

MAÎTRISE D'OUVRAGE

**Voies Navigables de France
DT Rhône Saône**

2 rue de la Quarantaine
69321 Lyon



ETUDE SOMMAIRE ORGANISATION DU QUAI DE CHALON

MISSION :	ETUDE SOMMAIRE ORGANISATION DU QUAI DE CHALON
OUVRAGE :	QUAI SUD DE CHALON
VILLE :	CHALON-SUR-SAONE (71)
MAITRE D'OUVRAGE:	VOIES NAVIGABLES DE FRANCE
BUREAU D'ETUDES :	GROMA INGENIERIE

MO	AFFAIRE	PHASE	N° DOC	TYPE DOC	IND.	DATE
VNF	CHALON	ORG	001	ETU	A	15-11-24

Tableau des révisions

Version	Description	Etabli par	Date
0	Première édition	GROMA - MGI	07/10/2024
A	Modification suite à réunion du 22-10-2024 Chapitre 7 : Chaussée Lourde pour Reachstacker et §8.4 estimatif	GROMA - MGI	15/11/2024

Sommaire

1. Contexte de l'opération.....	5
1.1. Textes réglementaires	6
1.2. Documents remis pour l'étude	6
1.3. Plan de localisation	7
2. Description du quai	8
2.1. Dimensions principales :	8
2.2. Caractéristiques des palplanches et tirants du quai.....	9
2.3. Niveaux d'eau	10
2.4. Côtes terrain	10
2.5. Evaluation des capacités du quai.....	11
3. Poste colis lourds.....	12
3.1. Données d'entrées.....	12
3.2. Mode constructif du poste colis lourds	13
3.3. prédimensionnement	15
3.3.1. Descente de charge de la grue LTM1500 -8.1	16
3.3.2. Résultats	17
3.3.3. Portance	18
3.4. Conclusion.....	22
4. Renforcement global du quai par tirants	23
4.1. Données d'entrées.....	23
4.2. Mode constructif du renforcement global	24
4.3. prédimensionnement	26
4.4. Caractéristiques des palplanches du quai : rideau principal	27
4.5. Caractéristiques des palplanches du quai : rideau d'ancrage	35
4.6. Caractéristiques des tirants d'ancrages.....	41
4.7. Caractéristiques des tirants d'ancrages (Renforcement)	44
4.8. Caractéristiques du sol.....	45
4.9. Profils bathymétriques retenus	55
4.10. Calculs des modules de réaction élastiques horizontaux.....	57
4.10.1. Quai 1ère tranche (Nord)	57
4.10.2. Quai 2ème tranche (sud).....	60
4.11. Coefficients de poussées-butées.....	63
4.12. Exigences de calculs.....	63
5. Coupe de calculs.....	66
5.1. Coupe de calcul 1ere tranche (Nord).....	66
5.2. Coupe de calcul 2ème tranche (Sud)	68

5.3. Actions et charges d'exploitation	70
5.4. Descente de charge de la pelle Mantsinen 70.....	71
5.5. Descente de charge de la MHL370D/F	73
5.6. Descente de charge de la liebherr R954C EW	74
5.7. Nappe phréatique.....	76
6. PHAsage de calcul CAPACITE DU QUAI CHARGES SURFACIQUES et MANTSINEN 70.....	77
6.1. Palplanches et tirants neufs.....	77
6.2. Palplanches et tirants corrodés (age actuel = 50 ans)	78
6.3. Palplanches et tirants corrodés (age actuel + 50 ans = 100 ans).....	79
6.4. Quai tranche Nord - Résultats de calculs corrosion actuelle et après renforcement	80
6.5. Résultats de calculs corrosion actuelle + 50 ans : 100 ans	81
6.6. Conclusion capacité du quai tranche Nord.....	82
6.7. Résultats de calculs.....	84
6.8. Quai tranche SUD - Résultats de calculs corrosion actuelle	85
6.9. Résultats de calculs corrosion actuelle + 50 ans : 100 ans	86
6.10. Conclusion capacité du quai tranche Sud.....	87
6.11. Résultats de calculs.....	89
7. Chaussée lourde	90
8. Organisation du quai	91
8.1. Modification des zones actuelles.....	91
8.2. Estimatif du poste colis lourd	92
8.3. Estimatif renforcement global par tirants d'ancrage	92
8.4. Estimatif chaussée lourde pour conteneur et reachstacker.....	92
9. ANNEXE	93
9.1. Tranche Nord – Construction de Rankine.....	93
9.2. Tranche Sud– Construction de Rankine.....	94
9.3. Calculs des efforts dans les poutres de roulement avant (et arrière) (RDM6) LTM1500.....	95
9.4. Résultats RIDO Tranche nord.....	97
9.5. Résultats RIDO Tranche Sud	102
9.6. Configuration de levage avec 1 grue type LTM1500 et colis 170t.....	107
9.7. Configuration de levage avec 2 grues type LTM1500 et colis 280t	108
9.8. Plans.....	109

1. CONTEXTE DE L'OPERATION

La demande concerne l'étude sommaire de l'organisation du quai du port Sud de Chalon, afin d'apporter une aide à la décision sur l'amélioration du quai avec :

- un projet de poste à colis lourds
- un projet de renforcement global par tirants d'ancrages forés
- une nouvelle organisation du quai

Cette nouvelle organisation est notamment nécessaire pour le développement des industries lourdes et l'avenir des grands projets industriels Français, mais aussi pour sécuriser les opérations de levage sur le quai.

Le quai de Chalon a été réalisé dans les années 70, et présente des faiblesses structurelles suite, au changement des normes de calculs, à son utilisation pendant 50 ans, au vieillissement inéluctable ces 50 dernières années, et au vieillissement futur.

L'objectif est de conserver le quai existant de 410m de long en le spécialisant suivant des activités bien distinctes, avec un zonage adapté, avec des capacités de levage / manutention spécifiques, et des engins définis.

Ce rapport traite des sujets suivants :

- les chapitre 1 et 2 : descriptif actuel du quai
- le chapitre 3 : poste colis lourd
- Le chapitre 4 : renforcement global par tirants d'ancrage
- Le chapitre 5 et 6 : les calculs du renforcement global par tirants d'ancrage
les conclusions §6.6 et §6.10 sur le gain escompté par ce renforcement
- Le chapitre 7 : **L'organisation du quai et les coûts estimés**
- Le chapitre 8 : les annexes de résultats, **coupes et plans d'organisation.**

1.1. TEXTES REGLEMENTAIRES

- NF EN 1990 – Eurocode 0 – Base du calcul des structures
- NF EN 1991 – Eurocode 1 – Actions sur les structures
- NF EN 1993 – Eurocode 3 – Calcul des structures en acier
- NF EN 1993-5 Annexe nationale : EC3 partie 5 – pieux et palplanches
- NF EN 1997-1 – Eurocode 7 – Calcul géotechnique
- NF P94-282 – Calcul géotechnique ouvrage de soutènement - écrans
- NF P94-262 – Justifications des ouvrages géotechniques – Normes d’application nationale EC7

1.2. DOCUMENTS REMIS POUR L'ETUDE

- Plans :
 - Coupe type – Mur de quai (1^{ère} tranche) - *Origine Ministère de l'équipement 1976*
 - Plan d'implantation – Mur de quai (1^{ère} tranche) - *Origine Ministère de l'équipement 1976*
 - Elévation – vue en plan – Mur de quai (1^{ère} tranche) - *Origine Ministère de l'équipement 1976*
 - Cuirassement du mur de quai et divers échelles – Mur de quai (1^{ère} tranche) - *Origine Ministère de l'équipement 1976*
 - Coupe type – Mur de quai (2^{ème} tranche) - *Origine Ministère de l'équipement 1979*
 - Plan d'implantation – Mur de quai (2^{ème} tranche) - *Origine Ministère de l'équipement 1979*

Bathymétrie :

- Bathymétrie 2011 – Origine VNF
- Bathymétrie Octobre 2023 – Origine Bathys

Etudes géotechniques :

- ADI234101 - Quai du Port Sud de Chalon - Epervans (71) – indA 04/12/2023 –
- ADI234101 - Investigations géophysiques GPR - Epervans (71) – indA 09/02/2024

Autres documents :

- 1386_NT 01_Ind A_Tassements quai Châlon_01.07.2021.pdf – *Origine GEOS 2021*
- APP GC 0001 NT 12 001 A CHALON – *Origine SOFREN 2016*

Rapport sur les capacités du quai :

- APT_CHALON_DIAG_001_ETU_ind C_26-04-24 – Origine GROMA

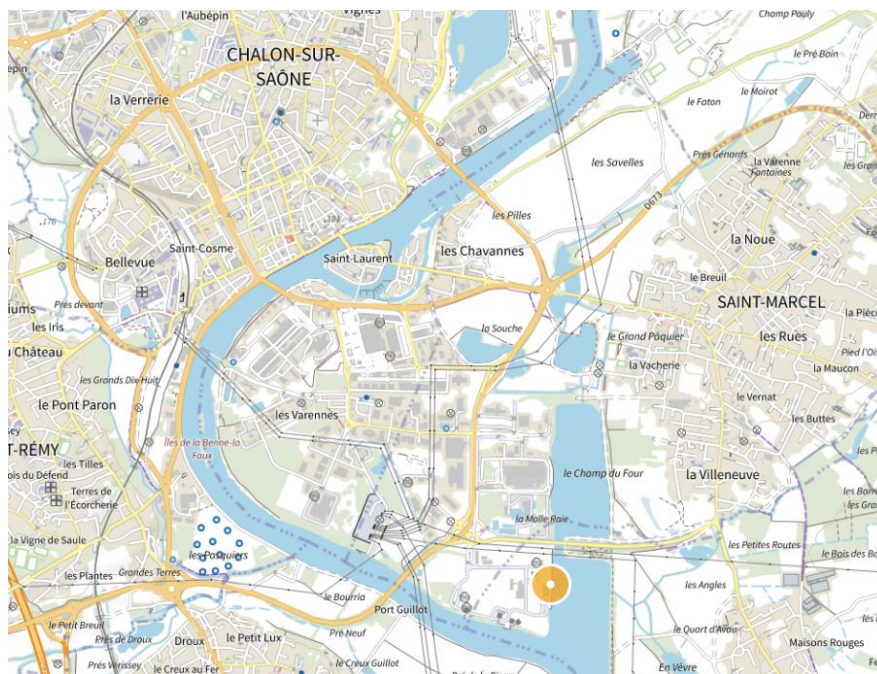
La bathymétrie est donnée dans le repère NGF normal.

Les niveaux renseignés dans le rapport seront tous recalés en NGF normal.

Sur le secteur géographique **NGF normal = NGF Orthométrique +0.28m**

1.3. PLAN DE LOCALISATION

Le quai est situé au Port Sud de Chalon-sur-Saône dans la Darse PK137 en rive gauche de la Saône à l'aval du Pont de Bresse situé au PK138.210.

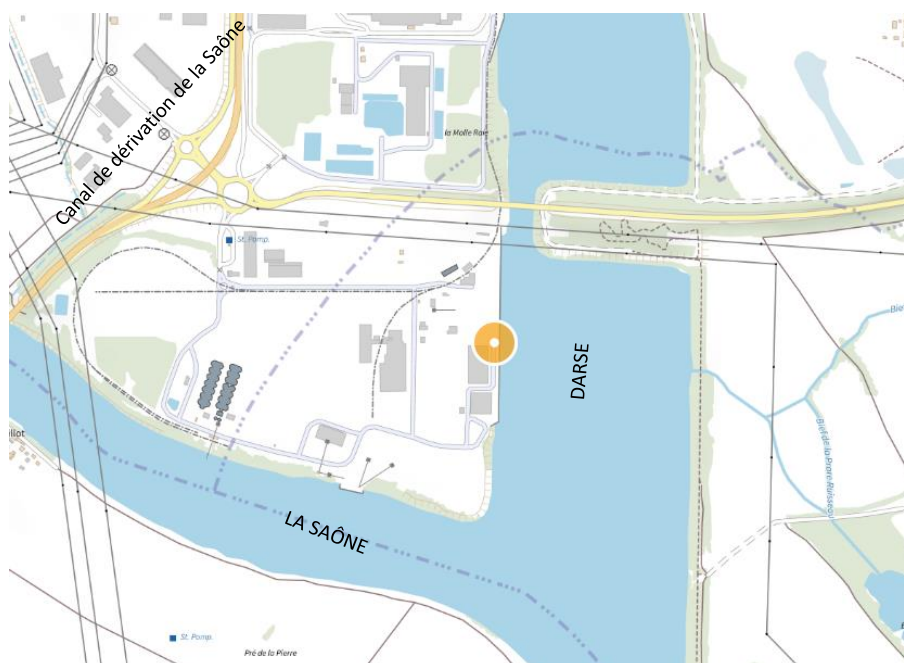


Plan de situation du quai – Source Géoportail

Coordonnées GPS :

Latitude : 46°45'30.97"N

Longitude : 4°52'39.50"E



Position du quai dans la darse

2. DESCRIPTION DU QUAÏ

Ces données s'appuient sur les documents communiqués complétés des vérifications faites dans les archives mises à disposition et directement sur site par mesures dans le cadre de l'inspection sur les parties accessibles lors de l'étude des capacités du quai précédemment réalisée.

2.1. DIMENSIONS PRINCIPALES :

Le quai de la zone portuaire Sud de Chalon sur Saône a été réalisé en 2 fois

- Une première partie en 1976, présentant une longueur de 230 m (partie se situant en amont de Darse, côté Nord), réalisée par la société EMCC.
- Une deuxième partie en 1979, présentant une longueur de 180 m (partie se situant en aval de darse, côté Sud (Extension en direction de la Saône)). Elle est raccordée à la première partie et prolonge celle-ci dans le même alignement, et réalisée par la société EMCC

Longueur du front d'accostage : 410 m

Longueur des murs en retours : 22.50 m à l'aval, et sans retour à l'amont (avancement de la berge)

Longueur du rideau d'ancrage (rideau arrière) : 410 + 22.50m

2.2. CARACTERISTIQUES DES PALPLANCHES ET TIRANTS DU QUAÏ

1^{er} tranche (côté Nord) :

Rideau principal :

- Type de palplanches : L3S – Fournisseur SIDELOR/Profil ARBED (ex ARCELOR)
- Nuance d'acier E32, soit équivalent nuance actuelle S320 GP
- Longueur des palplanches sur front d'accostage : 15.50 m

Rideau d'ancrage (arrière) :

- Type de palplanches : L3S – Fournisseur SIDELOR/Profil ARBED (ex ARCELOR)
- Nuance d'acier E32, soit équivalent nuance actuelle S320 GP
 - Longueur des palplanches 6.30m

Tirants :

Tirants à extrémités refoulées Ø60-75 longueur 15m, nuance non précisée E26.2, soit équivalent nuance A42 actuelle S240 espacés tous les 1 mètres (1 tirant par paire de palplanches).

2^{ème} tranche (côté Sud) :

Rideau principal :

- Type de palplanches : L3S – Fournisseur SIDELOR/Profil ARBED (ex ARCELOR)
- Nuance d'acier E32, soit équivalent nuance actuelle S320 GP
- Longueur des palplanches sur front d'accostage : 15.50 m

Rideau d'ancrage (arrière) :

- Type de palplanches : L3S – Fournisseur SIDELOR/Profil ARBED (ex ARCELOR)
- Nuance d'acier E32, soit équivalent nuance actuelle S320 GP
 - Longueur des palplanches 5.50m

Tirants :

Tirants à extrémités refoulées Ø60-75 longueur 15m, nuance non précisée E26.2, soit équivalent nuance A42 actuelle S240 espacés tous les 1 mètres (1 tirant par paire de palplanches).

2.3. NIVEAUX D'EAU

Niveau d'eau :

Plus hautes eaux connues estimées :

Crue centennale : 177.40 NGF

Crue décennale estimée : 176.60

Retenue normale : 172.07 NGF

Plus basse eau estimée : 171.57 NGF (RN – 0.50m) : cette côte est inférieure à la Retenue normale, ce qui suppose une défaillance des clapets du barrage de Ormes).

Ce n'est pas la situation la plus défavorable.

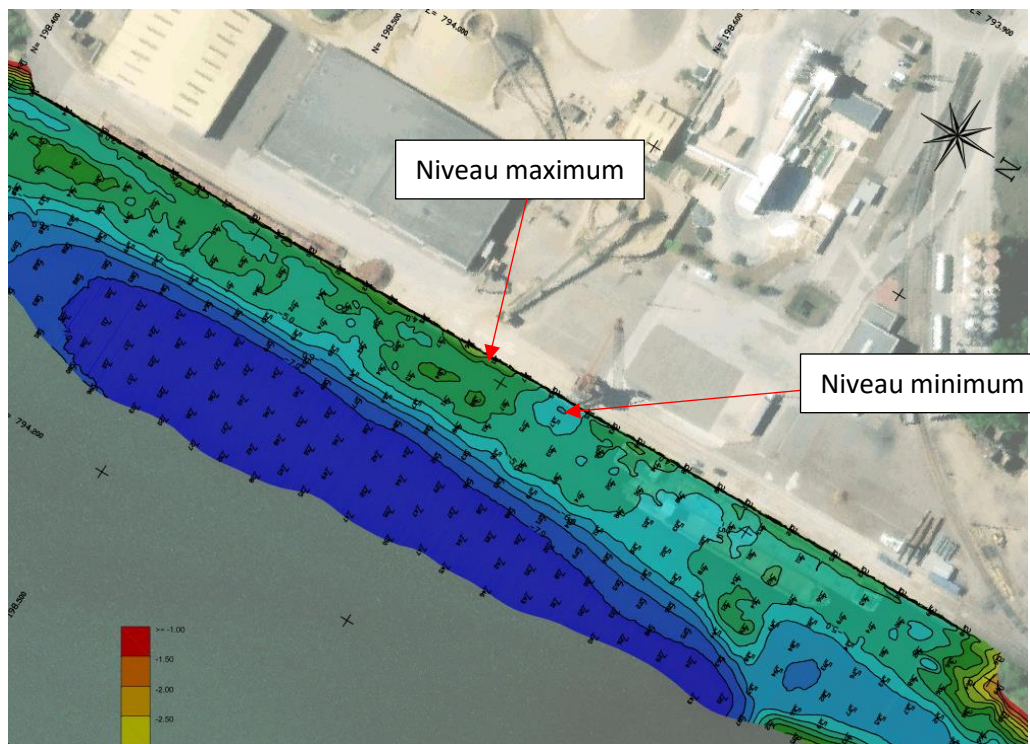
2.4. COTES TERRAIN

Niveau du quai : 177.30 NGF ortho + 0.27 = 177.57 NGF normal (poutre de couronnement)

Niveau des terrains devant les palplanches (côté eau) : 168.07 NGF (à la construction)

Niveau des terrains devant les palplanches (côté eau) : Bathymétrie BATHYS du 6 Octobre 2023 :

- 168.57NGF (-3.50m/RN) maximum : Envasement de 50cm par rapport aux côtes de terrassement lors de la construction, localisés en certains points et immédiatement devant le rideau de palplanches, (provoqué par le chargement de sable).
- Niveau courant 167.57 NGF (-4.50/RN) sur la majeure partie du linéaire : -0.50m par rapport à la côte calculée à la construction
- Niveau minimum 167.07 NGF (-5.00m/RN) localisé au droit de la grue sur la vue aérienne : - 1.00m par rapport à la côte calculée à la construction (sur-dragage localisé).



Extrait bathymétrie du 6 octobre 2023 réalisée par BATHYS.

2.5. EVALUATION DES CAPACITES DU QUAI

Le rapport APT_CHALON_DIAG_001_ETU_ind C_26-04-24 – Origine GROMA sur les capacités du quai Sud de Chalon précise :

Le quai pouvait accepter 5 tonnes/m² de charges réparties lors de sa réalisation.

La non-conformité sur le mouillage réel a entraîné une augmentation de la hauteur à soutenir. Cela se traduit par une diminution de la capacité du quai à 4t/m²

La Mantsinen 70 (ou MHL370) peuvent être positionnées avec un 1^{er} patin à 1.20m/rideau principal, sur la poutre de roulement derrière la poutre de couronnement.

L'incidence sur les résultats de calculs est faible par rapport à un 1^{er} patin à 2.00m/rideau principal.

La poutre de roulement, fondée superficiellement, peut apporter une meilleure diffusion des contraintes grâce à son épaisseur et sa rigidité.

Le rideau principal présente une non-conformité sur sa fiche suite à l'augmentation du mouillage par rapport au mouillage théorique suivant le règlement en vigueur.

Dans 50 ans, si la perte d'épaisseur par corrosion des palplanches du rideau principal suit la perte d'épaisseur réglementaire, les contraintes admissibles par les palplanches et les tirants seront proches des limites admissibles, le quai sera également déclassé à 3t/m².

Les investigations géotechniques, géophysique par géoradar et les carottages montrent que les remblais sont hétérogènes, et des sols dont les caractéristiques mécaniques varient d'une zone à l'autre.

Le quai pourrait également faire l'objet d'un renforcement localisé et dédié au levage par la mise en œuvre de pieux de fondation et poutres de roulement disposés sous les patins de grues ou pelles de fortes capacités, et reprenant les descentes de charges sans surcharger le quai en palplanches.

Cette adaptation permettrait de sécuriser l'usage d'engins lourds (notamment la Mantsinen 200), et de s'affranchir des variations de qualité de remblais sous dallage, tassement de dallage...

Les paragraphes suivants traiteront des projets suivants :

- Projet de création d'un poste colis lourd
- Confortement généralisé du quai par mise en place de tirants d'ancrages forés.

3. POSTE COLIS LOURDS

3.1. DONNEES D'ENTREES

Le projet de poste colis lourd répond à un besoin des levageurs de pouvoir charger et décharger depuis le quai Sud de Chalon.

Il s'inscrit également dans un besoin de sécuriser une zone du quai qui serait également dédiée aux transports de conteneurs.

Le caractère récurrent du transport des conteneurs et sporadique mais planifié pour le transport de colis lourd permet de mutualiser l'installation.

Les sociétés de levage ont été sollicitées afin d'établir le type de colis rencontré actuellement et prévisible dans le futur par rapport à l'activité économique et leurs liens étroits avec les sites industriels majeurs du secteur.

Type de colis envisagé :

- Colis jusqu'à 170t, pouvant être levé avec 1 grue mobile type LTM1500
- Colis jusqu'à 280t, pouvant être levé avec 2 grues mobiles type LTM1500

La présente étude s'appuie sur les caractéristiques de ces grues et notamment les descentes de charges et entraxes patins.

Des grues ou engins de levages de caractéristiques équivalentes ou inférieures sont également acceptables.

Dans la situation où un colis de 170t doit être levé, avec 1 grue, il sera considéré une longueur de 25m de poste colis lourd (en linéaire de bord à quai).

Dans la situation où un colis de 280t doit être levé, avec 2 grues, la taille du colis, l'espacement entre les grues, et la longueur des grues conduit à considérer une longueur de 45m de poste colis lourd (en linéaire de bord à quai).

Les configurations de levage sont données en annexe

3.2. MODE CONSTRUCTIF DU POSTE COLIS LOURDS

A cause des capacités du quai existant non compatibles avec le levage de colis lourd, le nouvel ouvrage de poste colis lourd nécessite une structure indépendante/complémentaire au quai.

Le quai existant assurerait sa fonction première de permettre aux bateaux de se rapprocher de la berge en offrant le mouillage nécessaire et suffisant.

Le poste colis lourd serait un dispositif fondé sur pieux au sein du quai et permettant aux descentes de charges des patins de grues de mobiliser le sol par effet de pointe et par frottement sol/pieux sans apporter de surcharge supplémentaire au quai existant.

Cette solution permet également de conserver le quai existant sans modifier sa magistrale d'accostage et donc les alignements des bateaux s'amarrant le long du quai.

Le quai garderait le linéaire total de bord à voie d'eau disponible, ce qui répond également au besoin général d'organisation du quai.

Le poste colis lourd serait donc constitué de :

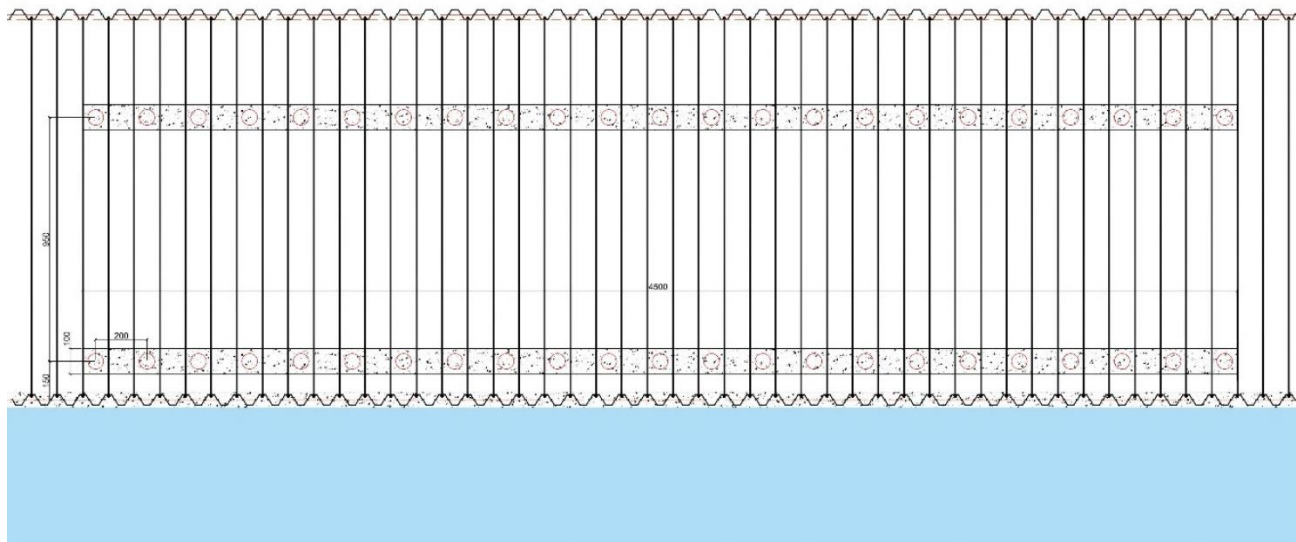
- 2 lignes de pieux métalliques de diamètre ~600mm vibrofoncés et battus dans le sol espacés tous les 2.00 mètres (entre les tirants existants espacés tous les 1m).
La première ligne étant située à environ 1.50m de l'axe du rideau de palplanches
La deuxième ligne étant située à environ 11.00m de l'axe du rideau de palplanches (et 9.50m de la 1^{ère} ligne = entraxe patin grue).
- 2 poutres de roulement en béton armé surmontant chaque ligne de pieux, de hauteur 1.20m, de largeur 1.00m.
- Un nouveau revêtement suite aux terrassements nécessaires pour vérifier le bon positionnement des pieux métalliques entre tirants.

Le linéaire du poste colis lourd serait à adapter suivant la limite de tonnage fixée sur les colis :

- Colis max = 170t : 25m (2 poutres de 25m, et 26 pieux métalliques)
- Colis max = 280t : 45m (2 poutres de 45m, et 46 pieux métalliques)

VUE EN PLAN QUAI - PROJET POSTE COLIS LOURDS

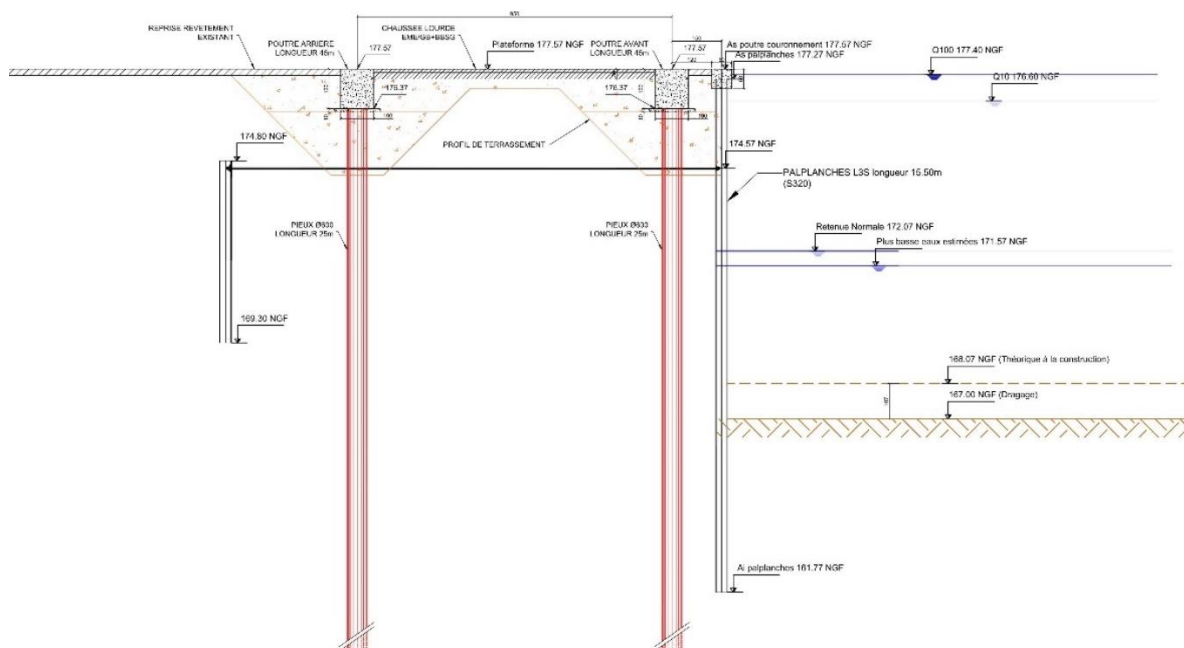
ECHELLE 1/125



Vue en Plan Poste colis lourds (plan en annexe)

COUPE QUAI - PROJET POSTE COLIS LOURDS

ECHELLE 1/100



Vue en coupe Poste colis lourds (plan en annexe)

3.3. PREDIMENSIONNEMENT

Limite de l'étude :

Le prédimensionnement suivant permet de valider le mode constructif du Poste colis lourds.

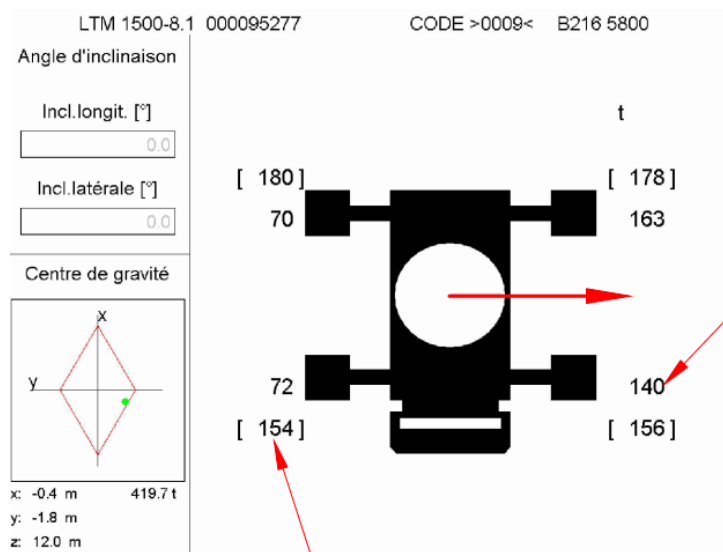
En l'absence d'investigations des sols en profondeurs, il ne permet pas de statuer sur la longueur, diamètres et épaisseurs définitives des pieux.

Les hypothèses de sols retenus par la suite sont des hypothèses de « sol normal ».

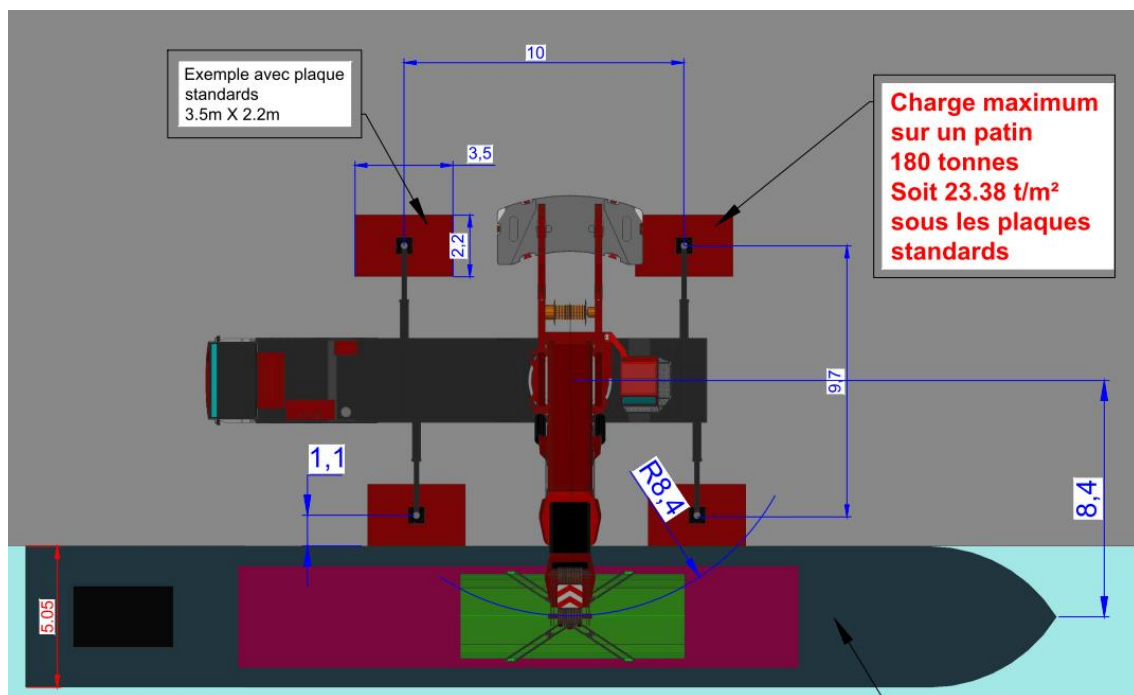
Les caractéristiques des poutres et des pieux ne sont pas modifiées suivant si le projet concerne un linéaire de 25m de poste colis lourd (1 grue), ou 45m de poste colis lourd (2 grues).

Les cas de charges sont identiques.

3.3.1. DESCENTE DE CHARGE DE LA GRUE LTM1500 -8.1



Extrait descente de charge cas le plus défavorable Grue LTM 1500 – 8.1



Dimension de la grue Grue LTM 1500 – 8.1

Prise en compte d'appui direct des patins de grue sur les poutres de roulement :

Descente de charge maximum : 180t /patin

ELS :

$$P_{ELSmax} = G + Q = 1 \times 1.2 \times 2.5 + 180 = \mathbf{183 \text{ t au droit du patin}}$$

$$P_{ELSmax} = G + Q = 1 \times 1.2 \times 2.5 = \mathbf{3 \text{ t / ml hors patin (uniquement poids poutre béton)}}$$

ELU :

$$P_{ELUmax} = 1.35 G + 1.5 Q = 1.35 \times (3) + 1.5 \times 180 = \mathbf{274 \text{ t au droit du patin}}$$

$$P_{ELUmax} = 1.35 G + 1.5 Q = 1.35 \times (3) = \mathbf{4.00 \text{ t / ml hors patin}}$$

Sécuritairement, pour les calculs, on considère que les 2 patins appuyés sur la poutre sont chargés de la même manière. La poutre avant et la poutre arrière sont prédimensionnées pour recevoir les mêmes efforts.

3.3.2. RESULTATS

Les résultats sont obtenus suivant différentes position de patins : patin centré sur pieu et patin centré entre pieux

	Cas de charge	Moment fléchissant maximum	Moment fléchissant minimal	Effort maximum sur appui
		T.m	T.m	T
1	ELU - patins centrés sur appuis	0	-1,7	283
2	ELU - patins en travée	110	-57	210
	Maximum ELU	110	-57	283

Tableau récapitulatif des résultats (voir annexe pour l'ensemble des résultats RDM6) – voir annexe

Calculs résistance poutre et ferrailage :

Le moment maximum en travée est de : 110 t.m

La section minimale d'acier pour le lit inférieur est de : 28 cm² (10 HA20)

Le moment maximum sur appui est de : (-) 57 t.m

La section minimale d'acier pour le lit supérieur est de : 15 cm² (10 HA16)

Calculs résistance des pieux métalliques :

Tube diamètre 609mm épaisseur 20mm

Prise en compte d'une perte d'épaisseur par corrosion sur 100 ans

- 1.20mm face intérieure
- 1.20mm face extérieure
- 2.40 mm total

Section neuve : 370.08 cm²

$$\sigma_{ELU} = 283 \times 10^3 / 370.08 = 764 \text{ kg/cm}^2 < 3550 \text{ kg/cm}^2$$

Section corrodée 100 ans : 325 cm²

$$\sigma_{ELU} = 283 \times 10^3 / 325 = 870 \text{ kg/cm}^2 < 3550 \text{ kg/cm}^2$$

Le tube diamètre 609mm convient.

3.3.3. PORTANCE

Nous ne disposons pas de sondages géotechniques en profondeur définissant les caractéristiques de sols permettant d'établir des calculs de portance des pieux.
Les hypothèses suivantes seront à confirmer avec des sondages.

Type de fondation profonde : tube métallique ouvert battu par vibrofonçage.

Classe 5 – Catégorie 13 – Battu acier ouvert (BAO) selon NF EN 12699

Tube : **Ø609.7 x ep 1.76 corrodée, limite élastique 355**

1) Charge limite de pointe : $R_b = A_b \times k_p \times p_{le}^* \times r_b$

Type de sol à la pointe : sols intermédiaires sable grave

Pression limite nette équivalente à la pointe : $p_{le}^* =$ 3,0 MPa

Coefficient réducteur car pieu vibrofoncé : $r_b =$ 0,5

Surface de la pointe : $A_b =$ 0,292 m²

facteur de portance : $k_p =$ 1,9

$R_b = 832.3$ kN

Vérification du critère de non réduction de la portance par rapprochement des pieux :

$3 B = 3 \times 0.609 = 1.83m < d = 2.0m$; $C_e = 1$

d : entraxe des pieux

B : diamètre des pieux

C_e : coefficient d'efficacité

Critère vérifié

2) Charge limite de frottement latéral : $R_s = P_s \times q_s \times \alpha_{sol} \times h \times r_s$

Périmètre du tube $P_s = 0.609 \times \pi = 1.912$ m

Coefficient réducteur car pieu vibrofoncé : $r_s =$ 0,7

Sondages : toute hauteur (-3m neutralisé / remblai)

$q_s = 80$ kPa

$R_{s1} = 1.912 \times ((25-3) \times 80 \times 0.7) \times 0.7 = 1648$ kN

Valeur caractéristique de pointe : $R_{b;k} = R_b / (\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2})$

Valeur caractéristique de frottement : $R_{s;k} = R_s / (\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2})$

$$\gamma_{R;d1} = 1.15$$

$$\gamma_{R;d2} = 1.10$$

$$\underline{R_{b;k} = 657 \text{ kN}}$$

$$\underline{R_{s;k} = 1304 \text{ kN}}$$

Coefficients partiels :

- Situations durables et transitoires :

$$\gamma_b = 1.1$$

$$\gamma_s = 1.1 \quad \text{compression}$$

$$\gamma_s = 1.15 \quad \text{traction}$$

- Facteurs partiels de résistance à l'ELS :

$$\gamma_{cr} = 0.9 \quad \text{compression ELS caractéristiques}$$

$$\gamma_{sr} = 1.1 \quad \text{traction ELS caractéristiques}$$

Capacités portantes :

$$\text{ELU durables et transitoires (compression) : } R_{c;d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{c;k} / \gamma_s$$

$$\text{ELU durables et transitoires (traction) : } R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_s$$

$$\text{ELS caractéristique (compression) : } R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr}$$

$$\text{ELS caractéristique (traction) : } R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{s;cr}$$

Calculs des capacités portantes / adéquation aux descentes de charge

	Compression (kN)	Condition de portance	Descente charge FZ (kN)	(Traction (kN))	Pas de traction
ELS	1526	Non vérifiée	-1830	830	
ELU	1783	Non vérifiée	-2740	1134	

Les conditions de portances ne sont pas vérifiées.

Suivant les hypothèses retenues, les pieux ne pourront pas reprendre les descentes de charge de la grue s'ils sont mis en œuvre uniquement par vibrofonçage. Le calcul suivant considère une mise en œuvre par battage.

Type de fondation profonde : tube métallique ouvert battu par battage

Classe 5 – Catégorie 13 – Battu acier ouvert (BAO) selon NF EN 12699

Tube : $\varnothing 609.7 \times \text{ep } 1.76$ corrodée, limite élastique 355

3) Charge limite de pointe : $R_b = A_b \times k_p \times p_{le}^* \times r_b$

Type de sol à la pointe : sols intermédiaires sable grave

Pression limite nette équivalente à la pointe : $p_{le}^* = 3,0 \text{ MPa}$

Coefficient réducteur car pieu vibrofoncé : $r_b = 0,5$

Surface de la pointe : $A_b = 0,292 \text{ m}^2$

facteur de portance : $k_p = 1,9$

$R_b = 1664 \text{ kN}$

Vérification du critère de non réduction de la portance par rapprochement des pieux :

$3 B = 3 \times 0.609 = 1.83\text{m} < d = 2.0\text{m} ; C_e = 1$

d : entraxe des pieux

B : diamètre des pieux

C_e : coefficient d'efficacité

Critère vérifié

4) Charge limite de frottement latéral : $R_s = P_s \times q_s \times \alpha_{sol} \times h \times r_s$

Le frottement ne devrait être pris en compte qu'à partir de la côte 156.25 : soit -1m sous le fond de fouille.

Périmètre du tube $P_s = 0.609 \times \pi = 1.912 \text{ m}$

Coefficient réducteur car pieu vibrofoncé : $r_s = 0,7$

Sondages : toute hauteur (-3m neutralisé / remblai)

$q_s = 80 \text{ kPa}$

$R_{s1} = 1.912 \times ((25-3) \times 80 \times 0.7) = 2355 \text{ kN}$

Valeur caractéristique de pointe : $R_{b;k} = R_b / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$

Valeur caractéristique de frottement : $R_{s;k} = R_s / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$

$\gamma_{R;d1} = 1.15$

$\gamma_{R;d2} = 1.10$

$R_{b;k} = 1315 \text{ kN}$

$R_{s;k} = 1861 \text{ kN}$

Coefficients partiels :

- Situations durables et transitoires :

$\gamma_b = 1.1$

$\gamma_s = 1.1$ compression

$\gamma_s = 1.15$ traction

- Facteurs partiels de résistance à l'ELS :

$\gamma_{cr} = 0.9$ compression ELS caractéristiques

$\gamma_{sr} = 1.1$ traction ELS caractéristiques

Capacités portantes :

ELU durables et transitoires (compression) : $R_{c;d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{c;k} / \gamma_s$

ELU durables et transitoires (traction) : $R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_s$

ELS caractéristique (compression) : $R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr}$

ELS caractéristique (traction) : $R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{s;cr}$

Calculs des capacités portantes / adéquation aux descentes de charge

	Compression (kN)	Condition de portance	Descente charge FZ (kN)	(Traction (kN))	Pas de traction
ELS	2021	> vérifiée	-1830	868	
ELU	2888	> vérifiée	-2740	1620	

Les conditions de portances sont vérifiées.

Les pieux peuvent prendre les descentes de charge de la grue s'ils sont mis en œuvre par battage.

3.4. CONCLUSION

Selon les hypothèses de sol retenues, les tubes sont vérifiés en résistance et en portance.
Les dimensions de poutres sont en adéquation avec les charges amenées par les patins de grue.

Des sondages géotechniques doivent être réalisés pour permettre de valider les hypothèses de sols retenues, une fois l'implantation du poste colis lourd définie.

4. RENFORCEMENT GLOBAL DU QUAI PAR TIRANTS

4.1. DONNEES D'ENTREES

Le renforcement global du quai s'inscrit dans une démarche de rétablir la sécurité des opérations sur le quai, notamment pour les opérations de chargement et déchargement de Vrac et du stockage.

Il permet également de corriger la sécurité consommée suite à des dragages qui ont entraîné une augmentation de la hauteur soutenue par le rideau principal.

La présence d'un renforcement permet aussi de limiter la perte de capacité inéluctable du quai due au vieillissement naturel provoqué par la corrosion des palplanches et des tirants d'ancrages existant.

Le renforcement global du quai ne permettra pas de sécuriser des interventions de levage de colis lourd où les grues ou pelles présentent des descentes de charges bien trop importantes.

Le renforcement global par tirants d'ancrage n'est pas réalisable sur une zone de poste colis lourd (la présence des pieux métalliques empêchant la réalisation de nouveaux tirants d'ancrage) : les descentes de charge des grues quand elles sont sur pneus sont de 13t par essieu et sont adaptées au quai.

- Le renforcement global peut être appliqué sur tout le quai sauf sur la zone du poste colis lourd.

4.2. MODE CONSTRUCTIF DU RENFORCEMENT GLOBAL

Le procédé consiste à réaliser des tirants d'ancrage forés.

La mise en œuvre se fait depuis la voie d'eau par ponton flottant et foreuse.

Les tirants sont réalisés hors d'eau et tous les 1.00m linéaire de quai (dans chaque onde de palplanches) et permettent d'assurer aux palplanches du rideau principal un appui supplémentaire au tirant d'ancrage horizontal existant.

Les têtes de tirants sont fixées sur platines soudées aux palplanches et ne dépassent pas de la magistrale d'accostage. Les tirants sont ainsi protégée vis-à-vis du risque de chocs de bateaux, et ne nuisent pas à l'accostage des bateaux.

- Le quai garderait le linéaire total de bord à voie d'eau disponible, ce qui répond également au besoin général d'organisation du quai.

En cas de sollicitations plus importantes du quai, les efforts maximum dans les palplanches et les tirants existants seraient minorés, les tirants d'ancrage forés participants à la reprise de sollicitations.

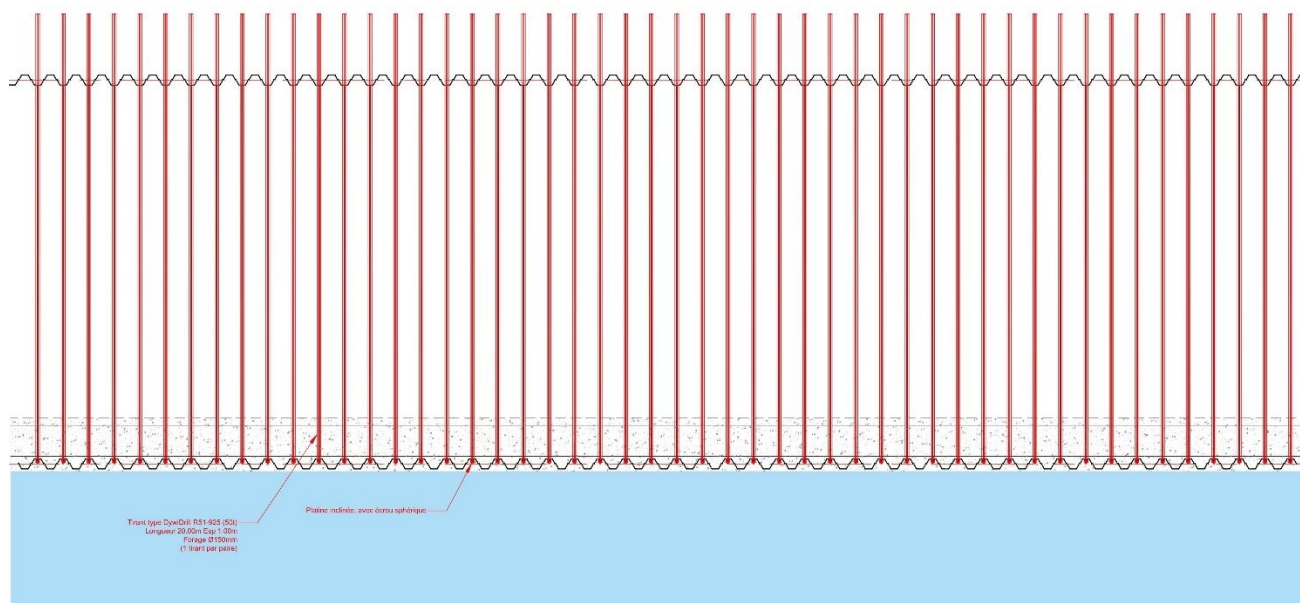
L'ajout d'une ligne de tirant permet de mieux répartir les efforts dans les palplanches.

L'effondrement du quai suite à défaillance des tirants existants pourrait dans certaines circonstances être empêché ou limité par l'appui supplémentaire offert par les tirants d'ancrage forés.

Le renforcement global serait donc constitué de :

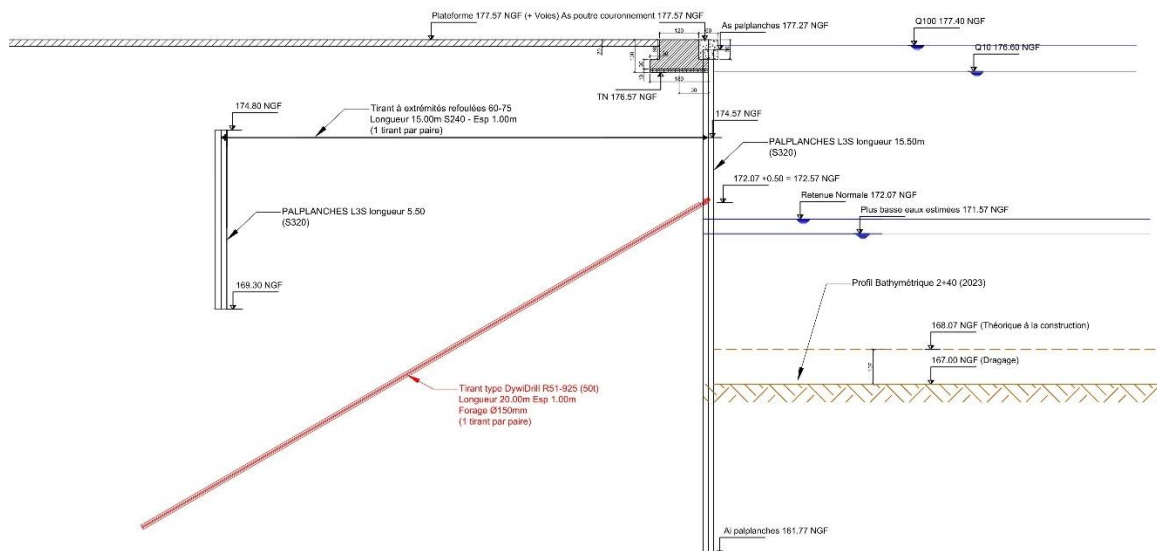
- 1 tirant d'ancrage par paire de palplanches (1 sur 2), dans chaque onde
- 1 platine soudée sur la palplanches
- 1 écrou pour liaisonner le tirant à la platine.

**VUE EN PLAN QUAI - RENFORCEMENT GLOBAL
TIRANTS D'ANCRAGE**
ECHELLE 1/125



Vue en Plan renforcement global par tirants d'ancrage forés (plan en annexe)

**COUPE QUAI - RENFORCEMENT GLOBAL
TIRANTS D'ANCRAGE**
ECHELLE 1/100



Vue en coupe renforcement global par tirants d'ancrage forés (plan en annexe)

4.3. PREDIMENSIONNEMENT

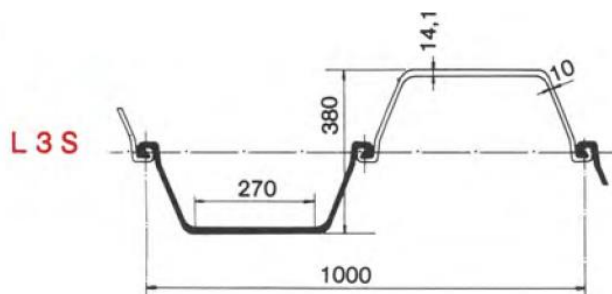
Le prédimensionnement qui permet de renseigner sur le gain escompté du renforcement global par mise en œuvre des tirants d'ancrage forés reprend les calculs des capacités du quai en ajoutant des phases de calculs intermédiaires.

Les conclusions sont présentées dans les paragraphes §6.6 et §6.10.

4.4. CARACTERISTIQUES DES PALPLANCHES DU QUAI : RIDEAU PRINCIPAL

- Type de palplanches : L3S – Fournisseur SIDELOR/Profil ARBED (ex ARCELOR)
- Palplanches en U en barres simples, joints non pincés à 1 appui ($\beta_b=0.7$ et $\beta_d=0.5$)
- Prise en compte d'une épaisseur sacrificielle théorique sur 50 ans (~age actuel), 100 ans
- Nuance d'acier : E32 ancienne norme, équivalent à la nuance actuelle S320 GP
- Palplanches neuves normalisées de classe 2 : coefficient partiel de sécurité = 1.0 (sur la limite élastique) à l'ELU
- Palplanches corrodées normalisées de classe 2 : coefficient partiel de sécurité = 1.0 (sur la limite élastique) à l'ELU
- Longueur des palplanches : 15.50m pour les 2 tranches

Profil	Largeur utile		Hauteur		Epaisseur		Section cm²/m	Masse		Moment d'inertie cm⁴/m	Module de flexion élastique cm³/m	Moment statique cm³/m	Module de flexion plastique cm³/m	Classe*					
	b mm	h mm	t mm	s mm	palplanche simple kg/m	rideau kg/m²		S 240	S 270					S 320	S 355	S 390	S 430		
PU 6	600	226	7,5	6,4	97	45,6	76	6780	600	335	697	3	3	4	4	4	4		
PU 8	600	280	8,0	8,0	116	54,5	91	11620	830	470	983	3	3	3	4	4	4		
PU 12	600	360	9,8	9,0	140	66,1	110	21600	1200	700	1457	2	2	2	2	2	2		
PU 16	600	380	12,0	9,0	159	74,7	124	30400	1600	915	1878	2	2	2	2	2	2		
PU 20	600	430	12,4	10,0	179	84,3	140	43000	2000	1155	2363	2	2	2	2	2	2		
PU 25	600	452	14,2	10,0	199	93,6	156	56490	2500	1420	2899	2	2	2	2	2	2		
PU 32	600	452	19,5	11,0	242	114,1	190	72320	3200	1810	3687	2	2	2	2	2	2		
L 2 S	500	340	12,3	9,0	177	69,7	139	27200	1600	900	1871	2	2	2	2	2	2		
L 3 S	500	400	14,1	10,0	201	78,9	158	40010	2000	1160	2389	2	2	2	2	2	2		
L 4 S	500	440	15,5	10,0	219	86,2	172	55010	2500	1435	2956	2	2	2	2	2	2		
JSP 2	400	200	10,5	–	153	48,0	120	8740	874	465									
JSP 3	400	250	13,0	–	191	60,0	150	16800	1340	730									



Extrait catalogue palplanches UNIMETAL édition 1989

Les valeurs β_B et β_D à utiliser sont définies dans le Tableau ci-après.

Coefficients β_B et β_D

Type de palplanche en U	Nombre d'appuis	Type de sol	Coefficients	
			β_B	β_D
Simple	0 (= pied de palplanche)		0,6	0,4
	1		0,7	0,5
	≥ 2		0,8	0,6
Double solidarisée (par points de pinçage ou soudure)	0 (= pied de palplanche)	lâche	0,7	0,6
		autre	0,8	0,7
	1	lâche	0,8	0,7
		autre	0,9	0,8
	≥ 2	lâche	0,9	0,8
		autre	1,0	0,9

NOTE 1 Pour la solidarisation des palplanches, voir 6.4 de l'EN 1993-5:2007.

NOTE 2 Pour les sols situés au-dessus de la nappe phréatique, ces coefficients peuvent être majorés de 0,1 (mais bornés à 1,0).

NOTE 3 Avec des terrains multicouches, des coefficients différents peuvent être appliqués sur la longueur de la palplanche. Par simplification, les coefficients les plus faibles peuvent être appliqués sur toute la longueur de la palplanche.

Coefficients minorateurs retenus

Remarque : l'ajout d'un niveau de tirant, permet de passer de 1 à 2 appui, ce qui permet d'améliorer les caractéristiques des palplanches, d'un point de vue normatif.

Palplanche corrodée pour 50 ans (age actuel)

Corrosion : prise en compte de la norme NF EN 1993-5

eau douce ordinaire en rivière dans la zone d'attaque élevée : 0.9 mm

sols naturel intacts (sable, limon, argile, schiste...) avec ou sans nappe phréatique : 0.6 mm

Devant :

- De la tête des palplanches jusqu'au niveau de la retenue normale - 1.00m : 0.9mm
- Du plan d'eau minimum -1.00m : au pied des palplanches : 0.6 mm

Derrière :

- De la tête au pied des palplanches : 0.6 mm

Caractéristiques de 177.57 à 171.07:

Caractéristiques mécaniques des palplanches

1 niveau d'ancrage

Corrosion :

50 ans

face avant = 0,90 mm

$\beta_b = 0,7$

face arrière = 0,60 mm

$\beta_d = 0,5$

total = 1,50 mm

L3S S 320 GP	neuves	corrodées
épaisseur dos t_f : mm	14,1	12,6
épaisseur ailes t_w : mm	10	8,5
épaisseur rideau en mm	400	399,4
sections: cm ² /ml	201	179,6
module de flexion élastique : cm ³ /ml	2000	1787
module de flexion plastique : cm ³ /ml	2389	2135
inertie: cm ⁴ /ml	40010	35754
I.E en t.m/m	8402	7508
module de flexion élastique x β_b : cm ³ /ml	1400	1251
module de flexion plastique x β_b : cm ³ /ml	1672	1494
inertie x β_d : cm ⁴ /ml	20005	17877
I.E x β_d en t.m/m	4201	3754
Largeur d'une paire de palplanches : ml	1,00	1,00
Aire de cisaillement A_v en cm ² /ml	77	66
Effort tranchant admissible plastique $V_{pl,Rd}$ en t/ml	143	121

détermination de la classe des palplanches après corrosion

largeur du dos b : 27,0 cm

épaisseur t_f : 1,26 cm

nuance d'acier : f_y : 320 MPa $\varepsilon = 0,86$ $(b / t_f) / \varepsilon = 25,01 \Rightarrow$ classe 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 37$ classe 1 et 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 49$ classe 3

si $(b / t_f) / \varepsilon > 49$ classe 4

Caractéristiques de 171.07 à 161.77 (pied des palplanches)

Caractéristiques mécaniques des palplanches

1 niveau d'ancrage

Corrosion :

50 ans

face avant = 0,60 mm

$\beta_b = 0,7$

face arrière = 0,60 mm

$\beta_d = 0,5$

total = 1,20 mm

L3S S 320 GP	neuves	corrodées
épaisseur dos t_f : mm	14,1	12,9
épaisseur ailes t_w : mm	10	8,8
épaisseur rideau en mm	400	399,4
sections: cm ² /ml	201	183,9
module de flexion élastique : cm ³ /ml	2000	1830
module de flexion plastique : cm ³ /ml	2389	2186
inertie: cm ⁴ /ml	40010	36605
I.E en t.m/m	8402	7687
module de flexion élastique x β_b : cm ³ /ml	1400	1281
module de flexion plastique x β_b : cm ³ /ml	1672	1530
inertie x β_d : cm ⁴ /ml	20005	18302
I.E x β_d en t.m/m	4201	3844
Largeur d'une paire de palplanches : ml	1,00	1,00
Aire de cisaillement A_v en cm ² /ml	77	68
Effort tranchant admissible plastique $V_{pl,Rd}$ en t/ml	143	126

détermination de la classe des palplanches après corrosion

largeur du dos b : 27,0 cm

épaisseur t_f : 1,29 cm

nuance d'acier : f_y : 320 MPa $\varepsilon = 0,86$ $(b / t_f) / \varepsilon = 24,42 \Rightarrow$ classe 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 37$ classe 1 et 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 49$ classe 3

si $(b / t_f) / \varepsilon > 49$ classe 4

Palplanche corrodée pour 100 ans (~2076)

Corrosion : prise en compte de la norme NF EN 1993-5

eau douce ordinaire en rivière dans la zone d'attaque élevée : 1.4 mm

sols naturel intacts (sable, limon, argile, schiste...) avec ou sans nappe phréatique : 1.2 mm

Devant :

- De la tête des palplanches jusqu'au niveau de la retenue normale - 1.00m : 1.4mm
- Du plan d'eau minimum -1.00m : au pied des palplanches : 1.2 mm

Derrière :

- De la tête au pied des palplanches : 1.2 mm

Caractéristiques de 177.57 à 171.07:

Caractéristiques mécaniques des palplanches

1 niveau d'ancrage

Corrosion :

100 ans

face avant = 1,40 mm

$\beta_b = 0,7$

face arrière = 1,20 mm

$\beta_d = 0,5$

total = 2,60 mm

L3S S 320 GP	neuves	corrodées
épaisseur dos t_f : mm	14,1	11,5
épaisseur ailes t_w : mm	10	7,4
épaisseur rideau en mm	400	398,8
sections: cm ² /ml	201	163,9
module de flexion élastique : cm ³ /ml	2000	1631
module de flexion plastique : cm ³ /ml	2389	1948
inertie: cm ⁴ /ml	40010	32632
I.E en t.m/m	8402	6853
module de flexion élastique x β_b : cm ³ /ml	1400	1142
module de flexion plastique x β_b : cm ³ /ml	1672	1364
inertie x β_d : cm ⁴ /ml	20005	16316
I.E x β_d en t.m/m	4201	3426
Largeur d'une paire de palplanches : ml	1,00	1,00
Aire de cisaillement A_v en cm ² /ml	77	57
Effort tranchant admissible plastique $V_{pl,Rd}$ en t/ml	143	106

détermination de la classe des palplanches après corrosion

largeur du dos b : 27,0 cm

épaisseur t_f : 1,15 cm

nuance d'acier : f_y : 320 MPa $\epsilon = 0,86$ $(b / t_f) / \epsilon = 27,4 \Rightarrow$ classe 2

si $(b / t_f) / \epsilon < ou = 37$ classe 1 et 2

si $(b / t_f) / \epsilon < ou = 49$ classe 3

si $(b / t_f) / \epsilon > 49$ classe 4

Caractéristiques de 171.07 à 161.57 (pied des palplanches) :

Caractéristiques mécaniques des palplanches

1 niveau d'ancrage

Corrosion :

100 ans

face avant = 1,20 mm

$\beta_b = 0,7$

face arrière = 1,20 mm

$\beta_d = 0,5$

total = 2,40 mm

L3S S 320 GP	neuves	corrodées
épaisseur dos t_f : mm	14,1	11,7
épaisseur ailes t_w : mm	10	7,6
épaisseur rideau en mm	400	398,8
sections: cm ² /ml	201	166,8
module de flexion élastique : cm ³ /ml	2000	1660
module de flexion plastique : cm ³ /ml	2389	1982
inertie: cm ⁴ /ml	40010	33200
I.E en t.m/m	8402	6972
module de flexion élastique x β_b : cm ³ /ml	1400	1162
module de flexion plastique x β_b : cm ³ /ml	1672	1388
inertie x β_d : cm ⁴ /ml	20005	16600
I.E x β_d en t.m/m	4201	3486
Largeur d'une paire de palplanches : ml	1,00	1,00
Aire de cisaillement A_v en cm ² /ml	77	59
Effort tranchant admissible plastique $V_{pl,Rd}$ en t/ml	143	109

détermination de la classe des palplanches après corrosion

largeur du dos b : 27,0 cm

épaisseur t_f : 1,17 cm

nuance d'acier : f_y : 320 MPa $\varepsilon = 0,86$ $(b / t_f) / \varepsilon = 26,93 \Rightarrow$ classe 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < ou = 37$ classe 1 et 2

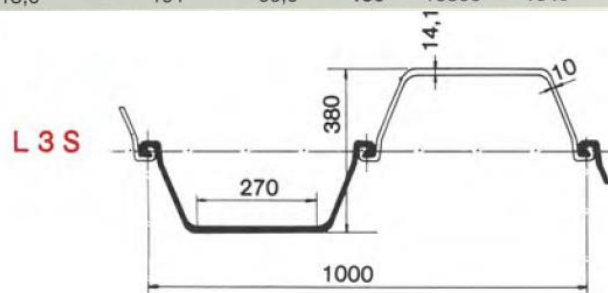
si $(b / t_f) / \varepsilon < ou = 49$ classe 3

si $(b / t_f) / \varepsilon > 49$ classe 4

4.5. CARACTERISTIQUES DES PALPLANCHES DU QUAI : RIDEAU D'ANCRAGE

- Type de palplanches : L3S – Fournisseur SIDELOR/Profil ARBED (ex ARCELOR)
- Palplanches en U en barres simples, joints non pincés à 1 appui ($\beta_b=0.7$ et $\beta_d=0.5$)
- Prise en compte d'une épaisseur sacrificielle théorique sur 50 ans (~age actuel), 100 ans
- Nuance d'acier : E32 ancienne norme, équivalent à la nuance actuelle S320 GP
- Palplanches neuves normalisées de classe 2 : coefficient partiel de sécurité = 1.0 (sur la limite élastique) à l'ELU
- Palplanches corrodées normalisées de classe 2 : coefficient partiel de sécurité = 1.0 (sur la limite élastique) à l'ELU
- Longueur des palplanches : 6.30m pour la 1^{ère} tranche et 5.50m pour la deuxième tranche

Profil	Largeur utile		Epaisseur		Section cm ² /m	Masse		Moment d'inertie cm ⁴ /m	Module de flexion élastique cm ³ /m	Moment statique cm ³ /m	Module de flexion plastique cm ³ /m	Classe*					
	b mm	h mm	t mm	s mm		palplanche simple kg/m	rideau kg/m ²					S 240	S 270	S 320	S 360	S 390	S 430
PU 6	600	226	7,5	6,4	97	45,6	76	6780	600	335	697	3	3	4	4	4	
PU 8	600	280	8,0	8,0	116	54,5	91	11620	830	470	983	3	3	3	4	4	
PU 12	600	360	9,8	9,0	140	66,1	110	21600	1200	700	1457	2	2	2	2	2	
PU 16	600	380	12,0	9,0	159	74,7	124	30400	1600	915	1878	2	2	2	2	2	
PU 20	600	430	12,4	10,0	179	84,3	140	43000	2000	1155	2363	2	2	2	2	2	
PU 25	600	452	14,2	10,0	199	93,6	156	56490	2500	1420	2899	2	2	2	2	2	
PU 32	600	452	19,5	11,0	242	114,1	190	72320	3200	1810	3687	2	2	2	2	2	
L 2 S	500	340	12,3	9,0	177	69,7	139	27200	1600	900	1871	2	2	2	2	2	
L 3 S	500	400	14,1	10,0	201	78,9	158	40010	2000	1160	2389	2	2	2	2	2	
L 4 S	500	440	15,5	10,0	219	86,2	172	55010	2500	1435	2956	2	2	2	2	2	
JSP 2	400	200	10,5	–	153	48,0	120	8740	874	465							
JSP 3	400	250	13,0	–	191	60,0	150	16800	1340	730							



Extrait catalogue palplanches UNIMETAL édition 1989

Les valeurs β_B et β_D à utiliser sont définies dans le Tableau ci-après.

Coefficients β_B et β_D

Type de palplanche en U	Nombre d'appuis	Type de sol	Coefficients	
			β_B	β_D
Simple	0 (= pied de palplanche)		0,6	0,4
	1		0,7	0,5
	≥ 2		0,8	0,6
Double solidarisée (par points de pinçage ou soudure)	0 (= pied de palplanche)	lâche	0,7	0,6
		autre	0,8	0,7
	1	lâche	0,8	0,7
		autre	0,9	0,8
	≥ 2	lâche	0,9	0,8
		autre	1,0	0,9

NOTE 1 Pour la solidarisation des palplanches, voir 6.4 de l'EN 1993-5:2007.

NOTE 2 Pour les sols situés au-dessus de la nappe phréatique, ces coefficients peuvent être majorés de 0,1 (mais bornés à 1,0).

NOTE 3 Avec des terrains multicouches, des coefficients différents peuvent être appliqués sur la longueur de la palplanche. Par simplification, les coefficients les plus faibles peuvent être appliqués sur toute la longueur de la palplanche.

Coefficients minorateurs retenus

Palplanche corrodée pour 50 ans (age actuel)

Corrosion : prise en compte de la norme NF EN 1993-5

sols naturel intacts (sable, limon, argile, schiste...) avec ou sans nappe phréatique : 0.6 mm

Devant :

- De la tête au pied des palplanches : 0.6 mm

Derrière :

- De la tête au pied des palplanches : 0.6 mm

Caractéristiques de 174.80 à 168.50 (169.30 pour la deuxième tranche) :

Caractéristiques mécaniques des palplanches

1 niveau d'ancrage

Corrosion :

50 ans

face avant = 0,60 mm

$\beta_b = 0,7$

face arrière = 0,60 mm

$\beta_d = 0,5$

total = 1,20 mm

L3S S 320 GP	neuves	corrodées
épaisseur dos t_f : mm	14,1	12,9
épaisseur ailes t_w : mm	10	8,8
épaisseur rideau en mm	400	399,4
sections: cm ² /ml	201	183,9
module de flexion élastique : cm ³ /ml	2000	1830
module de flexion plastique : cm ³ /ml	2389	2186
inertie: cm ⁴ /ml	40010	36605
I.E en t.m/m	8402	7687
module de flexion élastique x β_b : cm ³ /ml	1400	1281
module de flexion plastique x β_b : cm ³ /ml	1672	1530
inertie x β_d : cm ⁴ /ml	20005	18302
I.E x β_d en t.m/m	4201	3844
Largeur d'une paire de palplanches : ml	1,00	1,00
Aire de cisaillement A_v en cm ² /ml	77	68
Effort tranchant admissible plastique $V_{pl,Rd}$ en t/ml	143	126

détermination de la classe des palplanches après corrosion

largeur du dos b : 27,0 cm

épaisseur t_f : 1,29 cm

nuance d'acier : f_y : 320 MPa $\varepsilon = 0,86$ $(b / t_f) / \varepsilon = 24,42 \Rightarrow$ classe 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 37$ classe 1 et 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 49$ classe 3

si $(b / t_f) / \varepsilon > 49$ classe 4

Palplanche corrodée pour 100 ans (~2076)

Corrosion : prise en compte de la norme NF EN 1993-5

sols naturel intacts (sable, limon, argile, schiste...) avec ou sans nappe phréatique : 1.2 mm

Devant :

- De la tête au pied des palplanches : 1.2 mm

Derrière :

- De la tête au pied des palplanches : 1.2 mm

Caractéristiques de 174.80 à 168.50 (169.30 pour la deuxième tranche) :

Caractéristiques mécaniques des palplanches

1 niveau d'ancrage

Corrosion :

100 ans

face avant = 1,20 mm

$\beta_b = 0,7$

face arrière = 1,20 mm

$\beta_d = 0,5$

total = 2,40 mm

L3S S 320 GP	neuves	corrodées
épaisseur dos t_f : mm	14,1	11,7
épaisseur ailes t_w : mm	10	7,6
épaisseur rideau en mm	400	398,8
sections: cm ² /ml	201	166,8
module de flexion élastique : cm ³ /ml	2000	1660
module de flexion plastique : cm ³ /ml	2389	1982
inertie: cm ⁴ /ml	40010	33200
I.E en t.m/m	8402	6972
module de flexion élastique x β_b : cm ³ /ml	1400	1162
module de flexion plastique x β_b : cm ³ /ml	1672	1388
inertie x β_d : cm ⁴ /ml	20005	16600
I.E x β_d en t.m/m	4201	3486
Largeur d'une paire de palplanches : ml	1,00	1,00
Aire de cisaillement A_v en cm ² /ml	77	59
Effort tranchant admissible plastique $V_{pl,Rd}$ en t/ml	143	109

détermination de la classe des palplanches après corrosion

largeur du dos b : 27,0 cm

épaisseur t_f : 1,17 cm

nuance d'acier : f_y : 320 MPa $\varepsilon = 0,86$ $(b / t_f) / \varepsilon = 26,93 \Rightarrow$ classe 2

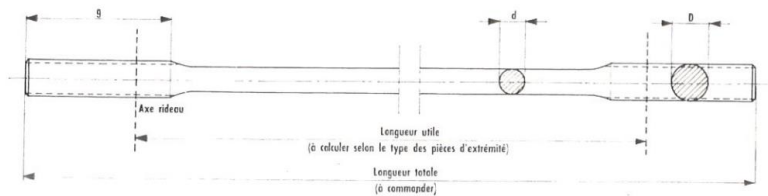
si $(b / t_f) / \varepsilon < 37$ classe 1 et 2

si $(b / t_f) / \varepsilon < 49$ classe 3

si $(b / t_f) / \varepsilon > 49$ classe 4

4.6. CARACTERISTIQUES DES TIRANTS D'ANCRAGES

Tirant à extrémités refoulées :



• Dimensions et poids

Section courante			Extrémité refoulée			Longueur équivalente pour 2 extrémités (*)
Diamètre du rond d	Poids au ml	Aire de la section	Diamètre refoulé D	Section à fond de filet	Longueur de filetage ISO	
mm	kg / ml	cm ²	mm	cm ²	mm	mm
36	7,99	10,17	45	12,20	220	248
39	9,38	11,94	48	13,80	225	231
42	10,88	13,85	52	16,50	225	239
45	12,48	15,90	56	19,10	240	303
48	14,21	18,09	60	22,30	240	300
52	16,67	21,24	64	25,20	250	308
56	19,33	24,63	68	28,90	250	258
60	22,20	28,27	72	32,80	260	270
64	25,25	32,15	76	37,00	260	233
68	28,51	36,32	80	41,40	270	247
72	31,96	40,69	85	47,30	280	260
76	35,61	45,34	90	53,60	285	280
80	39,44	50,26	95	60,30	290	278
85	44,55	56,74	100	67,40	300	271
90	49,94	63,62	105	74,90	300	246

E26-2 Nuance équivalente = A42 S240

$\gamma_{M0} = 1,0$ suivant NF P 94-282

$\gamma_{M2} = 1,25$ suivant NF P 94-282

$K_t = 0,9$ Suivant NF EN 1993-5

Tranches (toutes) :

Tirants neufs : Ø 60mm fond de filets et 72mm extérieur :

En section courante :

Contrainte à la rupture	$F_{u;k} = 360 \text{ MPa}$
Limite élastique	$F_{y;k} = 240 \text{ MPa}$
Section	$A_g = 28.27 \text{ cm}^2$
Capacité du tirant à l'ELU	$R_{t;d} = F_{y;k} \times A_g / \gamma_{M0} = 2.40 \times 28.27 / 1 = 67.84 \text{ t}$
Espacement tirants	$E = 1.00\text{m}$

Extrémité refoulée, en fond de filets :

Contrainte à la rupture	$F_{u;k} = 360 \text{ MPa}$
Limite élastique	$F_{y;k} = 240 \text{ MPa}$
Section	$A_g = 32.80 \text{ cm}^2$
Capacité du tirant à l'ELU	$R_{t;d} = K_t \times F_{u;k} \times A_g / \gamma_{M2} = 0.9 \times 3.6 \times 32.80 / 1.25 = 85.01 \text{ t}$
Espacement tirants	$E = 1.00\text{m}$

Tirants corrodés sur 50 ans : Ø 60mm fond de filets et 72mm extérieur :

Corrosion : pour 50 ans : 0,6 mm face exposée soit 1.2mm sur le diamètre

En section courante :

Contrainte à la rupture	$F_{u;k} = 360 \text{ MPa}$
Limite élastique	$F_{y;k} = 240 \text{ MPa}$
Section	$A_g = 27.15 \text{ cm}^2$
Capacité du tirant à l'ELU	$R_{t;d} = F_{y;k} \times A_g / \gamma_{M0} = 2.40 \times 27.15 / 1 = 65.16 \text{ t}$
Espacement tirants	$E = 1.00\text{m}$

Extrémité refoulée, en fond de filets :

Contrainte à la rupture	$F_{u;k} = 360 \text{ MPa}$
Limite élastique	$F_{y;k} = 240 \text{ MPa}$
Section	$A_g = 31.59 \text{ cm}^2$
Capacité du tirant à l'ELU	$R_{t;d} = K_t \times F_{u;k} \times A_g / \gamma_{M2} = 0.9 \times 3.6 \times 31.59 / 1.25 = 81.88 \text{ t}$
Espacement tirants	$E = 1.00\text{m}$

Tirants corrodés sur 100 ans : Ø 60mm fond de filets et 72mm extérieur :

Corrosion : pour 100 ans : 1,2 mm face exposée soit 2.4mm sur le diamètre

En section courante :

Contrainte à la rupture	$F_{u;k} = 360 \text{ MPa}$
Limite élastique	$F_{y;k} = 240 \text{ MPa}$
Section	$A_g = 26.06 \text{ cm}^2$
Capacité du tirant à l'ELU	$R_{t;d} = F_{y;k} \times A_g / \gamma_{M0} = 2.40 \times 26.06 / 1 = 62.54 \text{ t}$
Espacement tirants	$E = 1.00\text{m}$

Extrémité refoulée, en fond de filets :

Contrainte à la rupture	$F_{u;k} = 360 \text{ MPa}$
Limite élastique	$F_{y;k} = 240 \text{ MPa}$
Section	$A_g = 30.41 \text{ cm}^2$
Capacité du tirant à l'ELU	$R_{t;d} = K_t \times F_{u;k} \times A_g / \gamma_{M2} = 0.9 \times 3.6 \times 30.41 / 1.25 = 78.82 \text{ t}$
Espacement tirants	$E = 1.00\text{m}$

Ce sont les capacités des tirants en section courante qui sont déterminantes.

Contraintes admissibles à l'ELU en section courante : 2400 kg/cm^2

Contraintes admissibles à l'ELU en fond de filets : $360 \times 0.9 / 1.25 : 2592 \text{ kg/cm}^2$

4.7. CARACTERISTIQUES DES TIRANTS D'ANCRAGES (RENFORCEMENT)

Tirants type forés injectés passifs de type DSI DYWI drill R51-660 : tirants autoforeurs : forage à injection continue

Diamètre de forage 150 mm

Corrosion pour 50 ans (~2076 = 100 ans du quai en palplanches) suivant NF EN 1993-5 Eurocode 3 calcul des structures en acier : partie 5 : pieux et palplanches : Sol naturel intacts corrosion

Tirants à filets refoulés : capacité du tirants à l'ELU = $R_{t;d} = f_{y;k} \times A_g / \gamma_{M0}$

$\gamma_{M0} = 1.0$ suivant NF P94-282

Section neuve du tirant = $A_g = 9.39 \text{ cm}^2$

Section corrodée du tirant = $A_g = 8.50 \text{ cm}^2$

Limite de rupture de l'acier : $f_{u;k} = 7000 \text{ kg/cm}^2$

Limite élastique de l'acier : $f_{y;k} = 5600 \text{ kg/cm}^2$

Capacité du tirant neuf à l'ELU = $R_{t;d} = 5.60 \times 9.39 / 1 = 52.6 \text{ tonnes}$

Capacité du tirant corrodé à l'ELU = $R_{t;d} = 5.60 \times 8.50 / 1 = 47.60 \text{ tonnes}$

Tirant		R32-210	R32-250	R32-280	R32-320	R32-360	R32-400	R38-420	R38-500	R38-550	R51-550	R51-660	R51-800
diam ext	cm	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,80	3,80	3,80	5,10	5,10	5,10
diam ext FF	cm	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	3,48	3,48	3,48	4,78	4,78	4,78
diam int	cm	2,10	2,00	1,85	1,65	1,50	1,25	2,15	1,90	1,70	3,45	3,30	2,90
ep	cm	0,39	0,44	0,52	0,62	0,69	0,82	0,67	0,79	0,89	0,67	0,74	0,94
corrosion (sur ep)	cm	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
nuance	kg/cm ²	4700,00	5100,00	5400,00	5300,00	5500,00	5900,00	5300,00	5300,00	5600,00	5100,00	5600,00	5600,00
Section neuve	cm ²	3,05	3,37	3,83	4,38	4,75	5,29	5,88	6,68	7,24	8,60	9,39	11,34
Capacité tirant neuf	kg/cm ²	14,3	17,2	20,7	23,2	26,1	31,2	31,2	35,4	40,6	43,8	52,6	63,5
Section corrodée	cm ²	2,52	2,84	3,29	3,84	4,22	4,76	5,24	6,03	6,60	7,71	8,50	10,45
Capacité tirant corrodé	kg/cm ²	11,8	14,5	17,8	20,4	23,2	28,1	27,8	32,0	36,9	39,3	47,6	58,5

4.8. CARACTERISTIQUES DU SOL

Les sondages SP1/SP3 (sondages en bord du quai), et sondages SP2/SP4 (sondages au niveau du rideau d'ancrage) présentent peu de différences que ce soit en caractéristiques de sols ou en lithologie.

Sondage SP1 – rideau principal ; présence de la cavité, le sol 1 est retenu équivalent au sol 1 du SP2.

Sol n°	Nature	Niveau NGF		ϕ'	c'	γ	γ'	PI*	EM	α
		Toit	Base	°	t/m ²	t/m ³	t/m ³	MPA	MPA	
0	Dallage	177,55	177,38							
1	Vide	177,38	174,25	25	0	2	1	Absence données		1/3
2	Sable marron (remblais ?)	174,25	171,50	25	0	2	1	0,7	9	1/3
3	Sable +/- graveleux	171,50	161,05	35	0	2	1	2,7	23	1/3

Sondage SP3 – rideau principal

Sol n°	Nature	Niveau NGF		ϕ'	c'	γ	γ'	PI*	EM	α
		Toit	Base	°	t/m ²	t/m ³	t/m ³	MPA	MPA	
0	Dallage	177,70	177,45							
1	Remblais sablo-graveleux limoneux	177,45	174,35	32	0	2	1	2,4	28	1/3
2	Sable marron (remblais ?)	174,35	170,20	30	0	2	1	2,3	24	1/3
3	Sable +/- graveleux	170,20	161,90	35	0	2	1	3,4	32	1/3

Sondage SP2 – rideau d'ancrage

Sol n°	Nature	Niveau NGF		ϕ'	c'	γ	γ'	PI*	EM	α
		Toit	Base	°	t/m ²	t/m ³	t/m ³	MPA	MPA	
0	Dallage	177,70	177,52							
1	Remblais sablo-graveleux limoneux	177,52	175,35	28	0	2	1	1,1	11	1/3
2	Sable +/- graveleux et	175,35	169,50	35	0	2	1	2,4	31	1/3

Sondage SP4 – rideau d'ancrage

Sol n°	Nature	Niveau NGF		ϕ'	c'	γ	γ'	PI*	EM	α
		Toit	Base	°	t/m ²	t/m ³	t/m ³	MPA	MPA	
0	Dallage	177,70	177,54							
1	Remblais sablo-graveleux	177,54	174,95	32	0	2	1	3,4	36	1/3
2	Sable +/- limoneux	174,95	171,80	28	0	2	1	1,2	10	1/3
3	Sable +/- graveleux	171,80	169,50	30	0	2	1	2,3	22	1/3

On retiendra, sécuritairement le couple de sondage SP1/SP2 légèrement moins favorable que le couple SP3/SP4.

Ces sondages correspondent au quai réalisé en 2^{ème} tranche, côté Sud.

ϕ' : Angle de frottement naturel

c' : Cohésion

γ : Densité apparente

γ' : Densité déjaugée

PI* : Pression limite moyenne

EM : Module de déformation pressiométrique moyen

α : Coefficient rhéologique

Le sondage SP5 (sondage en bord du quai), et SP6 (sondage au niveau du rideau d'ancrage)
Correspondent au quai réalisé en 1^{ère} tranche côté Nord.

Sol n°	Nature	Niveau NGF		ϕ'	c'	γ	γ'	PI*	EM	α
		Toit	Base	°	t/m ²	t/m ³	t/m ³	MPa	MPa	
0	Dallage	177,75	177,50							
1	Remblais sablo-graveleux	177,50	174,65	28	0	2	1	1,5	15	1/3
2	Sable marron (remblais ?)	174,65	172,15	25	0	2	1	0,9	11	1/3
3	Sable +/- graveleux	172,15	168,75	35	0	2	1	2,4	29	1/3
4	Sable +/- graveleux	168,75	162,10	38	0	2	1	5,2	48	1/3

Sondage SP5 – rideau principal

Sol n°	Nature	Niveau NGF		ϕ'	c'	γ	γ'	PI*	EM	α
		Toit	Base	°	t/m ²	t/m ³	t/m ³	MPa	MPa	
0	Enrobés	177,90	177,70							
1	Remblais sablo-graveleux	177,70	175,15	28	0	2	1	1,5	19	1/3
2	Sable	175,15	171,70	22	0	2	1	0,7	4,5	1/3
3	Sable +/- graveleux	171,70	168,70	30	0	2	1	2,5	19	1/3

Sondage SP6 – rideau d'ancrage

ϕ' : Angle de frottement naturel

c' : Cohésion

γ : Densité apparente

γ' : Densité déjaugée

PI* : Pression limite moyenne

EM : Module de déformation pressiométrique moyen

α : Coefficient rhéologique

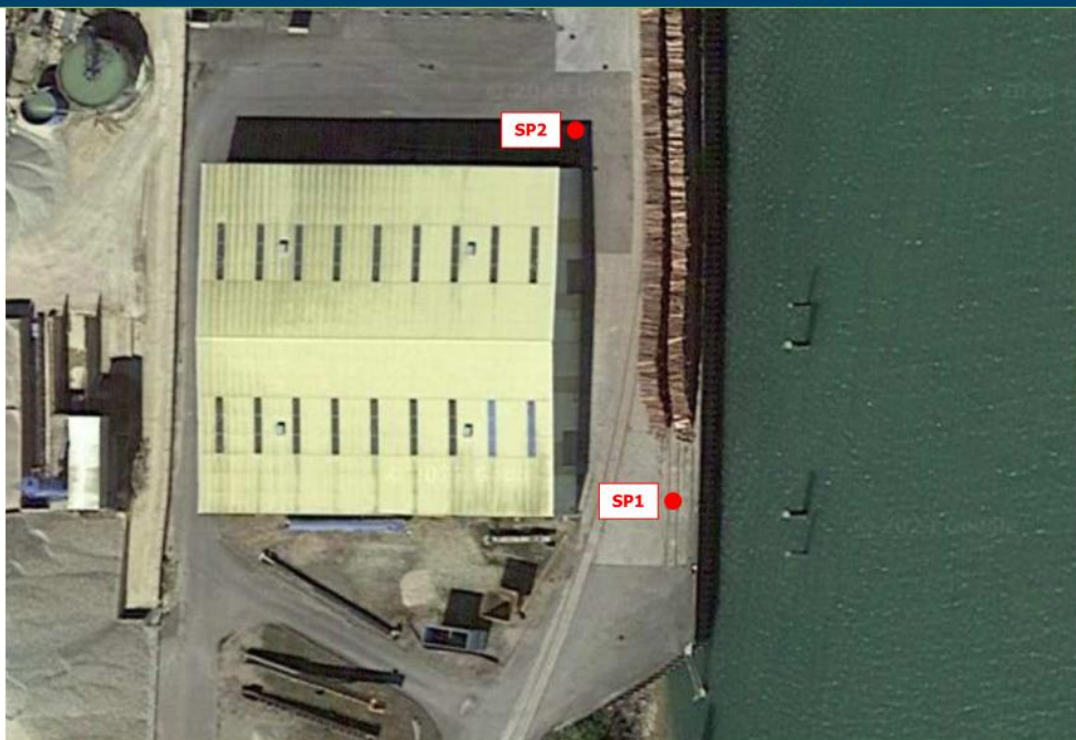
Le sondage SP6 a été réalisé dans une zone où Alios a constaté la présence d'une anomalie sur les remblais par investigations géoradars.

Les caractéristiques des sols de ce sondage sont médiocres sur les sols concernés par le rideau d'ancrage.

Il sera pris un angle de frottement de $\Phi=25^\circ$ EM = 10 MPa pour le sol n°2

La zone au droit du sondage SP6 fera l'objet d'une restriction, car la butée du rideau d'ancrage permettant de stabiliser le rideau principal n'est pas satisfaisante.

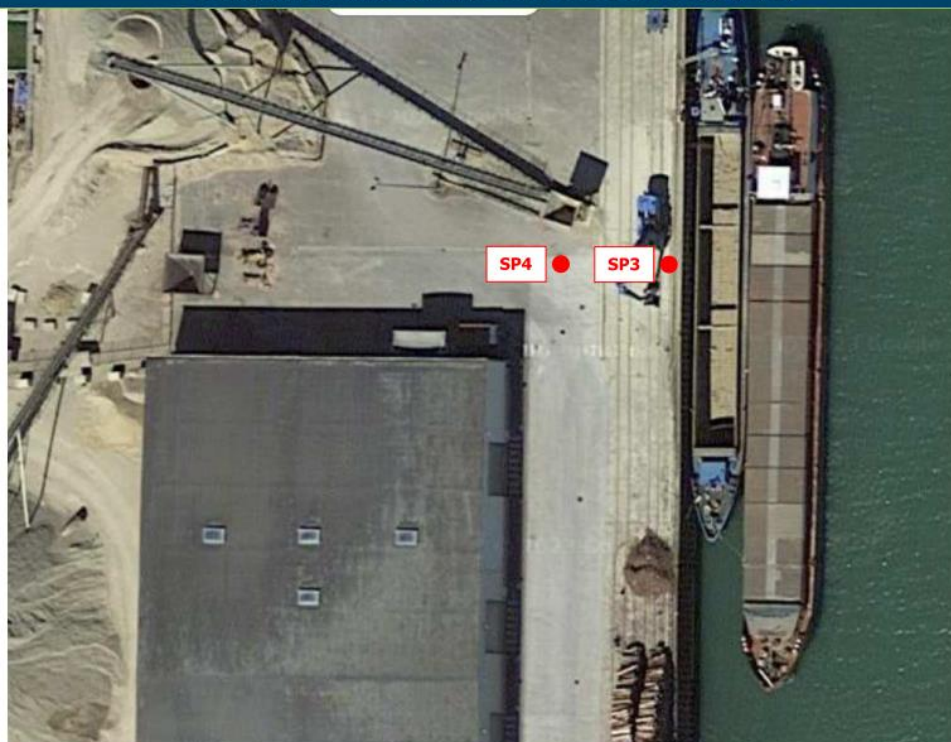
SCHEMAS D'IMPLANTATION DES SONDAGES (1/3)



● **SPx :** Sondage pressiométrique

Plan d'implantation des sondages SP1 et SP2 – extrait rapport géotechnique ALIOS

SCHEMAS D'IMPLANTATION DES SONDAGES (2/3)



● **SPx :** Sondage pressiométrique

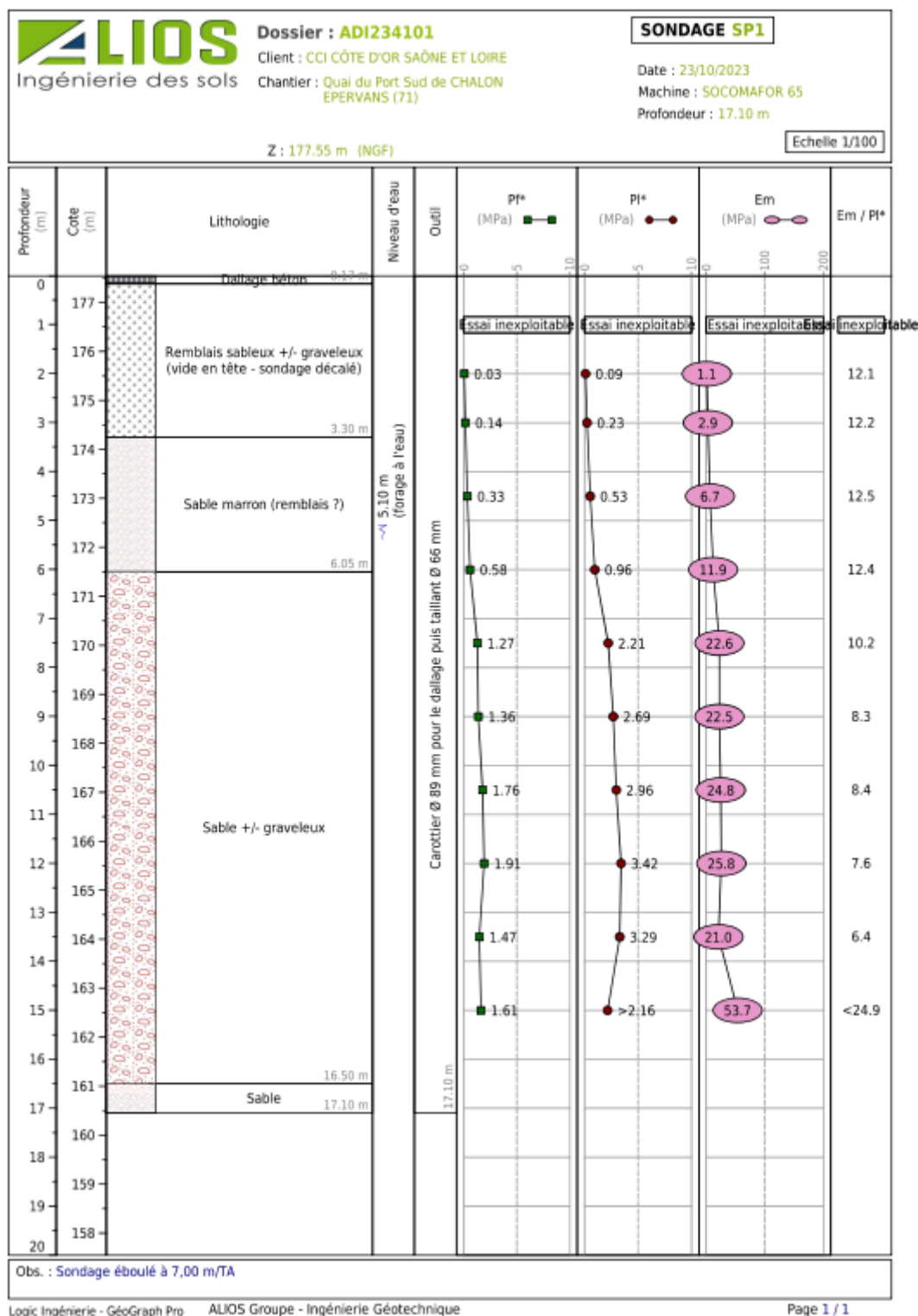
Plan d'implantation des sondages SP3 et SP4 – extrait rapport géotechnique ALIOS

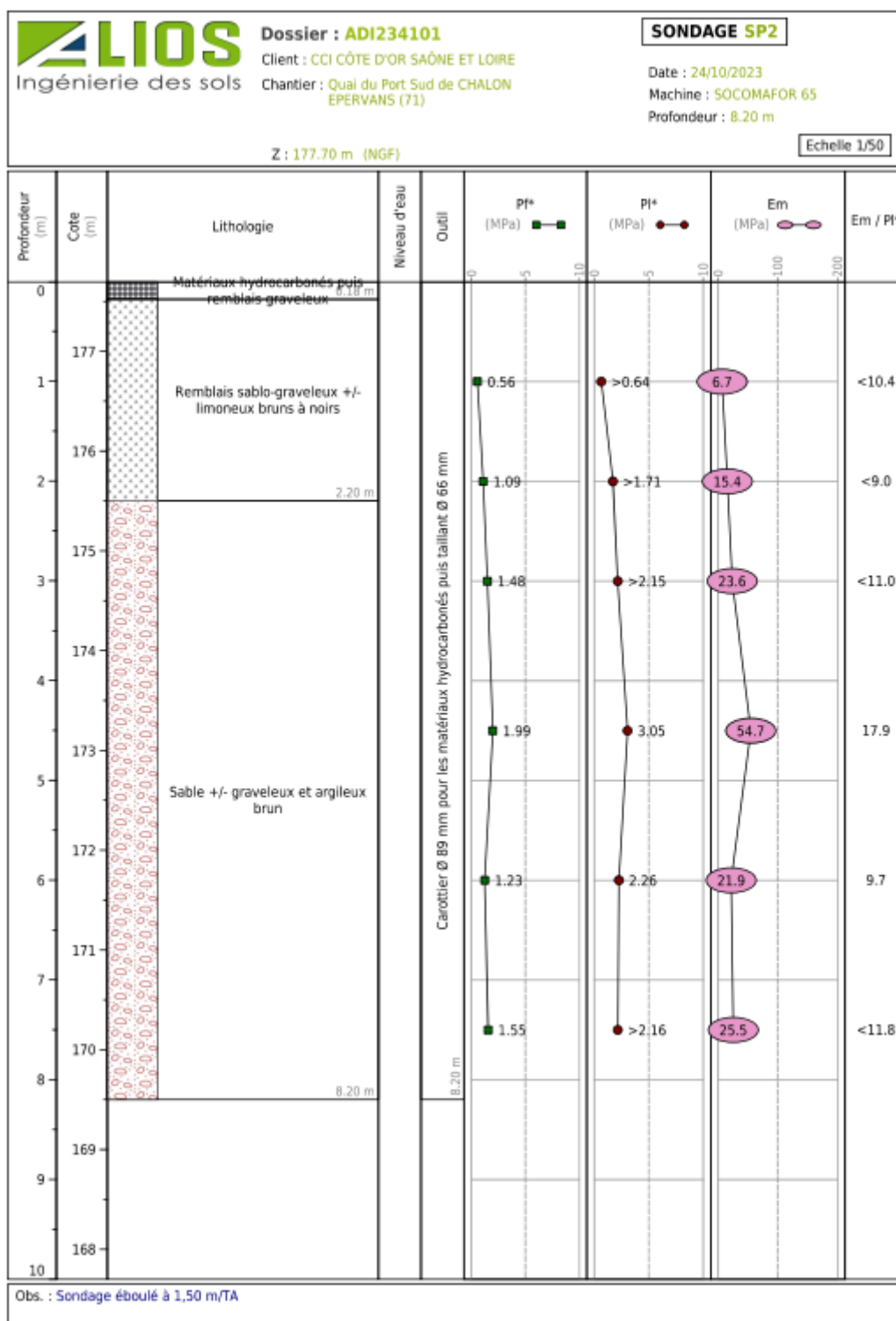
SCHEMAS D'IMPLANTATION DES SONDAGES (3/3)

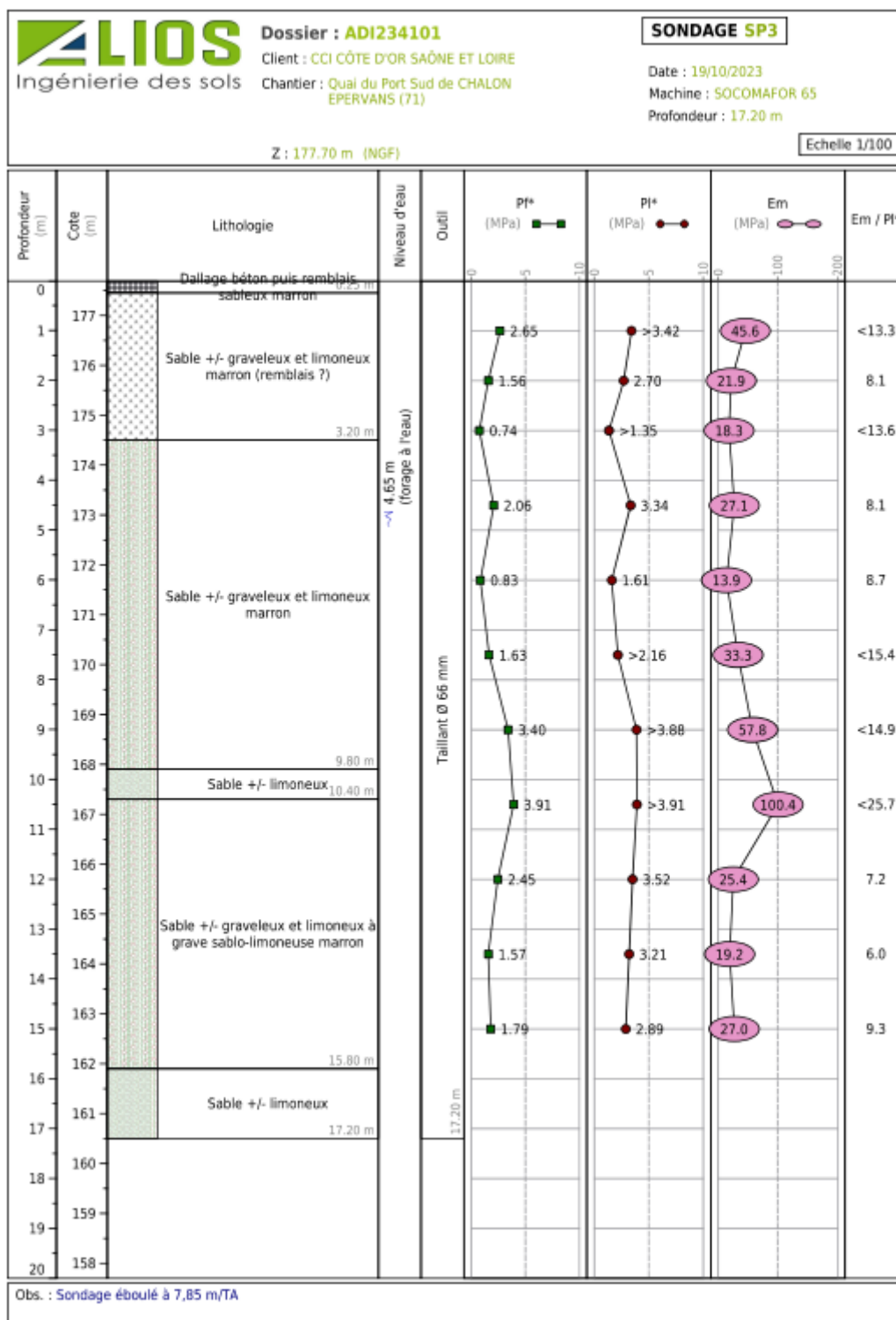


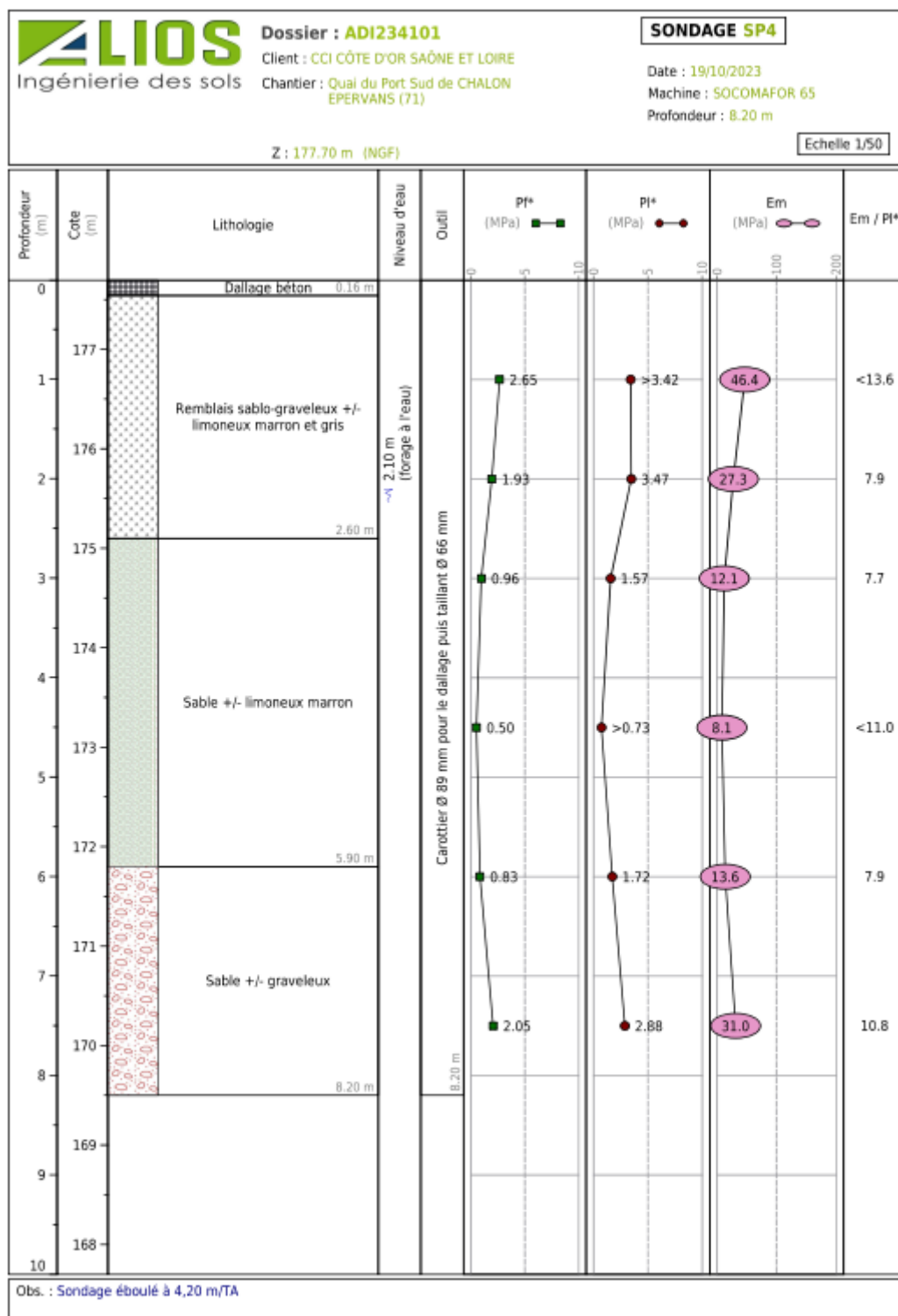
● **SPx :** Sondage pressiométrique

Plan d'implantation des sondages SP5 et SP6 – extrait rapport géotechnique ALIOS





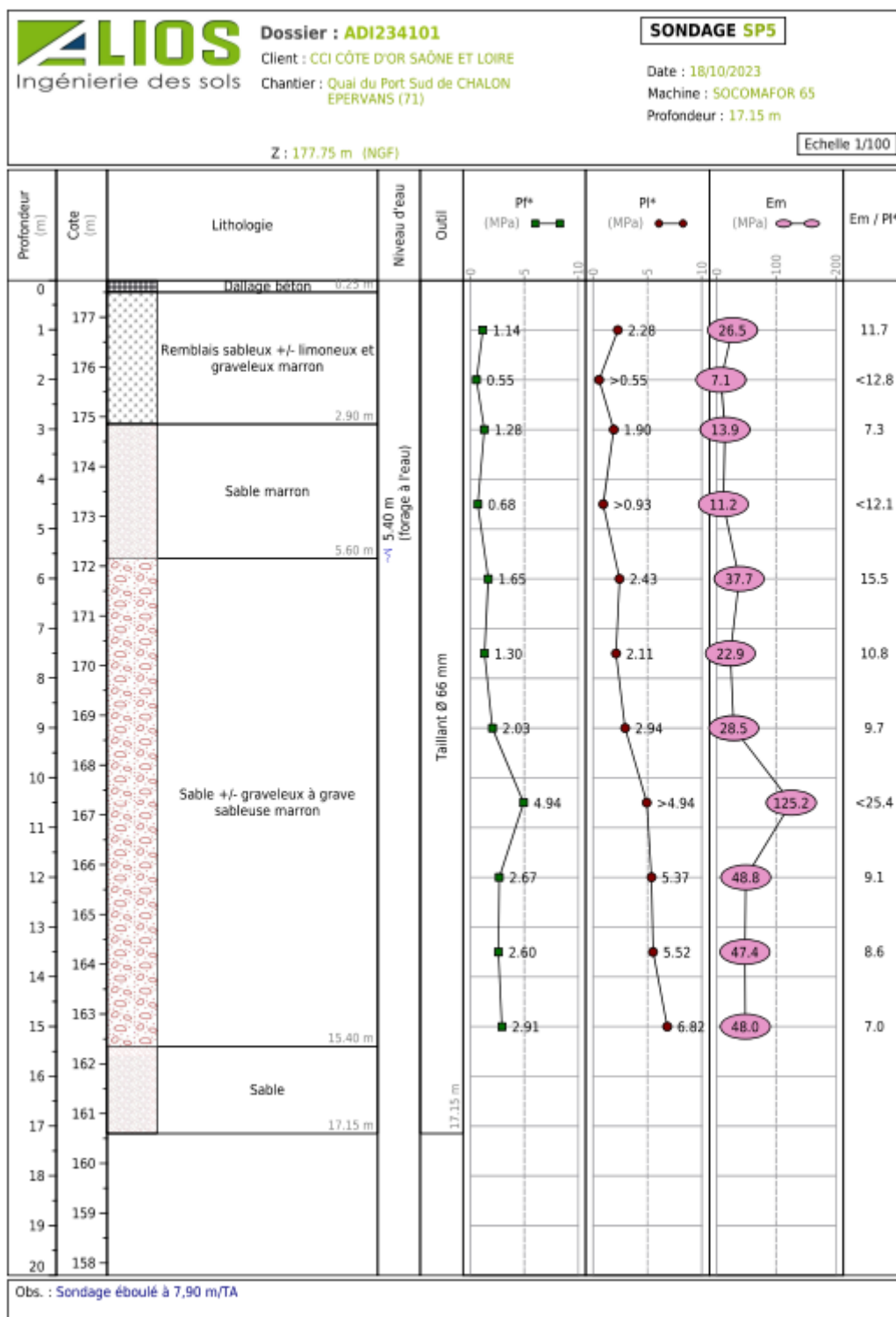


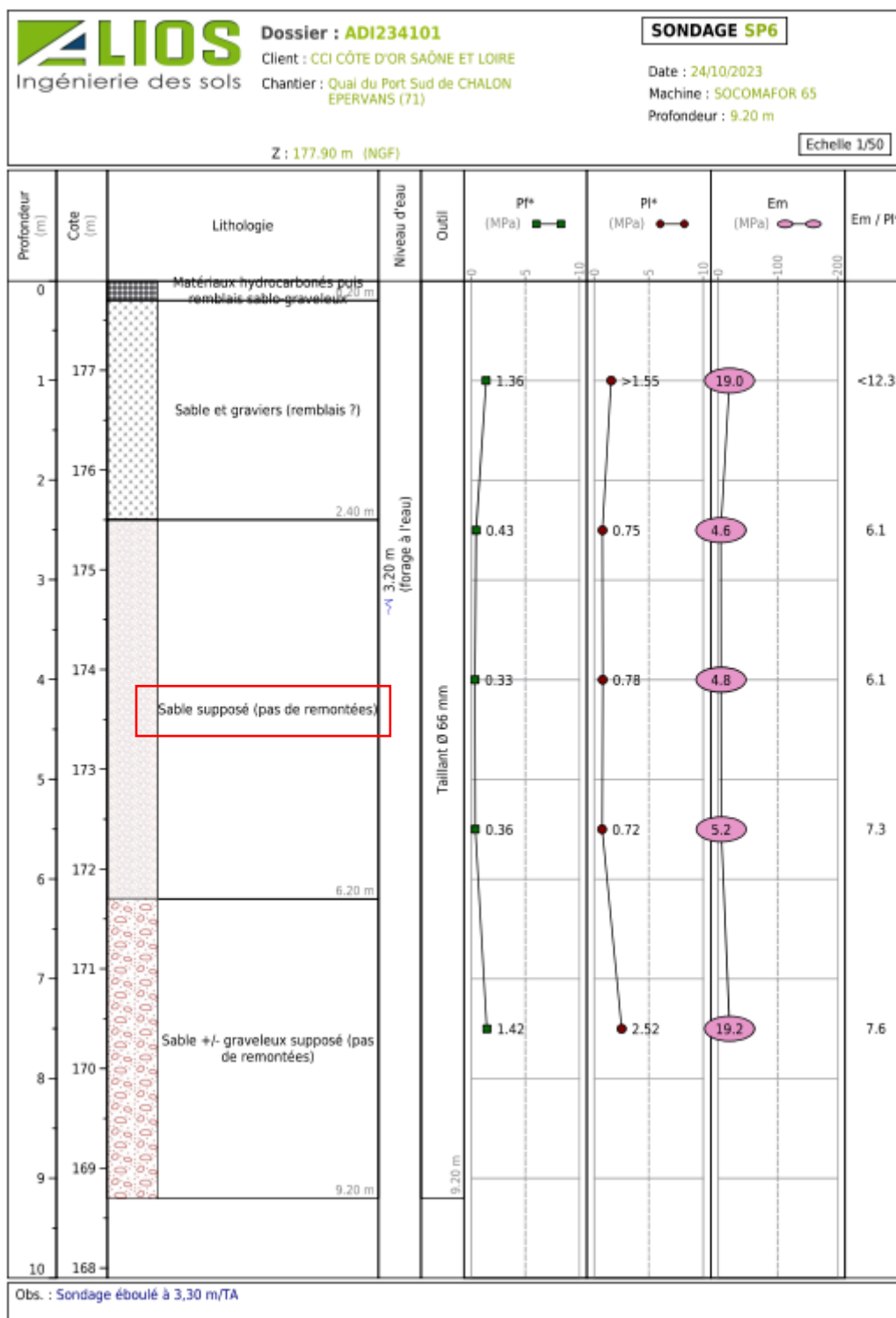


Logic Ingénierie - GeoGraph Pro

ALIOS Groupe - Ingénierie Géotechnique

Page 1 / 1



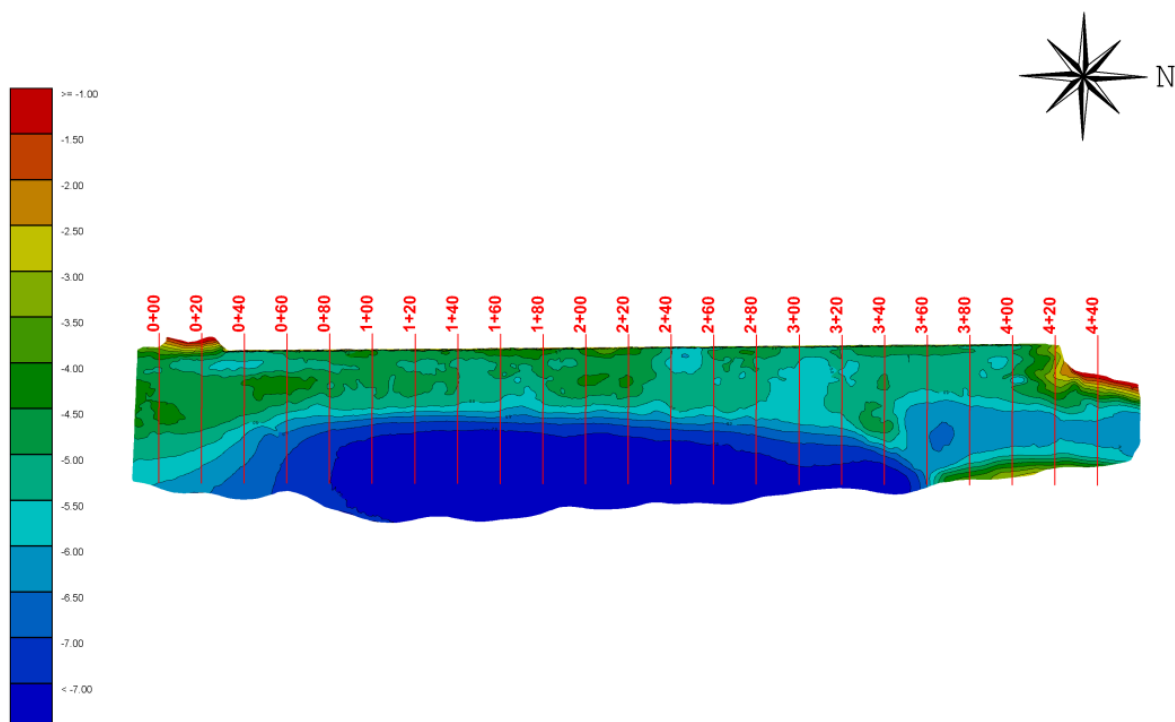


Logic Ingénierie - GéoGraph Pro

ALIOS Groupe - Ingénierie Géotechnique

Page 1 / 1

4.9. PROFILS BATHYMETRIQUES RETENUS



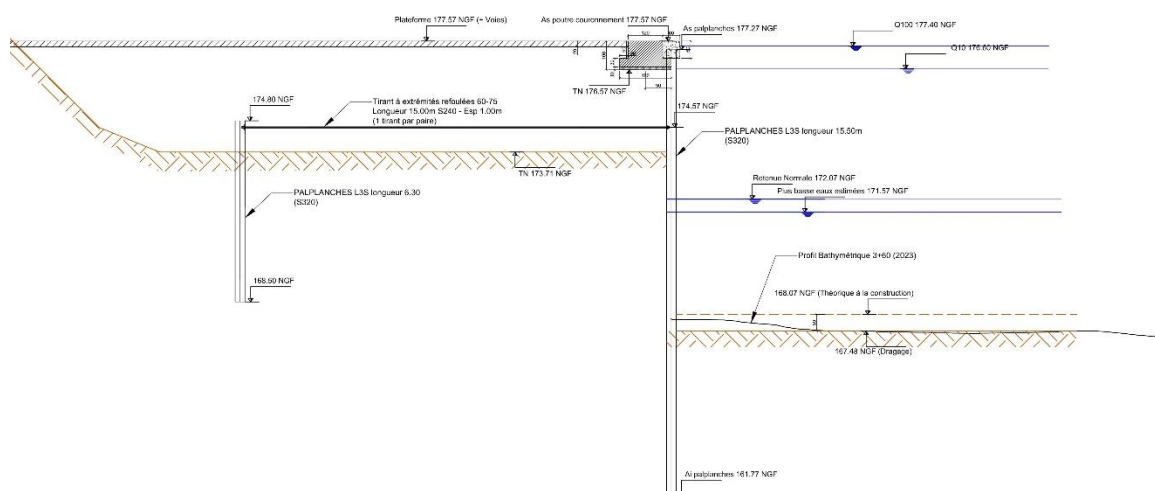
Nous retiendrons les coupes les plus défavorables (de dragage plus profond) :

Profil 3+60 pour la 1ère tranche (Nord)

Profil 2+40 pour la 2ème tranche (Sud)

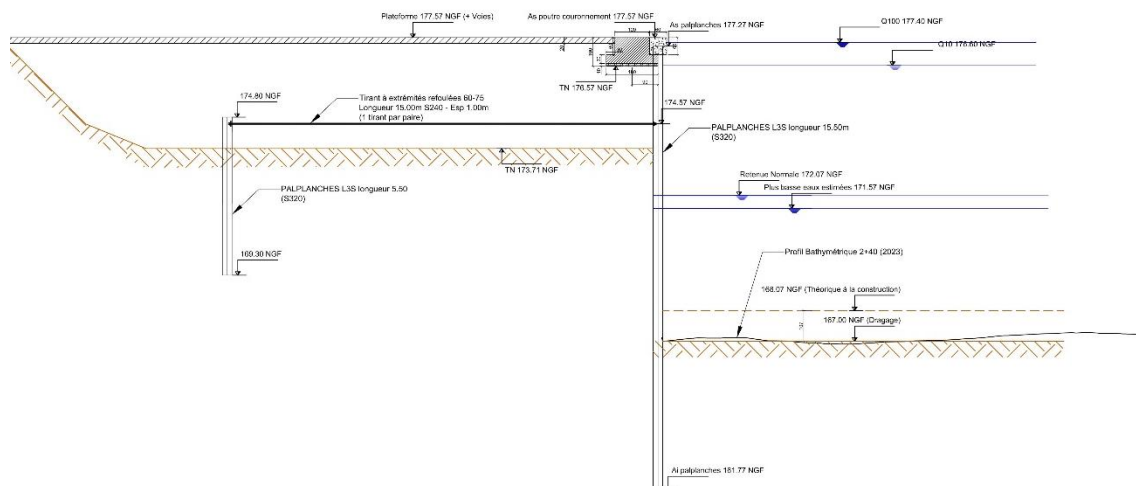
COUPE QUAI 1ERE TRANCHE (NORD)

ECHELLE 1/100



COUPE QUAI 2EME TRANCHE (SUD)

ECHELLE 1/100



4.10. CALCULS DES MODULES DE REACTION ELASTIQUES HORIZONTAUX

4.10.1. QUAI 1ERE TRANCHE (NORD)

Sondages associés : SP5/SP6

Suivant la norme NF P94-282, par la formule de Schmidt :

$$kh = 2 \times \frac{\left(\frac{EM}{\alpha}\right)^{4/3}}{(EI)^{1/3}}$$

Pour le rideau de quai :

Larssen 3s neuves

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	20005	9221
2	20005	6098
3	20005	22208
4	20005	43482

Larssen 3s corrodées 50 ans

De 177.27 à 171.06 (-1m sous le niveau de retenue) :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	17877	9573
2	17877	6331
3	17877	23057
4	17877	45143

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 50 ans : 1.038

De 171.06 à 161.77 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	18302	9498
2	18302	6281
3	18302	22877
4	18302	44790

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 50 ans : 1.030

Larssen 3s corrodées 100 ans

De 177.27 à 171.06 (-1m sous le niveau de retenue) :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	16316	9869
2	16316	6527
3	16316	23770
4	16316	46539

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 100 ans : 1.070

De 171.06 à 161.77 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	16600	9813
2	16600	6489
3	16600	23633
4	16600	46272

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 100 ans : 1.064

Pour le rideau d'ancrage :

Le sol 2 du sondage SP6 a été modifié : EM = 10 MPa (Phi = 25°), paragraphe 4.4.

Larssen 3s neuves

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	20005	12637
2	20005	5370
3	20005	12637

Larssen 3s corrodées 50 ans

De 174.80 à 168.50 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	18302	13018
2	18302	5532
3	18302	13018

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 50 ans : 1.030

De 174.80 à 168.50 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	16600	13448
2	16600	5715
3	16600	13448

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 100 ans : 1.064

4.10.2. QUAI 2EME TRANCHE (SUD)

Sondages associés : SP1/SP2

Suivant la norme NF P94-282, par la formule de Schmidt :

$$kh = 2 \times \frac{\left(\frac{EM}{\alpha}\right)^{4/3}}{(EI)^{1/3}}$$

Pour le rideau de quai :

Larssen 3s neuves

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	20005	6098
2	20005	4666
3	20005	16304

Larssen 3s corrodées 50 ans

De 177.27 à 171.06 (-1m sous le niveau de retenue) :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	17877	6331
2	17877	4835
3	17877	16927

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 50 ans : 1.038

De 171.06 à 161.77 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	18302	6281
2	18302	4807
3	18302	16794

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 50 ans : 1.030

Larssen 3s corrodées 100 ans

De 177.27 à 171.06 (-1m sous le niveau de retenue) :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	16316	6527
2	16316	4994
3	16316	17450

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 100 ans : 1.070

De 171.06 à 161.77 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	16600	6489
2	16600	4966
3	16600	17350

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 100 ans : 1.064

Pour le rideau d'ancrage :

Larssen 3s neuves

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	20005	6098
2	20005	24274

Larssen 3s corrodées 50 ans

De 174,80 à 169,30 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	18302	6281
2	18302	25004

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 50 ans : 1.030

De 174,80 à 169,30 :

Sol n°	Inertie cm4/ml	Kh
	Larssen L3S	t/m3
1	16600	6489
2	16600	25831

Coef de correction sur le module de réaction élastiques neuf -> corrosion 100 ans : 1.064

4.11. COEFFICIENTS DE POUSSEES-BUTEES

Suivant les tables de Caquot et Kerisel, on retient les valeurs d'inclinaisons des résultantes de poussée et de butée :

ϕ'	Poussée	Butée
< 35	$\delta = 0$	$\delta = -2/3 \phi'$
≥ 35	$\delta = 1/3 \phi'$	$\delta = -2/3 \phi'$

4.12. EXIGENCES DE CALCULS

Rapports butée mobilisable sur pression mobilisée :

Calcul réalisé à l'ELU

Pour le rideau de quai :

En phase d'exploitation,
les rapports pressions mobilisée sur butée mobilisable doivent être inférieures à 0.529

Pour le rideau d'ancrage :

En phase d'exploitation
les rapports pressions mobilisée sur butée mobilisable doivent être inférieures à 0.529

Rigidité de l'ancrage (existant) :

Rigidité de l'ancrage = rigidité combiné du tirant et du rideau d'ancrage

Rigidité combinée :

$$RC = \frac{1}{\frac{1}{R0} + \frac{1}{Rr}}$$

Rigidité du rideau d'ancrage :

$$Rr = \frac{Ft}{f}$$

Ft : réaction d'ancrage non pondéré

f : déplacement du rideau d'ancrage au point d'ancrage

Rigidité du tirant :

$$R = E \times S \times \frac{(\cos(a))^2}{L \times e}$$

E : module de l'acier du tirant : 210 GPa

a : inclinaison du tirant par rapport à l'horizontale : 0

S : section du tirant neuf ou corrodé

e : espacement des tirants : 1.00m

L : Longueur moyenne des tirants : 15.00m

Dans le programme RIDO, l'espacement des tirants est pris égal à 1.00m (réaction d'appui par mètre linéaire)

Rigidité de l'ancrage foré (renforcement)

Tirant type DSI DYWI Drill R51-660 diamètre de forage : 150 mm

Rigidité des tirants = rigidité par ml de rideau

$$R = E \times S \times (\cos a)^2 / (L \times e)$$

E = module de l'acier du tirant : 21 000 000 T/m²

a = inclinaison du tirant par rapport à l'horizontale : 35°

Ag = section du tirant neuf : 9.39 cm²

Ag = section du tirant corrodé : 8.50 cm²

e = espacement tirant : 1.00m (un par ventre de palplanches)

$$L = Ln + la : 2 + 20/2 = 12m$$

Ln : longueur neutre (frottement non pris en compte) : 2.00m

La : longueur d'ancrage utile divisé par 2 et sans coefficient de sécurité

Moment fléchissant résistant :

Sections de classe 1 ou 2 :

$$McR,d = \beta_b \times W_{pl} \times f_y$$

Section de classe 3 :

$$McR,d = \beta_b \times W_{el} \times f_y$$

β_b : 0.7

W_{pl} : Module de flexion plastique

W_{el} : Module de flexion élastique

f_y : limite élastique de l'acier

Inertie de flexion efficace :

$$I_{eff} = \beta_d \times I_{théorique}$$

β_b : 0.5

$I_{théorique}$: Moment d'inertie de la palplanches

5. COUPE DE CALCULS

5.1. COUPE DE CALCUL 1ERE TRANCHE (NORD)

Rideau de quai principal

- Palplanches type L3S S320
- Tête du rideau (arase supérieure de couronnement) : 177.57 NGF
- Niveau de la plateforme du quai : 177.57 NGF
- Pieds des palplanches : 161.77 NGF
- Hauteur du rideau (y/c couronnement) : $177.57 - 161.77 \text{ m} = 15.80 \text{ m}$
- Fond de fouille devant le rideau : 167.48
- Hauteur libre : $177.57 - 167.48 = 10.09 \text{ m}$
- Fiche : $15.80 - 10.09 = 5.71 \text{ m}$
- Rideau ancré à la côte : 174.57 NGF

Tirants d'ancrage posés :

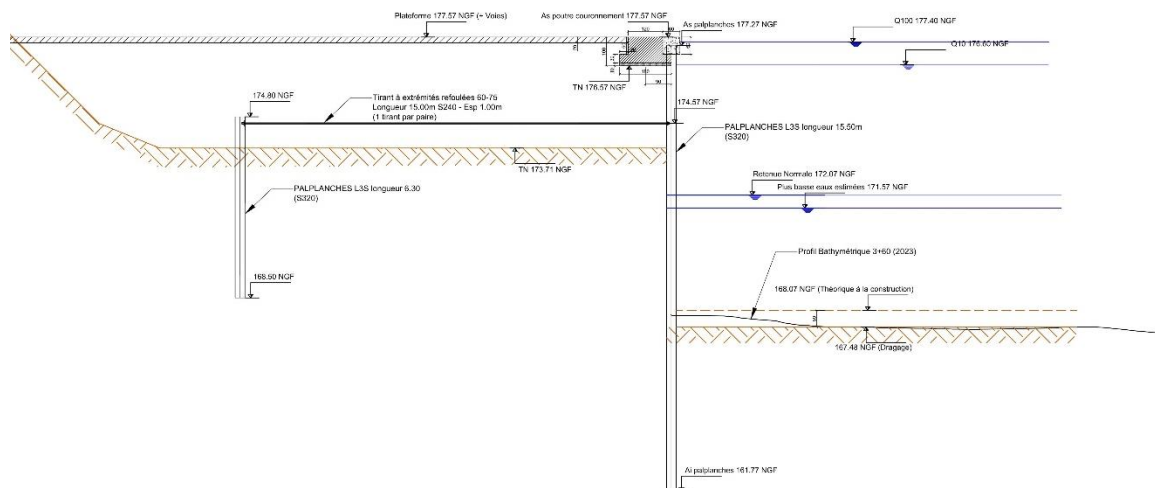
- Tirants à extrémités refoulées 60-75
- Tirants horizontaux
- Longueur tirant : 15.00m
- Espacement 1.00m

Rideau d'ancrage :

- Palplanche type L3S S320
- Tête du rideau : 174.80 NGF
- Pieds du rideau : 168.50 NGF
- Hauteur du rideau : 6.30 m
- Hauteur libre : 0
- Fiche : 6.30m
- Effort d'ancrage à la côte 174.57 NGF
- Rideau d'ancrage situé à 15.00m du rideau principal

COUPE QUAI 1ERE TRANCHE (NORD)

ECHELLE 1/100



5.2. COUPE DE CALCUL 2EME TRANCHE (SUD)

Rideau de quai principal

- Palplanches type L3S S320
- Tête du rideau (arase supérieure de couronnement) : 177.57 NGF
- Niveau de la plateforme du quai : 177.57 NGF
- Pieds des palplanches : 161.77 NGF
- Hauteur du rideau (y/c couronnement) : $177.57 - 161.77 \text{ m} = 15.80 \text{ m}$
- Fond de fouille devant le rideau : 167.00
- Hauteur libre : $177.57 - 167.00 = 10.57 \text{ m}$
- Fiche : $15.80 - 10.57 = 5.23 \text{ m}$
- Rideau ancré à la côte : 174.57 NGF

Tirants d'ancrage posés :

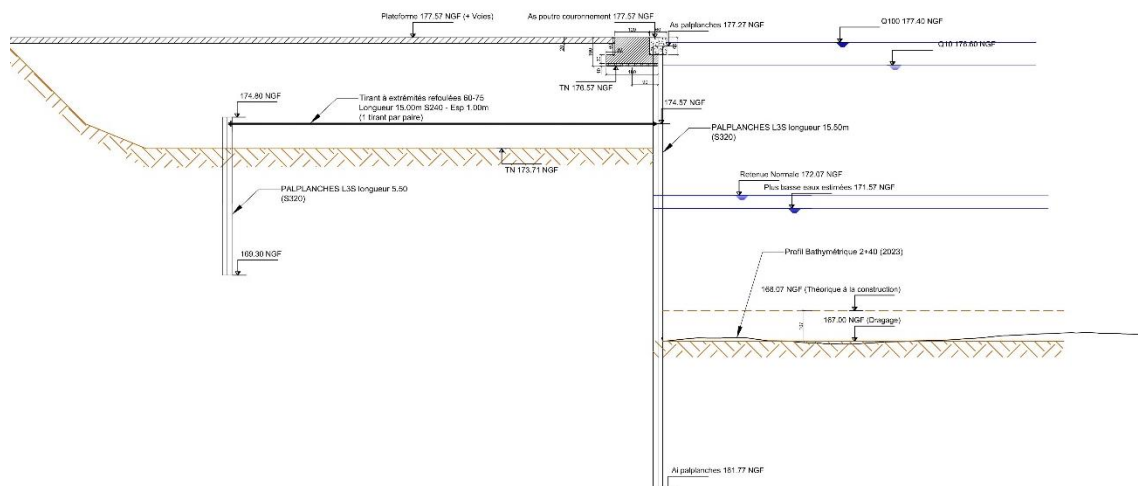
- Tirants à extrémités refoulées 60-75
- Tirants horizontaux
- Longueur tirant : 15.00m
- Espacement 1.00m

Rideau d'ancrage :

- Palplanche type L3S S320
- Tête du rideau : 174.80 NGF
- Pieds du rideau : 169.30 NGF
- Hauteur du rideau : 5.50 m
- Hauteur libre : 0
- Fiche : 5.50m
- Effort d'ancrage à la côte 174.57 NGF
- Rideau d'ancrage situé à 15.00m du rideau principal

COUPE QUAI 2EME TRANCHE (SUD)

ECHELLE 1/100



5.3. ACTIONS ET CHARGES D'EXPLOITATION

Charges d'exploitation surfaciques uniformément réparties :

La charge d'exploitation surfacique uniformément répartie du quai sera de 5 t/m² (valeur initiale définie dans les précédents rapports).

Des calculs seront menés pour vérifier la capacité du quai (tranche Nord, et tranche Sud) à reprendre cette surcharge, la possibilité de la dépasser, et la possibilité de la conserver dans le futur.

Manutention avec des grues de levage (grues télescopiques)

Pour les opérations de manutention des grues de levage (grues télescopiques) sur la plate-forme du quai, il est considéré :

- Que les plaques de répartitions de forme rectangulaire, présentent leur plus grandes longueurs parallèle à la magistrale du quai
- Que les grues et les plaques de répartition sont implantées entre le rideau de quai et le rideau d'ancrage
- Que la charge d'exploitation à l'arrière du rideau d'ancrage, à pour valeur maximum 5t/m²

Engins étudiés :

- FUCHS MHL 370
- LIEBHERR R954C EW
- MANTSINEN 70 (capacité supérieure à la FUCHS MHL 370 utilisée actuellement)

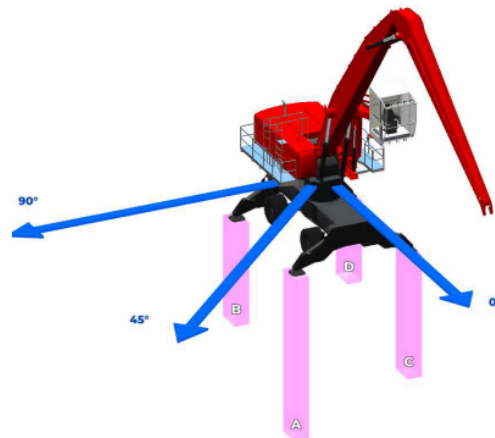
5.4. DESCENTE DE CHARGE DE LA PELLE MANTSINEN 70

MANTSINEN 70M HYBRILIFT®

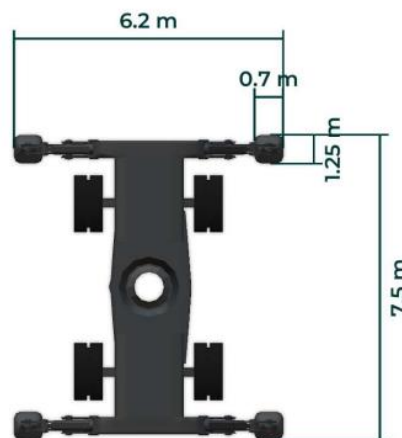
CORNER LOADS, CALCULATED WITH MAX LOAD @ ¾ REACH

WITHOUT LOAD Machine weight 88000 kg				
	0 deg		90 deg	
A	290		285	kN/m2
B	205		285	kN/m2
C	290		210	kN/m2
D	205		210	kN/m2

WITH LOAD				
	0 deg	45 deg	90 deg	
A	399	507	418	kN/m2
B	130	239	418	kN/m2
C	399	212	111	kN/m2
D	130	100	111	kN/m2



Extrait descente de charge de la Mantsinen 70



Dimension de la pelle Mantsinen 70

Pression maximum sous patin le plus chargé : $507 \text{ kN/m}^2 = 50.7 \text{ t/m}^2$

Surface d'appui patin : $0.70 \times 1.25 = 0.875 \text{ m}^2$

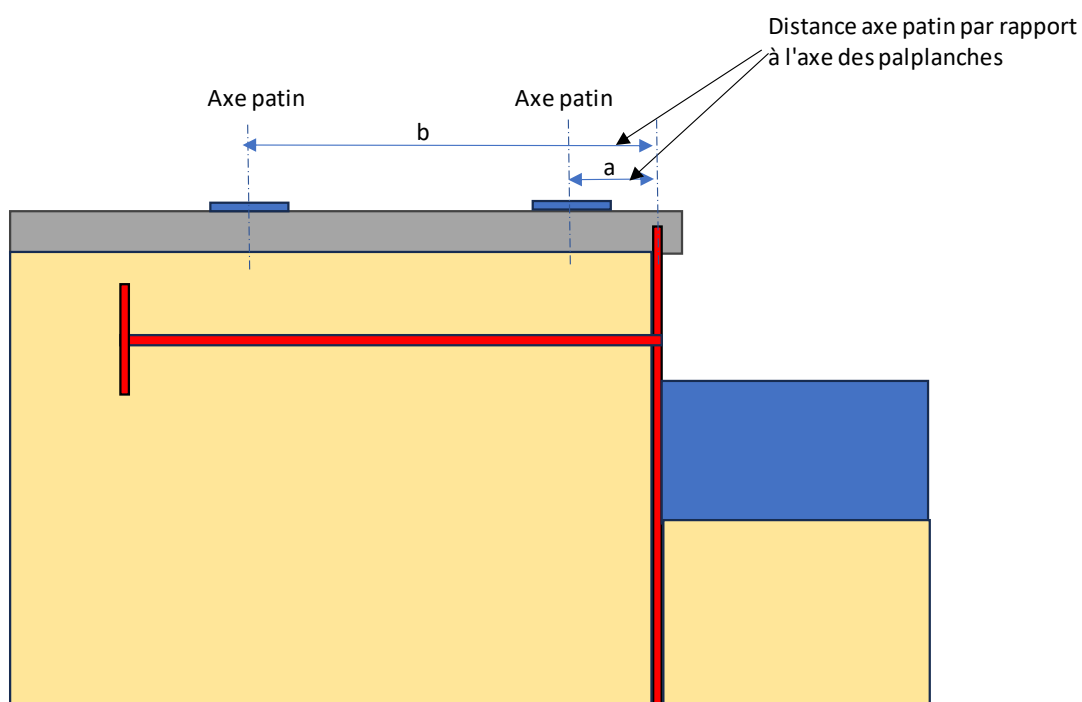
Descente de charge maximum = 44.3t

Soit 35.44 t/ml appliquées sur un linéaire de 1.25m.

Position de la pelle Mantsinen 70M

	a (m)	b (m)
Quai Nord		
Position n°1	2	7,5
Position n°2	1,2	6,7
Quai Sud		
Position n°1	2	7,5
Position n°2	1,2	6,7

Utilisation de plaque de répartition 1,25 x 0,70m (1,25m // au quai)

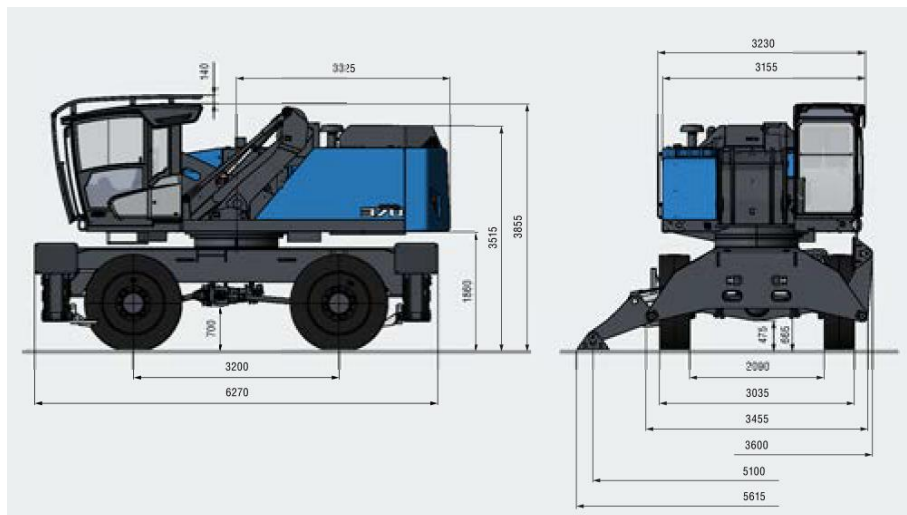


Vue en élévation position axe des patins

5.5. DESCENTE DE CHARGE DE LA MHL370D/F

POIDS DE FONCTIONNEMENT SANS ÉQUIPEMENT

MHL370 F 49,8–52,0 t



De : Danigo, Régis <Regis.Danigo@terex.com>

Envoyé : mercredi 25 octobre 2023 12:59

A : Philippe Julien <philippe.julien@pavant.fr>

Objet : TR: descentes de charges - APROPORT

Philippe,

Voici la réponse :

MHL370D:

Sur Stabilisateurs:

- 0° = 145,2N/cm²
- 45° = 176,1N/cm²
- 90° = 154,1N/cm²
- Max @ 41,1° (seulement 3 stabilisateurs sous charge) 192,2 N/cm²

Sur pneus sans charge mais avec grappin : 75,5N/cm² sur un pneu.

MHL370F:

Sur Stabilisateurs:

- 0° = 119,0N/cm²
- 45° = 145,9N/cm²
- 90° = 127,1N/cm²
- Max @ 41° (seulement 3 stabilisateurs sous charge) 160,6 N/cm²

Sur pneus sans charge mais avec grappin: 90,5N/cm² sur un pneu.

Salutations / Best regards,

Régis DANIGO

Regional Sales Manager

Pression maximum sous patin le plus chargé : $192.2 \text{ N/cm}^2 = 192.2 \text{ t/m}^2$ (hypothèse de décollement du patin opposé à la charge)

Surface d'appui patin : $0.40 \times 0.55 = 0.220 \text{ m}^2$

Descente de charge maximum = $192.2 \times 0.22 = 42.3 \text{ t}$

La descente de charge est 4% inférieure à celle de la Mantsinen 70M.

Le cas de charge de Mantsinen 70 est considéré plus défavorable que celui de la MHL370.

Remarque : l'appui étant plus petit, cette pelle poinçonne davantage le revêtement du quai et provoquera plus d'usure du béton que la Mantsinen 70M.

5.6. DESCENTE DE CHARGE DE LA LIEBHERR R954C EW

LIEBHERR-France SAS

Gerät Machine	R954C EW
Seriennummer Serial number Numéro de série	SN 27500
Werkzeug Tool Outil	Ohne / Without / Sans

Bodendruck Berechnung Ground pressure calculation Calcul de pression au sol

Ballastgewicht Counterweight Contrepoids	14,5 t	
Unterwagen Undercarriage Châssis	EW - 783	
Abmessungen Dimensions	Radstand Wheelbase	4565 mm
Abmessungen Dimensions	Empattement Gauge	3800 mm
Abmessungen Dimensions	Spur Voie	750 mm
Bodenplatten Plates Tuiles	Flach Flat Plates	

Bohrung Bore hole Alésage	3-C	
Ausleger Boom Flèche	10,5 m	Abgewinkelt Angled Coudé
Stiel Stick Balancier	7,8 m	
Gerätgewicht Machine weight Poids machine	70800 kg	
Maximale Reichweite Maximum reach Portée maximum	17400 mm	

Längsberechnung / Calculation in longway / Calcul en long

Maximale Last
Maximum Load
Charge maximum

6000 kg an / at / à 17,4 m

Gesamtgewicht
Total weight
Poids total

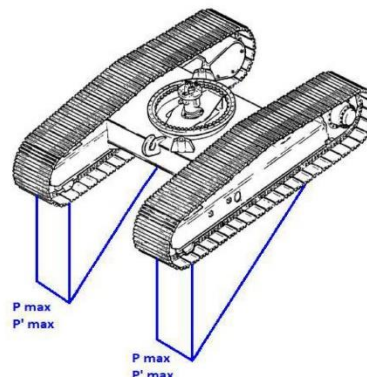
76800 kg

Weichen Boden / Soft ground / Sol mou

$P_{max} = 8,31 \text{ daN/cm}^2$

Harten Boden / Hard ground / Sol dur

$P'_{max} = 16,72 \text{ daN/cm}^2$



Querberechnung / Calculation in crossway / Calcul en travers

Maximale Last
Maximum Load
Charge maximum

5000 kg an / at / à 17,4 m

Gesamtgewicht
Total weight
Poids total

75800 kg

Weichen Boden / Soft ground / Sol mou

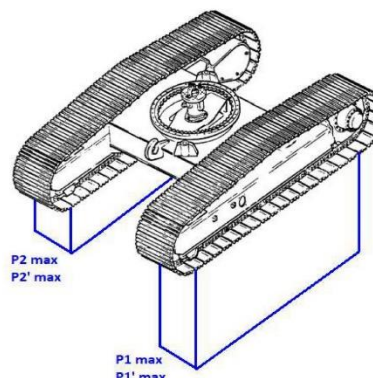
$P1_{max} = 6,63 \text{ daN/cm}^2$

$P2_{max} = 0,43 \text{ daN/cm}^2$

Harten Boden / Hard ground / Sol dur

$P1'_{max} = 11,77 \text{ daN/cm}^2$

$P2'_{max} = 0,77 \text{ daN/cm}^2$



Bodendrucke Berechnung mit statischer Belastung. Bodendrucke sind nur für dieses Gerät gültig.

Pressures are calculate with static load. Pressures are only valid for this machine.

Les pressions sont calculées avec les charges en statique. Les pressions indiquées sont valables uniquement pour cette machine.

Ne disposant pas de l'intégralité des descentes de charge, notamment pour une orientation du bras à 45°, les hypothèses de descentes de charge sont les suivantes :

En considérant l'intégralité du poids de la pelle + le poids maximum de la charge pour produire le décolllement de la deuxième chenille (arrière) on obtient : 76.80 t de descente de charge appliquée sur une seule chenille.

A répartition triangulaire, avec pour hypothèse que 2/3 de la chenille est chargée, et l'autre chenille complètement déchargée (hypothèse conservatrice) :

En ramenant à une descente de charge surfacique uniforme :
 $76.80 / 3 = 25 \text{ t/ml}$ (*< cas de charge de la Mantsinen 70*)

Suivant une distribution triangulaire (hypothèse conservatrice) :

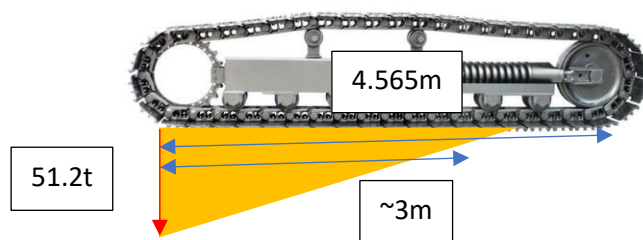
Charge max : $76.80 \times 2 / 3 = 51.2 \text{ t}$

Charge min : 0 t à 3.00m

Sur le 1^{er} m le plus chargé, le chargement moyen serai de : $(51.2\text{t} + 34.13)/2 = 42.7 \text{ t/m}$

Sur le 2^{ème} m, le chargement moyen serai de : $(34.13 + 17.07)/2 = 25.6\text{t/m}$

Sur le 3^{ème} m, le chargement moyen serai de $(17.07 + 0) / 2 = 8.5\text{t/m}$



On considèrera que ponctuellement dans un cas de charge très spécifique provoquant un décolllement de la chenille arrière et un appui limité sur la chenille avant, le cas de charge de la Liebherr 954 est plus défavorable qu'une Mantsinen 70 pourtant plus lourde (88t contre 70.8t)

Dans des conditions d'utilisations normales avec le capteur d'état de charge fonctionnel, cette situation de décolllement et charge exclusivement concentrée sur un seul patin n'est pas possible.

Le cas de charge de Mantsinen 70 est considéré plus défavorable que celui de la Liebherr R954C EW.

La chenille sera toujours positionnée à 1.2m ou plus du rideau principal.

5.7. NAPPE PHREATIQUE

Trois cas de calculs :

1^{er} cas :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 171.57 NGF (plus basses eaux estimées)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $171.57 + 0.50 = 172.07$ NGF

2^{ème} cas :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (Retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : Retenue normale + 1.00 = 173.07 (niveau des écoulements constatés au niveau des serrures sur certaines palplanches)

3^{ème} cas :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : $177.57 - 0.50 = 177.07$ NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : plateforme du quai 177.57 NGF (Plus hautes eaux connues et décrue)

6. PHASAGE DE CALCUL CAPACITE DU QUAI CHARGES SURFACIQUES ET MANTSINEN 70

6.1. PALPLANCHES ET TIRANTS NEUFS

1^{ère} phase de calcul ;

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 173.07 NGF

Palplanches et tirants neufs

charge d'exploitation : 0 t/m²

2^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 173.07 NGF

Palplanches et tirants neufs

charge d'exploitation : 5.5 t/m² (5.0 t/m² pondéré par 1.1)

3^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 171.57 (plus basses eaux)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : 172.07 NGF (plus basses eaux + 0.50m)

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 172.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 172.07 NGF

Palplanches et tirants neufs

charge d'exploitation : 5.5 t/m² (5.0 t/m² pondéré par 1.1)

4^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 177.07 (décrue)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : 177.57 (Plus hautes eaux connues)

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 174.80 (tête rideau)
- Niveau d'eau derrière le rideau : 174.80 (tête rideau)

Palplanches et tirants neufs

charge d'exploitation : 5.5 t/m² (5.0 t/m² pondéré par 1.1)

5^{ème} phase de calcul ; - Non-conformité de mouillage (augmentation de la hauteur soutenue et diminution de la butée (fiche palplanches par rapport aux données de la construction (-0.59 1^{ère} tranche Nord et -1.07 2^{ème} tranche Sud)

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 173.07 NGF

Palplanches et tirants neufs

charge d'exploitation : 4.4 t/m² (4.0 t/m² pondéré par 1.1), déclassement du quai.

6.2. PALPLANCHES ET TIRANTS CORRODES (AGE ACTUEL = 50 ANS)

6^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 173.07 NGF

Palplanches et tirants corrodés

charge d'exploitation : 4.4 t/m² (4.0 t/m² pondéré par 1.1)

7^{ème} phase de calcul : renforcement du quai : ajout de tirants d'ancrage

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 173.07 NGF

Palplanches et tirants corrodés

Tirant d'ancrage à 172.57

charge d'exploitation : 5.5 t/m² (5.0 t/m² pondéré par 1.1)

8^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau : 173.07 NGF

Palplanches et tirants corrodés

charge d'exploitation : 5.5 t/m² (5.0 t/m² pondéré par 1.1) + MANTSINEN 70

6.3. PALPLANCHES ET TIRANTS CORRODES (AGE ACTUEL + 50 ANS = 100 ANS)

9^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau: 173.07 NGF

Palplanches et tirants corrodés

charge d'exploitation : 5.5 t/m^2 (5.0 t/m^2 pondéré par 1.1)

10^{ème} phase de calcul ;

Rideau principal :

- Niveau d'eau devant le rideau de quai : 172.07 NGF (retenue normale)
- Niveau d'eau derrière le rideau de quai : $172.07 + 1.00 = 173.07$ NGF

Rideau d'ancrage :

- Niveau d'eau devant le rideau : 173.07 NGF
- Niveau d'eau derrière le rideau: 173.07 NGF

Palplanches et tirants corrodés

charge d'exploitation : 5.5 t/m^2 (5.0 t/m^2 pondéré par 1.1) MANTSINEN 70

6.4. QUAI TRANCHE NORD - RESULTATS DE CALCULS CORROSION ACTUELLE ET APRES RENFORCEMENT

Rideau principal (rideau de quai)

Les calculs de la rigidité du système d'ancrage sont présentés pages suivantes.

Les données et les résultats informatiques des calculs RIDO sont présentés en annexe.

Les tableaux ci-après, présentent les résultats des calculs avec la pelle Mantsinen70 prévue dans les configuration expliquées précédemment :

Dans l'état de corrosion actuel il est retenu **une charge d'exploitation admissible maintenue à 5t/m²**

Les contraintes dans les palplanches ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum palplanches corrodées actuelles : 2591 kg/cm² < 3200 kg/cm²**

Les efforts tranchants dans les palplanches ne dépassent l'effort tranchant admissible :

- **Maximum palplanches corrodées : V = 32.40 t/m < 60.5 t/m**

Les déformations maximum des palplanches sont de l'ordre de :

- **Maximum palplanches corrodées : 90 mm**

Les rapports pressions mobilisées sur butées mobilisables sont supérieures à la limite de sécurité de 0.529 :

- **Maximum palplanches corrodées : 0.640 > 0.529**

L'ancien règlement permettait d'accepter un rapport pressions mobilisées sur butées mobilisables de 0.673.

Sur la longueur des palplanches du rideau principal, le quai n'est pas conforme suivant les normes en vigueur, mais conforme sur le précédent règlement.

Les contraintes dans les tirants existants ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum : 1885 kg/cm² < 2400 kg/cm²**

Rideau d'ancrage (rideau arrière)

Les données et les résultats informatiques des calculs RIDO sont présentés

Le tableau ci-après, présente les résultats des calculs

Les contraintes ne dépassent pas la contrainte admissible dans le béton

- **Maximum : 2700 kg/cm² < 3200 kg/cm²**

Les efforts tranchants ne dépassent pas l'effort tranchant admissible

- **Maximum : V = 45.95 t/m < 60.5 t/m**

Les déformations maximum du rideau sont de l'ordre de :

- **Maximum : 30 mm**

L'implantation du rideau d'ancrage ne respecte pas la construction de RANKINE, qui fixe la position minimale à laquelle il doit se situer du rideau principal (voir annexe).

6.5. RESULTATS DE CALCULS CORROSION ACTUELLE + 50 ANS : 100 ANS

Dans la projection de l'état actuel de corrosion et sur 50 ans (2076).

La capacité du quai est maintenue à 5.00 t/m² (après renforcement avec tirants)

Les contraintes dans les palplanches ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum palplanches corrodées actuelles : 2733 kg/cm² < 3200 kg/cm²**

Les efforts tranchants dans les palplanches ne dépassent l'effort tranchant admissible :

- **Maximum palplanches corrodées : V = 29.65 t/m < 50.3 t/m**

Les déformations maximum des palplanches sont de l'ordre de :

- **Maximum palplanches corrodées : 93 mm**

Les rapports pressions mobilisées sur butées mobilisables sont supérieures à la limite de sécurité de 0.529 :

- **Maximum palplanches corrodées : 0.640 > 0.529**

L'ancien règlement permettait d'accepter un rapport pressions mobilisées sur butées mobilisables de 0.673.

Sur la longueur des palplanches du rideau principal, le quai n'est pas conforme suivant les normes en vigueur, mais conforme sur le précédent règlement.

Les contraintes dans les tirants ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum : 1868 kg/cm² < 2400 kg/cm²**

Rideau d'ancrage (rideau arrière)

Les données et les résultats informatiques des calculs RIDO sont présentés

Le tableau ci-après, présente les résultats des calculs

Les contraintes ne dépassent pas la contrainte admissible dans le béton

- **Maximum : 2773 kg/cm² < 3200 kg/cm²**

Les efforts tranchants ne dépassent pas l'effort tranchant admissible

- **Maximum : V = 44.87 t/m < 53.0 t/m**

Les déformations maximum du rideau sont de l'ordre de :

- **Maximum : 32 mm**

L'implantation du rideau d'ancrage ne respecte pas la construction de RANKINE, qui fixe la position minimale à laquelle il doit se situer du rideau principal (voir annexe).

6.6. CONCLUSION CAPACITE DU QUAI TRANCHE NORD

Le quai pouvait accepter 5 tonnes/m² de charges réparties lors de sa réalisation.

La non-conformité sur le mouillage réel a entraîné une augmentation de la hauteur à soutenir.
Cela se traduit par une diminution de la capacité du quai à 4t/m²

Le renforcement avec la mise en œuvre de tirant d'ancrage permet de ramener le quai à une capacité de 5.00t/m² et de conserver ces 5.00t/m² dans 50 ans (2076).

L'étude de cas de charges spécifiques dans ce rapport permet de justifier au calcul la mise en place d'une Mantsinen 70 (y compris Liebherr 954 et MHL370) suivant les conditions d'utilisation détaillées (position patins, taille des patins et descentes de charges maximum transmises par les fournisseur)

Les cas de charge de la Mantsinen 200 amènent le quai dans ses limites de capacité, qui ne permettent pas de sécuriser son utilisation.

La Mantsinen 70 (ou MHL370) peuvent être positionnées avec un 1^{er} patin à 1.20m/rideau principal, sur la poutre de roulement derrière la poutre de couronnement.

L'incidence sur les résultats de calculs est faible par rapport à un 1^{er} patin à 2.00m/rideau principal.

La poutre de roulement, fondée superficiellement, peut apporter une meilleure diffusion des contraintes grâce à son épaisseur et sa rigidité.

Le rideau principal présente une non-conformité sur sa fiche suite à l'augmentation du mouillage par rapport au mouillage théorique suivant le règlement en vigueur.

Dans 50 ans, si la perte d'épaisseur par corrosion des palplanches du rideau principal suit la perte d'épaisseur réglementaire, les contraintes admissibles par les palplanches et les tirants seront proches des limites admissibles, mais le renforcement permettra de maintenir le quai à 5t/m².

Les investigations géotechniques, géophysique par géoradar et les carottages montrent que les remblais sont hétérogènes, et des sols dont les caractéristiques mécaniques varient d'une zone à l'autre.

Le renforcement par tirants d'ancrage forés permet donc de ramener le quai à une capacité de 5.00t/m² au lieu de 4.00t/m² actuellement, et de le maintenir à 5.00t/m² pendant 50 ans (sauf anomalie constatée).

Règles générales d'utilisation du quai :

Il est strictement interdit de positionner des patins d'engins sur la poutre de couronnement des palplanches. Les palplanches et les tirants ne sont pas prévus pour reprendre les efforts.

Il est interdit d'utiliser les godets des engins pour déplacer le bateau (efforts horizontaux induits).

Les reachstackers ne sont pas autorisés sur le quai : le cas de charge est plus pénalisant à cause des effets dynamiques (accélération, freinage) et du poinçonnement de l'essieu avant lors du levage.

L'entreprise exploitante du quai doit assurer un contrôle visuel du quai et sensibiliser le personnel aux comportements anormaux suivants :

- Détachement de la poutre de couronnement par rapport au dallage béton (ouverture visible)
- Apparition de fissures sur le revêtement du quai
- Ouverture des fissures existantes.
- Rupture tirant, écrou, plaque d'appui
- Déformation des palplanches
- Déformation de la plateforme supérieure du quai (affaissement).

Les limites de l'étude :

- Cette étude prend pour hypothèse que les travaux ont été exécutés tels que prévus sur les plans communiqués
- Que les tirants ont été posés dans les règles de l'art :
 - posés tendus (absence de flèche ou déformation dans le plan horizontal)
 - posé au centre des trous dans les palplanches (absence de cisaillement possible)

Nous recommandons la mise en place d'un suivi décennal permettant notamment de suivre l'évolution des pertes d'épaisseurs par corrosion.

6.7. RESULTATS DE CALCULS

Quai dans toutes les situations de calculs, MANTSINEN 70 (1^{er} patin à 2m/ rideau principal)

RESULTATS PRINCIPAUX DU CALCUL RIDO : RIDEAU DE QUAI : 1er patin à 2,00m

PALPLANCHES L 35 S320 GP

contrainte admissible exploitation $1 \times 3200 = 3200 \text{ kg/cm}^2$

Iv Plastique (neuves)=	1672	cm3/ml	1911 (2 appuis)
Iv Plastique (corrodé 50 ans)=	1494	cm3/ml	1708 (2 appuis)
Iv Plastique (corrodé 100 ans)=	1364	cm3/ml	1559 (2 appuis)

Effort tranchant admissible neuf $= V_{pl, RD} =$	143	t/ml $\implies 0,5 \times V_{pl, RD} = 71,5 \text{ t/ml}$
Effort tranchant admissible corrodé 50 ans $= V_{pl, RD} =$	121	t/ml $\implies 0,5 \times V_{pl, RD} = 60,5 \text{ t/ml}$
Effort tranchant admissible corrodé 100 ans $= V_{pl, RD} =$	106	t/ml $\implies 0,5 \times V_{pl, RD} = 53,0 \text{ t/ml}$

Tirant 60-72 refoulé

Contrainte admissible en section courante	2400 kg/cm²
Section courante neuf	28,27 cm²
Section courante tirant corrodé 50 ans	27,15 cm²
Section courante tirant corrodé 100 ans	26,06 cm²
espacement des tirants	1,00 m

Tirants renforcement

Section courante tirant corrodé 50 ans	9,39 cm²
Section courante tirant corrodé 100 ans	8,50 cm²

	PHASE 1 DE CALCUL	PHASE 2 DE CALCUL	PHASE 3 DE CALCUL	PHASE 4 DE CALCUL	PHASE 5 DE CALCUL	PHASE 6 DE CALCUL	PHASE 7 DE CALCUL	PHASE 8 DE CALCUL	PHASE 9 DE CALCUL	PHASE 10 DE CALCUL
	Réalisation Exploitation	Exploitation niveau d'eau	Exploitation niveau d'eau	Exploitation niveau d'eau	Erreur dragage niveau d'eau	Exploitation niveau d'eau	Ajout tirants niveau d'eau	Exploitation niveau d'eau	Exploitation niveau d'eau	Exploitation niveau d'eau
Engin	non	non	non	non	non	non	non	MANT 70	non	MANT 70
Palplanches	Neuve	Neuve	Neuve	Neuve	Neuve	corrosion 50 ans	corrosion 50 ans	corrosion 50 ans	corrosion 100 ans	corrosion 100 ans
charges d'exploitation	0 t/m²	5,0 t/m²	5,0 t/m²	5,0 t/m²	4,0 t/m²	4,0 t/m²	5,0 t/m²	MANT 70	5,0 t/m²	MANT 70
Hauteur libre en m	9,50	9,50	9,50	9,50	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Fiche en m	6,30	6,30	6,30	6,30	5,23	5,23	5,23	5,23	5,23	5,23
Longueur totale en m (y/c couronnement)	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80
eau avant (NGF)	172,07	172,07	171,57	177,07	172,07	172,07	172,07	172,07	172,07	172,07
eau arrière (NGF)	173,07	173,07	172,07	177,57	173,07	173,07	173,07	173,07	173,07	173,07
Déformation max en mm	35	56	56	57	79	87	90	90	93	93
Moment max en t.m /ml	18,21	26,86	26,88	27,00	31,83	31,69	32,78	32,75	31,56	31,54
Moment max pondéré par 1,35 en t.m /ml	24,58	36,26	36,29	36,45	42,97	42,78	44,25	44,21	42,61	42,58
contrainte max en kg/cm²	1 470	2 169	2 170	2 180	2 570	2 864	2 591	2 589	2 733	2 731
	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²	<3200 kg/cm²
Effort tranchant max en t /ml	13,93	21,84	21,84	21,40	23,83	23,86	24,00	23,63	22,26	21,96
Effort tranchant max pondéré par 1,35 en t / ml	18,81	29,48	29,48	28,89	32,17	32,21	32,40	31,90	30,05	29,65
Effort tranchant admissible en t/ml $\implies 0,5 \times V_{pl, RD}$	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 60,5 t/ml	< 60,5 t/ml	< 60,5 t/ml	< 53,0 t/ml	< 53,0 t/ml
Rapport PM / BM	0,330	0,420	0,420	0,380	0,610	0,610	0,640	0,610	0,640	0,610
	< 0,529	< 0,529	< 0,529	< 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529
Réaction d'ancrage en t/ml	20,09	32,75	32,75	32,51	37,37	37,37	38,16	38,09	36,06	35,95
Réaction d'ancrage dans le tirant e=1,00m	20,09	32,75	32,75	32,51	37,37	37,37	38,16	38,09	36,06	35,95
Réaction d'ancrage dans le tirant en t *1,35	27,12	44,21	44,21	43,89	50,45	50,45	51,52	51,42	48,68	48,53
Contrainte dans le tirant en section courante kg/cm²	959	1564	1564	1552	1785	1858	1897	1894	1868	1862
Limite élastique	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²	<2400 kg/cm²
Réaction d'ancrage en t/ml tirant foré renforcement							2,02	1,89	4,15	4,02
Réaction d'ancrage dans le tirant e=1,00m							2,02	1,89	4,15	4,02
Réaction d'ancrage dans le tirant en t *1,35							2,73	2,55	5,60	5,43
Contrainte dans le tirant en section courante kg/cm²							290,42	271,73	659,12	638,47
Limite élastique							<5600 kg/cm²	<5600 kg/cm²	<5600 kg/cm²	<5600 kg/cm²

6.8. QUAÏ TRANCHE SUD - RESULTATS DE CALCULS CORROSION ACTUELLE

Rideau principal (rideau de quai)

Les calculs de la rigidité du système d'ancrage sont présentés pages suivantes.

Les données et les résultats informatiques des calculs RIDO sont présentés en annexe.

Les tableaux ci-après, présentent les résultats des calculs avec la pelle Mantsinen70 prévue dans les configuration expliquées précédemment :

Dans l'état de corrosion actuel il est retenu **une charge d'exploitation admissible à 4t/m²**

Les contraintes dans les palplanches ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum palplanches corrodées actuelles : $2577 \text{ kg/cm}^2 < 3200 \text{ kg/cm}^2$**

Les efforts tranchants dans les palplanches ne dépassent l'effort tranchant admissible :

- **Maximum palplanches corrodées : $V = 32.40 \text{ t/m} < 60.5 \text{ t/m}$**

Les déformations maximum des palplanches sont de l'ordre de :

- **Maximum palplanches corrodées : 87 mm**

Les rapports pressions mobilisées sur butées mobilisables sont supérieures à la limite de sécurité de 0.529 :

- **Maximum palplanches corrodées : $0.660 > 0.529$**

L'ancien règlement permettait d'accepter un rapport pressions mobilisées sur butées mobilisables de 0.673.

Sur la longueur des palplanches du rideau principal, le quai n'est pas conforme suivant les normes en vigueur, mais conforme sur le précédent règlement.

Les contraintes dans les tirants existants ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum : $2229 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$**

Rideau d'ancrage (rideau arrière)

Les données et les résultats informatiques des calculs RIDO sont présentés

Le tableau ci-après, présente les résultats des calculs

Les contraintes ne dépassent pas la contrainte admissible dans le béton

- **Maximum : $1204 \text{ kg/cm}^2 < 3200 \text{ kg/cm}^2$**

Les efforts tranchants ne dépassent pas l'effort tranchant admissible

- **Maximum : $V = 35.72 \text{ t/m} < 60.5 \text{ t/m}$**

Les déformations maximum du rideau sont de l'ordre de :

- **Maximum : 7 mm**

L'implantation du rideau d'ancrage ne respecte pas la construction de RANKINE, qui fixe la position minimale à laquelle il doit se situer du rideau principal (voir annexe).

6.9. RESULTATS DE CALCULS CORROSION ACTUELLE + 50 ANS : 100 ANS

Dans la projection de l'état actuel de corrosion et sur 50 ans (2076).

La capacité du quai est maintenue à 4.00 t/m² (après renforcement avec tirants).

Les contraintes dans les palplanches ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum palplanches corrodées actuelles : 2732 kg/cm² < 3200 kg/cm²**

Les efforts tranchants dans les palplanches ne dépassent l'effort tranchant admissible :

- **Maximum palplanches corrodées : V 33.53 t/m < 50.3 t/m**

Les déformations maximum des palplanches sont de l'ordre de :

- **Maximum palplanches corrodées : 90 mm**

Les rapports pressions mobilisées sur butées mobilisables sont supérieures à la limite de sécurité de 0.529 :

- **Maximum palplanches corrodées : 0.660 > 0.529**

L'ancien règlement permettait d'accepter un rapport pressions mobilisées sur butées mobilisables de 0.673.

Sur la longueur des palplanches du rideau principal, le quai n'est pas conforme suivant les normes en vigueur, mais conforme sur le précédent règlement.

Les contraintes dans les tirants ne dépassent la contrainte admissible :

- **Maximum : 2242 kg/cm² < 2400 kg/cm²**

Rideau d'ancrage (rideau arrière)

Les données et les résultats informatiques des calculs RIDO sont présentés

Le tableau ci-après, présente les résultats des calculs

Les contraintes ne dépassent pas la contrainte admissible dans le béton

- **Maximum : 1308 kg/cm² < 3200 kg/cm²**

Les efforts tranchants ne dépassent pas l'effort tranchant admissible

- **Maximum : V = 35.67 t/m < 53.0 t/m**

Les déformations maximum du rideau sont de l'ordre de :

- **Maximum : 8 mm**

L'implantation du rideau d'ancrage ne respecte pas la construction de RANKINE, qui fixe la position minimale à laquelle il doit se situer du rideau principal (voir annexe).

6.10. CONCLUSION CAPACITE DU QUAI TRANCHE SUD

Le quai pouvait accepter 5 tonnes/m² de charges réparties lors de sa réalisation.

La non-conformité sur le mouillage réel a entraîné une augmentation de la hauteur à soutenir.
Cela se traduit par une diminution de la capacité du quai à 4t/m²

Le renforcement avec la mise en œuvre de tirant d'ancrage permet de maintenir le quai à une capacité de 4.00t/m² et de conserver ces 4.00t/m² dans 50 ans (2076).

L'étude de cas de charges spécifiques dans ce rapport permet de justifier au calcul la mise en place d'une Mantsinen 70 (y compris Liebherr 954 et MHL370) suivant les conditions d'utilisation détaillées (position patins, taille des patins et descentes de charges maximum transmises par les fournisseur)

Les cas de charge de la Mantsinen 200 amènent le quai dans ses limites de capacité, qui ne permettent pas de sécuriser son utilisation.

La Mantsinen 70 (ou MHL370) peuvent être positionnées avec un 1^{er} patin à 1.20m/rideau principal, sur la poutre de roulement derrière la poutre de couronnement.

L'incidence sur les résultats de calculs est faible par rapport à un 1^{er} patin à 2.00m/rideau principal.

La poutre de roulement, fondée superficiellement, peut apporter une meilleure diffusion des contraintes grâce à son épaisseur et sa rigidité.

Le rideau principal présente une non-conformité sur sa fiche suite à l'augmentation du mouillage par rapport au mouillage théorique suivant le règlement en vigueur.

Dans 50 ans, si la perte d'épaisseur par corrosion des palplanches du rideau principal suit la perte d'épaisseur réglementaire, les contraintes admissibles par les palplanches et les tirants seront proches des limites admissibles, mais le renforcement permettra de maintenir le quai à 4t/m²

Les investigations géotechniques, géophysique par géoradar et les carottages montrent que les remblais sont hétérogènes, et des sols dont les caractéristiques mécaniques varient d'une zone à l'autre.

Le renforcement par tirants d'ancrage forés permet donc de maintenir le quai à une capacité de 4.00t/m² dans 50 ans, et de ne pas subir de déclassement à 3t/m² (sauf anomalie constatée).

Règles générales d'utilisation du quai :

Il est strictement interdit de positionner des patins d'engins sur la poutre de couronnement des palplanches. Les palplanches et les tirants ne sont pas prévus pour reprendre les efforts.

Il est interdit d'utiliser les godets des engins pour déplacer le bateau (efforts horizontaux induits).

Les reachstackers ne sont pas autorisés sur le quai : le cas de charge est plus pénalisant à cause des effets dynamiques (accélération, freinage) et du poinçonnement de l'essieu avant lors du levage.

L'entreprise exploitante du quai doit assurer un contrôle visuel du quai et sensibiliser le personnel aux comportements anormaux suivants :

- Détachement de la poutre de couronnement par rapport au dallage béton (ouverture visible)
- Apparition de fissures sur le revêtement du quai
- Ouverture des fissures existantes.
- Rupture tirant, écrou, plaque d'appui
- Déformation des palplanches
- Déformation de la plateforme supérieure du quai (affaissement).

Les limites de l'étude :

- Cette étude prend pour hypothèse que les travaux ont été exécutés tels que prévus sur les plans communiqués
- Que les tirants ont été posés dans les règles de l'art :
 - posés tendus (absence de flèche ou déformation dans le plan horizontal)
 - posé au centre des trous dans les palplanches (absence de cisaillement possible)

Nous recommandons la mise en place d'un suivi décennal permettant notamment de suivre l'évolution des pertes d'épaisseurs par corrosion.

6.11. RESULTATS DE CALCULS

Quai dans toutes les situations de calculs, MANTSINEN 70 (1^{er} patin à 2m/ rideau principal)

RESULTATS PRINCIPAUX DU CALCUL RIDO : RIDEAU DE QUAI - TRANCHE SUD : 1er patin à 2m

PALPLANCHES L 35 S320 GP

contrainte admissible exploitation 1 x 3200 = 3200 kg/cm²

Iv Plastique (neuves)=	1672	cm ³ /ml	1911 (2 appuis)
Iv Plastique (corrodé 50 ans)=	1494	cm ³ /ml	1708 (2 appuis)
Iv Plastique (corrodé 100 ans)=	1364	cm ³ /ml	1559 (2 appuis)

Effort tranchant admissible neuf = $V_{pl,RD}$ =	143	t/ml	==> 0,5 x $V_{pl,RD}$ = 71,5 t/ml
Effort tranchant admissible corrodé 50 ans = $V_{pl,RD}$ =	121	t/ml	==> 0,5 x $V_{pl,RD}$ = 60,5 t/ml
Effort tranchant admissible corrodé 100 ans = $V_{pl,RD}$ =	106	t/ml	==> 0,5 x $V_{pl,RD}$ = 53,0 t/ml

Tirant 60-72 refoulé

Contrainte admissible en section courante	2400 kg/cm ²
Section courante neuf	28,27 cm ²
Section courante tirant corrodé 50 ans	27,15 cm ²
Section courante tirant corrodé 100 ans	26,06 cm ²
espacement des tirants	1,00 m

Tirants renforcement

Section courante tirant corrodé 50 ans	9,39 cm ²
Section courante tirant corrodé 100 ans	8,50 cm ²

	PHASE 1 DE CALCUL Réalisation Exploitation	PHASE 2 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau	PHASE 3 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau	PHASE 4 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau	PHASE 5 DE CALCUL Erreur dragage niveau d'eau	PHASE 6 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau	PHASE 7 DE CALCUL Ajout tirants niveau d'eau	PHASE 8 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau	PHASE 9 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau	PHASE 10 DE CALCUL Exploitation niveau d'eau
Engin	non	non	non	non	non	non	non	MANT 70	non	MANT 70
Palplanches	Neuve	Neuve	Neuve	Neuve	Neuve	corrosion 50 ans	corrosion 50 ans	corrosion 50 ans	corrosion 100 ans	corrosion 100 ans
charges d'exploitation	0 t/m ²	5,0 t/m ²	5,0 t/m ²	5,0 t/m ²	4,0 t/m ²	4,0 t/m ²	4,0 t/m ²	MANT 70	4,0 t/m ²	MANT 70
Hauteur libre en m	9,50	9,50	9,50	9,50	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57	10,57
Fiche en m	6,30	6,30	6,30	6,30	5,23	5,23	5,23	5,23	5,23	5,23
Longueur totale en m (y/c couronnement)	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80	15,80
eau avant (NGF)	172,07	172,07	171,57	177,07	172,07	172,07	172,07	172,07	172,07	172,07
eau arrière (NGF)	173,07	173,07	172,07	177,57	173,07	173,07	173,07	173,07	173,07	173,07
Déformation max en mm	33	54	54	54	79	87	87	87	90	90
Moment max en t.m /ml	18,54	27,19	27,21	27,52	32,61	32,61	32,60	32,65	31,55	31,50
Moment max pondéré par 1,35 en t.m /ml	25,03	36,71	36,73	37,15	44,02	44,02	44,01	44,08	42,59	42,53
contrainte max en kg/cm ²	1 497	2 195	2 197	2 222	2 633	2 947	2 577	2 581	2 732	2 728
	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²	<3200 kg/cm ²
Effort tranchant max en t /ml	15,60	24,42	21,41	23,90	26,58	26,54	26,50	26,22	24,84	24,63
Effort tranchant max pondéré par 1,35 en t / ml	21,06	32,97	28,90	32,27	35,88	35,83	35,78	35,40	33,53	33,25
Effort tranchant admissible en t/ml ==> 0,5 x $V_{pl,RD}$	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 71,5 t/ml	< 60,5 t/ml	< 60,5 t/ml	< 60,5 t/ml	< 53,0 t/ml	< 53,0 t/ml
Rapport PM / BM	0,340	0,430	0,430	0,380	0,660	0,660	0,660	0,640	0,660	0,630
	< 0,529	< 0,529	< 0,529	< 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529	> 0,529
Réaction d'ancrage en t/ml	24,63	39,46	39,45	38,86	45,23	44,80	44,83	44,97	43,25	43,28
Réaction d'ancrage dans le tirant e=1,00m	24,63	39,46	39,45	38,86	45,23	44,80	44,83	44,97	43,25	43,28
Réaction d'ancrage dans le tirant en t *1,35	33,25	53,27	53,26	52,46	61,06	60,48	60,52	60,71	58,39	58,43
Contrainte dans le tirant en section courante kg/cm ²	1176	1884	1884	1856	2160	2228	2229	2236	2241	2242
Limite élastique	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²	<2400 kg/cm ²
Réaction d'ancrage en t/ml tirant foré renforcement							0,50	0,50	2,06	1,91
Réaction d'ancrage dans le tirant e=1,00m							0,50	0,50	4,15	4,02
Réaction d'ancrage dans le tirant en t *1,35							0,68	0,68	5,60	5,43
Contrainte dans le tirant en section courante kg/cm ²							71,88	71,88	659,12	638,47
Limite élastique							<5600 kg/cm ²	<5600 kg/cm ²	<5600 kg/cm ²	<5600 kg/cm ²

7. CHAUSSEE LOURDE

Sur l'arrière quai, afin de prévoir le stockage de conteneurs et d'assurer la circulation de Reachstacker, une chaussée lourde serait à réaliser.

Hypothèses d'entrées :

- Surface 4500m² : estimée suffisante pour 100 EVP (conteneurs 20 pieds : 6m) ou 50 conteneurs 40 pieds : 12m ; voir plan en annexe 9.8
- Stockage des conteneurs sur 3 niveaux maximum
- Engins lourds type Reachstacker
- Caractéristiques géotechniques normales des sols existants (pas de renforts de sols)
- Absence de terres polluées

Travaux :

- Rabotage chaussée existante
- Purge et substitution de matériaux granulaire sur 45cm
- Imprégnation
- Grave bitume sur 45cm
- Couche d'accrochage
- BBME sur 7cm
- Béton bitumineux drainants percolés
- Essais laboratoires

8. ORGANISATION DU QUAÏ

Une réflexion est menée sur l'organisation du quai en prenant en compte plusieurs paramètres.

Le quai doit pouvoir accueillir en simultanés 3 bateaux qui correspondent aux longueurs de la flotte habituelle et constatée sur l'axe Rhône/Saône

- 135m
- 110m
- 110m

Le quai doit être organisé en 3 zones d'activités distinctes, permettant le transport de :

- Colis lourds et conteneurs
- Produits vrac type rondins de bois
- Produits vrac type granulat

8.1. MODIFICATION DES ZONES ACTUELLES

Les échanges avec Aproport et VNF ont permis d'orienter vers une nouvelle organisation du quai :

- Le poste à sable positionné actuellement au centre du quai est une configuration qui rend complexe la gestion du quai.
Un déplacement du poste à sable côté aval (Sud de la darse) après avoir supprimé un bâtiment permettrait d'améliorer la gestion globale du quai.
- La position de la ligne HTA 63 KV Chalon Louhans impose une limitation de gabarit : la zone amont du quai est donc utilisable uniquement par des pelles et non des grues de levage.
Le poste vrac pour le bois est donc à positionner côté amont (Nord de la darse).
- La partie centrale du quai peut être utilisée pour les conteneurs et les colis lourds, après avoir réalisé un poste colis lourds adapté pour les grues (ou pelles de levage équivalentes).
Cette zone centrale offre également une plateforme en enrobés d'environ 4500m² permettant le stockage de conteneurs.

Les plans en annexe précisent la position des 3 zones d'activité.

8.2. ESTIMATIF DU POSTE COLIS LOURD

La réalisation d'un poste colis lourd sur un linéaire de 25m de bord à voie d'eau et recevant une grue type LTM1500 permettant de lever un colis de 170t maximum est estimé à 940 000 € HT.

La réalisation d'un poste colis lourd sur un linéaire de 45m de bord à voie d'eau et recevant 2 grues de type LTM1500 permettant de lever en duo un colis de 280t maximum est estimé à 1 600 000 € HT.

8.3. ESTIMATIF RENFORCEMENT GLOBAL PAR TIRANTS D'ANCRAGE

Le renforcement global du quai (sauf zone poste colis lourd) est estimé à 1 800 000 € HT dans le cas d'un poste colis lourd de 25ml, et 1 750 000 € HT dans le cas d'un poste colis lourd de 45m.

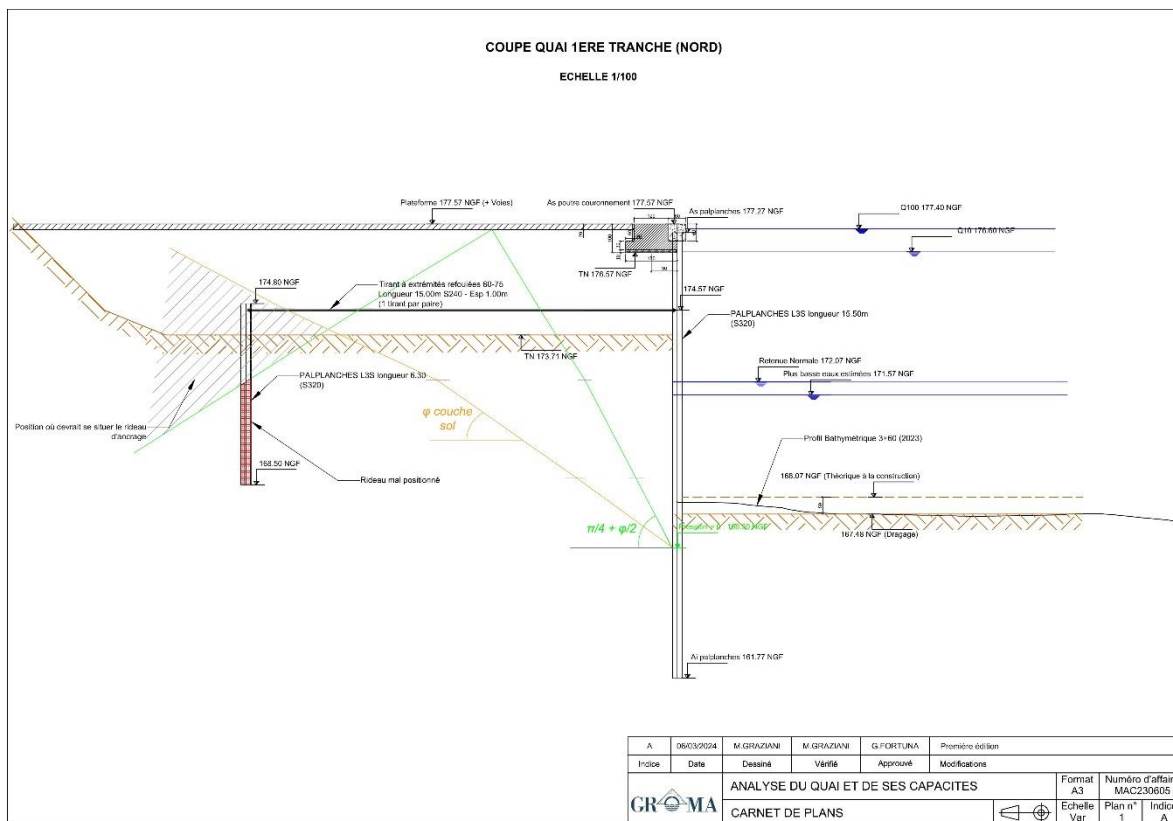
8.4. ESTIMATIF CHAUSSEE LOURDE POUR CONTENEUR ET REACHSTACKER

La réalisation d'une chaussée lourde pour le stockage de conteneur (3 niveaux) et la circulation de Reachstacker sur une superficie de 4500m² est estimée à 1 150 000€ HT.

L'estimatif ne comprend pas d'éventuels renforts de sols ou de traitements de sols pollués.

9. ANNEXE

9.1. TRANCHE NORD – CONSTRUCTION DE RANKINE

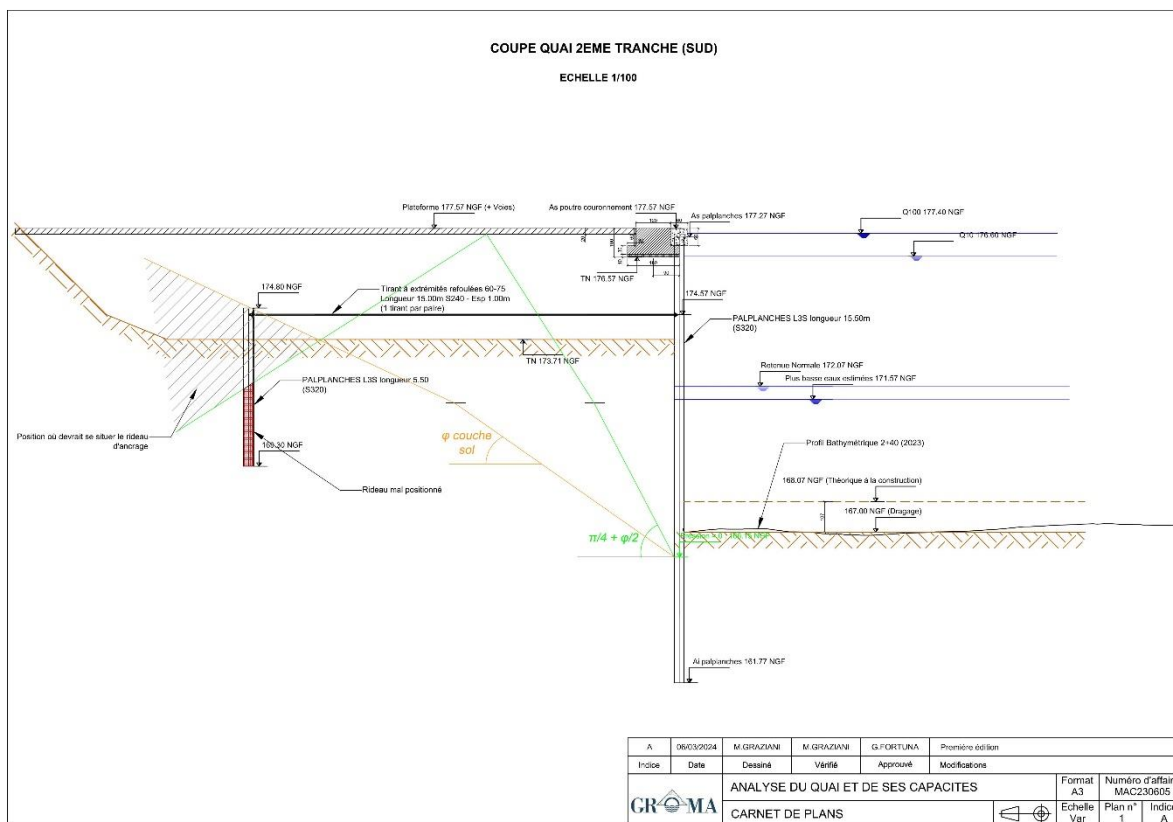


La construction de Rankine n'est pas respectée.

Le rideau d'ancrage est partiellement positionné dans la zone d'influence du rideau principal.

> l'ajout de tirants d'ancrage forés permet d'améliorer la sécurité vis-à-vis de cette non-conformité.

9.2. TRANCHE SUD— CONSTRUCTION DE RANKINE



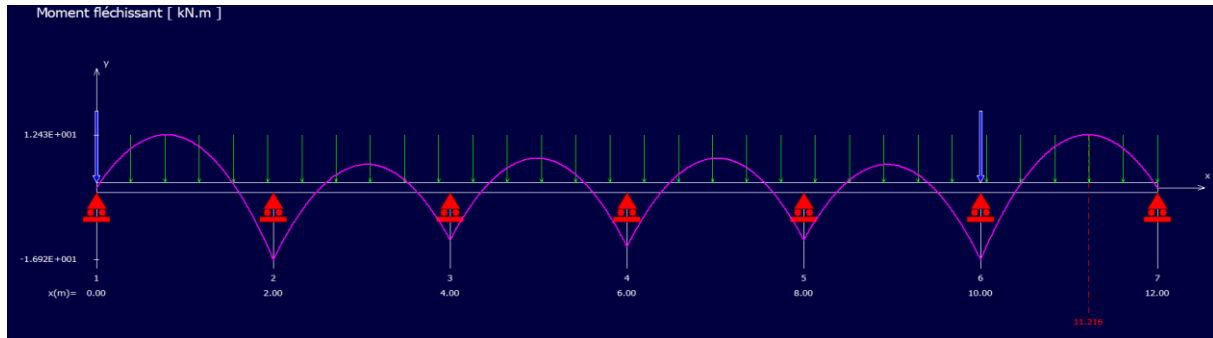
La construction de Rankine n'est pas respectée.

Le rideau d'ancrage est partiellement positionné dans la zone d'influence du rideau principal.

> l'ajout de tirants d'ancrage forés permet d'améliorer la sécurité vis-à-vis de cette non-conformité.

9.3. CALCULS DES EFFORTS DANS LES POUTRES DE ROULEMENT AVANT (ET ARRIERE) (RDM6) LTM1500

ELU – 1^{er} patin en Rive



+-----+
| Cas de charge(s) |
+-----+

Charge linéairement répartie : Noeuds = 1 -> 7 $p_{y0} = -40.00$ $p_{ye} = -40.00$ kN/m
Charge nodale : Noeud = 1 $F_y = -2740.00$ kN $M_z = 0.00$ kN.m
Charge nodale : Noeud = 6 $F_y = -2740.00$ kN $M_z = 0.00$ kN.m

+-----+
| Efforts intérieurs [kN kN.m MPa] |
+-----+

T_y = Effort tranchant M_{fz} = Moment fléchissant S_{xx} = Contrainte normale

Noeud	T_y	M_{fz}	S_{xx}
1	-31.54	-0.00	0.00
2	48.46	-16.92	-101538.46
2	-42.31	-16.92	-101538.46
3	37.69	-12.31	-73846.15
3	-39.23	-12.31	-73846.15
4	40.77	-13.85	-83076.92
4	-40.77	-13.85	-83076.92
5	39.23	-12.31	-73846.15
5	-37.69	-12.31	-73846.15
6	42.31	-16.92	-101538.46
6	-48.46	-16.92	-101538.46
7	31.54	0.00	0.00

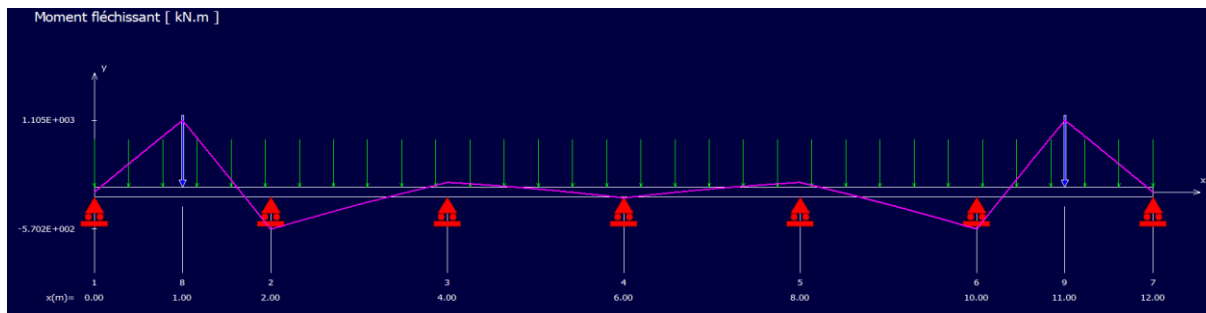
Moment flechissant maximal = 12.43 kN.m à 11.216 m
Moment flechissant minimal = -16.92 kN.m à 10.000 m

Contrainte normale maximale = 101538.46 MPa à 10.000 m
Contrainte normale minimale = -101538.46 MPa à 10.000 m

+-----+
| Action(s) de liaison [kN kN.m] |
+-----+

Noeud 1	$F_y = 2771.54$
Noeud 2	$F_y = 90.77$
Noeud 3	$F_y = 76.92$
Noeud 4	$F_y = 81.54$
Noeud 5	$F_y = 76.92$
Noeud 6	$F_y = 2830.77$
Noeud 7	$F_y = 31.54$

ELU – Patin centré entre appuis



+-----+
| Cas de charge(s) |
+-----+

Charge linéairement répartie : Noeuds = 1 -> 7 pyo = -40.00 pye = -40.00 kN/m
Charge nodale : Noeud = 8 Fy = -2740.00 kN Mz = 0.00 kN.m
Charge nodale : Noeud = 9 Fy = -2740.00 kN Mz = 0.00 kN.m

+-----+
| Efforts intérieurs [kN kN.m MPa] |
+-----+

Ty = Effort tranchant Mfz = Moment fléchissant Sxx = Contrainte normale

Noeud	Ty	Mfz	Sxx
1	-1124.90	-0.00	0.00
8	-1084.90	1104.90	6629423.08
8	1655.10	1104.90	6629423.08
2	1695.10	-570.19	-3421153.85
2	-397.98	-570.19	-3421153.85
3	-317.98	145.77	874615.38
3	79.33	145.77	874615.38
4	159.33	-92.88	-557307.69
4	-159.33	-92.88	-557307.69
5	-79.33	145.77	874615.38
5	317.98	145.77	874615.38
6	397.98	-570.19	-3421153.85
6	-1695.10	-570.19	-3421153.85
9	-1655.10	1104.90	6629423.08
9	1084.90	1104.90	6629423.08
7	1124.90	0.00	0.00

Moment flechissant maximal = 1104.90 kN.m à 1.000 m

Moment flechissant minimal = -570.19 kN.m à 2.000 m

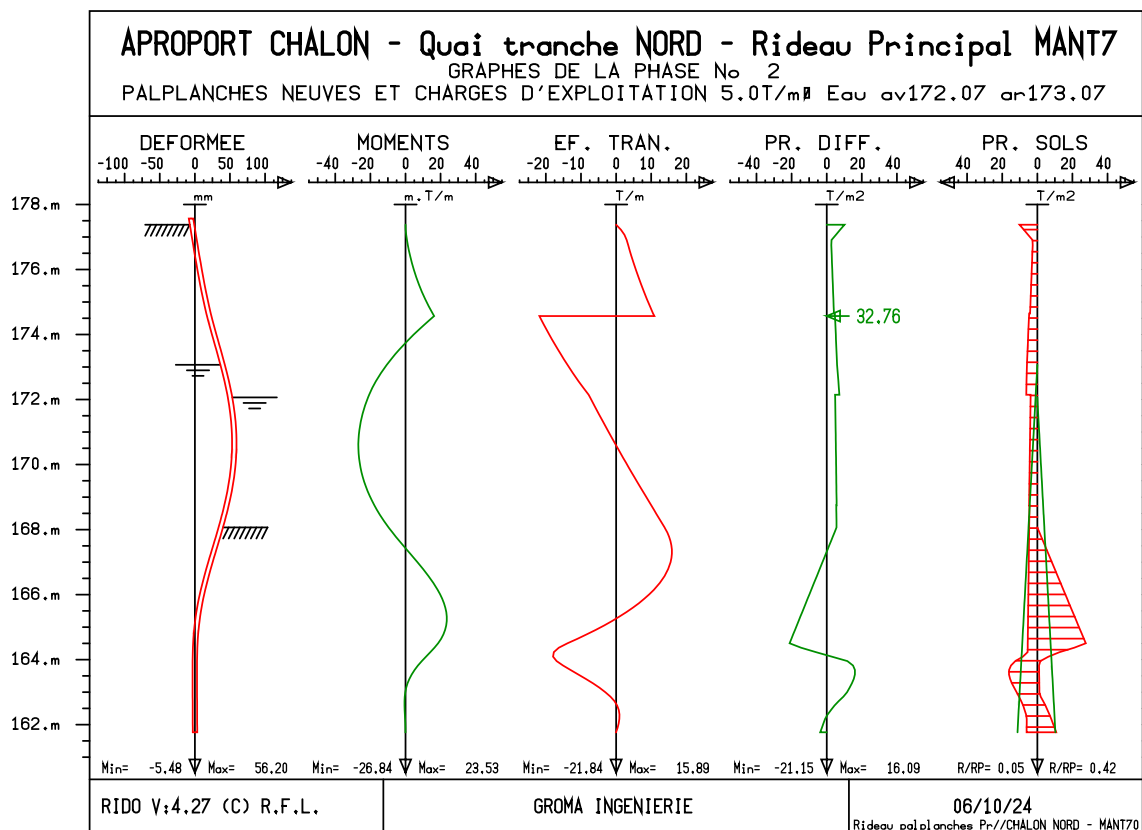
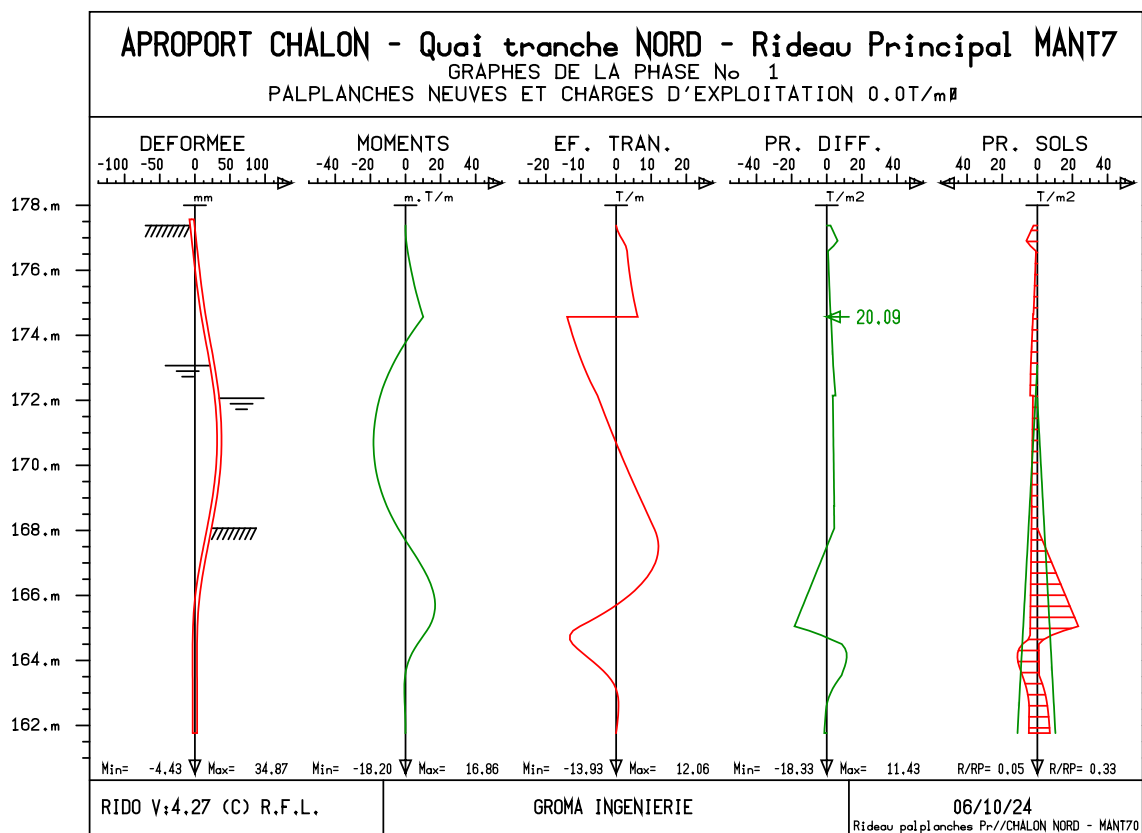
Contrainte normale maximale = 6629423.08 MPa à 1.000 m

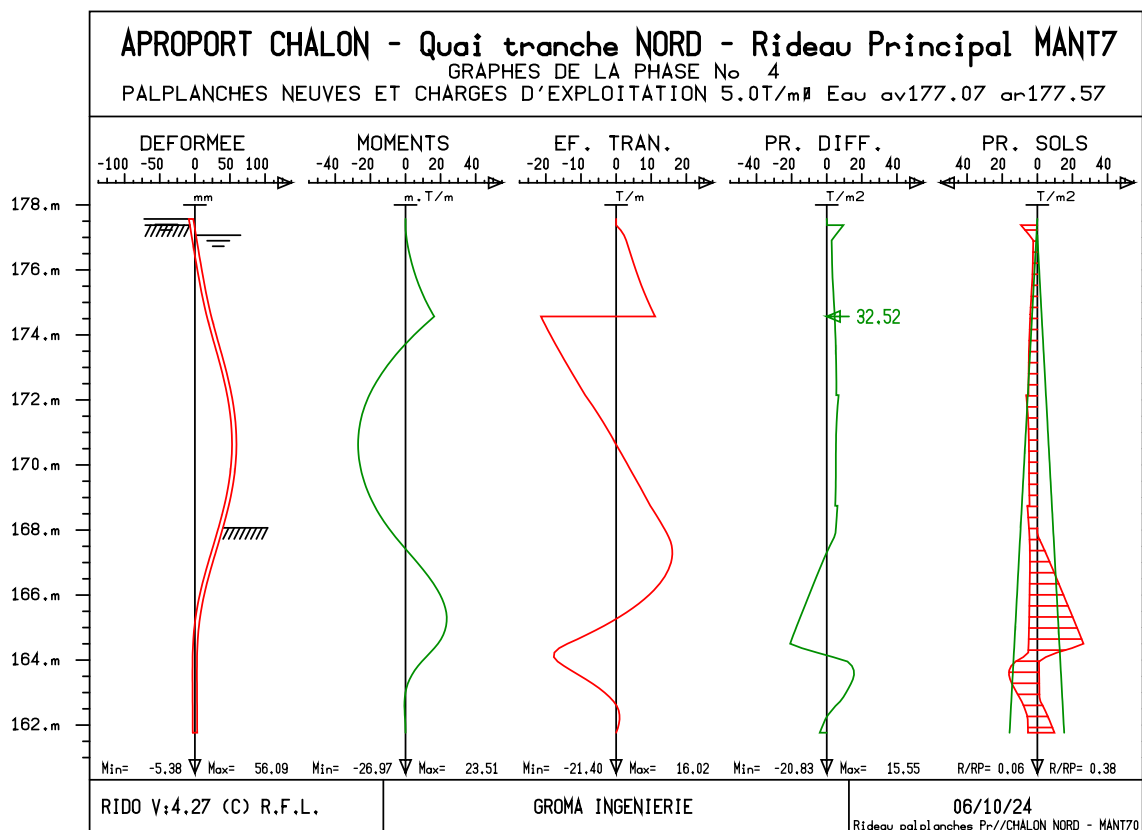
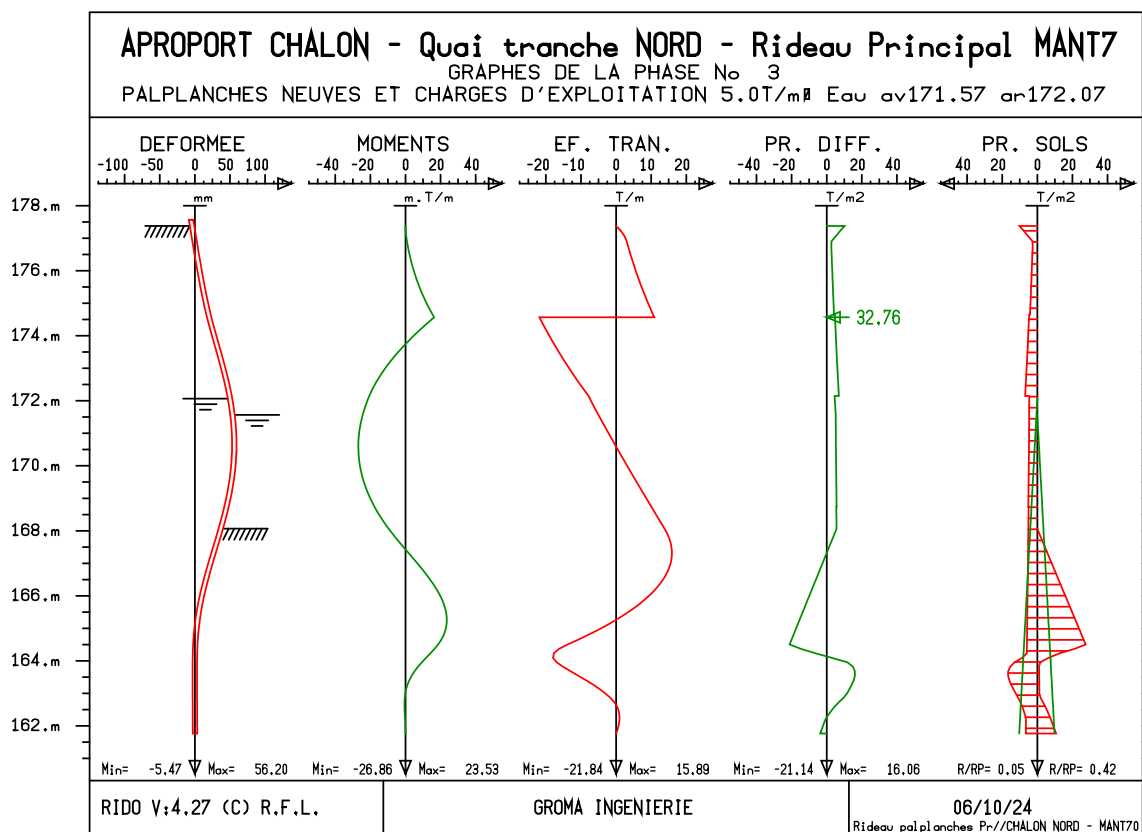
Contrainte normale minimale = -6629423.08 MPa à 1.000 m

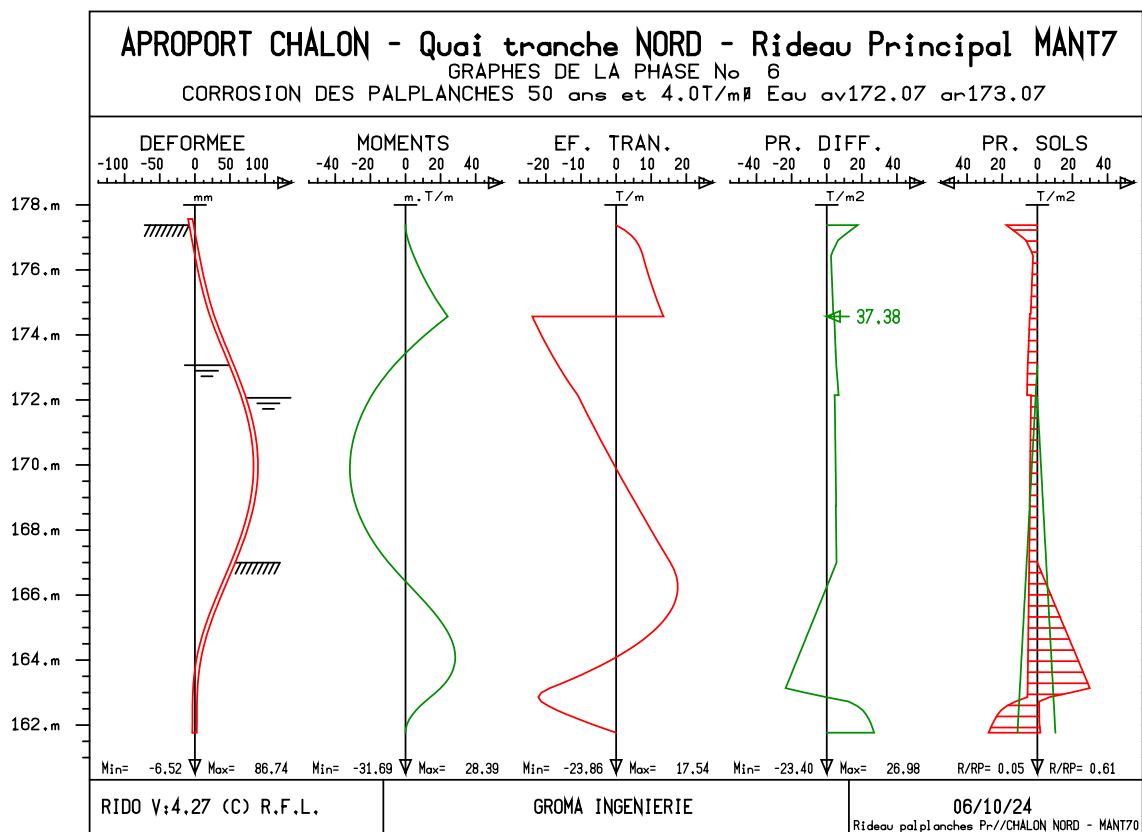
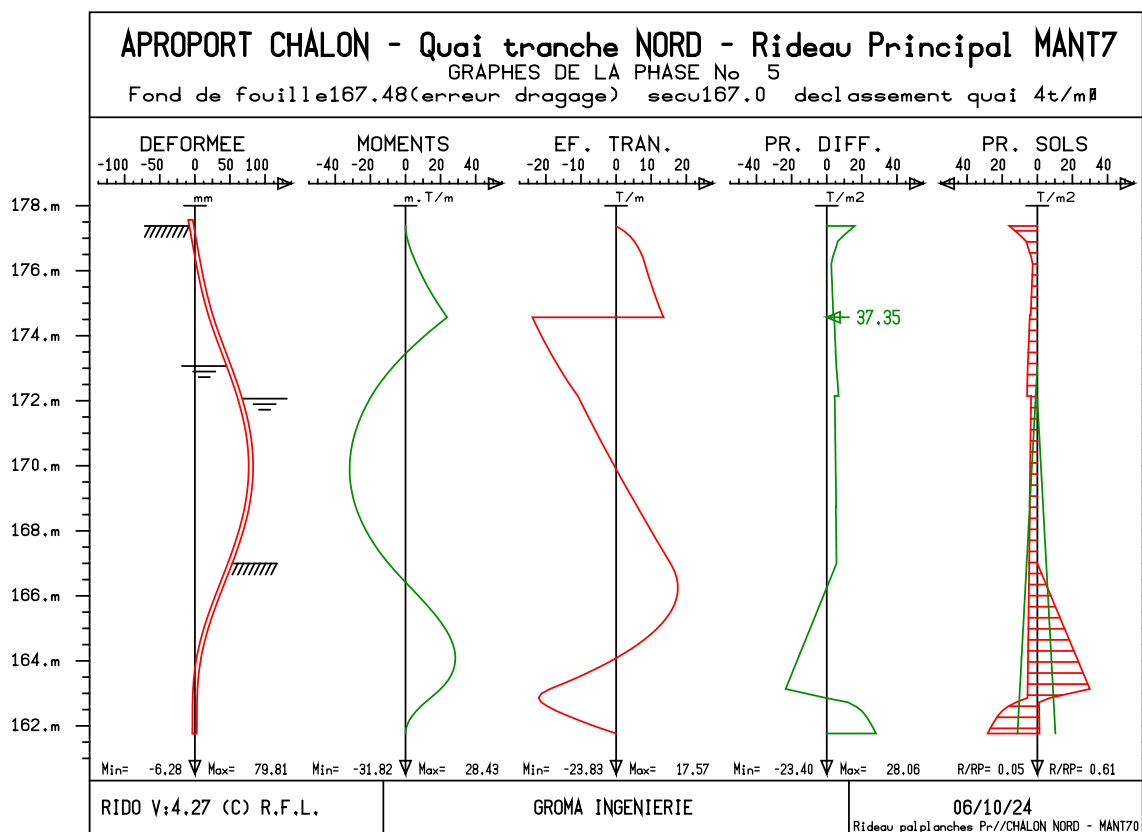
+-----+
| Action(s) de liaison [kN kN.m] |
+-----+

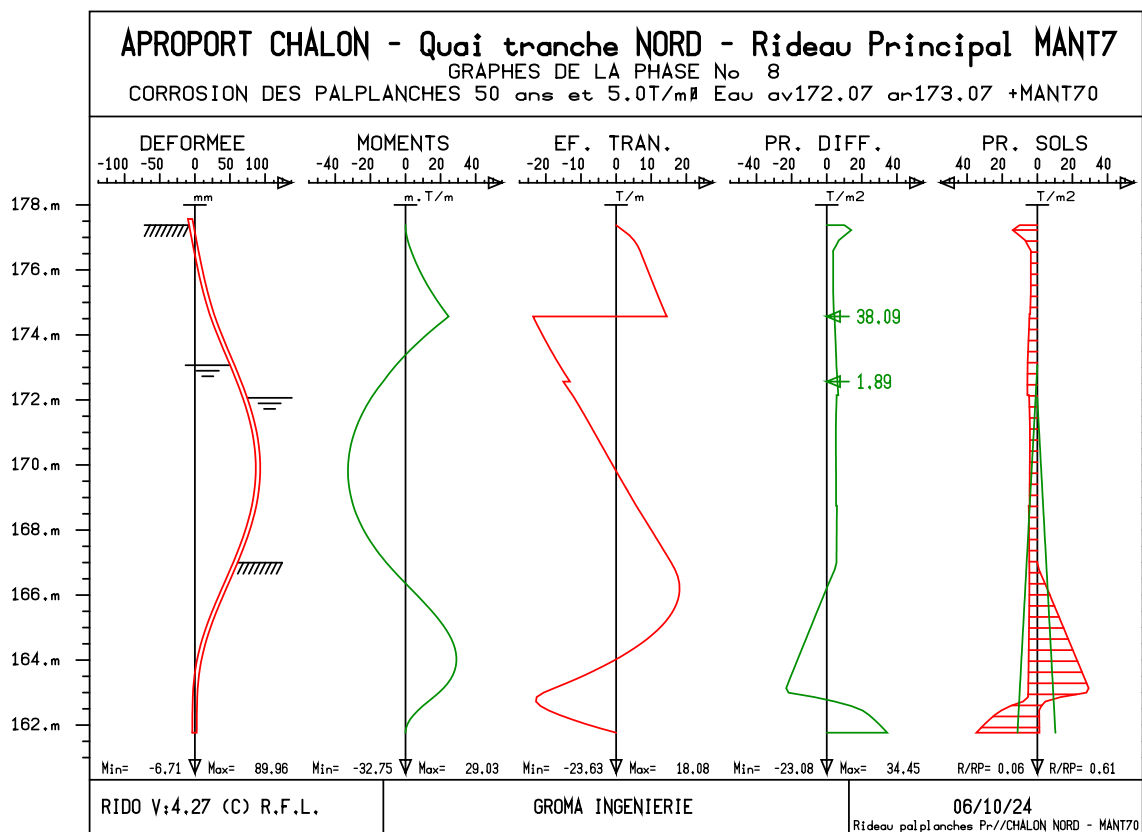
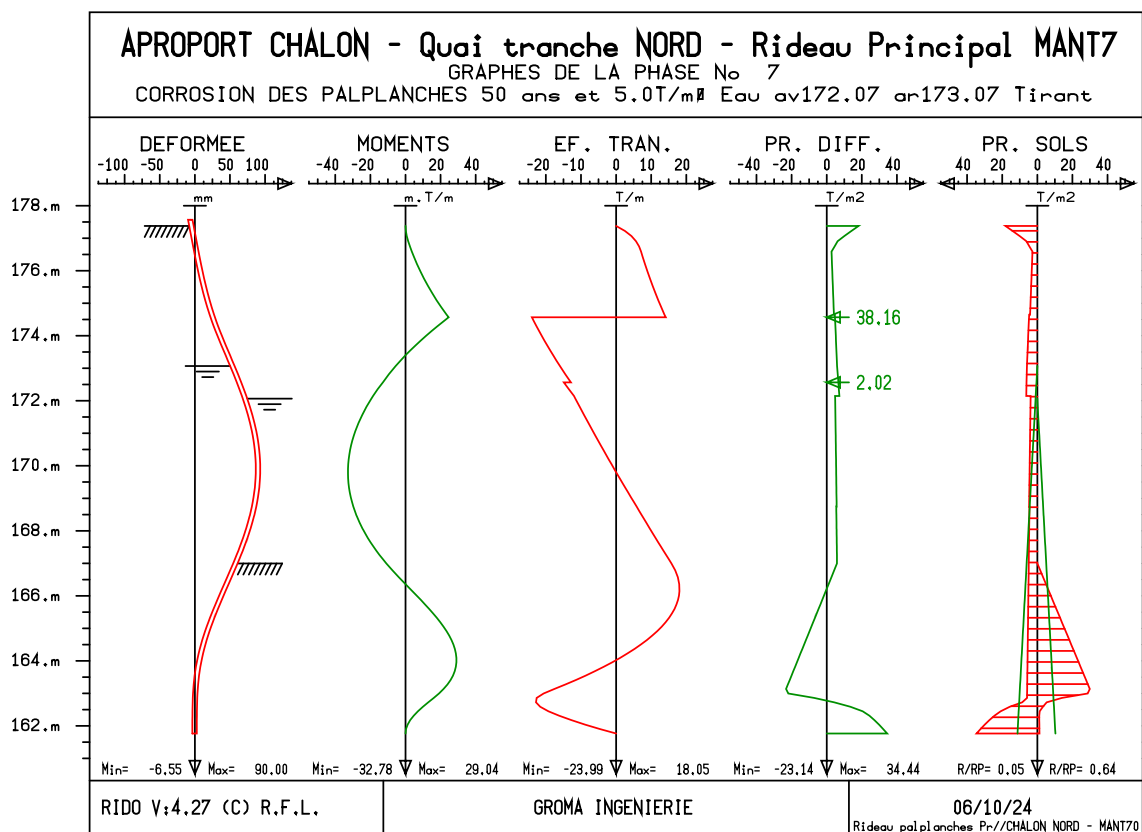
Noeud 1 Fy = 1124.90
Noeud 2 Fy = 2093.08
Noeud 3 Fy = -397.31
Noeud 4 Fy = 318.65
Noeud 5 Fy = -397.31
Noeud 6 Fy = 2093.08
Noeud 7 Fy = 1124.90

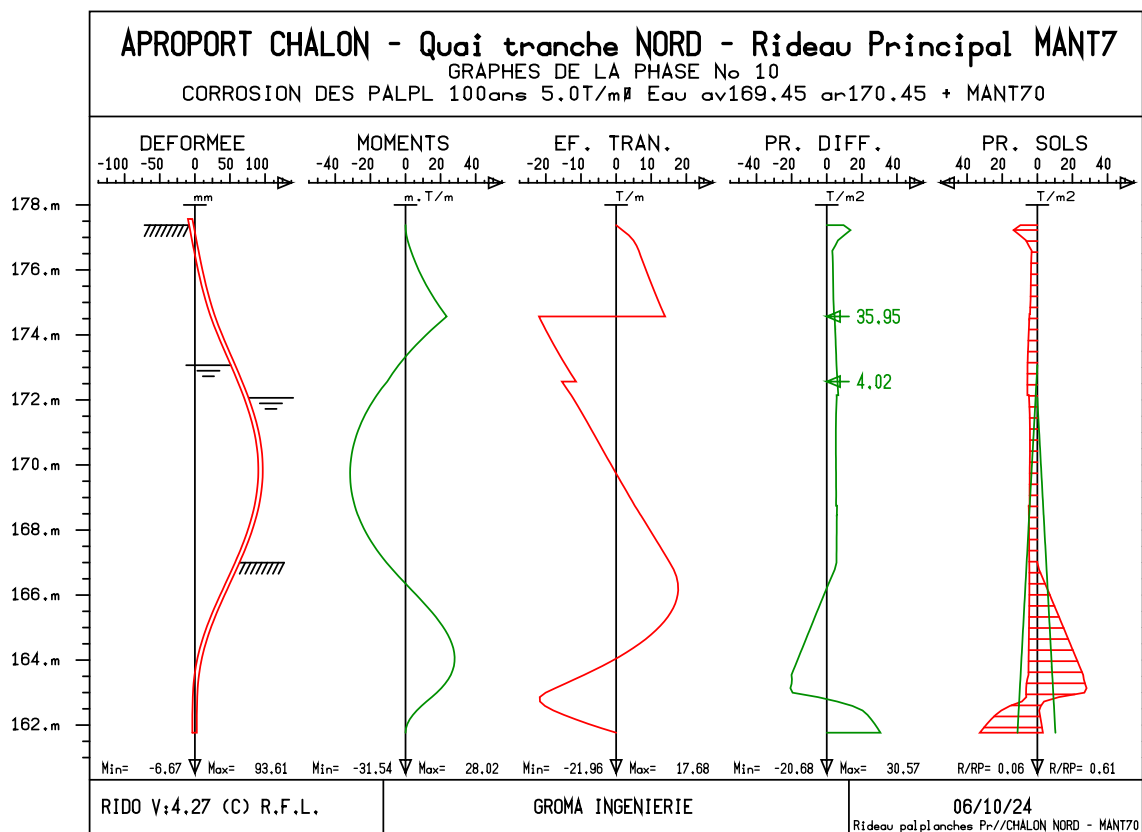
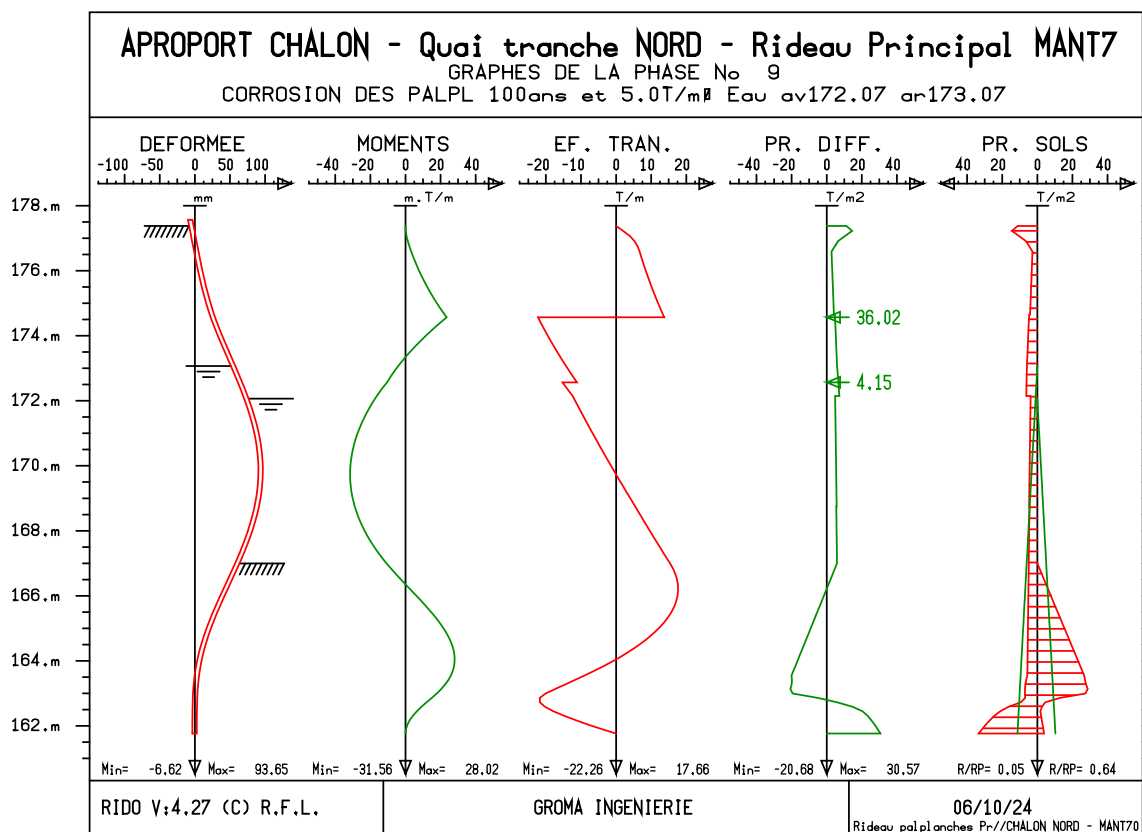
9.4. RESULTATS RIDO TRANCHE NORD



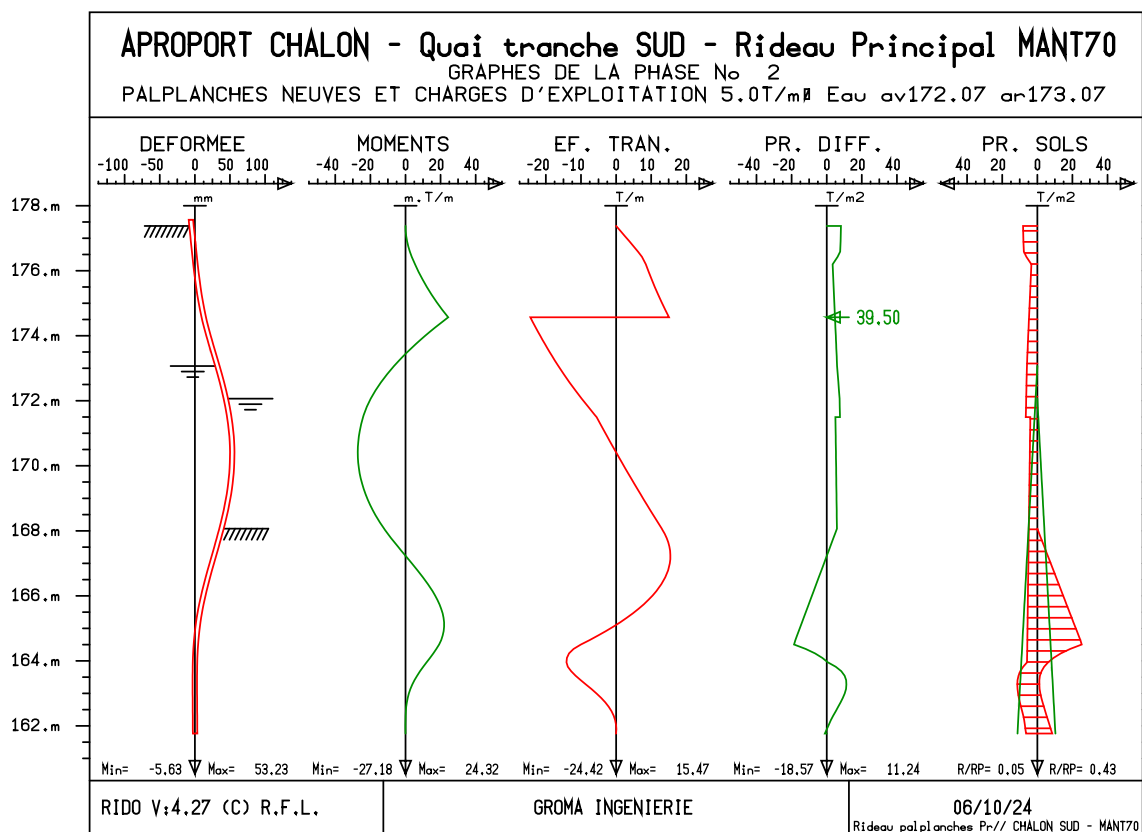
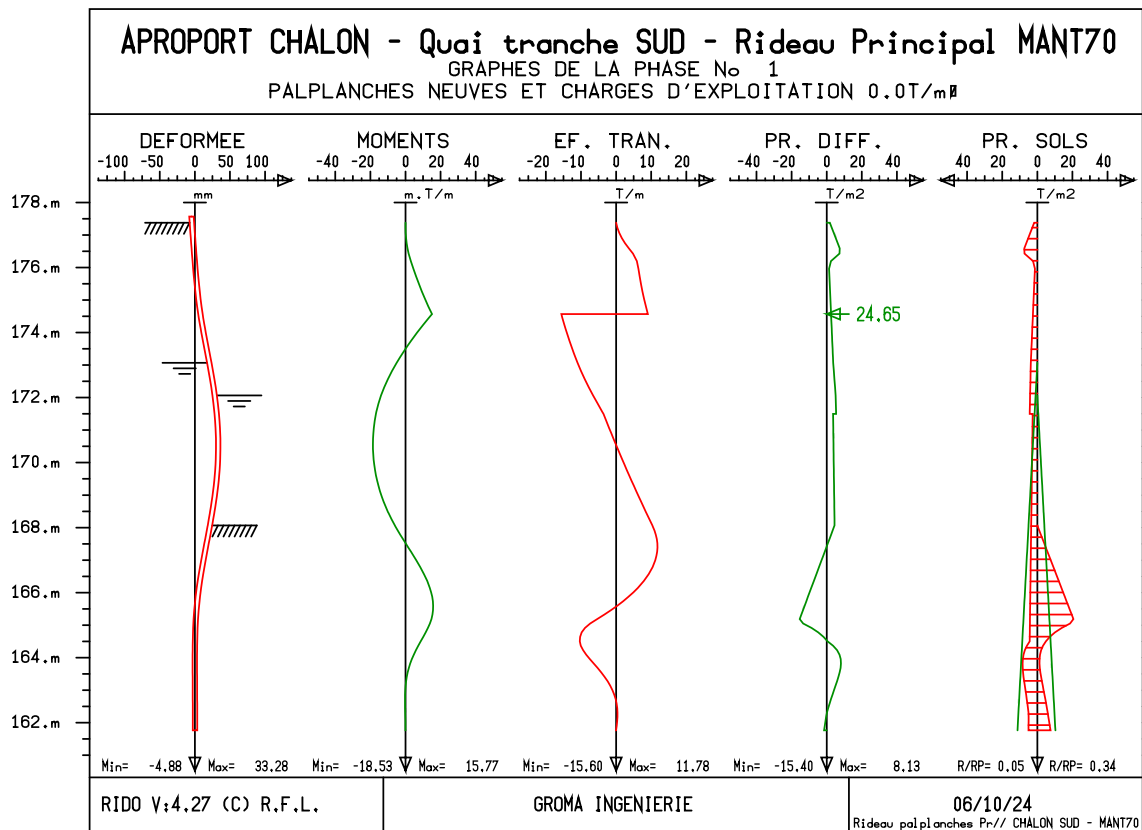


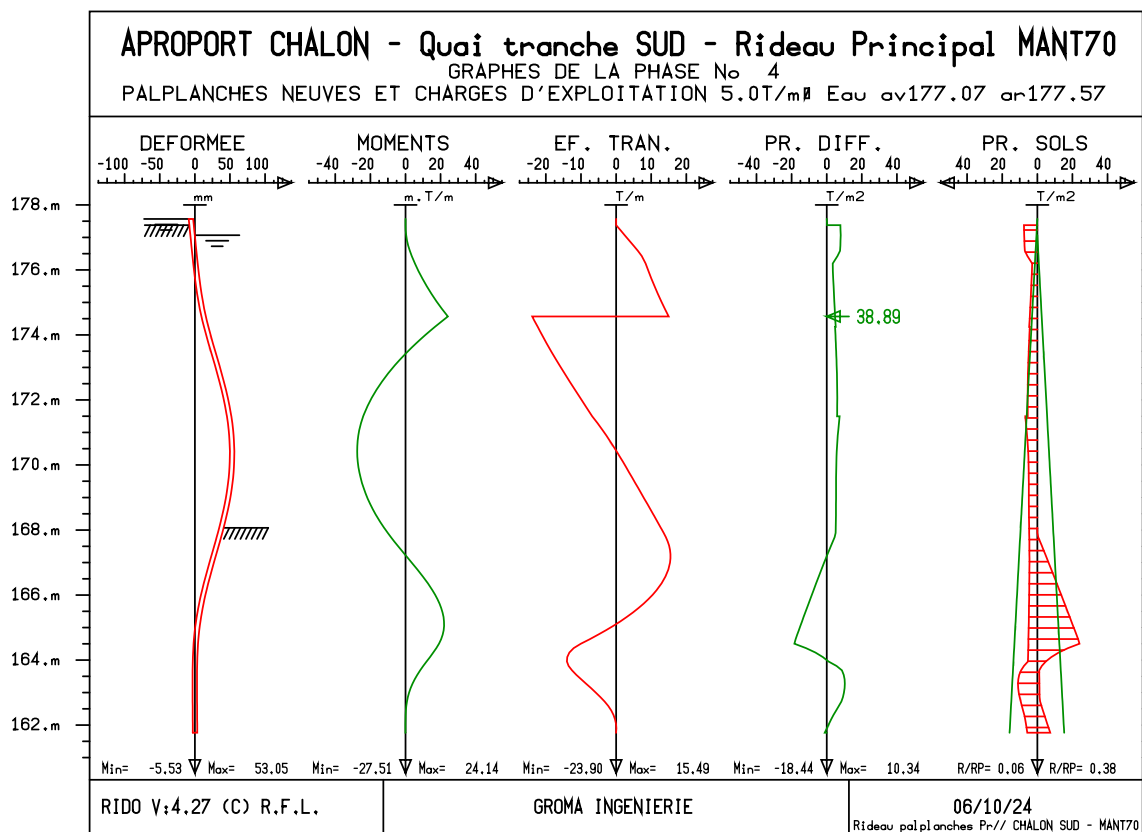
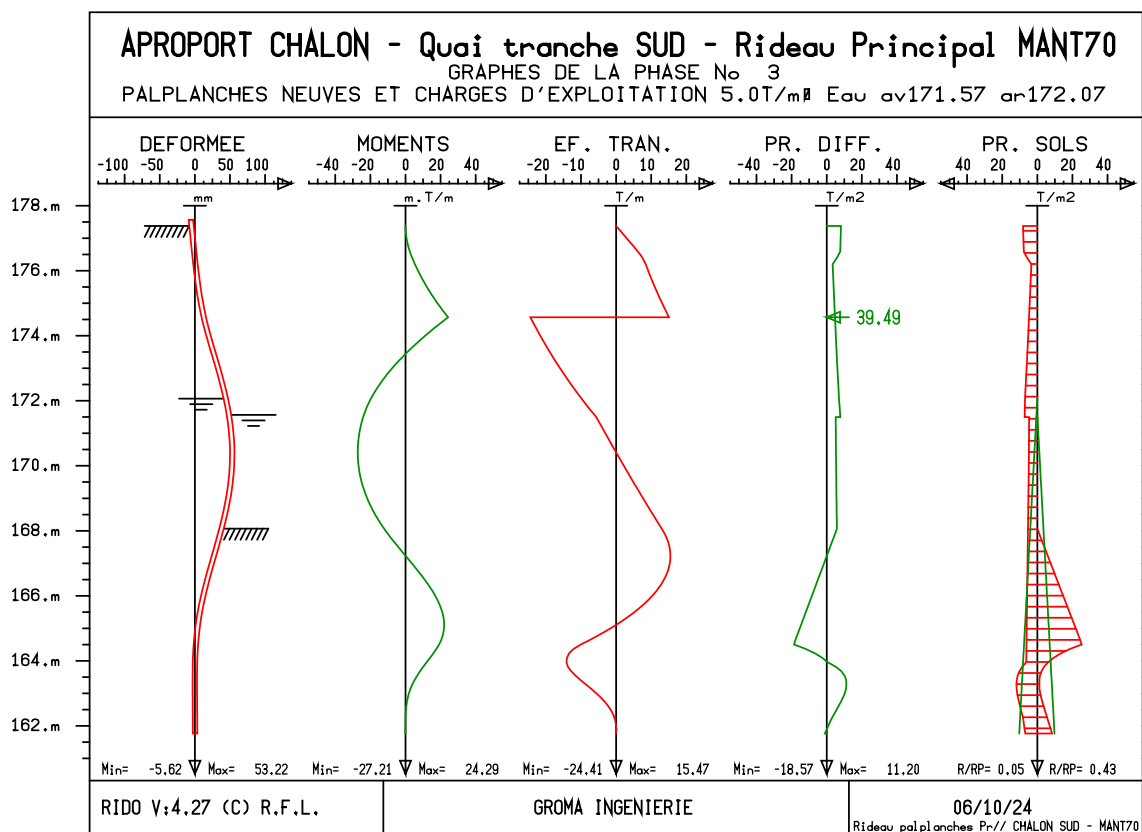


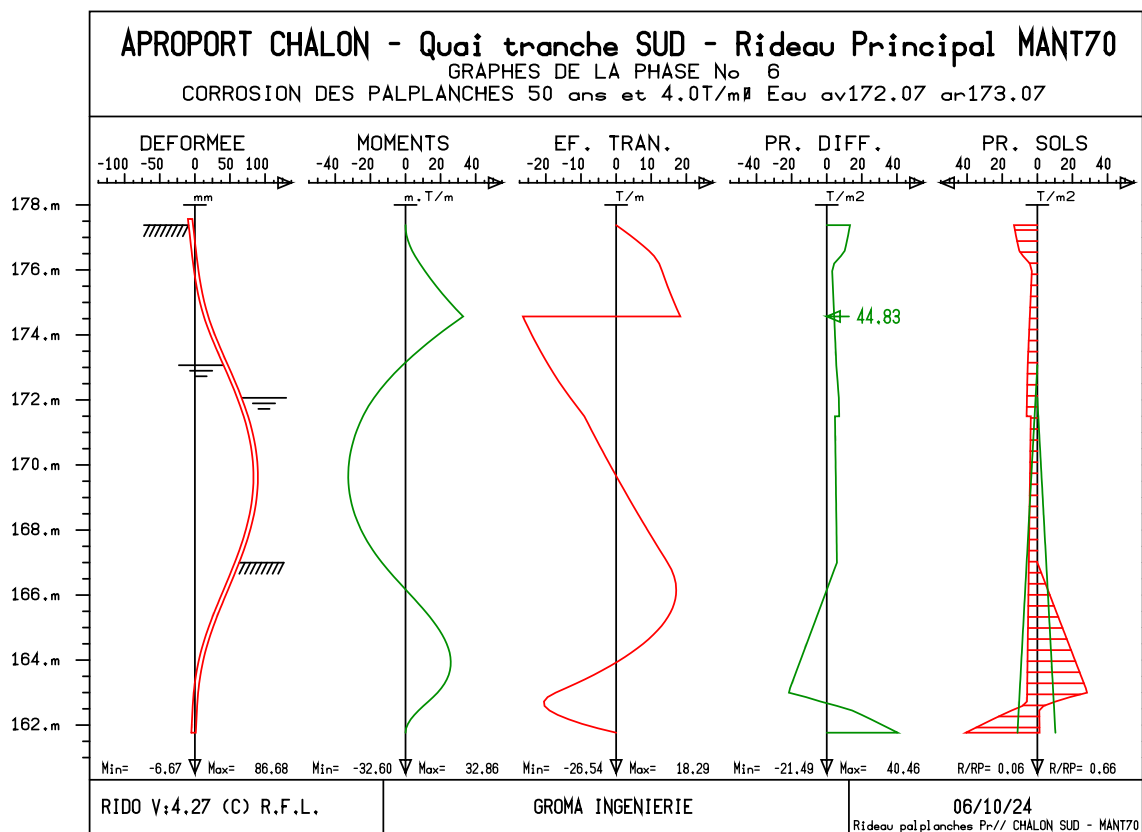
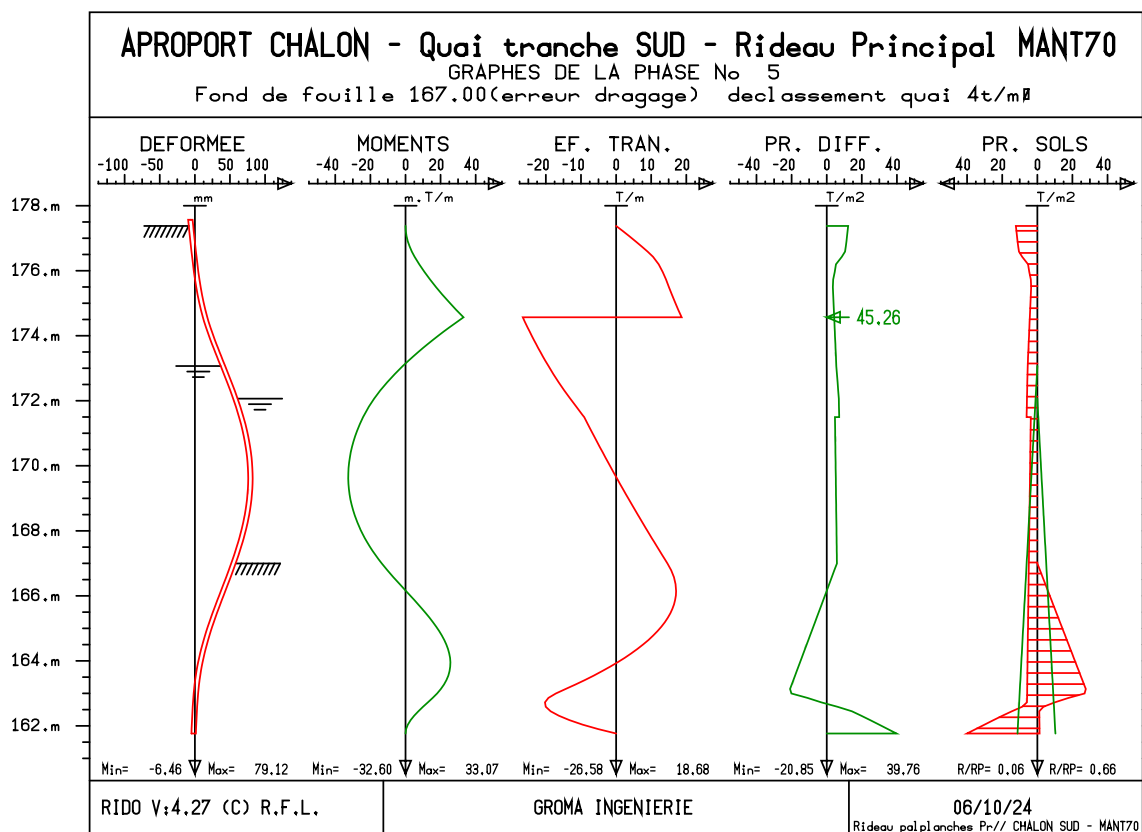


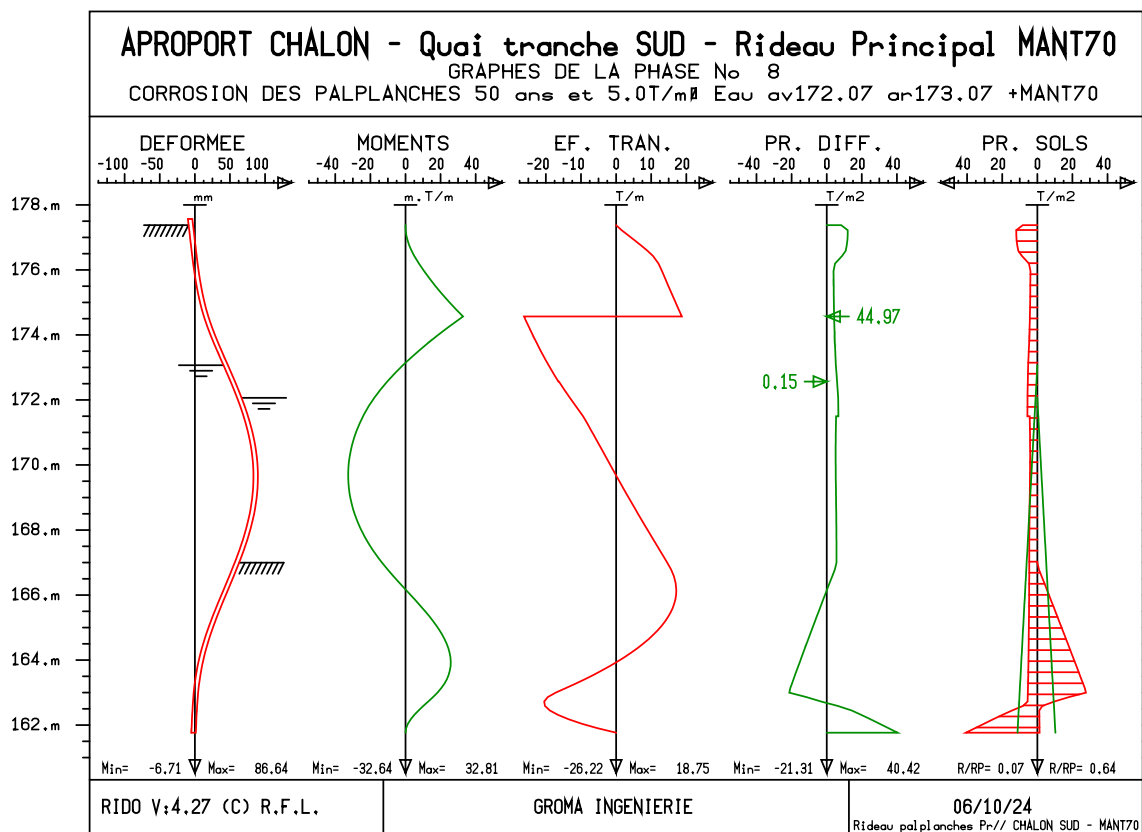
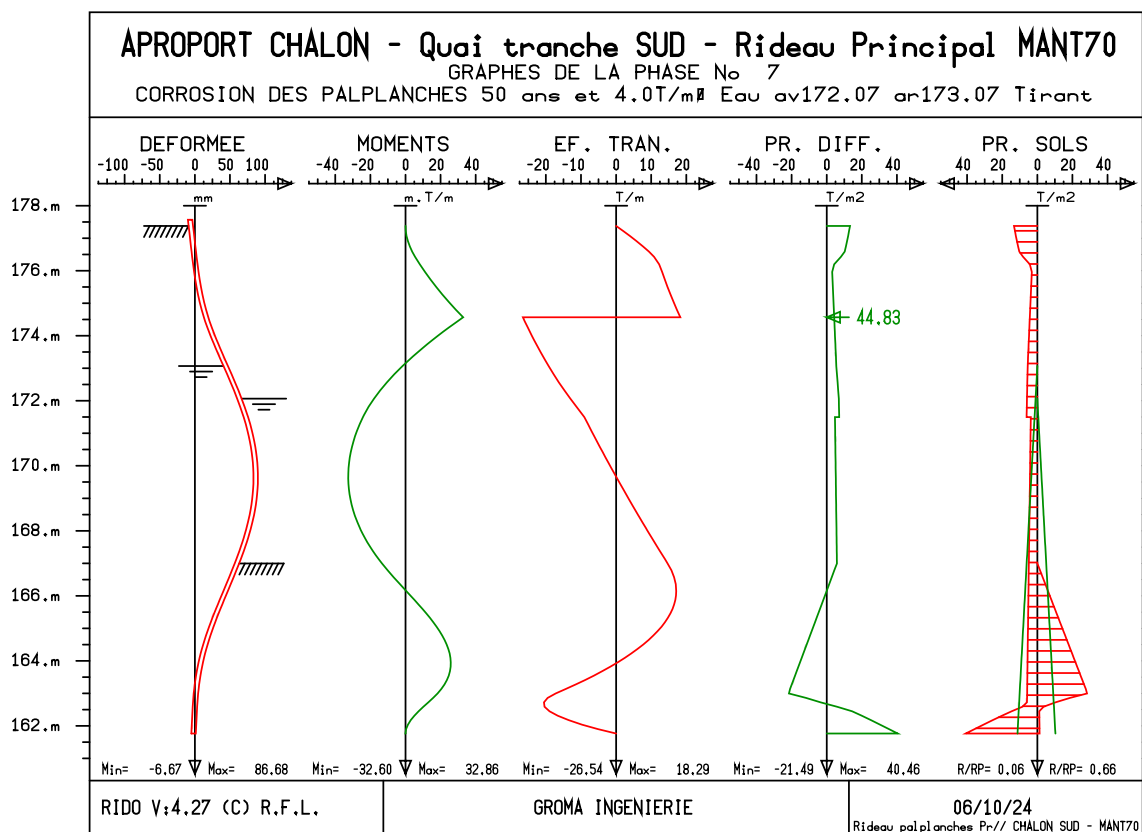


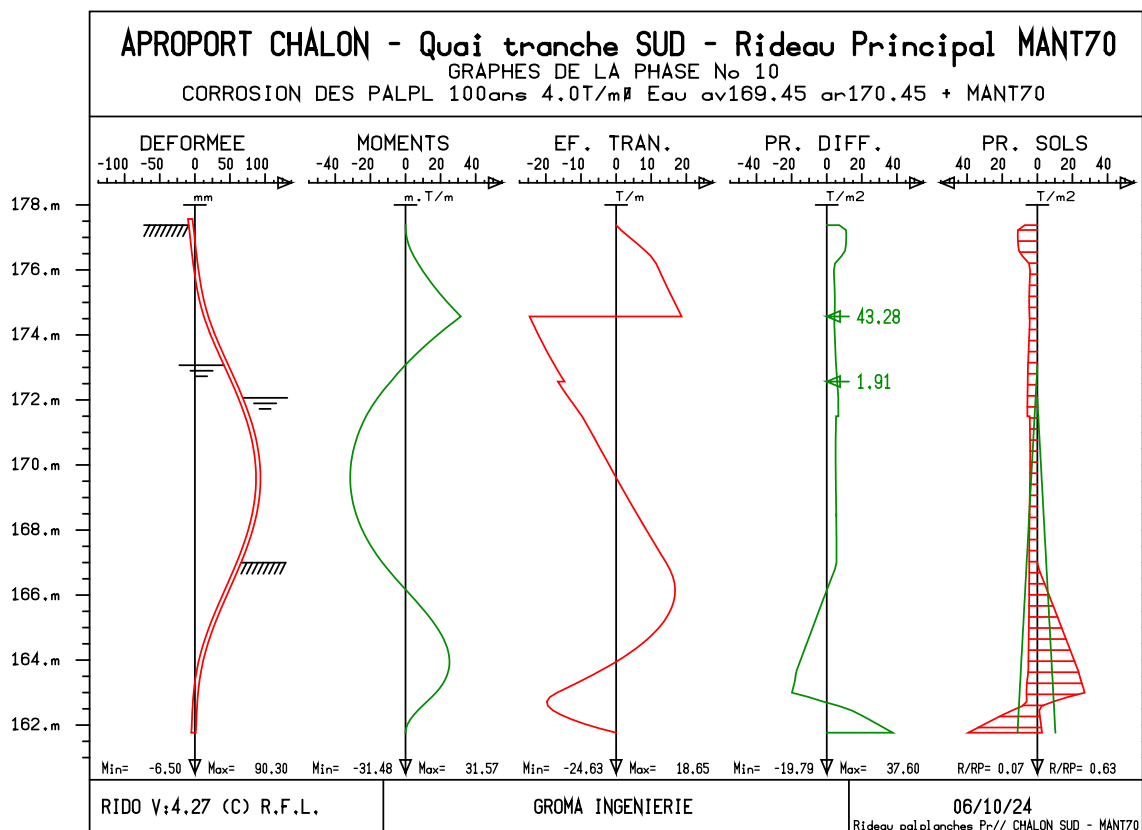
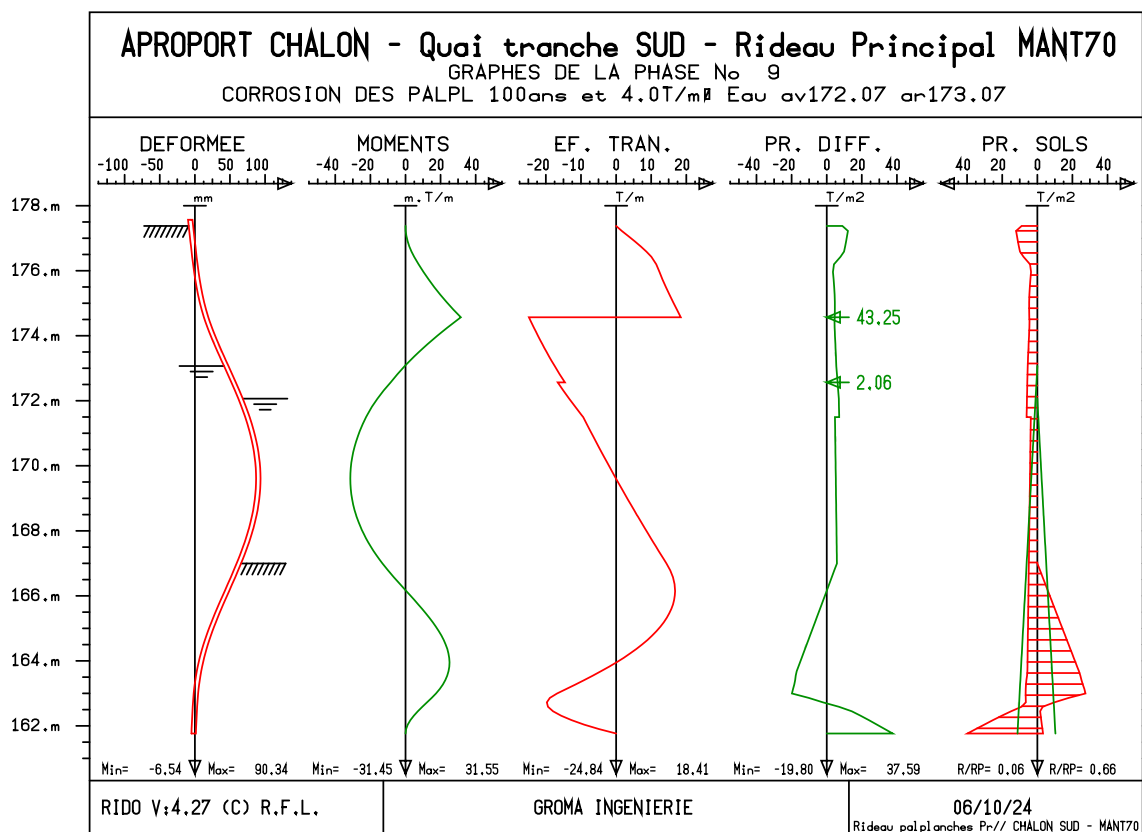
9.5. RESULTATS RIDO TRANCHE SUD



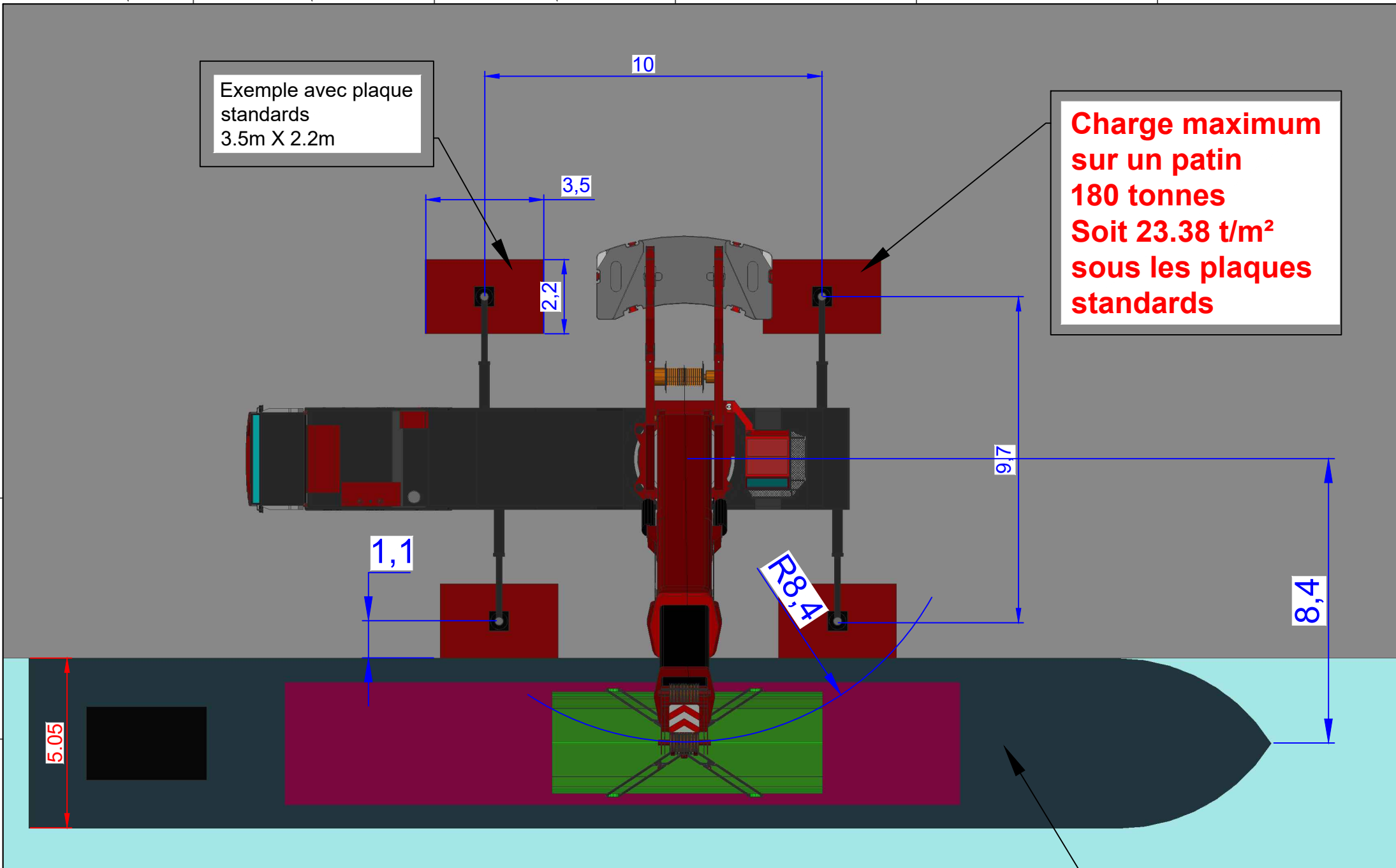




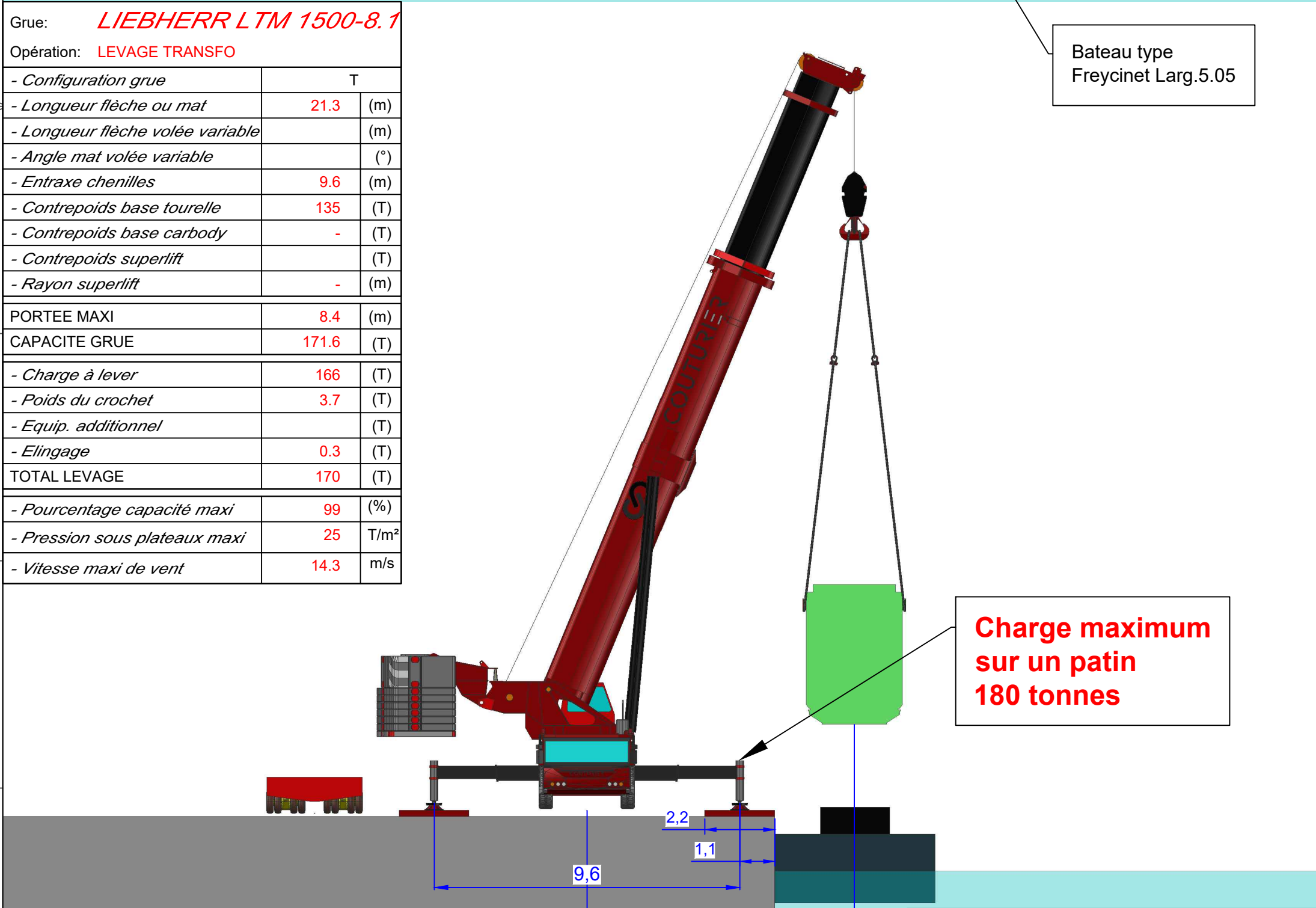




9.6. CONFIGURATION DE LEVAGE AVEC 1 GRUE TYPE LTM1500 ET COLIS 170T



Grue: LIEBHERR LTM 1500-8.1		
Opération: LEVAGE TRANSFO		
- Configuration grue	T	
- Longueur flèche ou mat	21.3	(m)
- Longueur flèche volée variable		(m)
- Angle mat volée variable		(°)
- Entraxe chenilles	9.6	(m)
- Contrepoids base tourelle	135	(T)
- Contrepoids base carbody	-	(T)
- Contrepoids superlift		(T)
- Rayon superlift	-	(m)
PORTEE MAXI	8.4	(m)
CAPACITE GRUE	171.6	(T)
- Charge à lever	166	(T)
- Poids du crochet	3.7	(T)
- Equip. additionnel		(T)
- Elingage	0.3	(T)
TOTAL LEVAGE	170	(T)
- Pourcentage capacité maxi	99	(%)
- Pression sous plateaux maxi	25	T/m²
- Vitesse maxi de vent	14.3	m/s



A	06/08/2024	SPP	SPP	Création des plans de levage	
INDICE	DATE	DESSINE PAR	VERIFIE PAR	MODIFICATIONS	

LTM 1500-8.1 000095277 CODE >0009< B216 5800

Angle d'inclinaison

Incl.longit. [°]
0.0

Incl.latérale [°]
0.0

Centre de gravité

x

y

x: -0.4 m

y: -1.8 m

z: 12.0 m

419.7 t

[180]

[178]

[154]

[156]

70

163

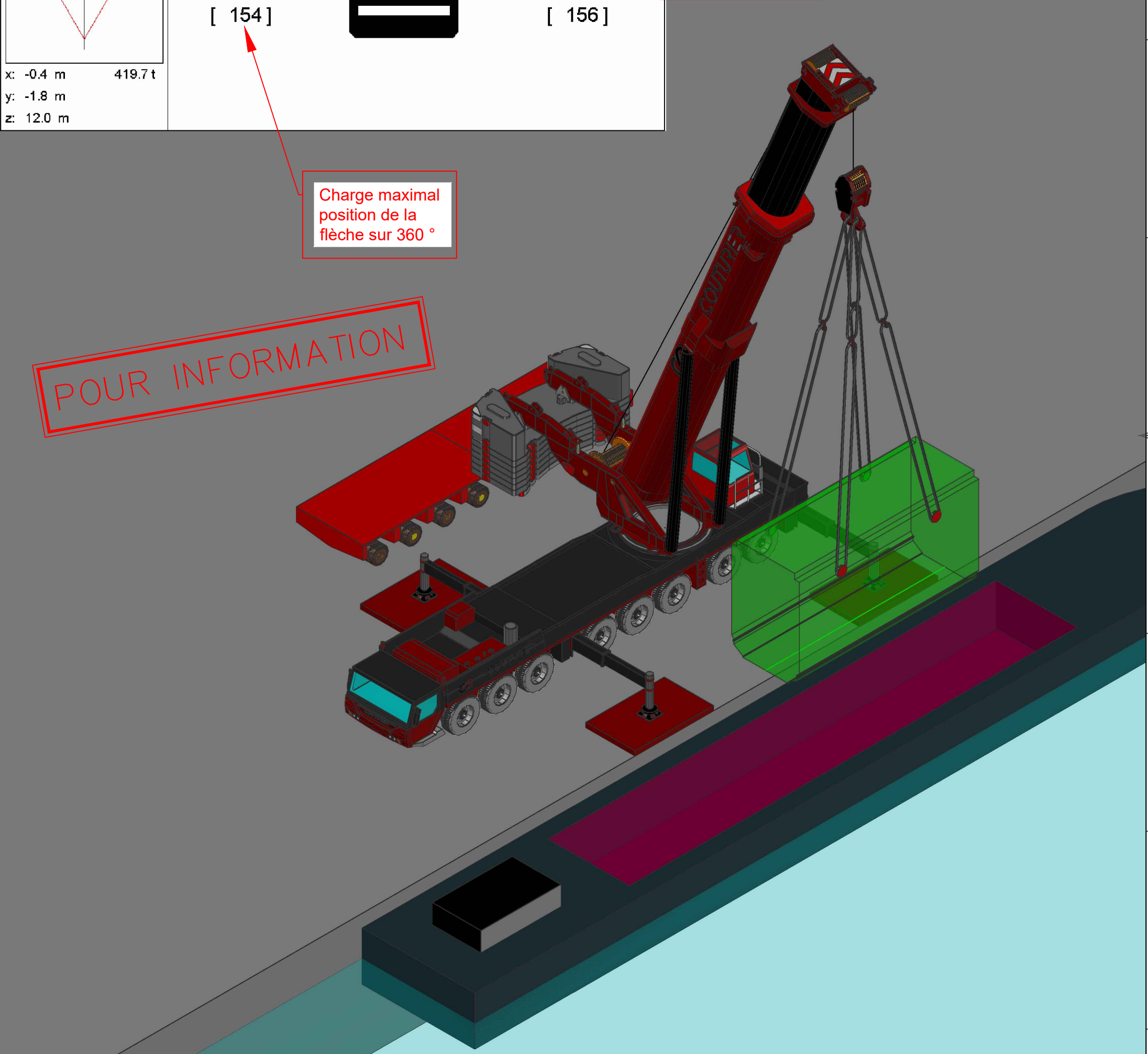
72

140

Charge maximal position de la flèche sur 360 °

Fiche technique	LTM 1500-8,1
Configuration grue:	T
Code LICCON:	9,00
Ecartement patins:	9,6 m
Longueur flèche:	21,30 m
Contrepoids:	135 tonnes
Poids crochet grue:	3,7 tonnes
Capacité du crochet:	250,0 t
Poids à lever:	170,0 t
Nombre mouflage crochet:	16

Charges sous les patins position de la flèche axe de levage



COUTURIER

HAUTE LOGISTIQUE COUSUE MAIN

325 rue des frères lumière

71000 MACON

+33 3 85 34 17 94

www.couturier.net

Ce plan est la propriété de COUTURIER il ne pourra être ni copié ni divulgué sans son autorisation

This drawing is considered proprietary to COUTURIER it shall not be disclosed without autorization

Client : VNF - APROPORT

Colis : Ex avec transfo - Poids total 170 Tonnes

APROPORT MACON

PLAN DE PRINCIPE AVEC LTM 1500-8.1

BATEAU GABARIT FREYCI NET

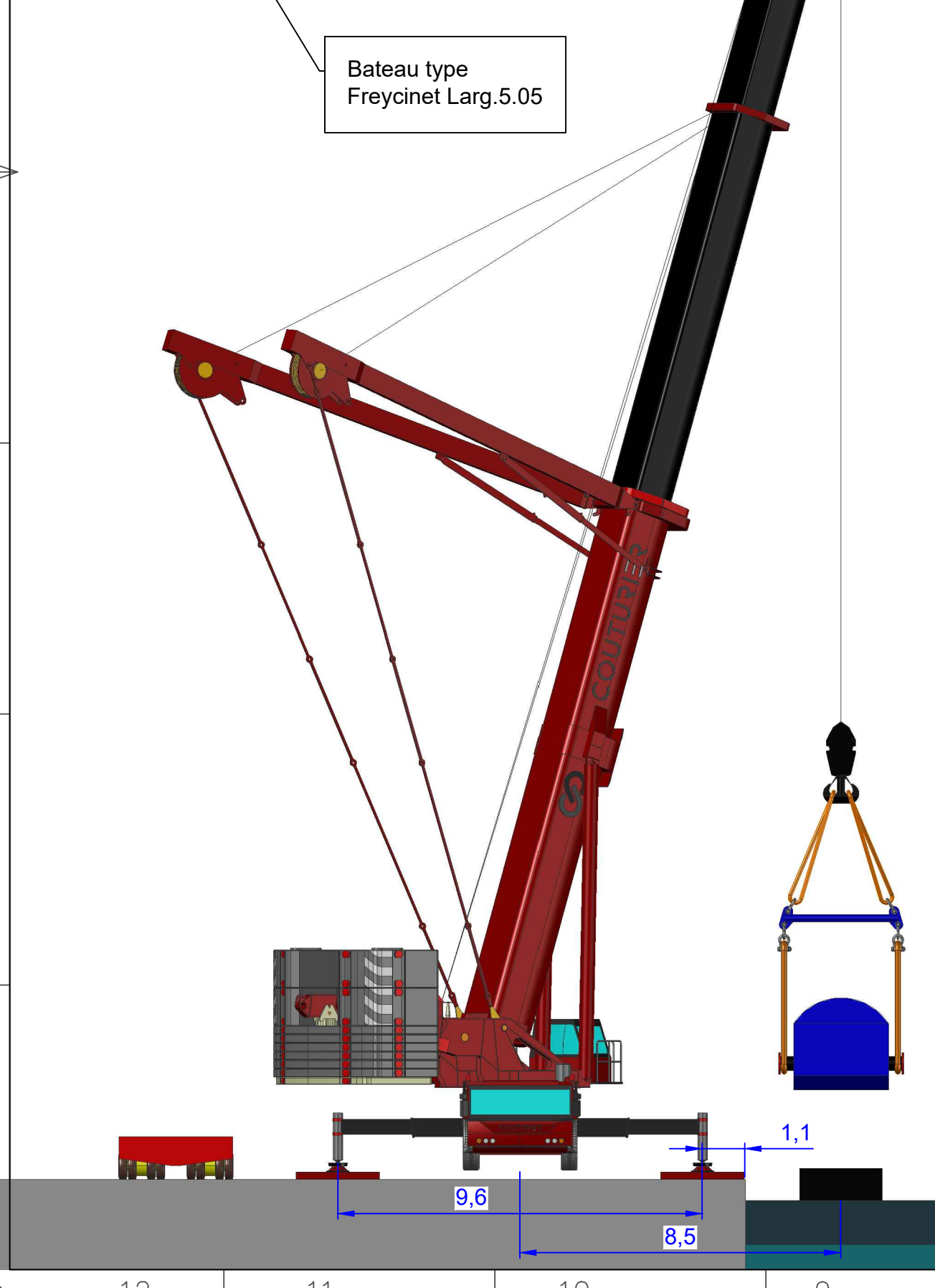
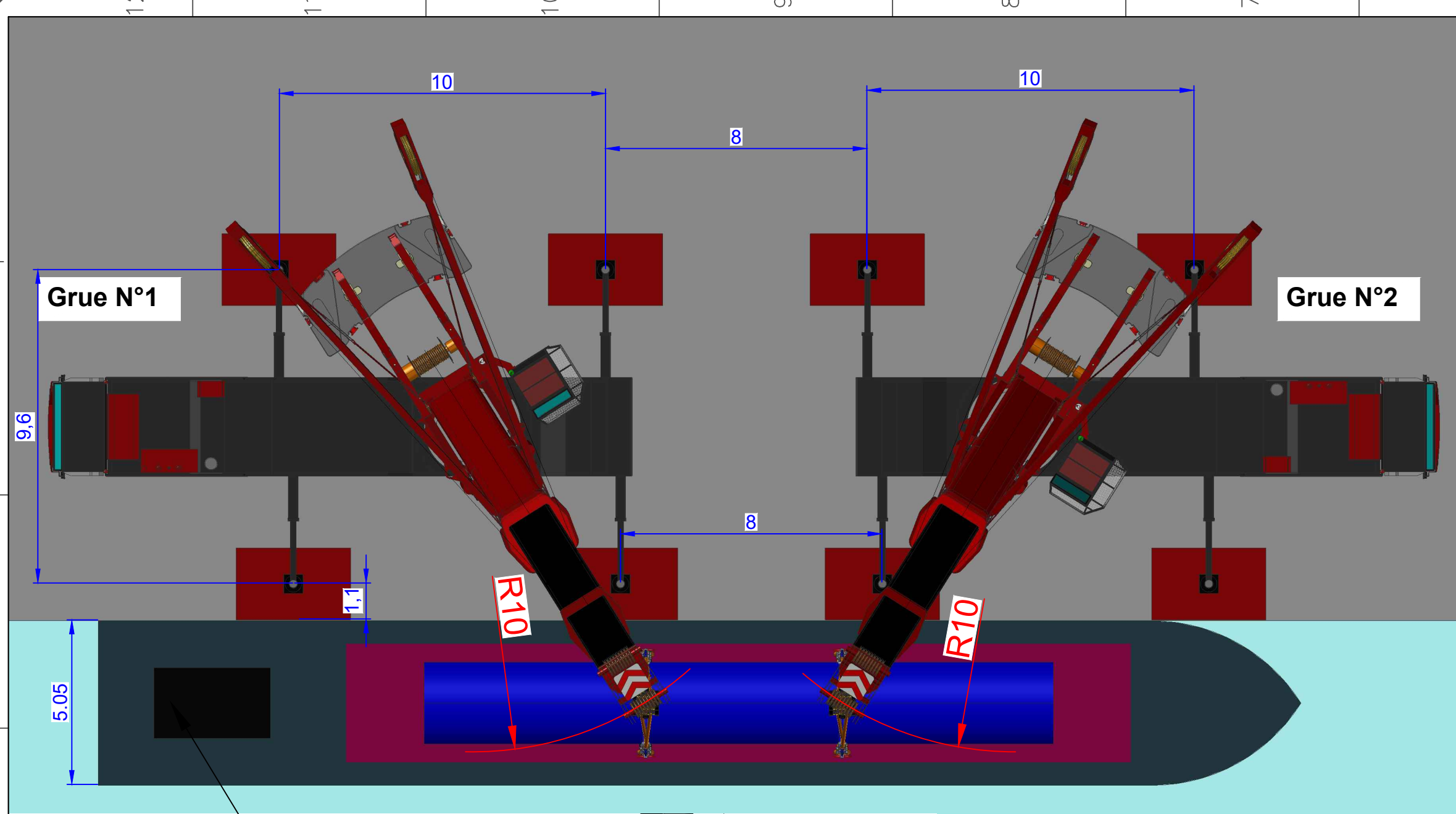
N°: A24-APROPORT 01 - 05 08

Echelle: -

Format :A2

Folio : 1/1

9.7. CONFIGURATION DE LEVAGE AVEC 2 GRUES TYPE LTM1500 ET COLIS 280T



LTM 1500-8.1 000095277 CODE >0022< B216 5D00

Angle d'inclinaison

Incl.longit. [°]

Incl.latérale [°]

Centre de gravité

x: 0.5 m 440.0 t
y: 1.0 m
z: 14.7 m

Grue N°2

Charge maximal position de la flèche sur 360 °

LTM 1500-8.1 000095277 CODE >0022< B216 5D00

Angle d'inclinaison

Incl.longit. [°]

Incl.latérale [°]

Centre de gravité

x: 0.5 m 440.0 t
y: -1.0 m
z: 14.7 m

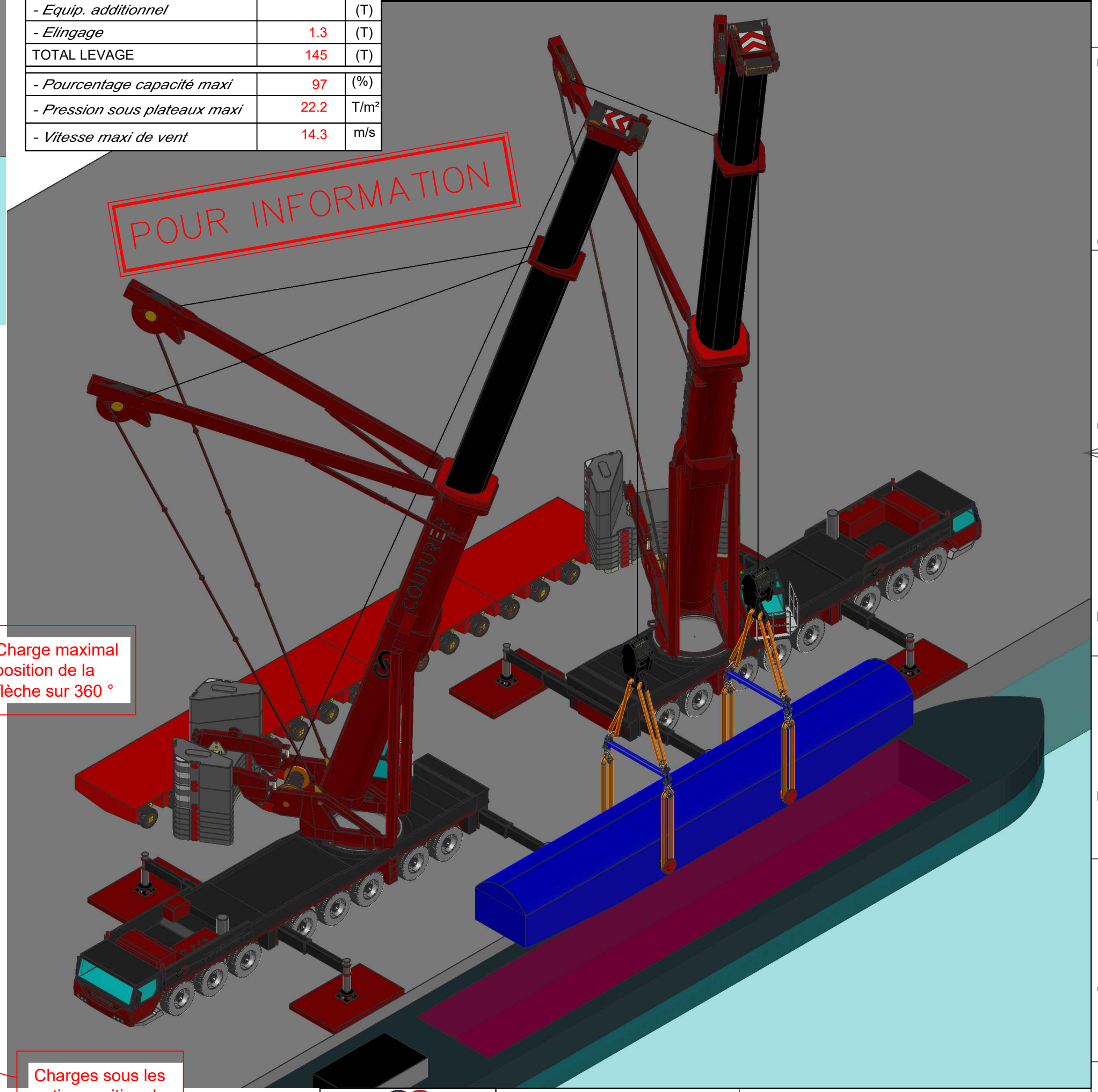
Grue N°1

Charges sous les patins position de la flèche axe de levage

Grue: **LIEBHERR LTM 1500-8.1**
Opération: **LEVAGE ROTOR**

- Configuration grue		T3Y
- Longueur flèche ou mat	31.7	(m)
- Longueur flèche volée variable		(m)
- Angle mat volée variable		(°)
- Entraxe chenilles	9.6	(m)
- Contrepoids base tourelle	165	(T)
- Contrepoids base carbody	-	(T)
- Contrepoids superlift		(T)
- Rayon superlift	-	(m)
PORTEE MAXI	10	(m)
CAPACITE GRUE	148.9	(T)
- Charge à lever	140	(T)
- Poids du crochet	3.7	(T)
- Equip. additionnel		(T)
- Elingage	1.3	(T)
TOTAL LEVAGE	145	(T)
- Pourcentage capacité maxi	97	(%)
- Pression sous plateaux maxi	22.2	T/m²
- Vitesse maxi de vent	14.3	m/s

Fiche technique	2 X LTM 1500
Configuration grue:	T3Y
Code LICCON:	2200
Ecartement patins:	9,6 m
Longueur flèche:	31,70 m
Contrepoids:	165t
Poids crochet grue:	3,7 t
Capacité du crochet:	250t
Poids à lever:	280,0 t
Nombre mouflage crochet:	14



HAUTE LOGISTIQUE COUSUE MAIN
325 rue des frères lumière
71000 MACON
+33 3 85 34 17 94
www.couturier.net

Client : VNF - APROPORT Colis : Ex avec un ROTOR de 280t

APRPPORT MACON
PLAN DE PRINCIPE AVEC 2 LTM 1500
BATEAU GABARIT FREYCINET
N°: A24-APROPORT 03 - 06 08

Echelle: -
Format :A2
Folio : 1/1

Ce plan est la propriété de COUTURIER il ne pourra être ni copié ni divulgué sans son autorisation
This drawing is considered proprietary to COUTURIER it shall not be disclosed without authorization

A	05/08/2024	SPP	SPP	Création des plans de levage
INDICE	DATE	DESSINE PAR	VERIFIE PAR	MODIFICATIONS

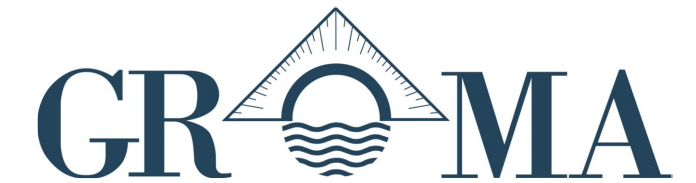
9.8. PLANS

Maître d'ouvrage



APROPOR

Bureau d'études



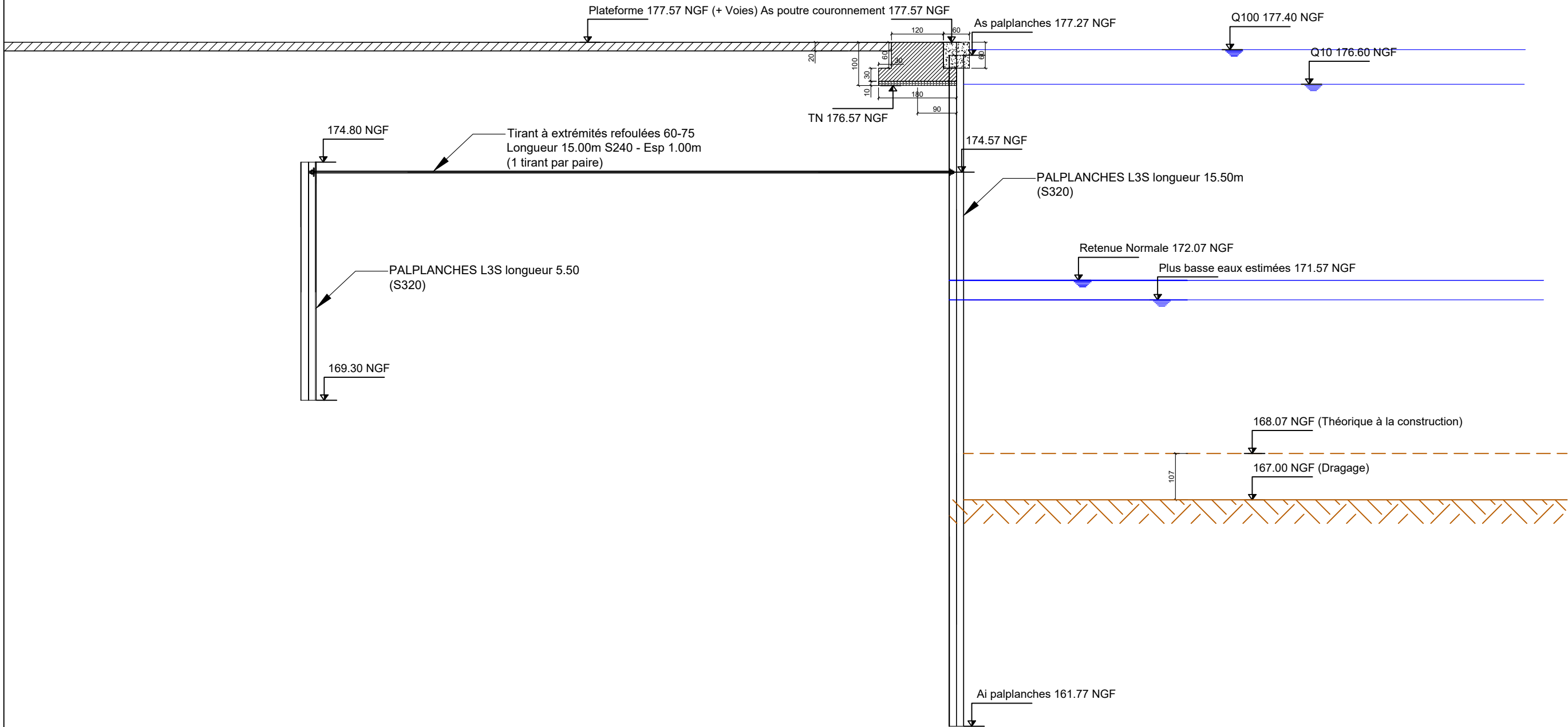
PROJET ORGANISATION DU QUAI

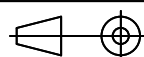
PORT SUD DE CHALON SUR SAÔNE - PK 173

CARNET DE PLANS - ETUDE SOMMAIRE ORGANISATION

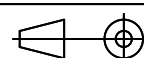
COUPE QUAI EXISTANT

ECHELLE 1/100



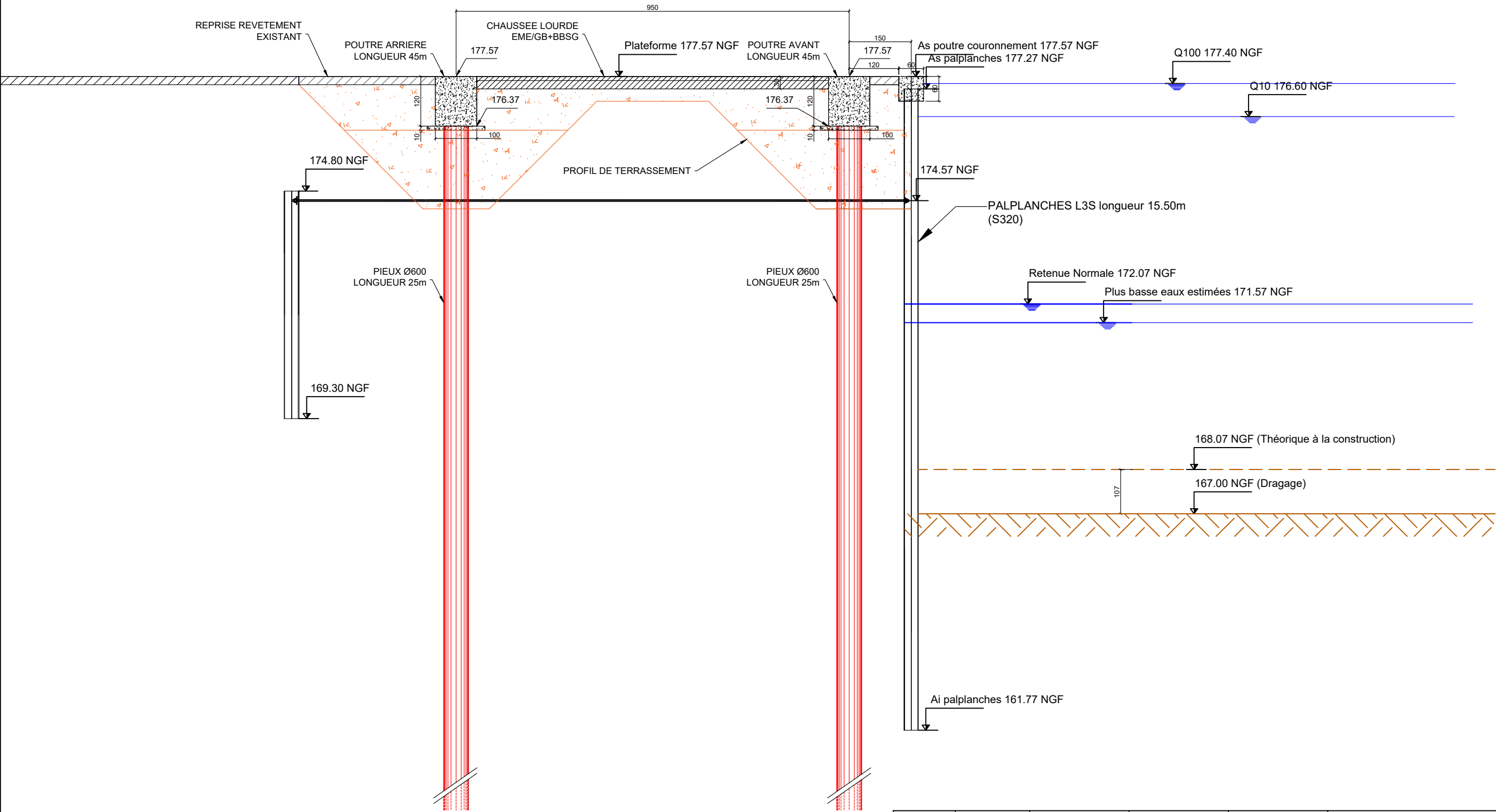
B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024		
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications		
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710
		CARNET DE PLANS				 Echelle Var	Plan n° 1 Indice B

PROJET POSTE COLIS LOURDS

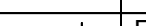
B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024				
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications				
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710		
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1	Indice B	

COUPE QUAI - PROJET POSTE COLIS LOURDS

ECHELLE 1/100

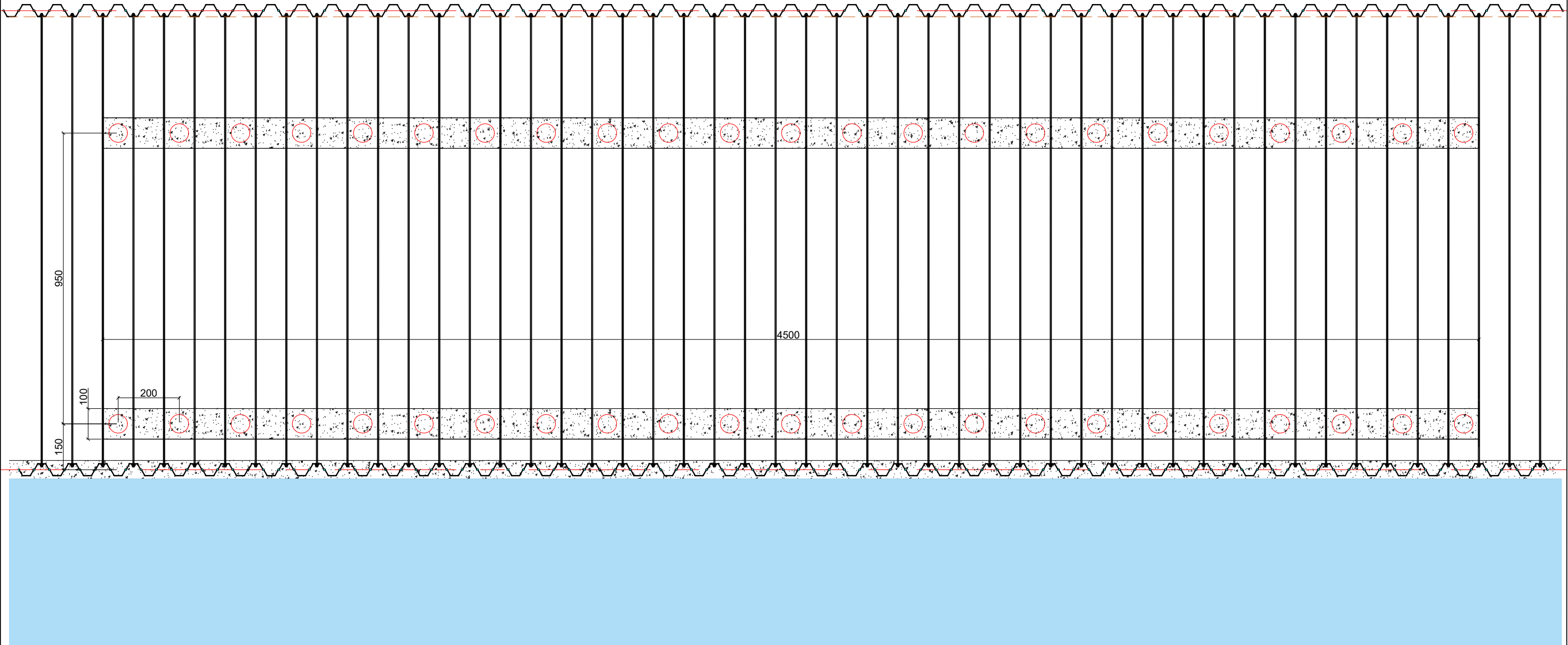


- Remarque :
- Option 1 : poste colis lourd (170t max) et conteneurs sur 25 ml de quai - levage avec une grue type LTM1500 ou pelle portuaire de descente de charge équivalente
Estimatif : 940 000 € HT
 - Option 2 : poste colis lourd (280t max) et conteneurs sur 45 ml de quai - levage avec 2 grue type LTM1500 ou pelle portuaire de descente de charge équivalente
Estimatif : 1 600 000 € HT

B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024			
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications			
		PROJET ORGANISATION DU QUAI			Format A3		Numéro d'affaire VNF240710	
		CARNET DE PLANS					Echelle Var	Plan n° 1

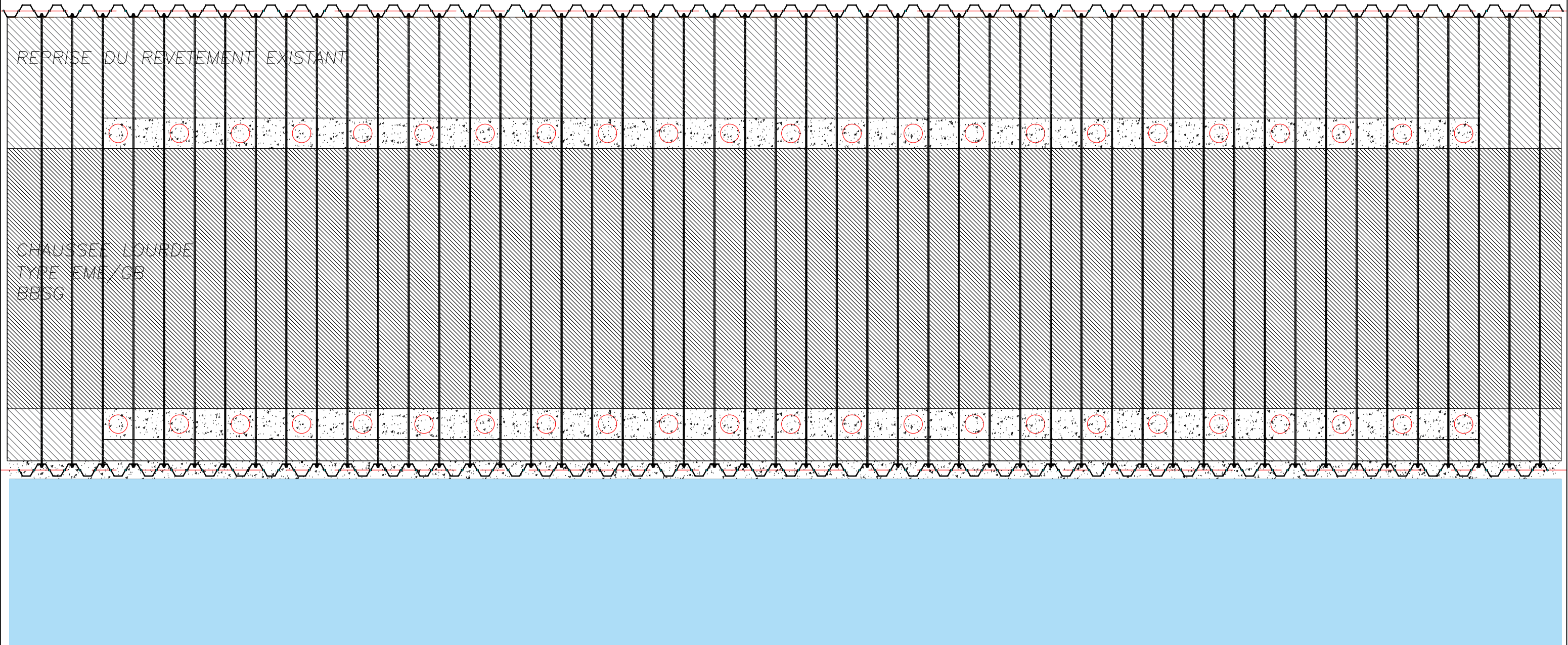
VUE EN PLAN QUAI - PROJET POSTE COLIS Lourds

ECHELLE 1/125



B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024		
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications		
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1 Indice B

VUE EN PLAN QUAI - PROJET POSTE COLIS LOURDS
REVETEMENTS
ECHELLE 1/125



Remarque :

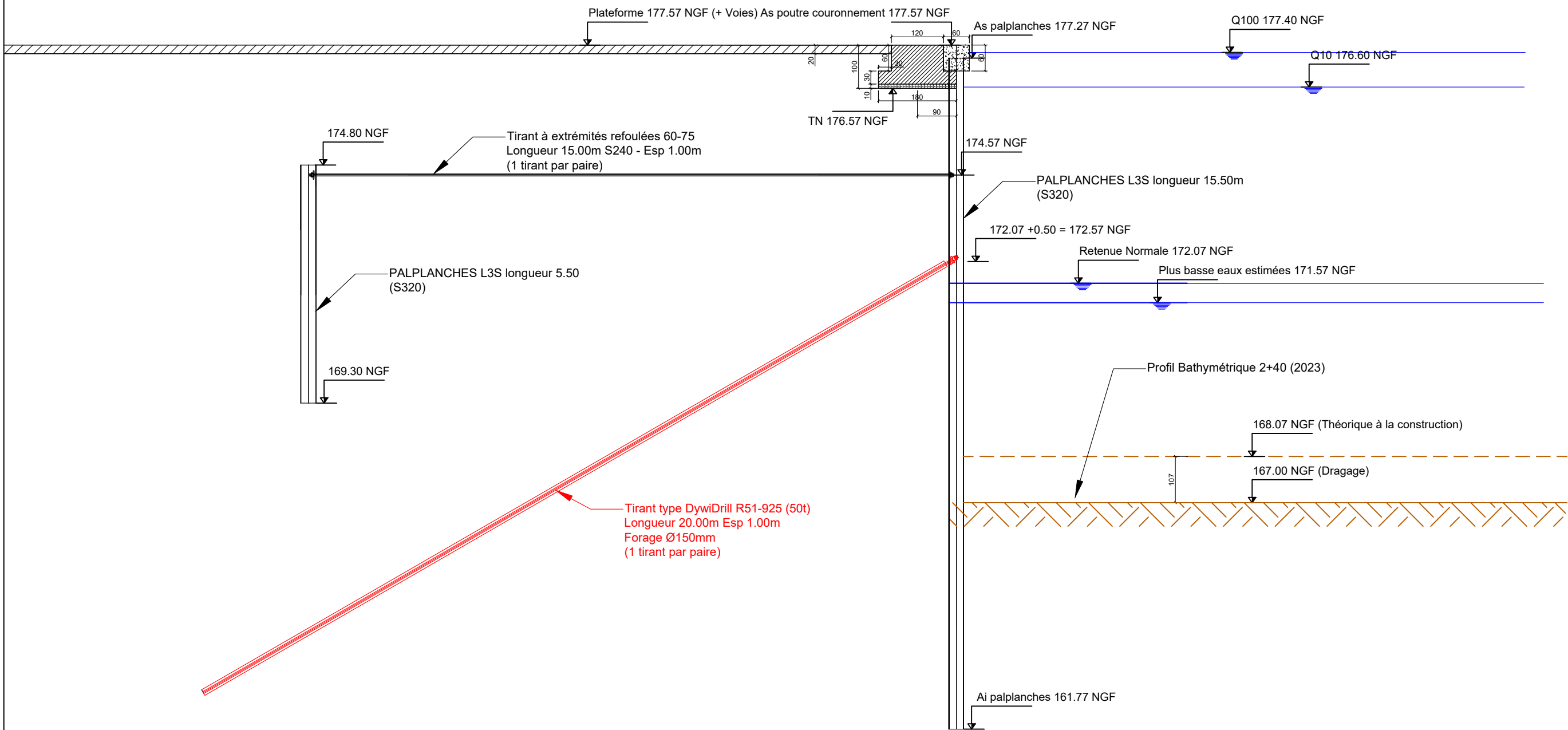
Le projet pourrait être amélioré avec une gestion des eaux, et un caniveau à fente à l'axe de la chaussée lourde (= à l'axe de positionnement de la grue) qui permettrait de collecter les eaux. Les enrobés seraient alors en légère pente (1%) entre les poutres sous patins et en direction du caniveau.

B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024		
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications		
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1 Indice B

PROJET RENFORCEMENT GLOBAL TIRANTS D'ANCRAGE

B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024			
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications			
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710	
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1	Indice B

COUPE QUAI - RENFORCEMENT GLOBAL
TIRANTS D'ANCRAGE
ECHELLE 1/100

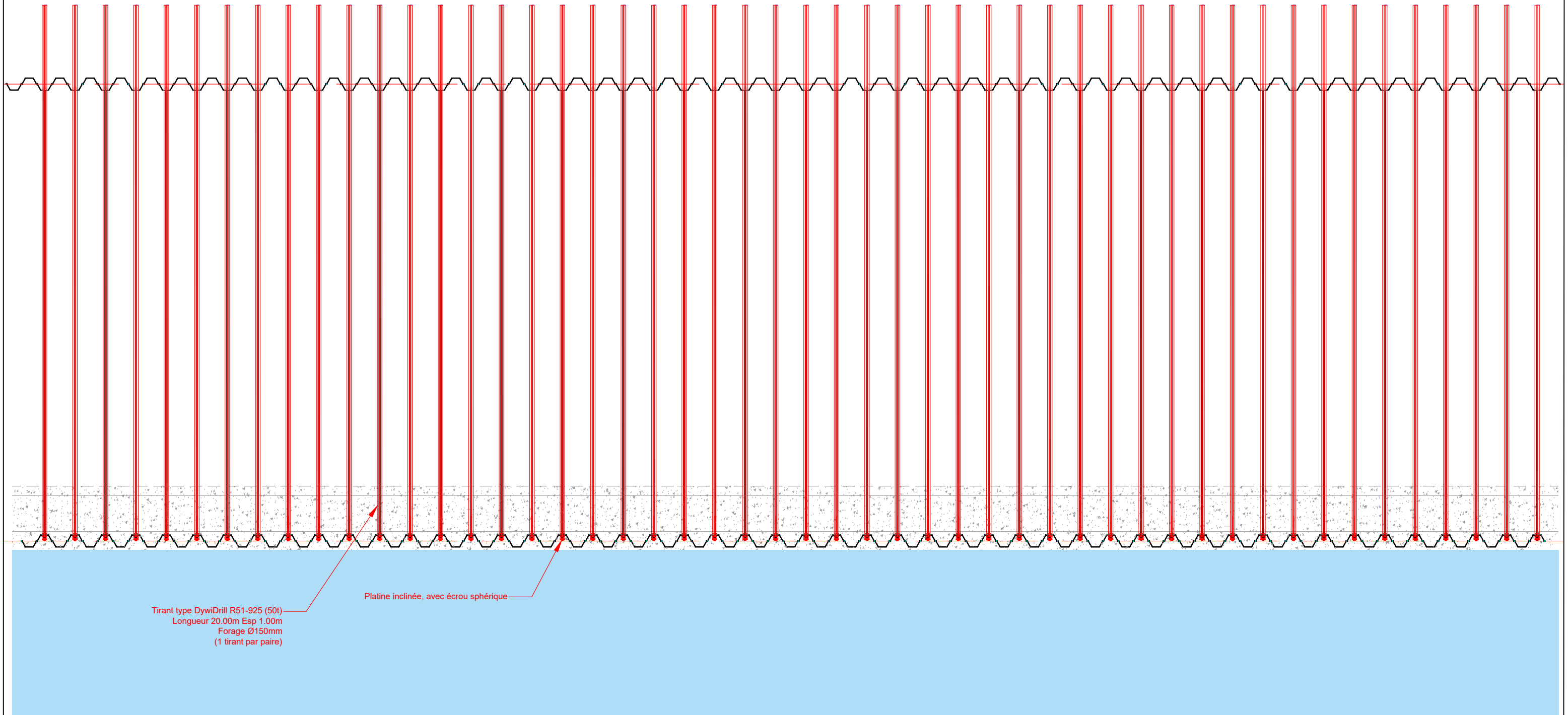


Remarque :
Renforts par tirant d'ancrage sur tout le linéaire de quai, sauf zone poste colis lourd

- Option 1 : poste colis lourd (170t max) et conteneurs sur 25 ml de quai - levage avec une grue type LTM1500 ou pelle portuaire de descente de charge équivalente
Estimatif total : Option 1 colis lourd + renforts par tirants d'ancrage : 940 000 + 1 800 000 = 2 740 000 € HT
- Option 2 : poste colis lourd (280t max) et conteneurs sur 45 ml de quai - levage avec 2 grue type LTM1500 ou pelle portuaire de descente de charge équivalente
Estimatif total : Option 2 colis lourd + renforts par tirants d'ancrage : 1 600 000 + 1 750 000 = 3 350 000 € HT

B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024		
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications		
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1 Indice B

VUE EN PLAN QUAI - RENFORCEMENT GLOBAL
TIRANTS D'ANCRAGE
ECHELLE 1/125



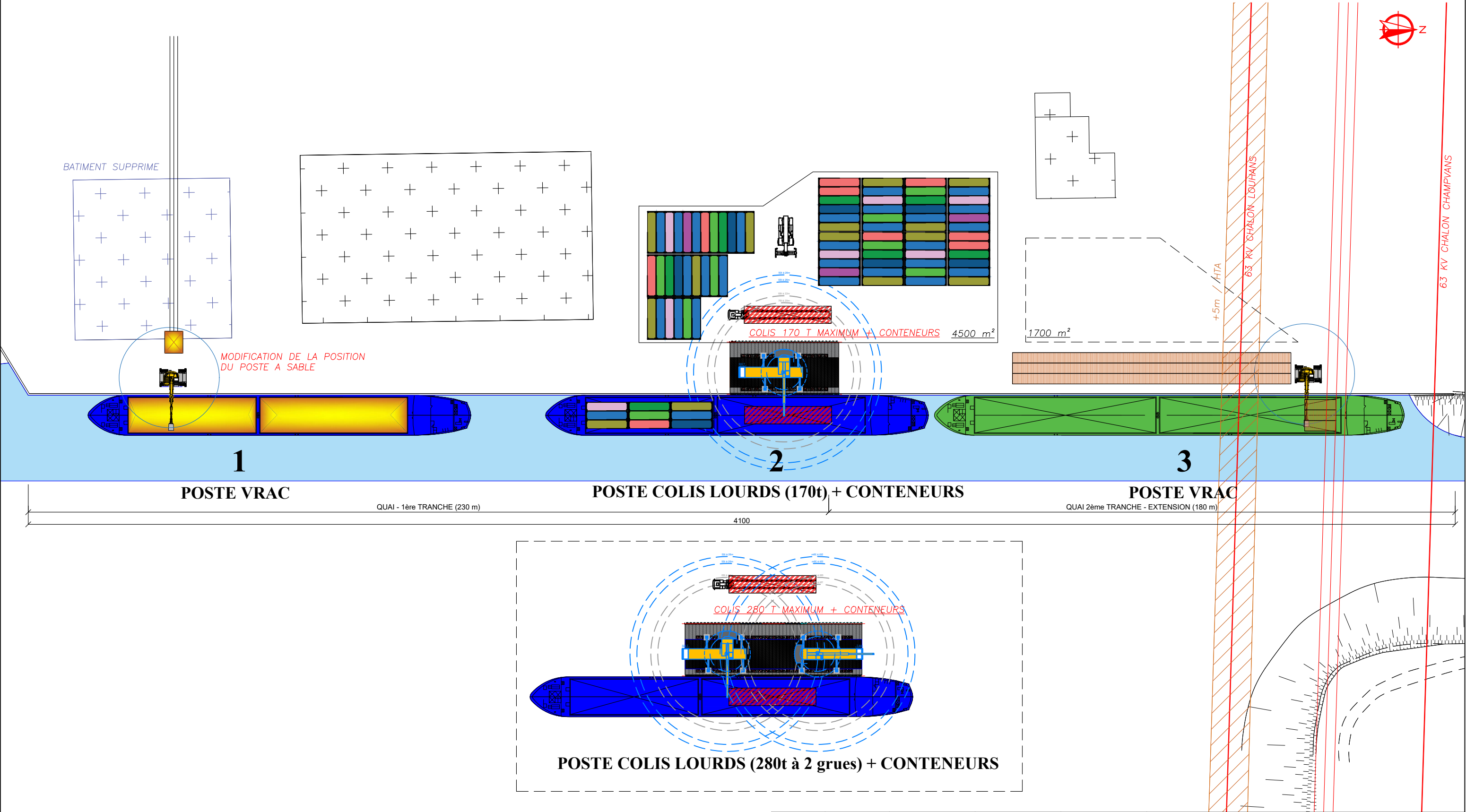
B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024		
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications		
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1 Indice B

ORGANISATION DU QUAI

B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024			
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications			
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710	
		CARNET DE PLANS				Echelle Var	Plan n° 1	Indice B

VUE ENSEMBLE QUAI - 3 POSTES

ECHELLE : sans



Remarque :

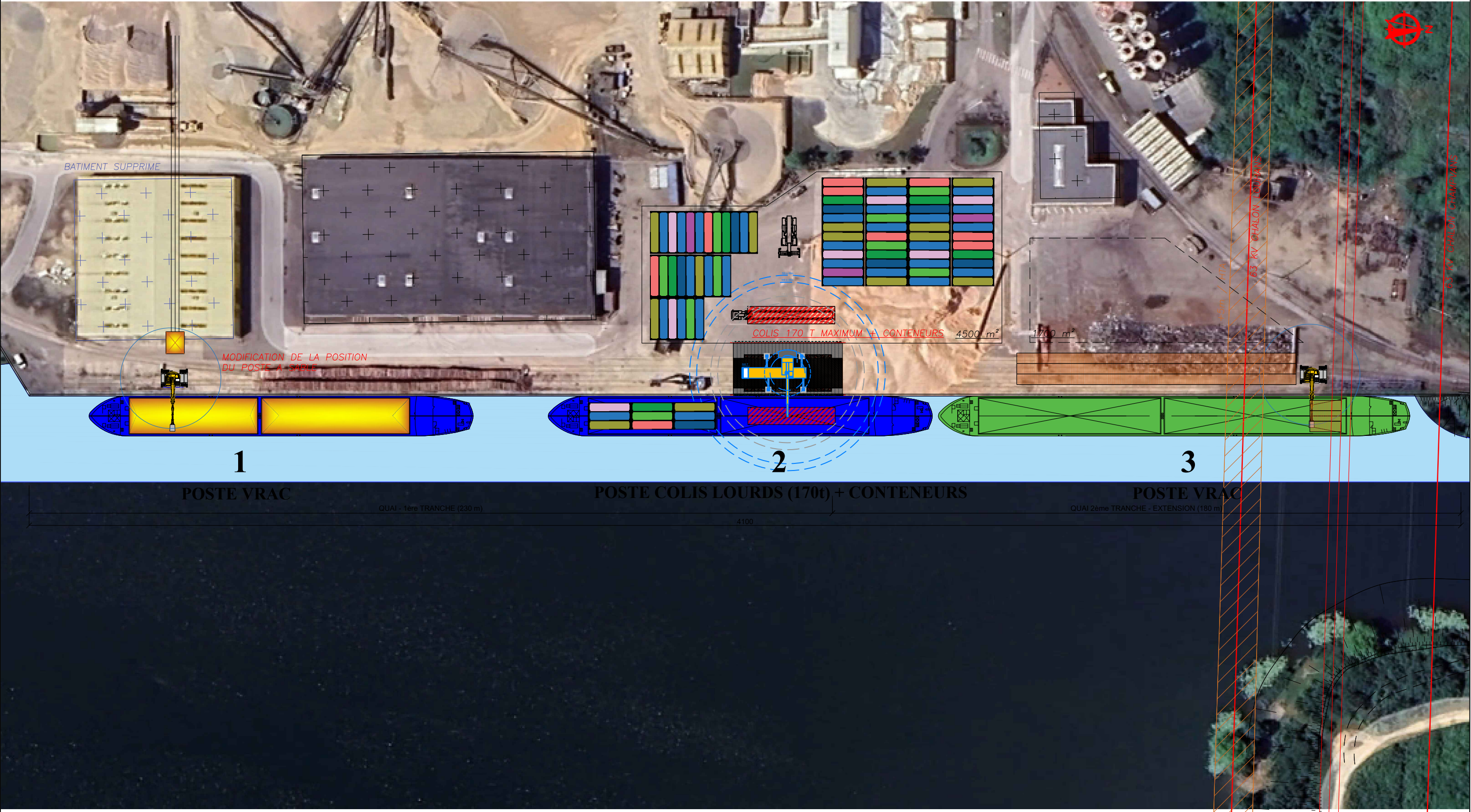
- Le poste n°1 a été déplacé de sa position initiale en partie centrale, vers l'aval de la darse
- Le poste n°2 permet d'assurer à la fois la fonction de poste colis lourd (170 t à 1 grue type LTM 1500) et de gestion des conteneurs. Une pelle portuaire de descente de charge équivalente à la grue prévue pour le levage, est possible. Une variante avec 2 grues est possible et permettrait d'augmenter la capacité de levage des colis jusqu'à 280t.
- Le poste n°3 a été déplacé de sa position initiale à l'aval, vers l'amont de la darse : la présence de la ligne HTA (Position et hauteur exactes à confirmer) n'est pas limitante pour les manutentions à faible hauteur avec pelles.

Le chargement / déchargement simultané de 2 navires de 110m (en bleu) et 1 navire de 135m impose une coordination, mais reste possible (inversion proue/poupe).

B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024				
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications				
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710		
		CARNET DE PLANS					Echelle Var	Plan n° 1	Indice B

VUE ENSEMBLE AERIEENNE QUAI - 3 POSTES

ECHELLE : sans



B	05/09/2024	M.GRAZIANI	M.GRAZIANI	----	Modification suite à réunion du 27-08-2024		
Indice	Date	Dessiné	Vérifié	Approuvé	Modifications		
		PROJET ORGANISATION DU QUAI				Format A3	Numéro d'affaire VNF240710
		CARNET DE PLANS				 Echelle Var	Plan n° 1 Indice B