertie correspondant au contrefort
- Appui radier modélisé par une matrice de rigidité

## Matrice de rigidité

- Modélisation en portique du radier et des barrettes
- Raideur en traction de la fiche de paroi
- Introduction de torseurs à la base des contreforts
- En adaptant le module de béton et les efforts d'origine à la situation (phase service normal ou séisme)





# Testimonio II: Des moyens de calcul adaptés aux enjeux

## Aspects géotechniques

- Évaluer les déplacements à l'arrière du socle
- Évaluer correctement la poussée à l'arrière (objectif de déplacement faible / masse de terres excavées) → poussée entre  $K_0$  et  $K_a$
- Raideur structure pas facile à appréhender



**Modèle 3D géotechnique phasé (BE Terrasol)**

## Aspects structure

- Évaluer correctement les efforts dans les panneaux de paroi et barrettes
- Inertie amont-aval évolue en fonction du phasage, avec le coulage des dalles à l'avancement et le liaisonnement progressif des barrettes

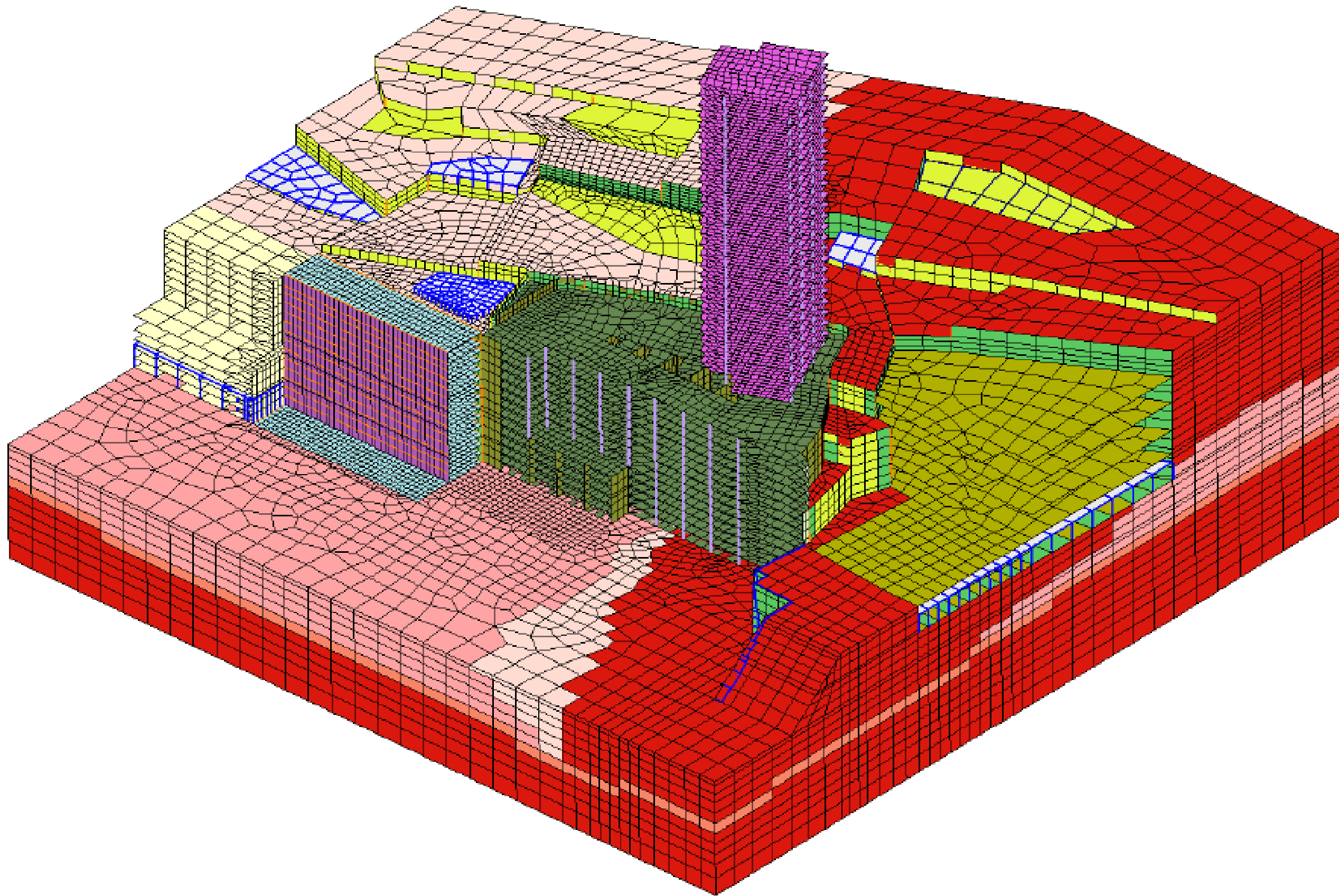


**Modèle 3D structure phasé (BE SENG)**

- Raideur du sol prise en compte
- Applications des poussées tirées du modèle géotechnique
- Joints entre panneaux



# Testimonio II: Des moyens de calcul adaptés aux enjeux



## Exploitation des modèles (en particulier modèle structure)

- **Avantage:** grosse optimisation du ferrailage
- **Inconvénient:** quasiment 1 plan / panneau de paroi moulée ou de barrettes..., soit 99 plans de cages d'armatures



# Un point commun notable: Les modifications de projet en cours de chantier!



# Grimaldi Forum : Arrêt de chantier de 1 an et refonte des besoins du client et du ballet de Monaco

## Approfondissement des FF

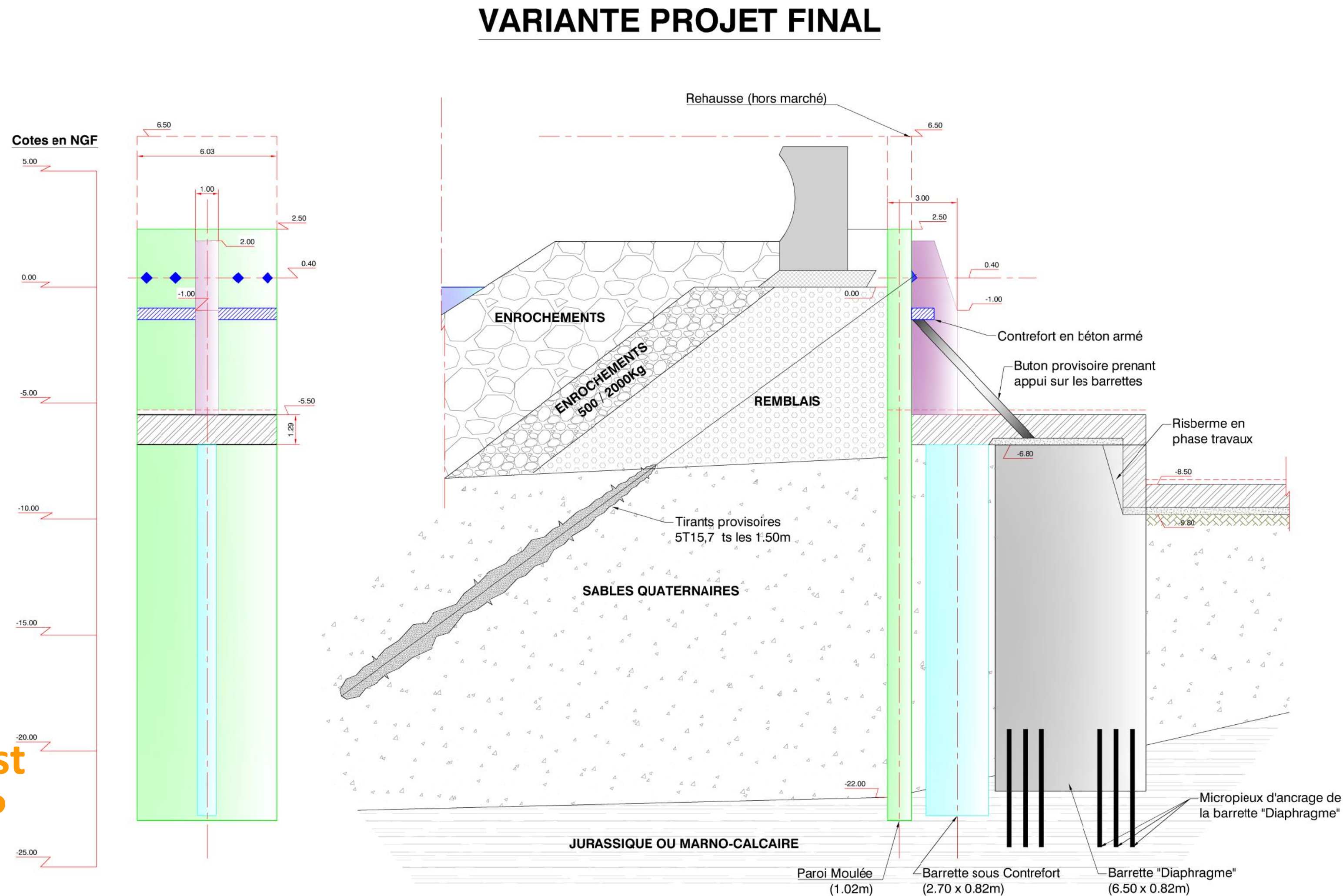
- 3 m au sud
- 9 m au Nord
- En essayant de maintenir les structures déjà construites

## Fonds injectés à refaire

## Impact sur les tirants!

- Protection tirants provisoires inadaptée pour une longue durée d'utilisation...
- Doublement des tirants à certains endroits, ou ajout de bracons
- Nouveaux tirants sous sas

➔ **Actuellement, l'usage à Monaco est de traiter tous les tirants en type P**

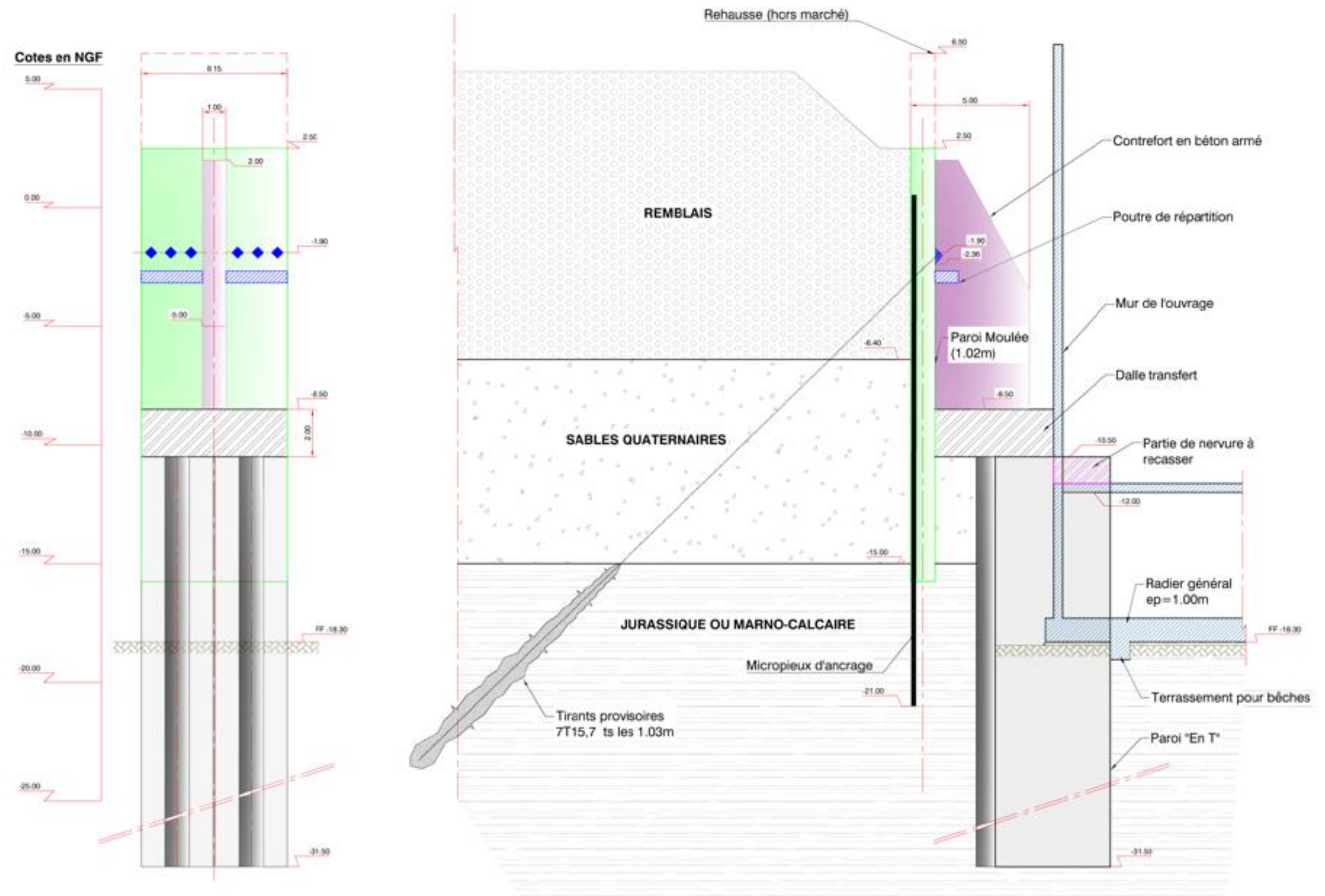




# Grimaldi Forum : Arrêt de chantier de 1 an et décision d'approfondissement des FF

## Zone Nord

- Parois en T sous le niveau de FF initial
- 2 tés / contrefort, ancrés dans le substratum
- Armés par des HA56!





# Grimaldi Forum: Fouille Nord après approfondissement



SAINTE BARBE DES 4S – 04/12/2025  
OUVRAGES REMARQUABLES ET ÉVOLUTION DES PRATIQUES  
MONACO – LE GRIMALDI FORUM VS TESTIMONIO II

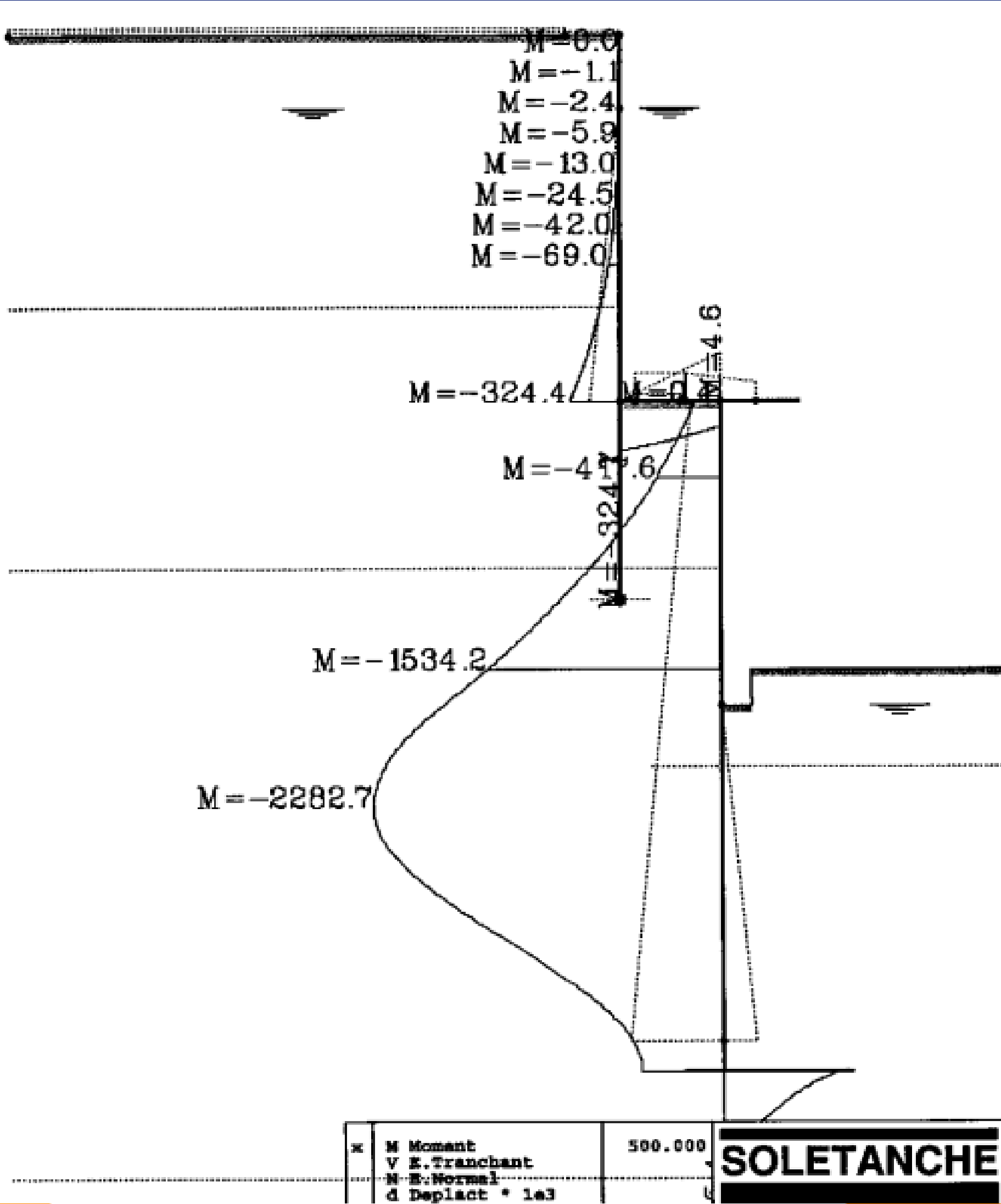


# Grimaldi Forum : modélisation de l'interaction entre paroi sup. et paroi inf. en Tés

## Développement de « PARIS »

- Coeff. de réaction
- Permet l'interaction entre élément poutres

➔ Évite de passer par une matrice de rigidité





# Testimonio II: Pas de modification du FF! Mais une anticipation des terrassements aval

## Accélération planning: anticipation des terrassements aval

- Talus de grande ampleur
- Réduction de butée devant les barrettes, alors que l'infrastructure n'est pas complète



**Analyses complémentaires**





# Testimonio II: Rehausse de la Tour

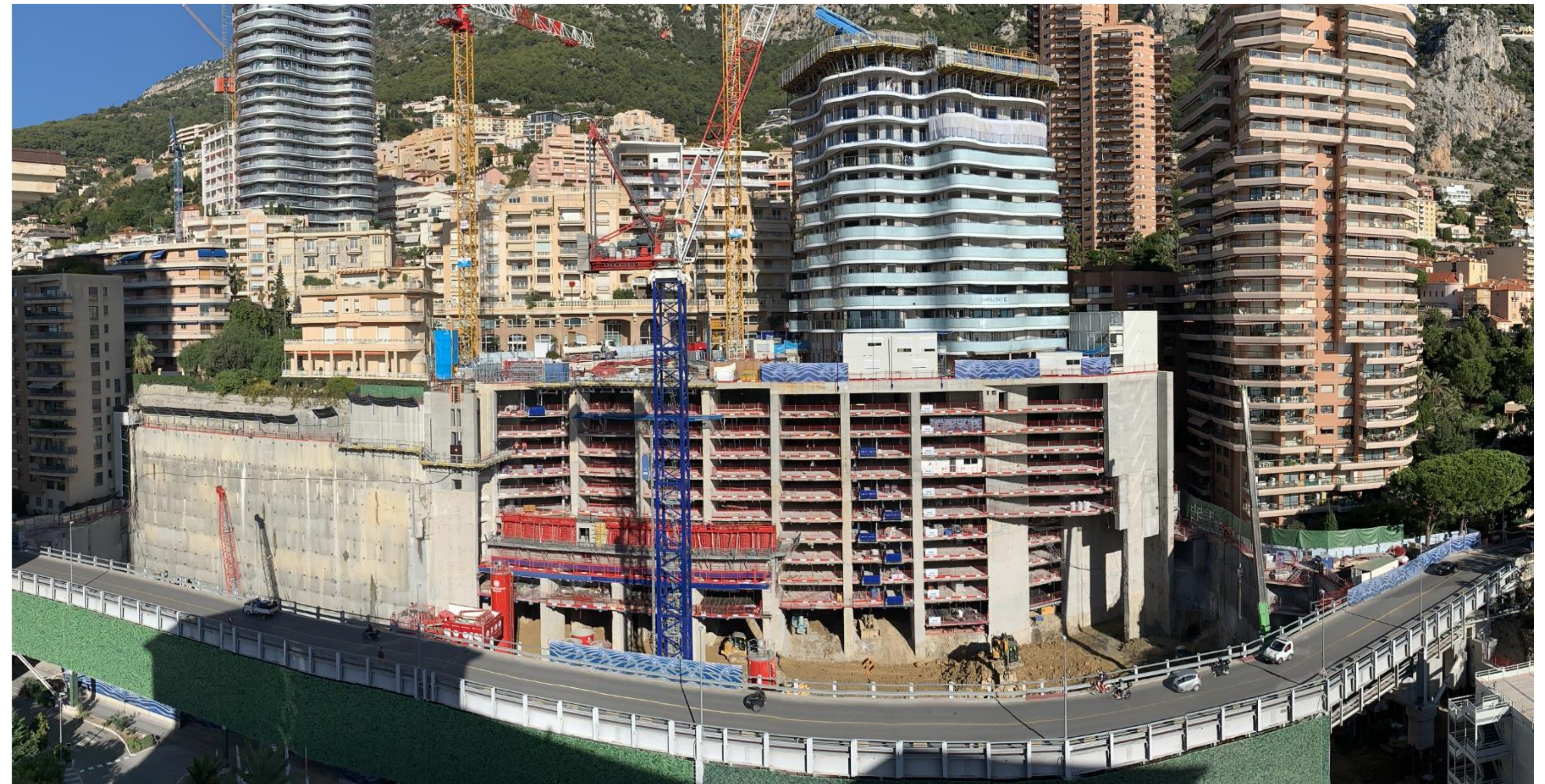
## Cerise sur le gâteau : ajout de 5 + 5 étages à la Tour n°2

- 1<sup>ère</sup> modification de la DDC avant réalisation des barrettes: vérification des contraintes béton dans les barrettes et ajout d'aciers comprimés (+ approfondissement barrette)
- 2<sup>ème</sup> modification de la DDC après réalisation des barrettes: ajout de micropieux localement depuis le FF + vérinage





# Testimonio II: Quelques photos





# Testimonio II: Quelques photos



SAINT BARBE DES 4S – 04/12/2025  
OUVRAGES REMARQUABLES ET ÉVOLUTION DES PRATIQUES  
MONACO – LE GRIMALDI FORUM VS TESTIMONIO II



# Testimonio II: Quelques photos



SAINT BARBE DES 4S – 04/12/2025  
OUVRAGES REMARQUABLES ET ÉVOLUTION DES PRATIQUES  
MONACO – LE GRIMALDI FORUM VS TESTIMONIO II



# Conclusion



# Deux ouvrages complexes où les problématiques géotechniques et structurelles sont imbriquées

## Imbrications fortes entre les problématiques géotechniques et structurelles

- Ouvrages de soutènements en appui sur des réseaux de barrettes et contreforts
- Importance du phasage de réalisation de la structure GC

## Des outils qui ont évolué

- Feuilles de calcul Excel sur le Grimaldi Forum, et logiciel au coeff. de réaction autorisant l'interaction entre poutres
- Modèles EF 3D géotechnique et structure sur Testimonio II, avec fortes optimisations de ferrailage à la clé

*Mais ce n'est pas la sophistication des outils qui rend possible la complexité des ouvrages, c'est bien l'audace et l'imagination des ingénieurs !*

## Et des projets qui réservent des surprises

- Modification des conceptions et phasages au fil de l'eau
- Et tous les aléas chantier dont je n'ai pas parlé...

*On peut exécuter tout ce qui se propose  
Surtout si le chemin est long du projet à la chose*

*(Molière revu et corrigé par un ingénieur des 4S)*