



cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Soirée en régions CFMS – Grenoble

Reconstruction d'un quai portuaire sinistré à Arles



09 OCTOBRE 2024

GRÉNERY SIMON

Sommaire de la présentation

I. Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

- Présentation générale du quai portuaire d'Arles
- Contexte géotechnique
- Recensement des désordres et causes du sinistre

II. Mission de maîtrise d'œuvre : étude de réparation du quai

- Les enjeux techniques de l'étude
- Modélisations aux éléments finis et résultats

III. Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

- Scénarios envisagés au stade de l'AVP et solutions retenues au PRO
- Comparatif des impacts pour les différentes solutions envisagées



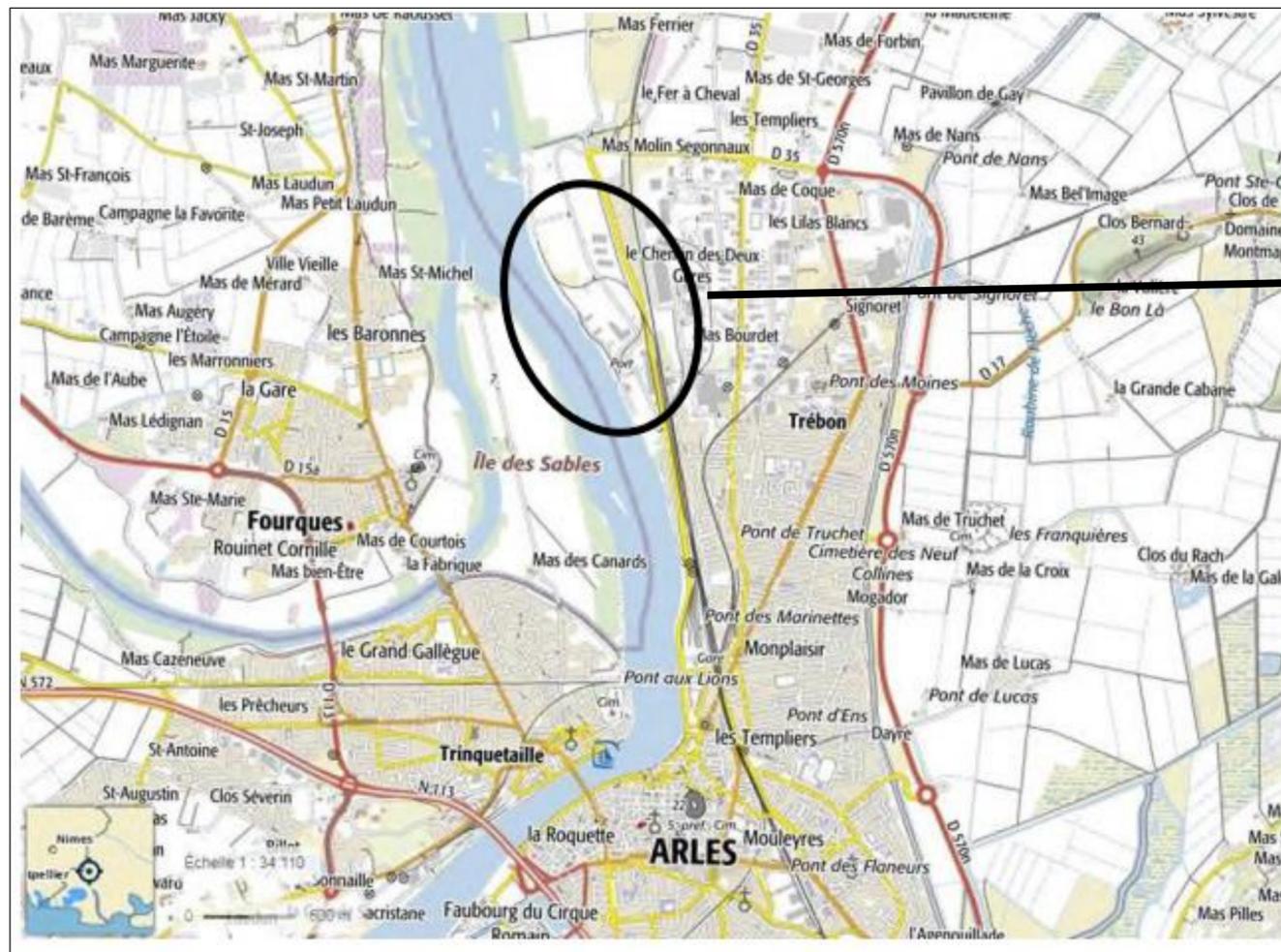
cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

I. Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

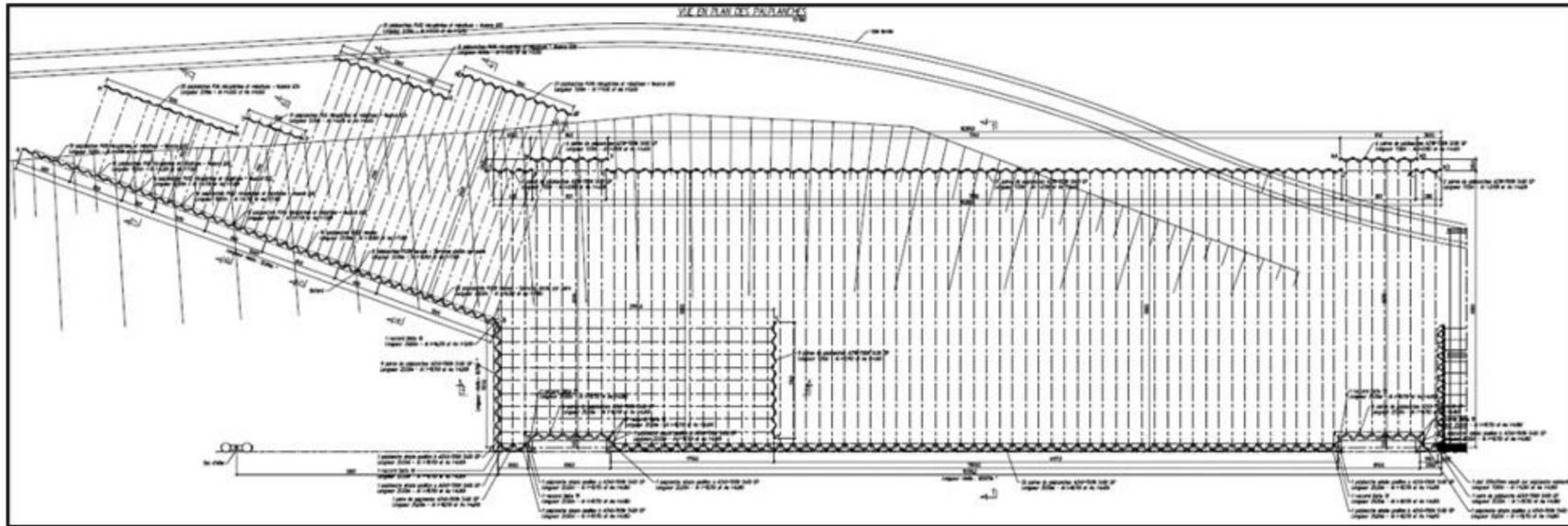
Présentation générale du quai portuaire d'Arles



- Localisé dans la zone d'activité au nord d'Arles
- Ouvrage portuaire en extension sur la rive gauche du Rhône

I. Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

Présentation générale du quai portuaire d'Arles



- Construction de l'extension du quai en 2012-2013 et mise en exploitation (CCI d'Arles) en 2014
- 100m de longueur, 30m de largeur et jusqu'à 12m de remblaiement / TN
- Rideaux de palplanches tirantés (1 seul niveau) avec contre-rideaux
- Rideau principal, profilé en palplanche (type Z) longueur de 15 à 25m
- Contre-rideau, profilé en palplanche (type U) longueur de 2.0 à 7.5m

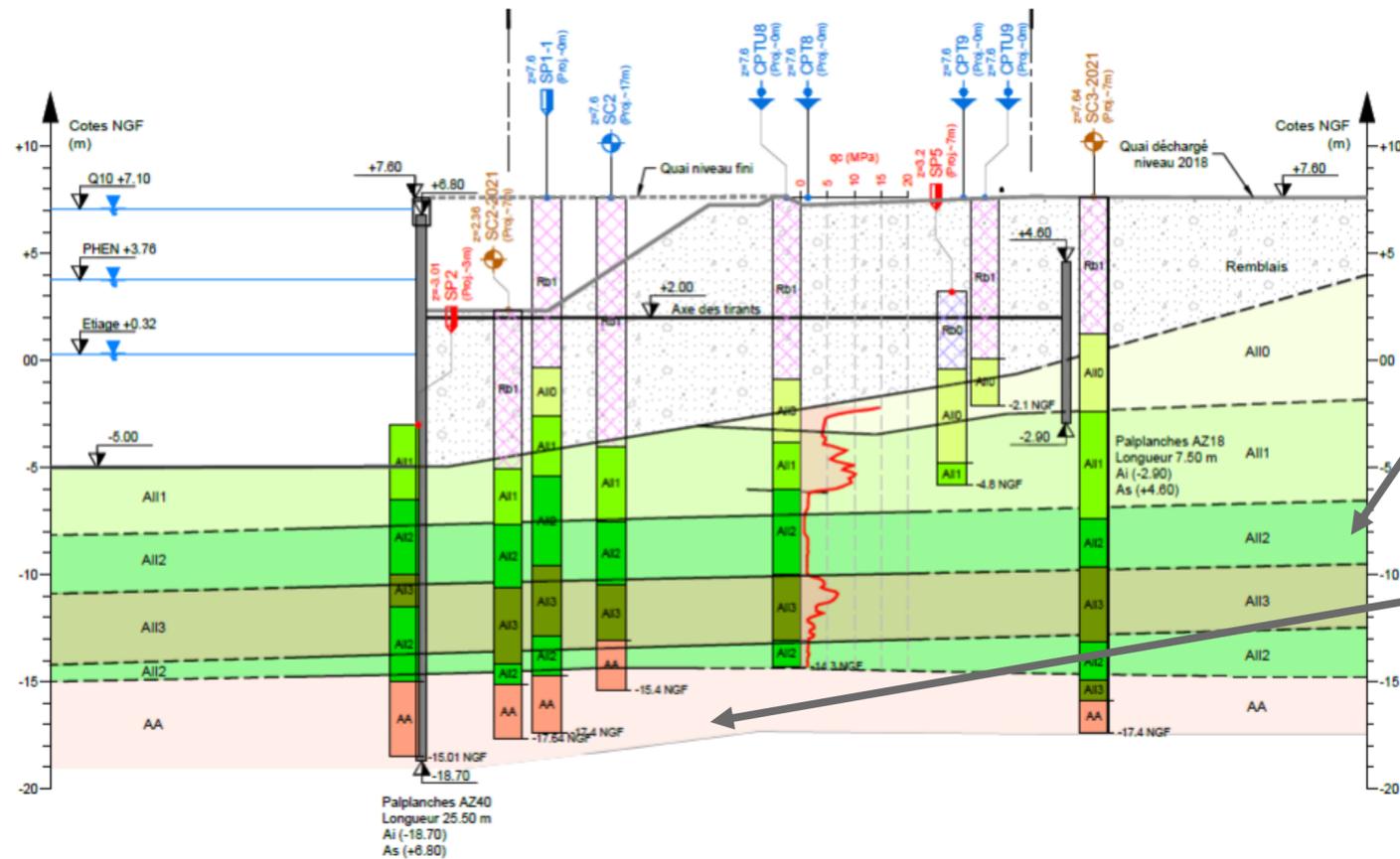
- 122 tirants espacés de 1.2m
- Diamètre variable des barres (43mm à 63mm)

I. Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

Contexte géotechnique

Alluvions du Rhône

- Dépôts récents de matériaux fins et compressibles sur environ 10 m d'épaisseur
- Alluvions grossières composées de sables et galets compacts



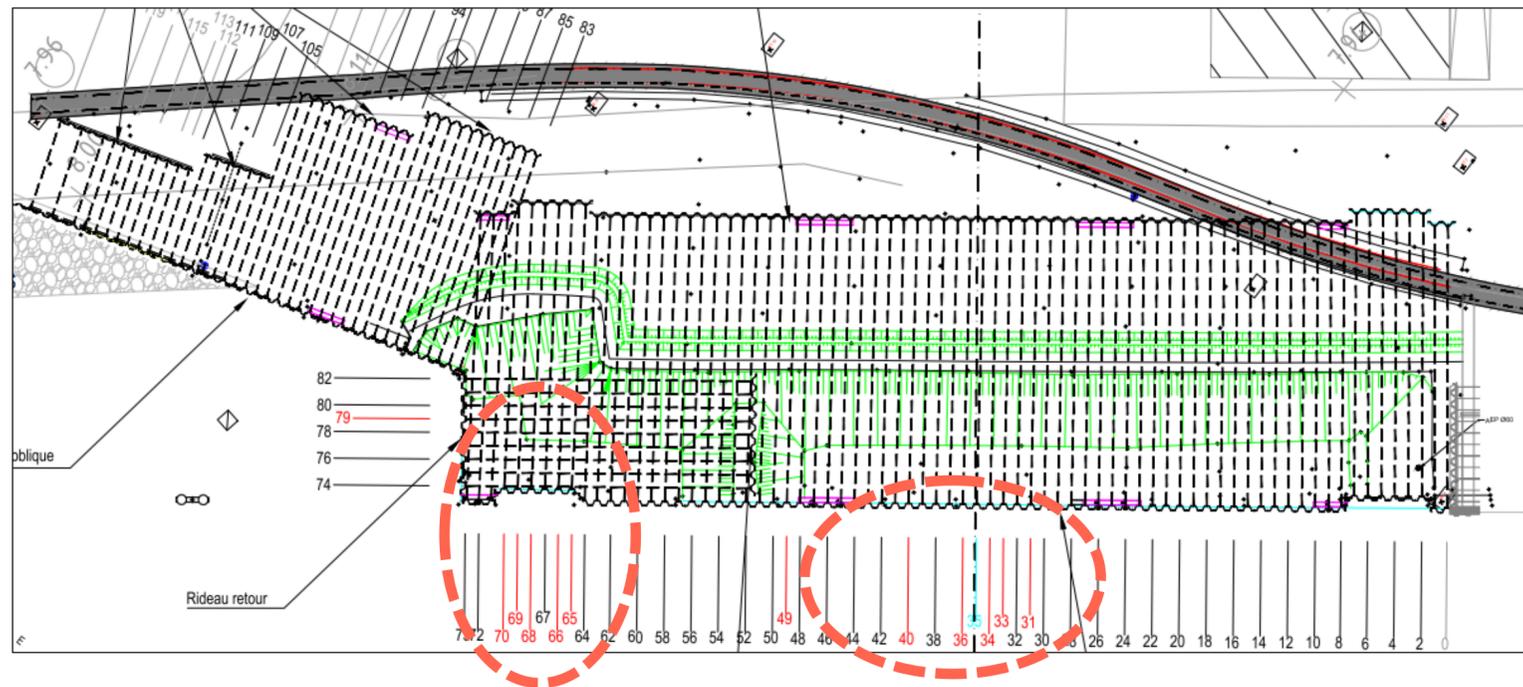
Argile sableuse avec présence de matériaux organiques



Alluvions anciennes : sables et graves

I. Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

Recensement des désordres et causes du sinistre



1^{ers} désordres constatés dès 2016, rupture de 9 tirants, puis en 2019 (5 nouvelles ruptures).

Fermeture au bout de 2 ans après sa mise en service



Rupture de 12 tirants, cisaillement au niveau des têtes de tirants (barre 63.5 mm de diamètre)

- Concentration des ruptures de tirants au niveau du rideau principal et du retour sur les zones les plus chargées
- Au niveau des intersections des tirants (zone de coin avec double contre-rideau)
- Au niveau des profils de palplanches type Z

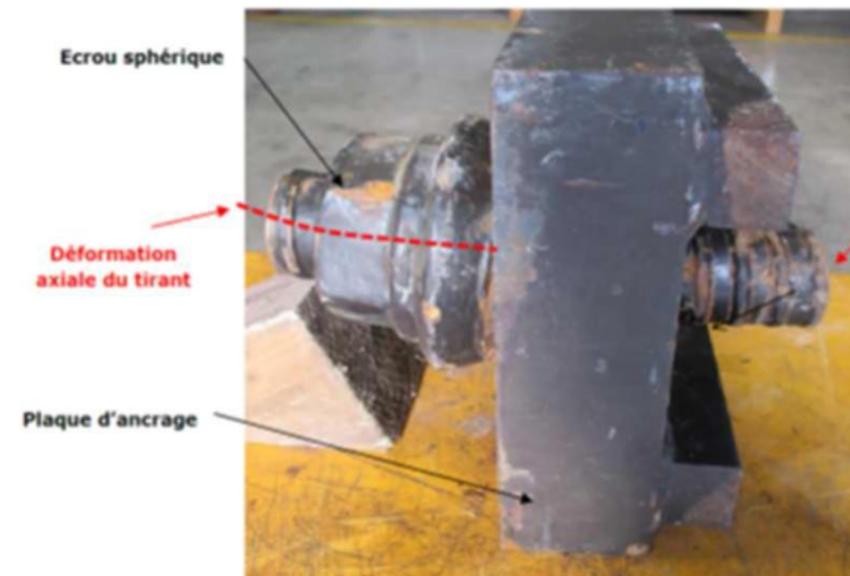
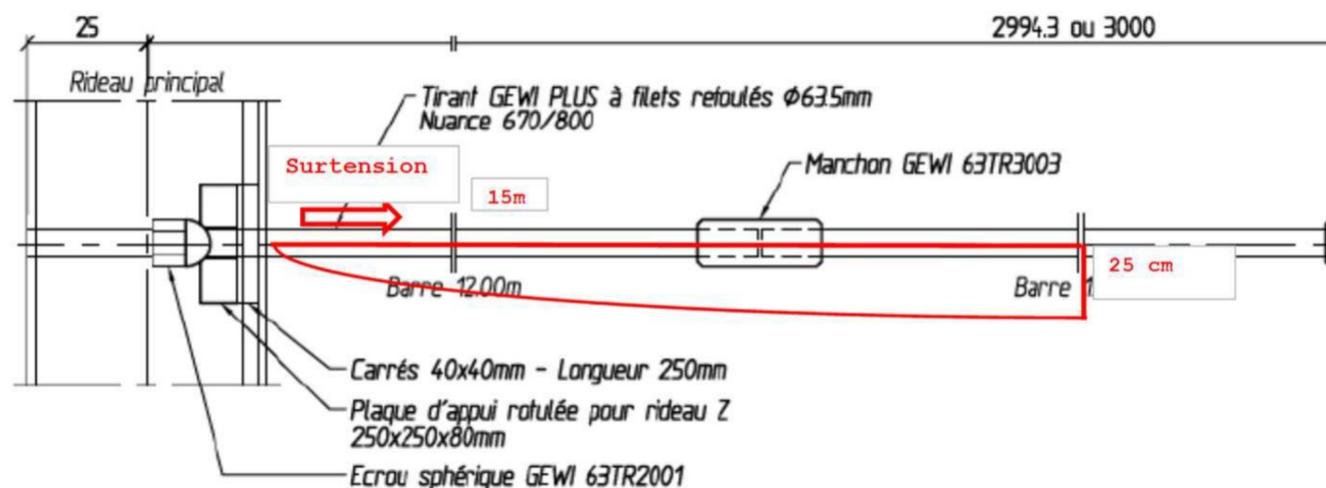
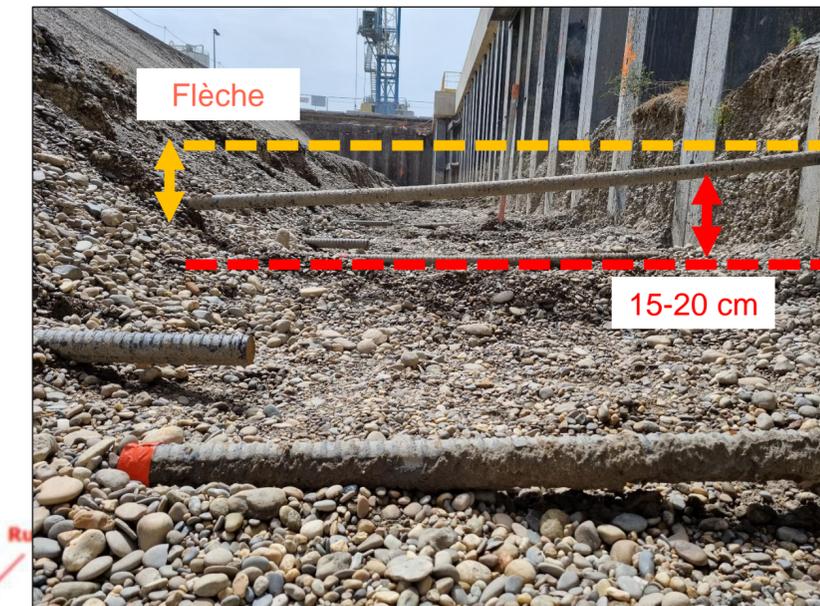
I. Présentation générale de l'ouvrage et les circonstances des désordres

Recensement des désordres et causes du sinistre

Déchargement du quai en 2019 pour limiter l'extension des désordres

Dégagement et inspection de quelques tirants rompus :

- **Décalage verticale de l'ordre de 15 à 20 cm de la tête des tirants rompus**
- **Estimation d'une flèche de 25-30 cm en milieu de remblai**
- **Flexion de la tête des tirants**





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Mission de maîtrise d'œuvre : études de réparation du quai

II. Mission de maîtrise d'œuvre : études de réparation du quai

Les enjeux techniques de l'étude

Remblaiement jusqu'à 12m de hauteur sur des matériaux très compressibles :

- Comportement horizontal : Dimensionner les soutènements vis-à-vis des déformations horizontales
- Appréhender les tassements de consolidation, liés à la géologie du site et aux durées d'application des chargements

Reproduction de l'historique de construction et d'exploitation du quai :

- Calculs phasés en consolidation pour reproduire l'historique de chargement de 2014 à 2019
- Reproduire la flèche mesurée sous les tirants lors de l'expertise en 2019

Définir les solutions de réparation et évaluer la pérennité sur 100 ans :

- Travaux de réparation : déchargement, dégagement des tirants, changement des tirants
- Justification de l'intégrité du quai en vue de sa remise en exploitation

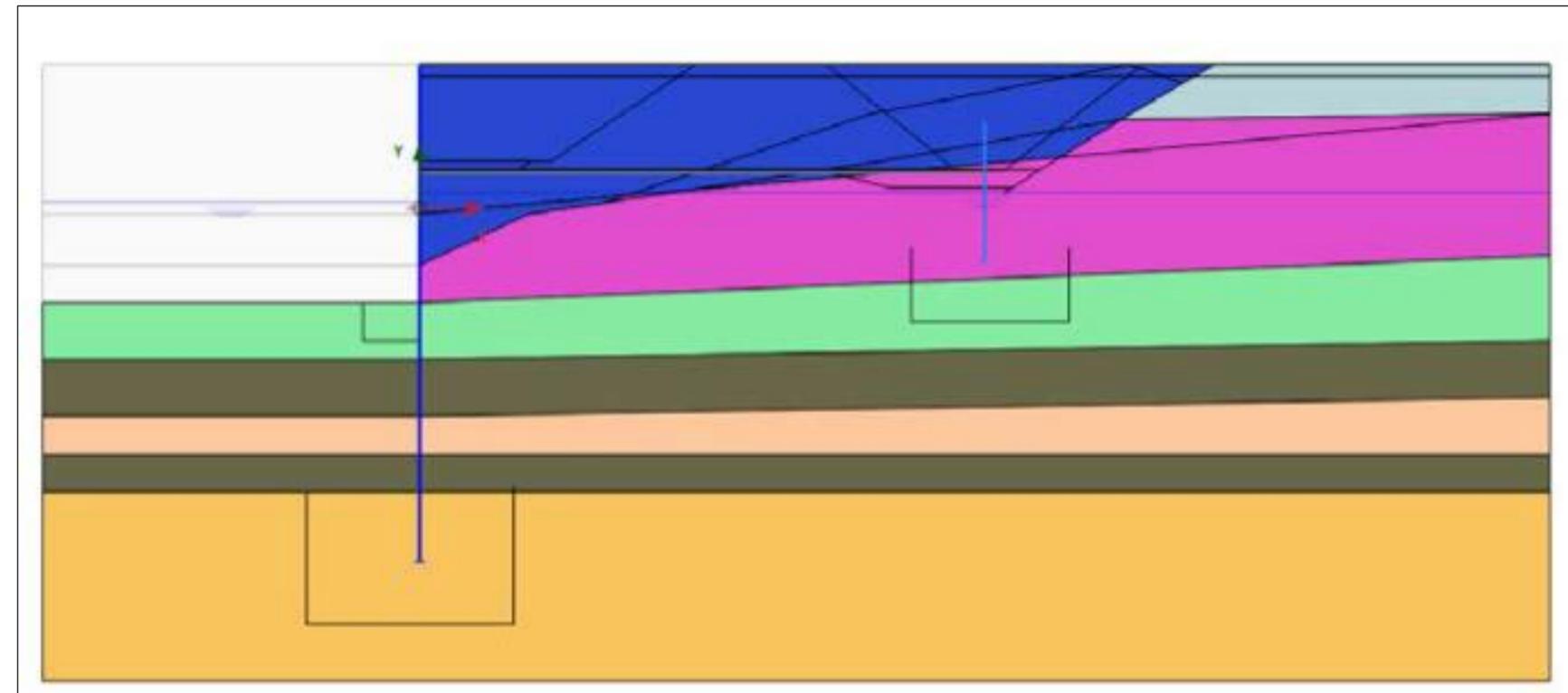
Recours à une modélisation aux éléments finis via des coupes 2D

II. Mission de maîtrise d'œuvre : études de réparation du quai

Modélisations aux éléments finis

Hypothèses de modélisation

- Utilisation d'une loi de comportement type **Hardening Soil Model (HSM)**
- Définition des **modules de déformation sur la base des essais œdométriques** issus des investigations complémentaires
- Calculs de consolidation phasés** : approximation de l'historique de chargement du quai et estimation des dissipations des pressions interstitielles

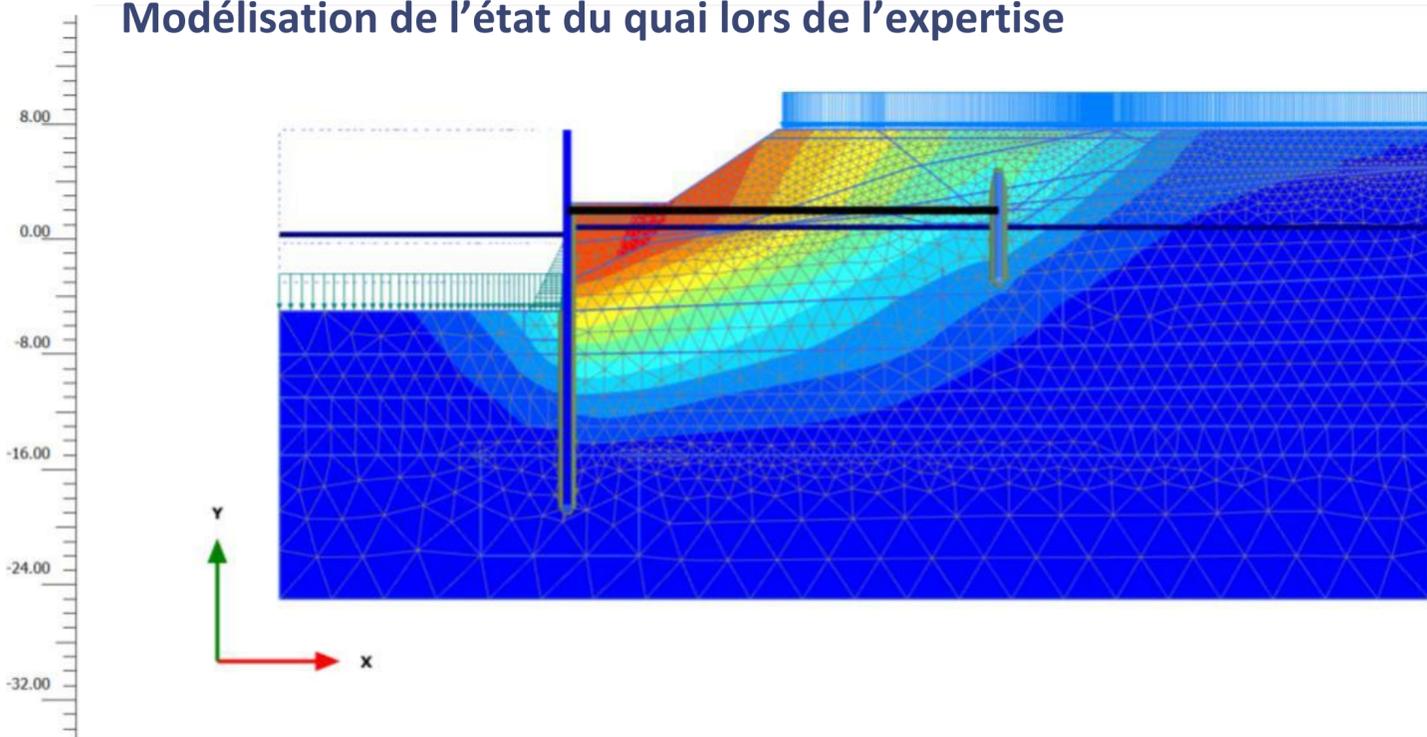


Coupe 2D – modélisations aux éléments finis (Plaxis 2D)

II. Mission de maîtrise d'œuvre : études de réparation du quai

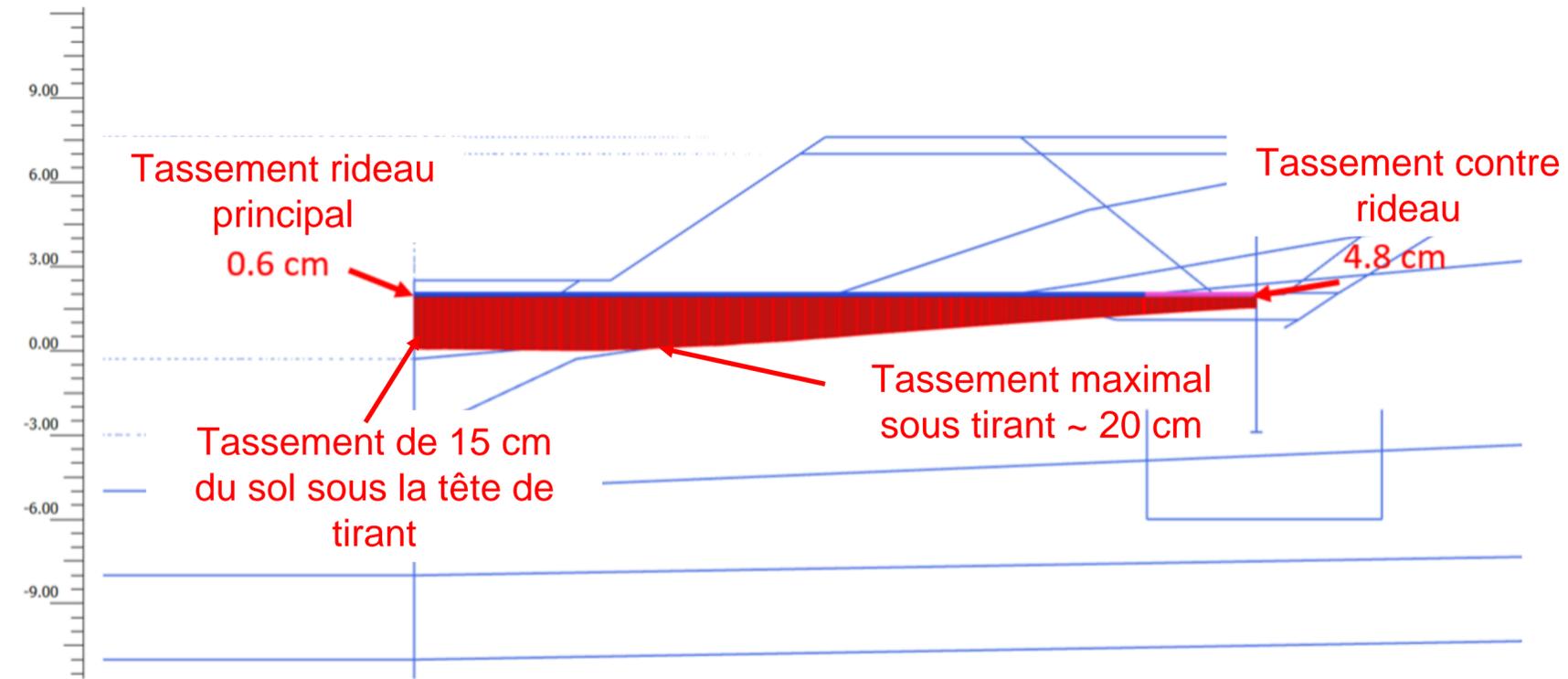
Modélisations aux éléments finis

Modélisation de l'état du quai lors de l'expertise



Total displacements $|u|$ (scaled up 10.0 times) (Time 2260 day)
Maximum value = 0.2221 m (Element 2262 at Node 33516)

Estimation des tassements absolus sous Plaxis – Avant réparation du quai



Total displacements u_y (scaled up 10.0 times) (Time 2260 day)
Maximum value = -0.04820 m
Minimum value = -0.1995 m

Estimation des tassements absolus subis par les tirants - Avant réparation du quai

Reproduction de l'état de déformation constaté lors de l'expertise

II. Mission de maîtrise d'œuvre : études de réparation du quai

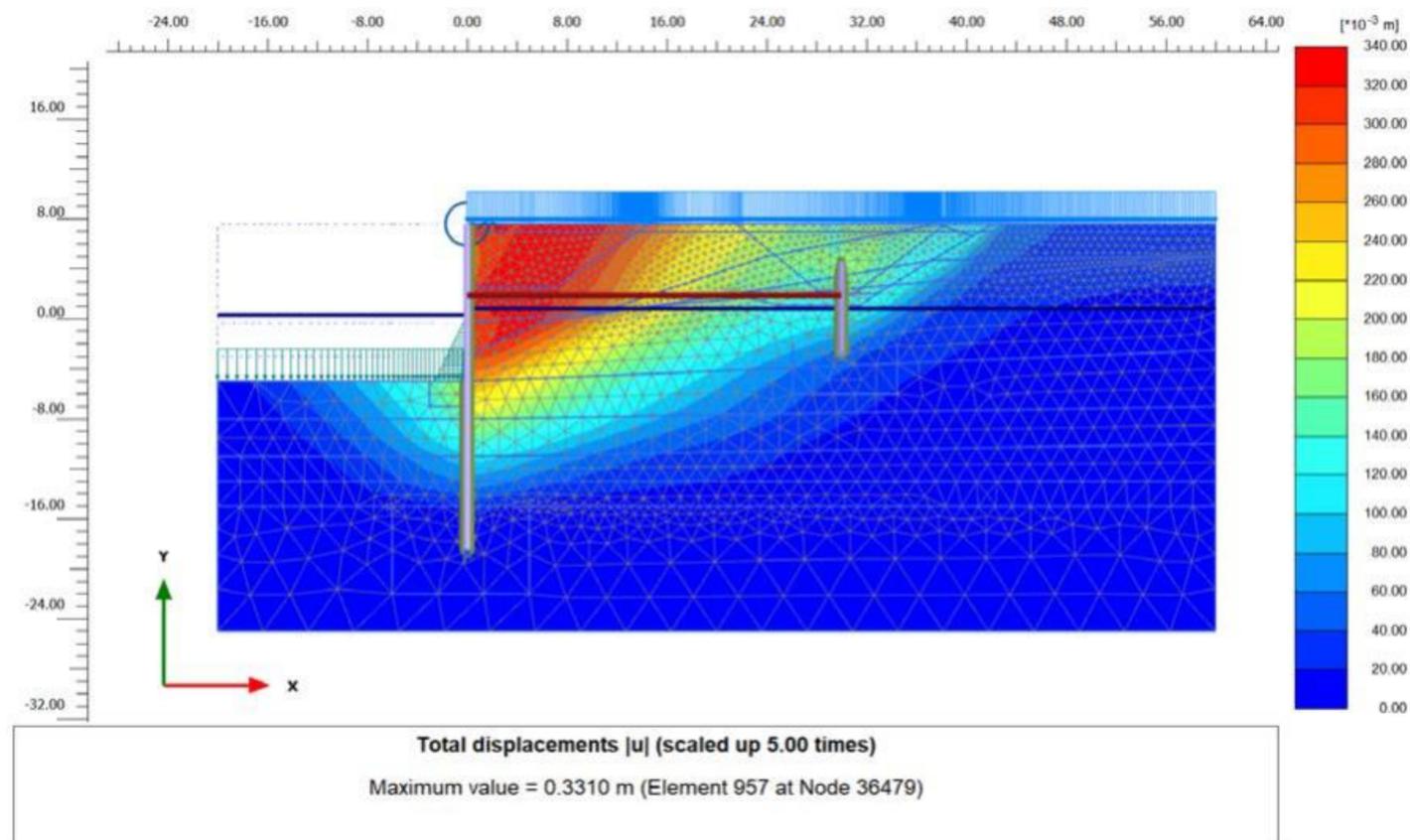
Modélisations aux éléments finis

Travaux de confortement:

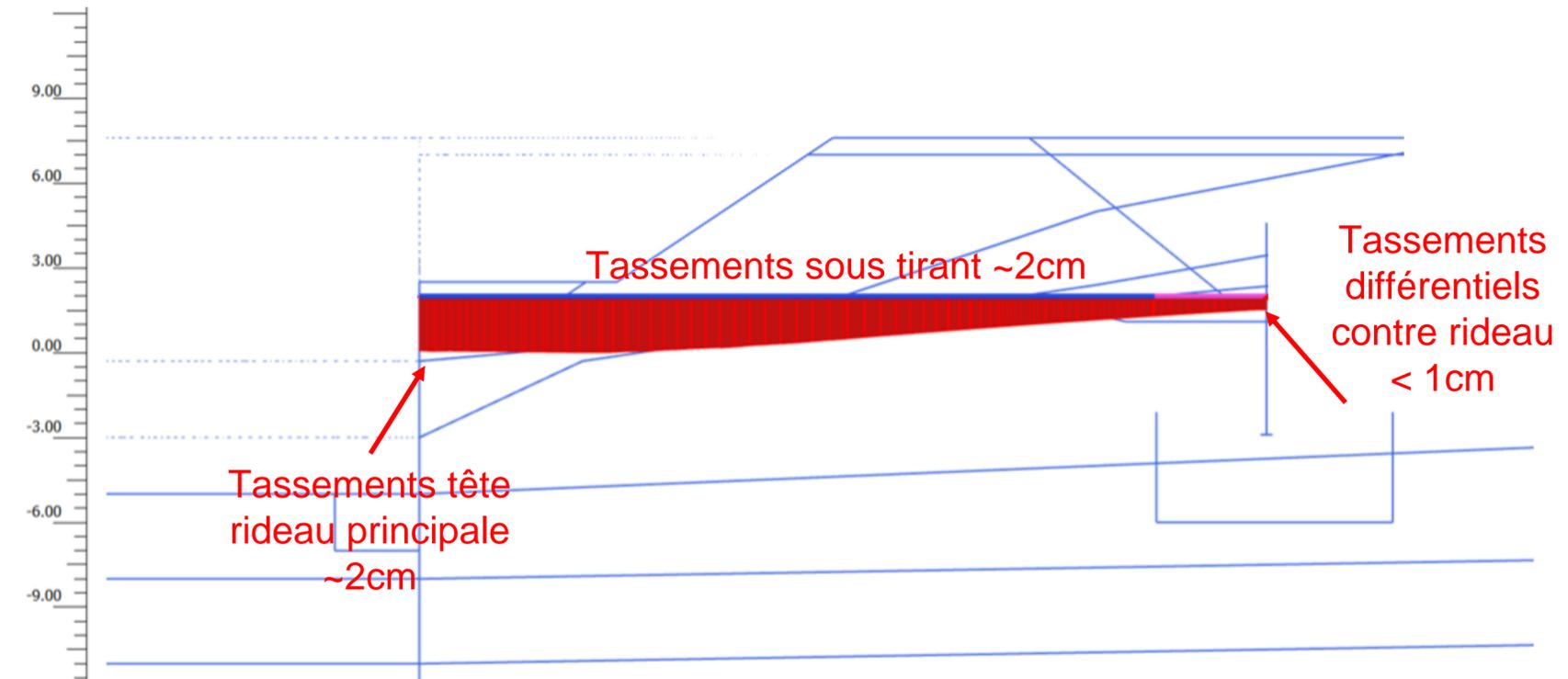
- Dégagement des tirants : terrassement supplémentaire de 50 cm
- Changement des tirants par pianotage à raison d'1 tirant sur 3, pour limiter le report d'effort dans les tirants adjacents
- Remblaiement et reconstruction du quai
- Vérifier l'intégrité structurelle à toutes phases des palplanches, tirants

II. Mission de maîtrise d'œuvre : études de réparation du quai

Modélisations aux éléments finis



Estimation des tassements absolus sous Plaxis – Après réparation du quai



Estimation des tassements absolus subis par les tirants - Après réparation du quai

Tassements absolus sous tirants modérés et tassements différentiels gérables avec des dispositions constructives.



cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

III. Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

Scénarios envisagés au stade de l'AVP et solutions retenues au PRO

A l'issue de la phase AVP, 3 scénarios sont envisagés :

- **Solution minimaliste** : pas de reconnaissance du contre-rideau, changement des barres sur 12m de long
- **Solution intermédiaire** : travaux de reconnaissance du contre-rideau, changement des barres sur 12m de long
- **Solution maximaliste** : Terrassement total du quai et changement des barres toutes longueur

Les calages des lois de comportement des modélisations aux éléments finis ont permis de :

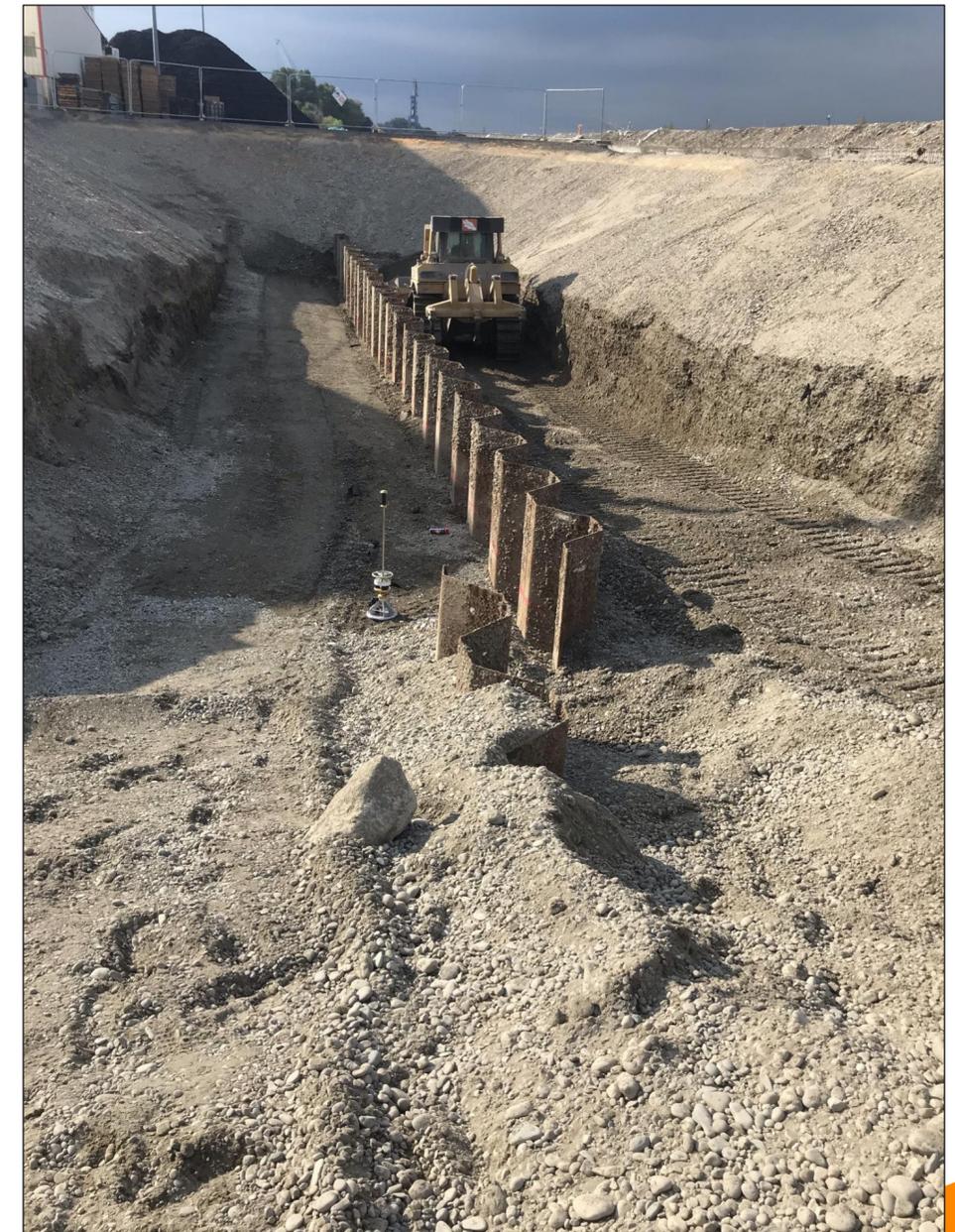
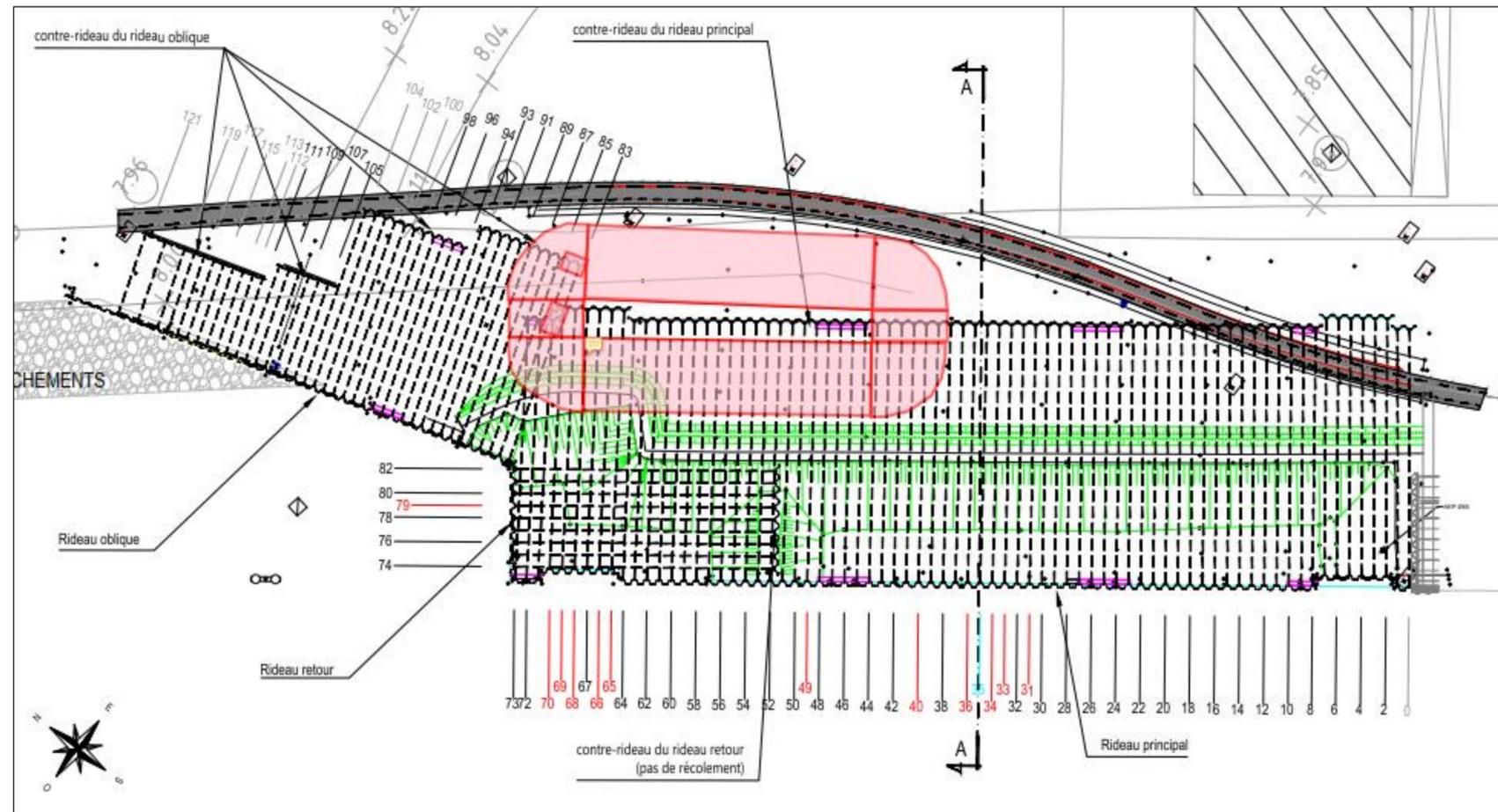
- Reproduire la flèche et les tassements différentiels mesurés lors de la mission d'expertise avec le dégagement des tirants côté rideau principal
- Absence de tassements différentiels significatifs au niveau du contre-rideau mais pas d'élément factuel pour infirmer / confirmer les résultats des modélisations
- Nombreuses incertitudes sur le dossier de recollement de l'ouvrage dû à de nombreuses malfaçons, incohérences documentaires

Dégagement du contre-rideau sur environ 30 ml et inspection des têtes de tirants pour valider les modélisations

III. Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

Scénarios envisagés au stade de l'AVP et solutions retenues au PRO

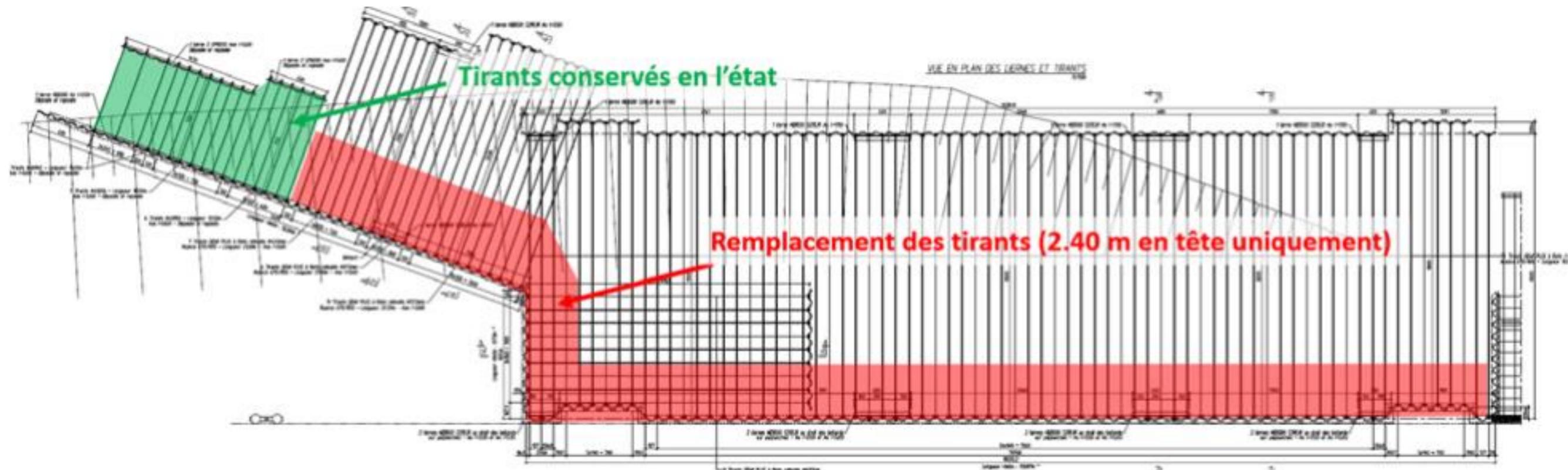
Dégagement du contre-rideau sur environ 30 ml et inspection des têtes de tirants pour valider les modélisations



III. Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

Scénarios envisagés au stade de l'AVP et solutions retenues au PRO

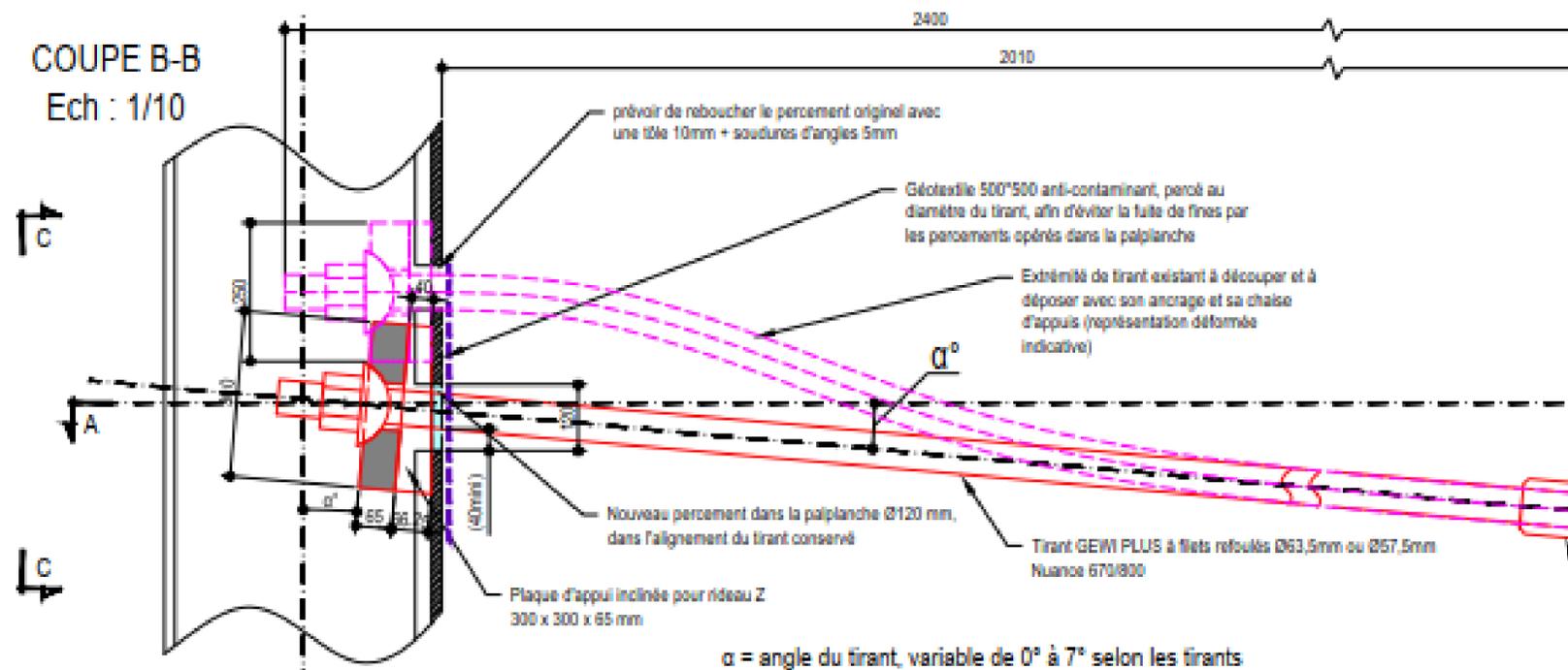
- **Solution intermédiaire** avec une optimisation des terrassements et du linéaire de barre de tirant à changer avec un remplacement uniquement de la **tête de tirant sur 2.4m de longueur**
- Evite la démolition de la voie ferrée lors des travaux de terrassement, assure la continuité d'exploitation des quais voisins



III. Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

Scénarios envisagés au stade de l'AVP et solutions retenues au PRO

- **Solution intermédiaire** avec une optimisation des terrassements et du linéaire de barre de tirant à changer avec un remplacement uniquement de la tête de tirant sur 2.4m de longueur
- Nouveau percement plus large et plaque d'appui inclinée par rapport au rideau
- Planche d'essai au préalable pour tester la possibilité du manchonnage sur les barres existantes



III. Solutions de confortement du quai et étude d'impact environnemental

Comparatif des impacts pour les différentes solutions envisagées

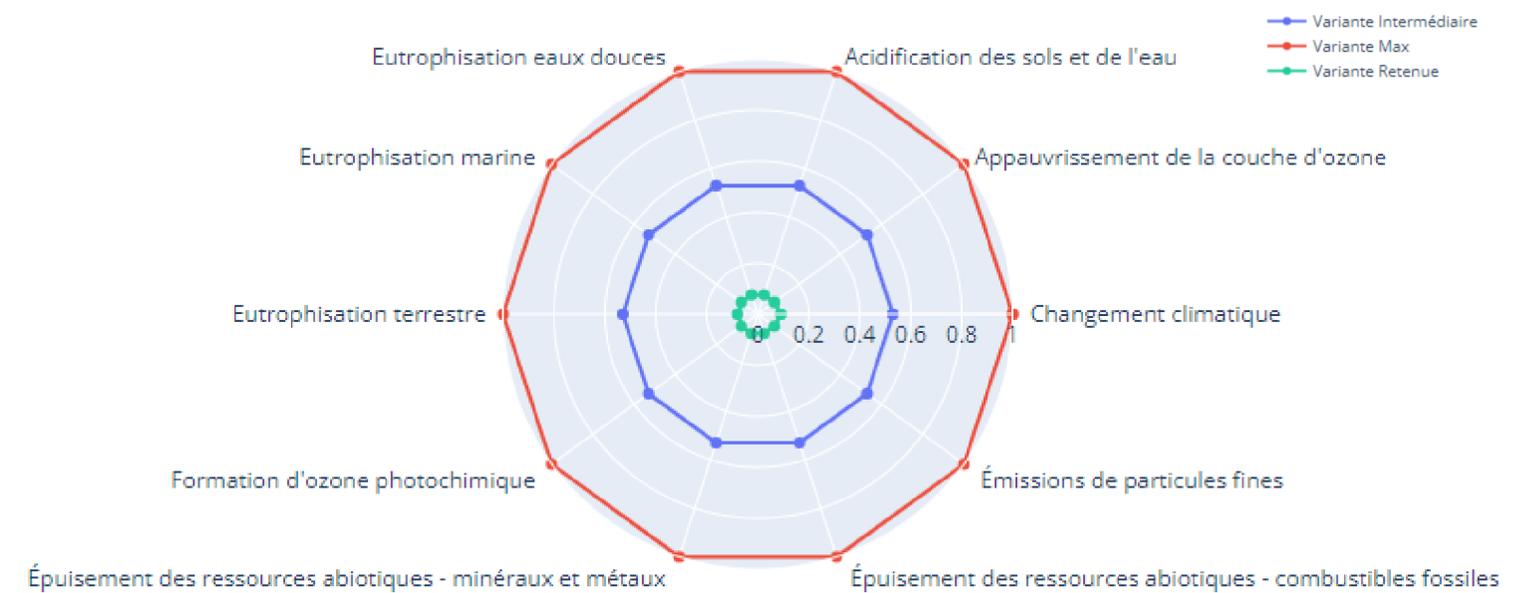
Etude d'impact des projets géotechniques grâce au module de calcul **Ecow**, en libre accès sur la plateforme en ligne **Orbow**

Emissions totales en t CO₂ eq



Estimation des émissions de CO₂

Nouvelle version Ecow.v2



Indicateurs environnementaux

Questions / réponses

Merci de votre attention !



A disposition pour répondre à vos questions

Sujet : « Approche performancielle appliquée au dimensionnement des fondations nouvelles et existantes »

➤ Réinterroger la base de données d'essais du LCPC (source principale de l'Eurocode 7)

Objectif : proposer de nouvelles approches calculatoires permettant d'augmenter le taux de travail des fondations:

➤ Intérêt pour les nouvelles fondations: optimisation (moins de matière = moins de carbone)

➤ Intérêt pour les fondations existantes : justifier la possibilité de réutilisation

