



Ouvrages Fluviaux

Journée présentée par

Sylvie Bretelle, Pascal Aguado (CFMS) et Philippe Gotteland (FNTP)

À la Maison des Travaux Publics

Journée parrainée par HUESKER et NGE





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE



Ouvrages Fluviaux

Les aspects géotechniques du chantier de rénovation et d'allongement des écluses de Méricourt (78)





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE



Les aspects géotechniques du chantier de rénovation et d'allongement des écluses de Méricourt (78)

G. de MALHERBE (Bouygues Travaux Publics)
V. BOULET (Bouygues Travaux Publics Région France)

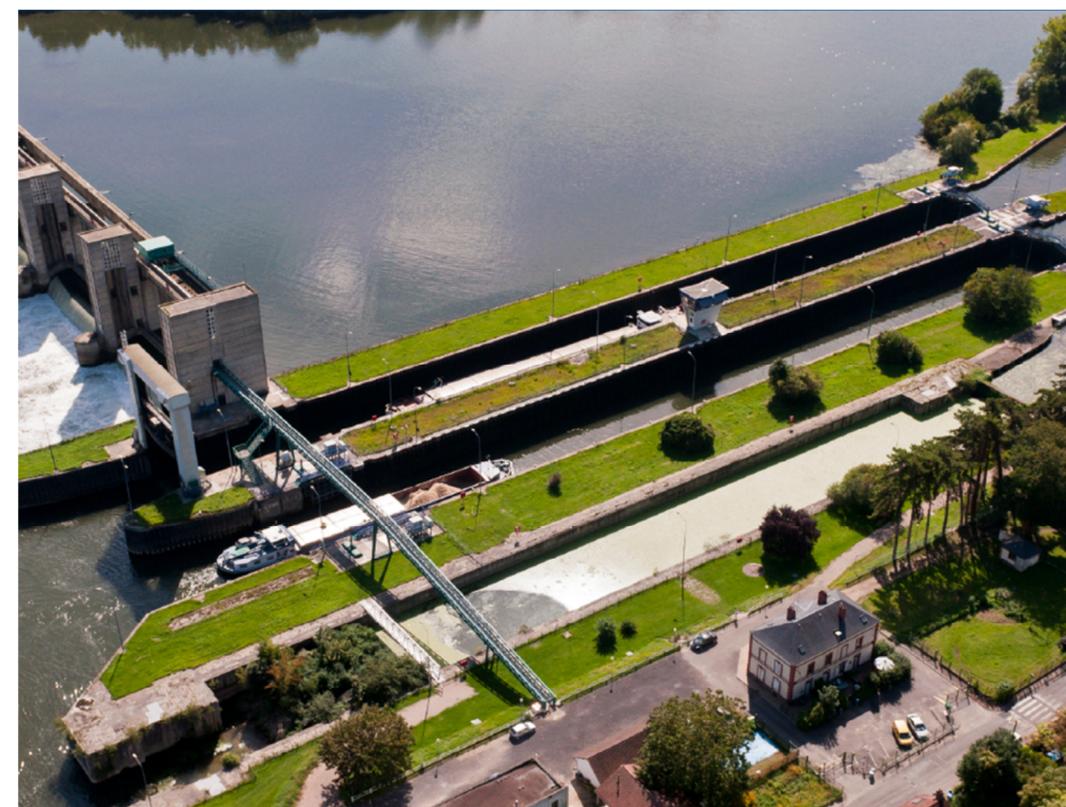
OUVRAGES FLUVIAUX
JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUES DU CFMS
DU 18 JANVIER 2023



REGIONS FRANCE

Présentation du Projet

Contexte général



Les écluses de Méricourt sont situées sur la Seine, à une soixantaine de kilomètres à l'aval de Paris.

La moitié du trafic circulant sur le bassin de la Seine franchit les écluses de Méricourt. Celles-ci fonctionnent **24/24 et 360 jours par an**.

- **250 bateaux** franchissent chaque semaine les écluses de Méricourt
- **9 millions de tonnes** de marchandises sont transportées via les écluses, soit
- **410 000 camions** en moins sur les routes chaque année (1 150 camions par jour)



Présentation du Projet

Les écluses de Méricourt, des ouvrages anciens ...

Le barrage écluse initial mis en service en 1886, a été reconstruit en 1960 avec deux nouvelles écluses.

Le site, sous exploitation VNF (Voies Navigables de France) comprend:

- Un écluse désaffectée de 140m, datant du barrage écluse de 1886
- **L'écluse 1** de 160m x 17m
- **L'écluse 2** de 185m x 12m
- Un barrage de 5 passes

Ces deux écluses nécessitent:

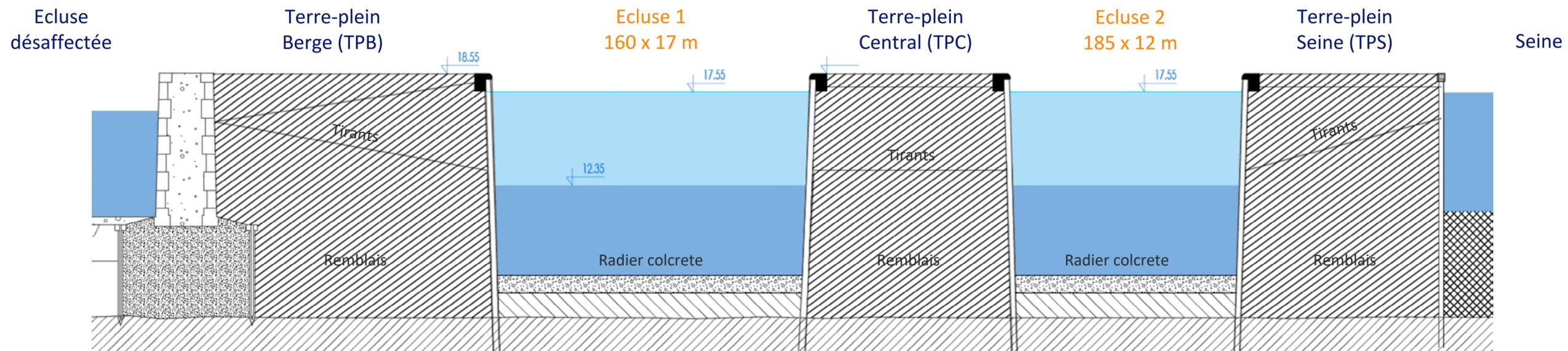
- **Une rénovation complète**, pour assurer la continuité de service et la sécurité d'exploitation
- **Un allongement de l'écluse 1**, pour accueillir les convois à grand gabarit (180m)



Présentation du Projet

Nature des ouvrages et travaux

Chaque sas d'écluse est séparé par des terre-pleins, leurs bajoyers sont en **palplanches** maintenues par des tirants.



La conception de l'ouvrage en 1960, considère chaque terre-plein comme un massif autostable: le remblai mis en place entre deux bajoyers exerce une poussée sur ces derniers, qui à leur tour tirent sur les tirants.

La nature des travaux implique une **reconstruction quasi-intégrale des écluses** (terre-pleins et bajoyers) et nécessite **4 ans de travaux sans interrompre la navigation sur la Seine**

Présentation du Projet

Marché de conception/construction

Le projet, évalué à 92 M€, est l'une des plus importantes opérations de modernisation menées par Voies Navigables de France.

La Maitrise d'Ouvrage



Assistance Technique à Maitrise d'Ouvrage



Le marché se décompose en 2 phases :

Phase Conception de 8 mois

Le Groupement de Conception/Construction



Phase Construction de 44 mois

Maitrise d'Oeuvre intégrée:



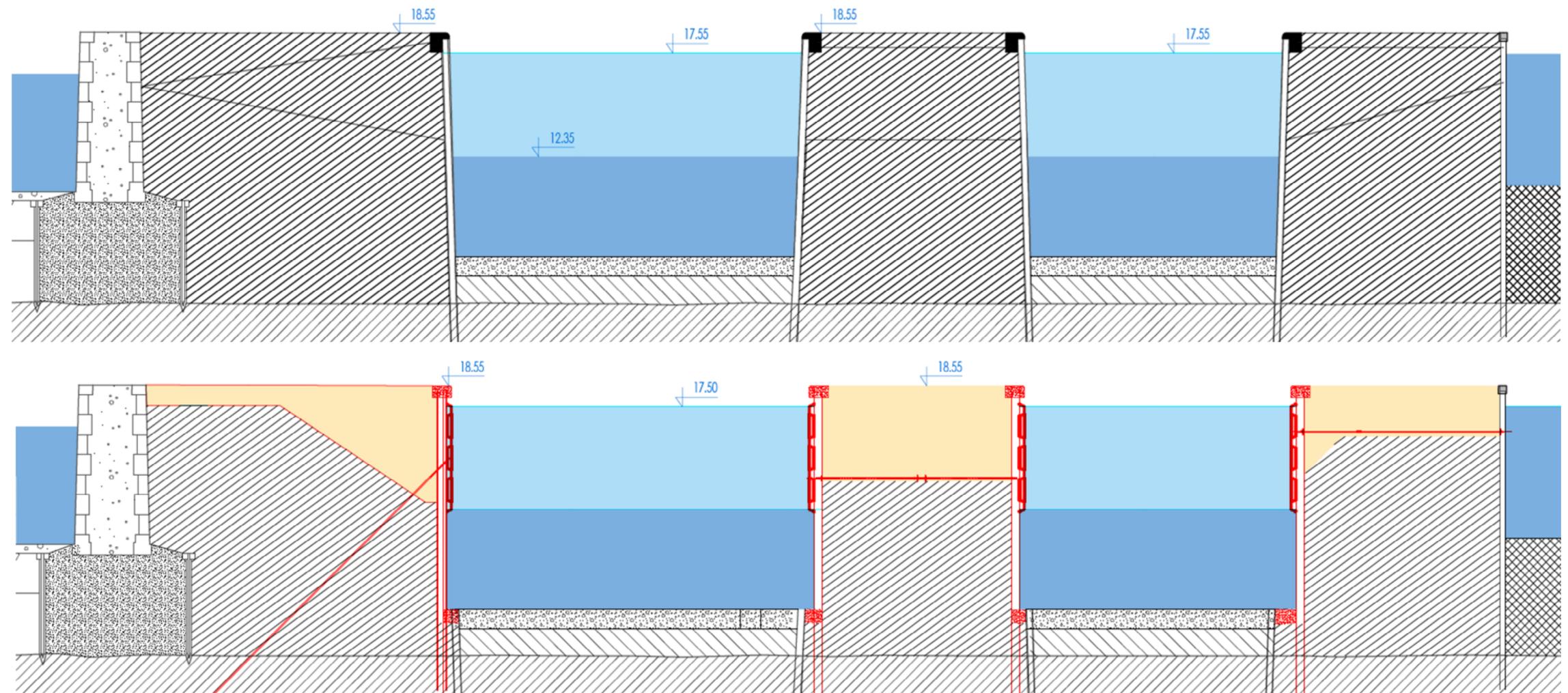
Groupement constructeur:



Présentation du Projet

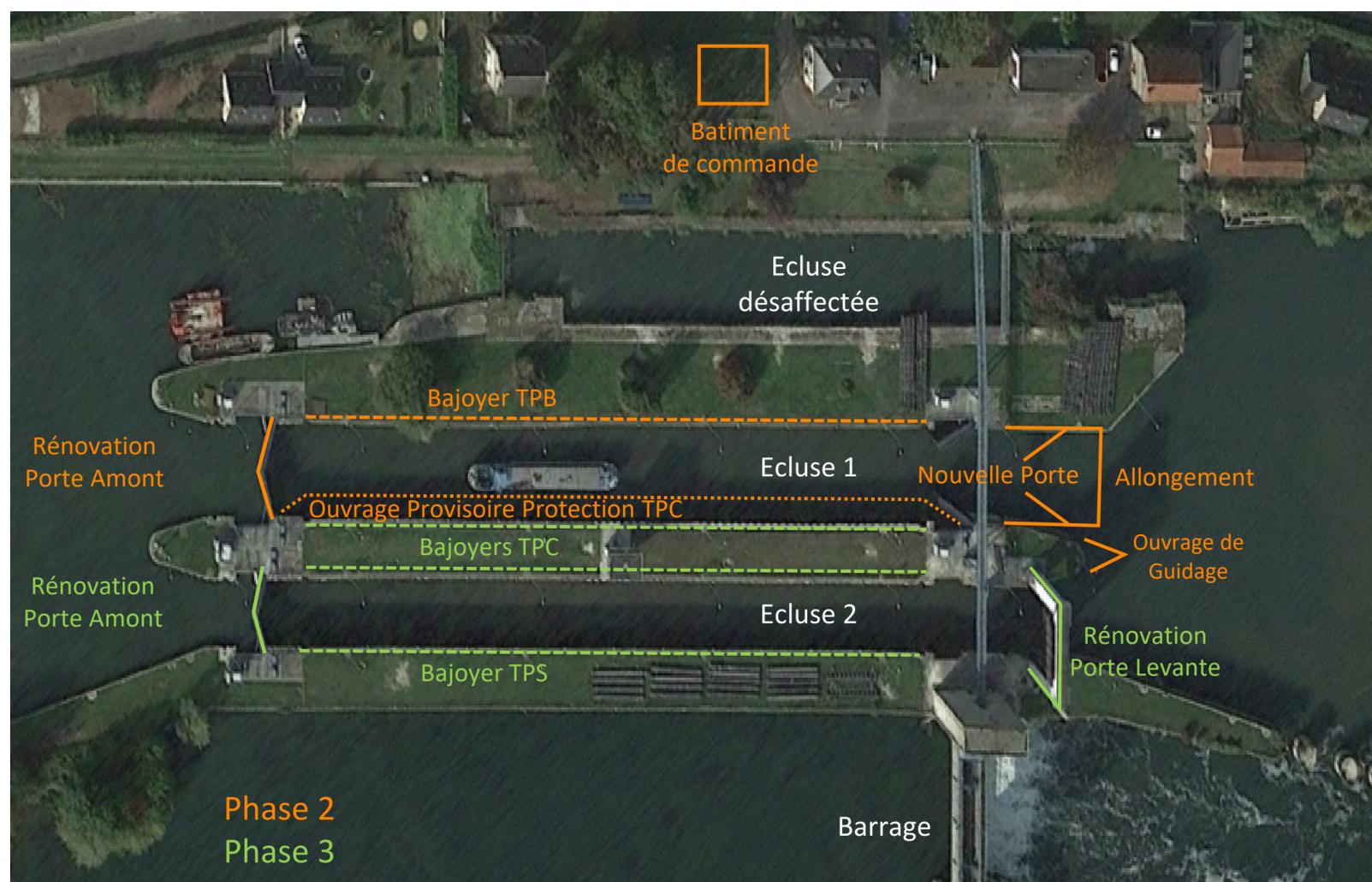
Rénovation (avant) / (après)

- Dépose des anciens tirants
- Battage d'un **nouveau rideau de palplanches derrière l'ancien bajoyer**
- Pose de tirants avec liernes
- Recépage de l'ancien bajoyer
- **Reconstitution de la butée de pied**
- Pose de lisses de guidage



Présentation du Projet

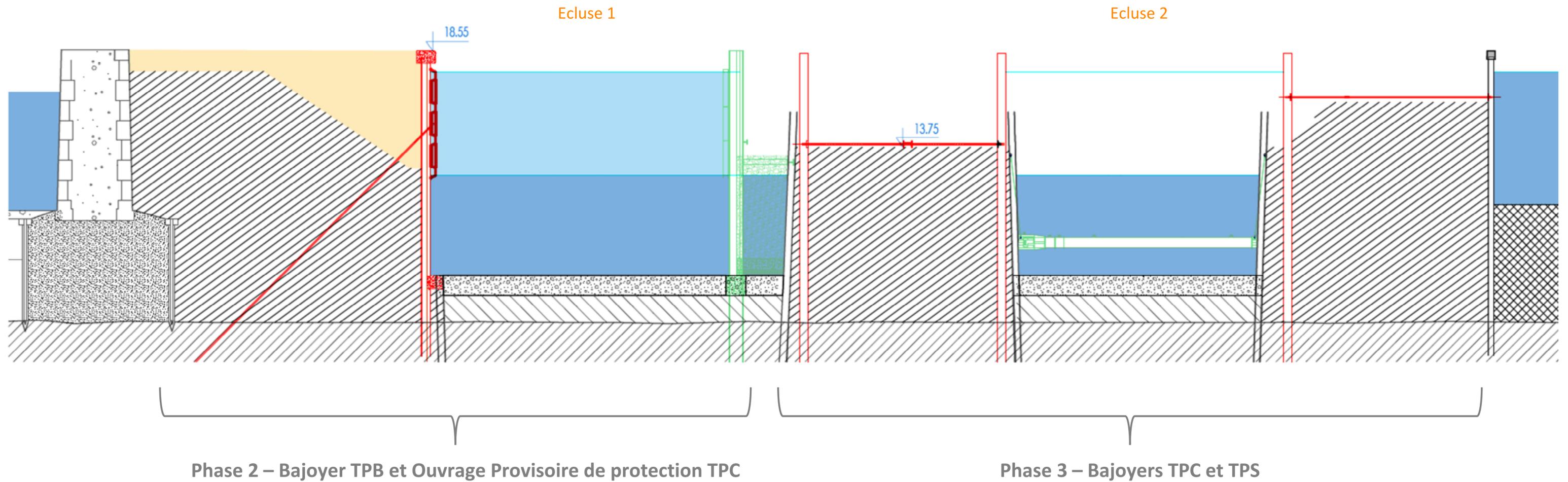
Phasage de réalisation



- **Phase 1 – Chômage écluse 2** **5 mois**
Fiabilisation de la porte levante
- **Phase 2 – Chômage écluse 1** **17 mois**
Bajoyer TPB
Allongement écluse 1
Ouvrage Provisoire de protection TPC
Rénovation porte amont
Nouvelle porte aval et bâtiment de commande
- **Phase 3 – Chômage écluse 2** **16 mois**
Bajoyers TPC et TPS
Rénovation Porte Amont et Porte Levante
- **Phase 4 – Chômage écluse 1** **6 mois**
Dépose Ouvrage Provisoire de protection TPC
Finalisation Bajoyer TPC écluse 1

Présentation du Projet

Phases provisoires de travaux



Présentation du Projet

Phase 3 – battage bajoyer TPC & TPS



Présentation du Projet

Phase 3 – battage bajoyer TPC & TPS



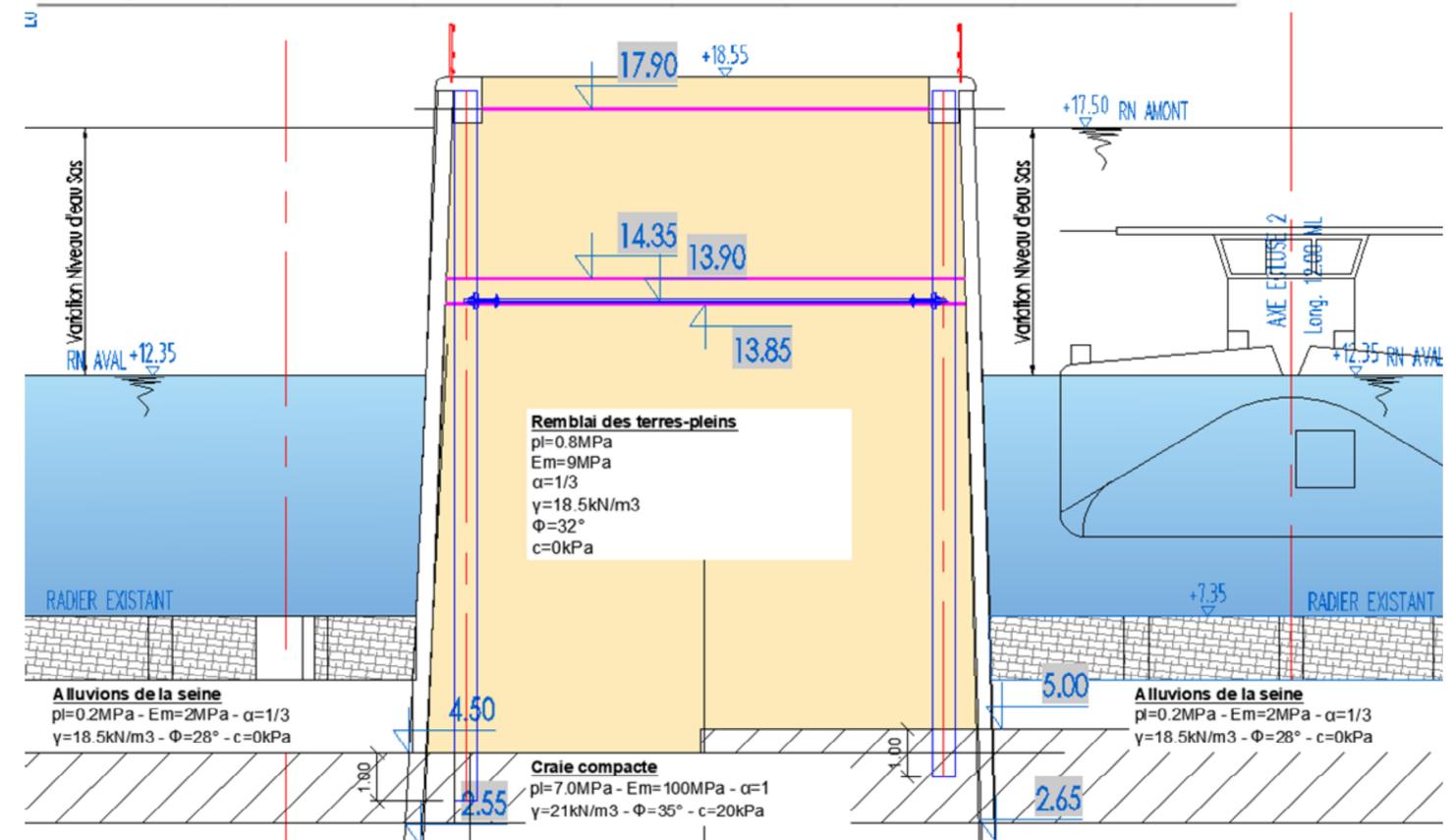
Dimensionnement des Ouvrages

Coupe de synthèse géotechnique

- Remblais dans les terre-pleins
- Raders de 1,35m en béton Colcrete
- Craie altérée
- Craie saine

Bajoyers du TPC coté écluse n°1 - Coté terreplein (Profil en long PL-B) :

Formation	Cote supérieure (NGF)	Cote inférieure (NGF)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)	α	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Remblais des Terrepleins	18.55	4.5	0.8	9	1/3	18.5	0	32
Craie compacte	4.5	-	7	100	1	21	20	35

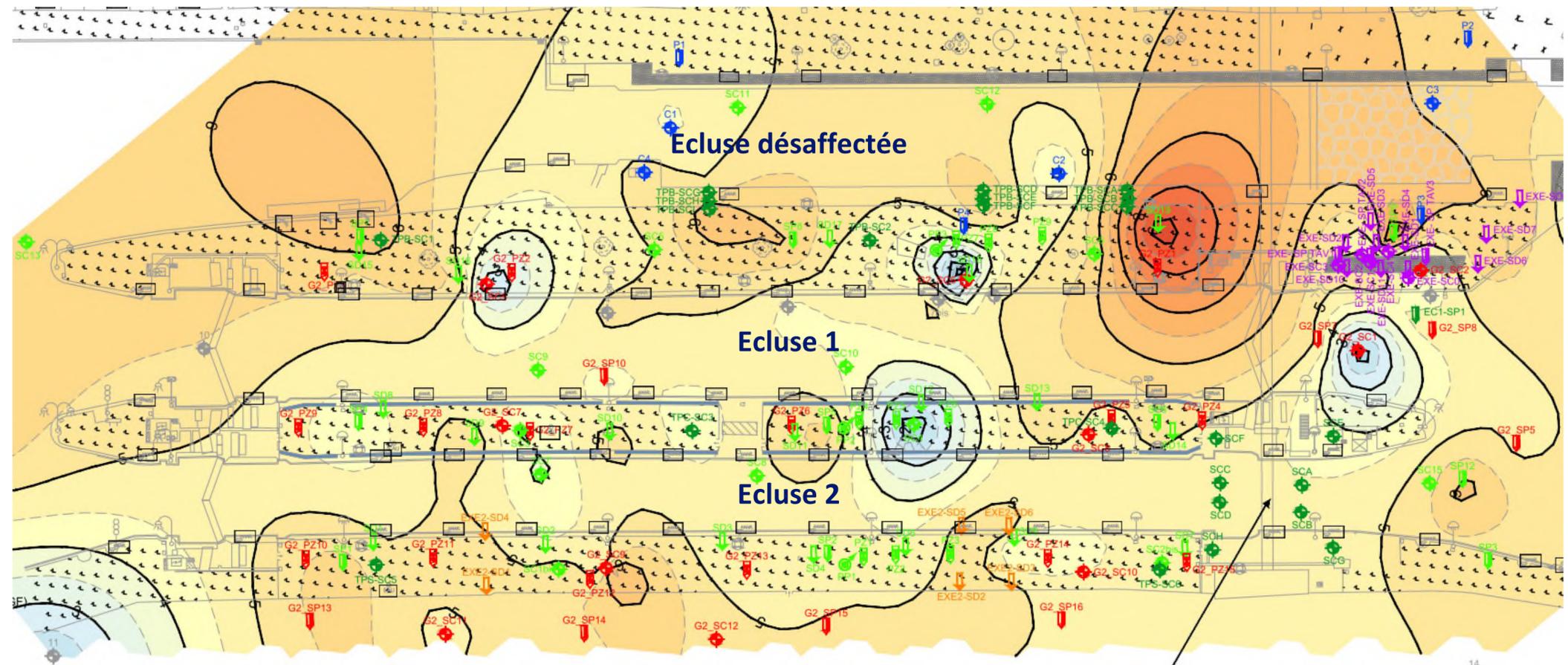


Dimensionnement des Ouvrages

Carte du toit de la craie saine

- Forte variabilité des niveaux de toit de craie (variation 3m)
- Pas de logique de continuité du toit de la craie
- Forte hétérogénéité de la qualité de la craie
- Difficulté pour établir un modèle de calcul représentatif sur l'ensemble du linéaire

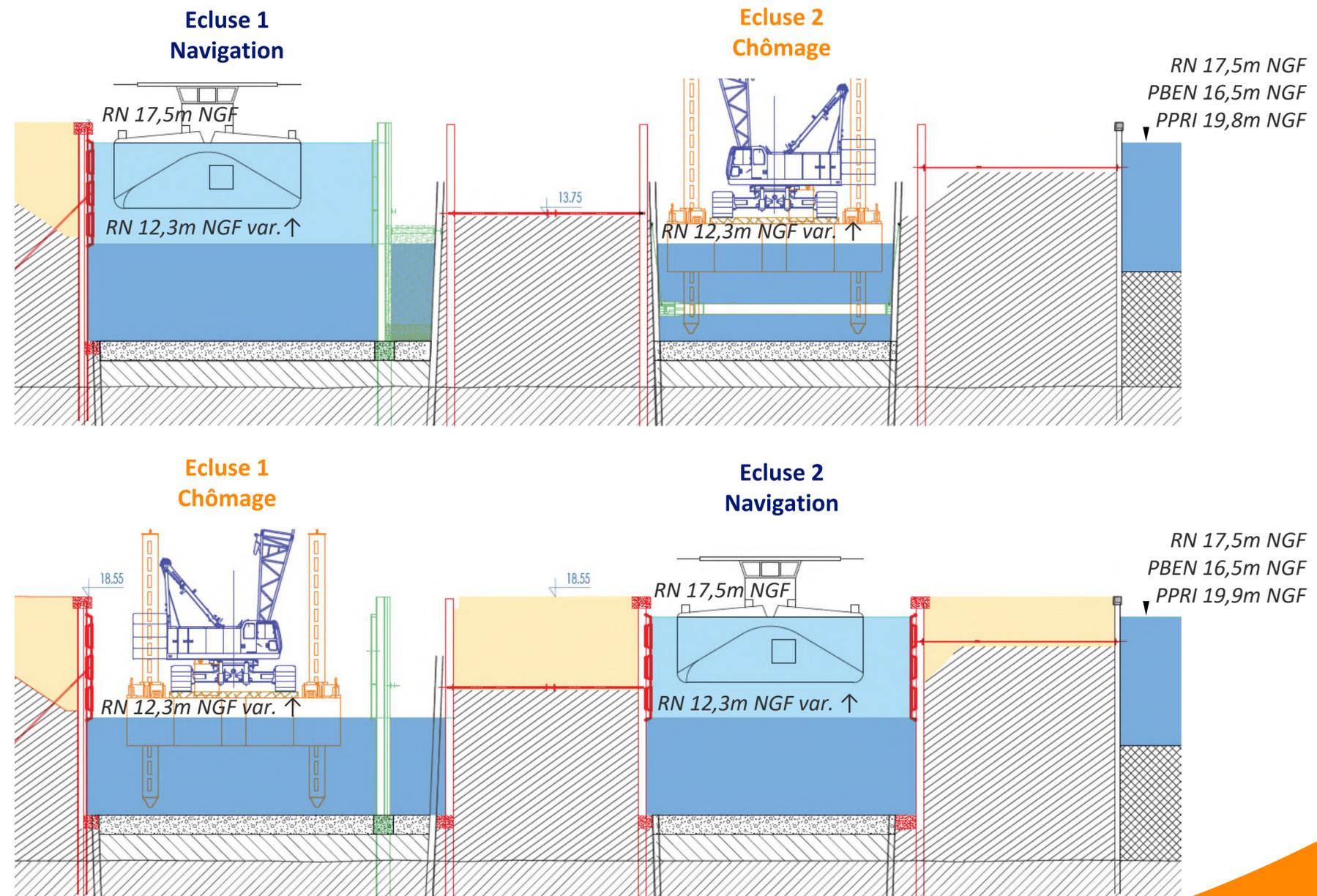
Carte toit de craie issue de la mission G3



Dimensionnement des Ouvrages

Phasage de réalisation (TPC)

- Plusieurs phases selon que les travaux soient réalisés dans l'écluse 1 ou l'écluse 2
- Plusieurs niveaux d'eau, ceux-ci évoluant selon le débit de la Seine, la configuration du sas en niveau amont (+17,5m NGF) ou niveau aval (>+12,3m NGF)
- Plusieurs configurations de calcul en lien avec les étapes successives de réalisation des opérations



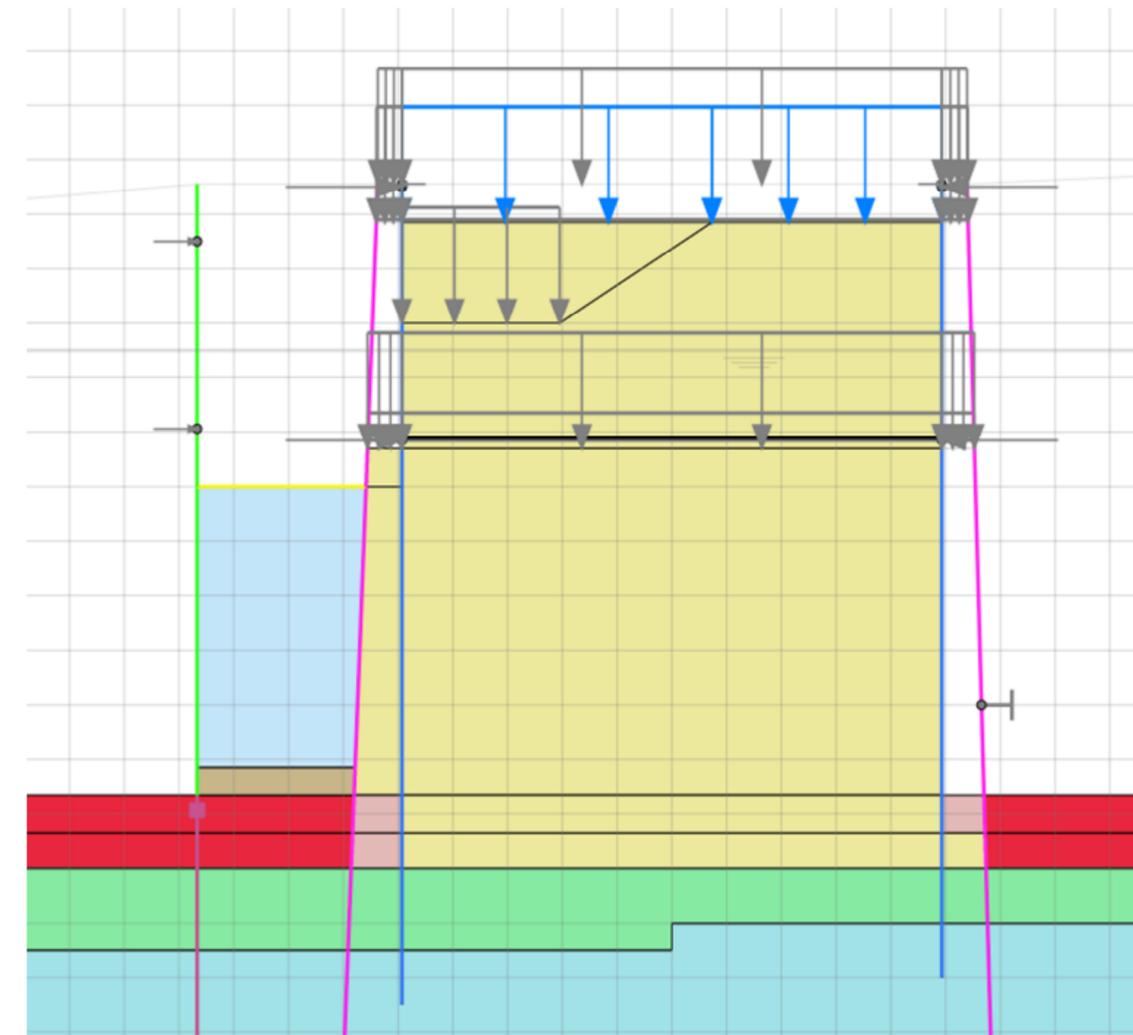
Dimensionnement des Ouvrages

Principe de dimensionnement

Pourquoi avoir opté pour un modèle aux éléments finis (PLAXIS) ?

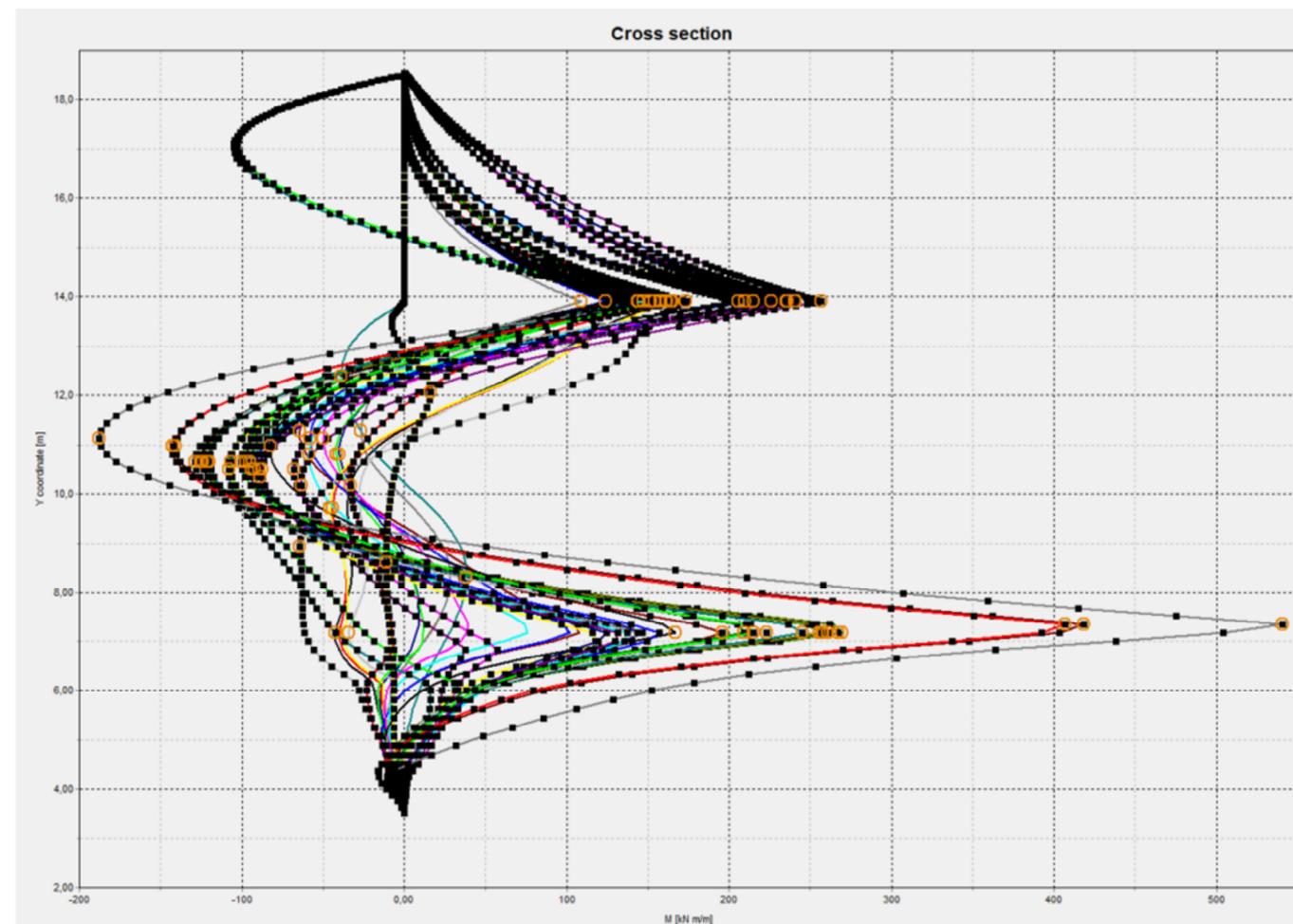
- Modélisation plus fine de l'interaction entre les rideaux, rendue nécessaire par la géométrie des bajoyers
- Un calcul de rideau standard (même en double rideau) ne tient pas compte de l'interaction des rideaux entre eux)
- Un calcul de rideau standard considère une poussée de sol d'un massif semi-infini
- La limite du modèle aux éléments finis, c'est la difficulté de l'adapter aux très nombreuses phases de calcul à étudier

Coupe terre-plein TPC



Dimensionnement des Ouvrages

Nombreuses phases de calcul



Courbe enveloppe de moment dans les Nouvelles Palplanches SAS 1

- Initial phase [InitialPhase]
- Palplanche TPC [Phase_1]
- remblai TPC [Phase_2]
- remblai TPC 2 [Phase_3]
- remblai TPC 3 [Phase_4]
- remblai TPC 4 [Phase_5]
- radier côté TPS [Phase_6]
- Radier côté TPB [Phase_7]
- application corrosion [Phase_53]
- 12.35 SAS 1 [Phase_26]
- remblai derrière bajoyer provisoire [Phase_9]
- mise en oeuvre buton bajoyer provisoire [Phase_10]
- déblai 1 TPC - 12.35 SAS 1 [Phase_11]
- déblai phase 1 TPC 17.50 SAS 1 [Phase_25]
- Coupure tirant haut - SAS1 17.50 [Phase_8]
- Coupure tirant haut - SAS 1 12.35 [Phase_27]
- Phase_58
- Mise en oeuvre buton TPS - SAS1 +12.35 [Phase_12]
- Mise en oeuvre buton sur TPS - SAS1 +17.50 [Phase_28]
- Déblai TPC 2 - SAS1 +17.50 [Phase_13]
- Déblai TPC 2 - SAS1 +12.35 [Phase_29]
- coupure tirant intermédiaire - SAS1 +12.35 [Phase_30]
- coupure tirant intermédiaire - SAS1 +17.50 [Phase_14]
- Déblai du TPC 3 - SAS1 +17.50 [Phase_31]
- Déblai du TPC 3 - SAS1 +12.35 [Phase_15]
- Coupure tirant bas - SAS1 +12.35 [Phase_33]
- Coupure tirant bas - SAS1 +17.50 [Phase_32]
- Mise en oeuvre PU32 - SAS1 +17.50 [Phase_16]
- Mise en oeuvre PU32 - SAS1 +12.35 [Phase_34]
- Mise en oeuvre nvx trant - SAS1 +12.35 [Phase_17]
- Mise en oeuvre nvx trants - SAS1 +17.50 [Phase_18]
- Phase_123
- Phase_124
- Phase_125
- Dépose buton sur TPS - SAS1 +17.50 [Phase_19]
- Dépose buton sur TPS - SAS1 +12.35 [Phase_35]
- Remblai avant curage - SAS1 +12.35 [Phase_107]
- Remblai avant curage - SAS1 +12.35 [Phase_107]
- Réalisation du JET - SAS1 [Phase_116]
- Curage SAS 2 - SAS1 +17.50 [Phase_103]
- Comblement SAS 2 - SAS1 +17.50 [Phase_118]
- Recépage SAS2 - SAS1 + 12.35 [Phase_20]
- Recépage SAS2 - SAS1 +17.50 [Phase_36]
- Recépage SAS 1 - SAS1 +12.35 [Phase_22]
- Recépage SAS1 - SAS1 +17.50 [Phase_38]
- basculement SAS 1 - SAS2 +17.50 [Phase_24]
- Dépose buton provisoire - SAS2 +17.50 [Phase_40]
- Dépose buton provisoire - SAS2 +12.35 [Phase_41]
- Dépose remblai provisoire - SAS2 +12.35 [Phase_42]
- Dépose remblai provisoire - SAS2 +17.50 [Phase_43]
- Recépage Bajoyer provisoire - SAS1 +17.50 [Phase_44]
- Recépage finale SAS 1 - SAS2 +17.50 [Phase_45]
- Phase fictive [Phase_46]
- Remise déplacement 0 [Phase_48]
- Remblai final TPC_DESIGN [Phase_51]
- Remblai final TPC_SAFETY [Phase_52]
- Amarrage haut SAS1 - SAS2 +17.50 [Phase_54]
- Amarrage haut SAS1 - SAS2 +12.35 [Phase_78]
- Amarrage haut SAS1 - SAS2 +12.35_DESIGN [Phase_114]
- Amarrage haut SAS1 - SAS2 +12.35_SAFETY [Phase_115]
- Amarrage haut SAS1 - SAS2 +17.50_DESIGN [Phase_112]
- marrage haut SAS1 - SAS2 +17.50_SAFETY [Phase_113]
- choc de bateau +18.50 SAS1 [Phase_55]
- choc de bateau +18.50 SAS1_DESIGN [Phase_76]
- choc de bateau + 18.50 SAS1_SAFETY [Phase_77]
- application de la corrosion [Phase_56]
- service 100_DESIGN [Phase_57]
- service 100_SAFETY [Phase_59]
- Amarrage haut SAS1 et 2_corr [Phase_61]
- Amarrage haut SAS1 et 2_corr_DESIGN [Phase_67]
- Amarrage haut SAS1 et 2_corr_SAFETY [Phase_68]
- choc de bateau +18.50 SAS1_corr [Phase_62]
- choc de bateau +18.50 SAS1_corr_DESIGN [Phase_100]
- choc de bateau + 18.50 SAS1_corr_SAFETY [Phase_50]

Dimensionnement des Ouvrages

Un seul modèle et deux approches de calculs

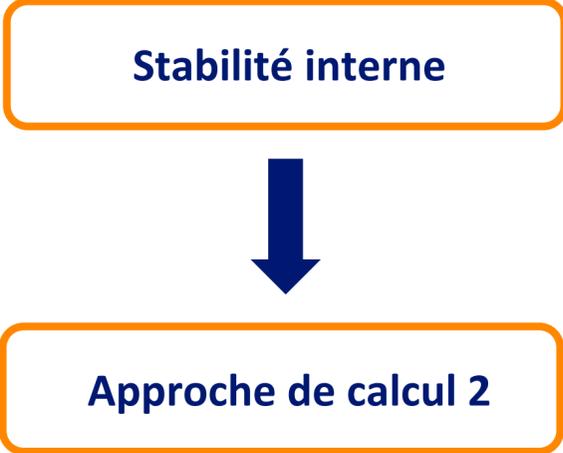


Tableau A.3 — Facteurs partiels pour les actions (γ_F) ou les effets des actions (γ_E)

Action		Symbole	Ensemble	
			A1	A2
Permanente	Défavorable	γ_G	1,35	1,0
	Favorable		1,0	1,0
Variable	Défavorable	γ_Q	1,5	1,3
	Favorable		0	0

Tableau A.4 — Facteurs partiels pour les paramètres du sol (γ_M)

Paramètres du sol	Symbole	Ensemble	
		M1	M2
Angle de frottement interne ^{a)}	γ_{φ}	1,0	1,25
Cohésion effective	γ_c	1,0	1,25
Cohésion non drainée	γ_{cu}	1,0	1,4
Compression simple	γ_{qu}	1,0	1,4
Poids volumique	γ_γ	1,0	1,0

a) Ce facteur est appliqué à $\tan \varphi$.

Tableau A.13 — Facteurs partiels de la résistance (γ_R) pour les ouvrages de soutènement

Résistance	Symbole	Ensemble		
		R1	R2	R3
Portance	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Résistance au glissement	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0
Résistance des terres	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,4	1,0

Dimensionnement des Ouvrages

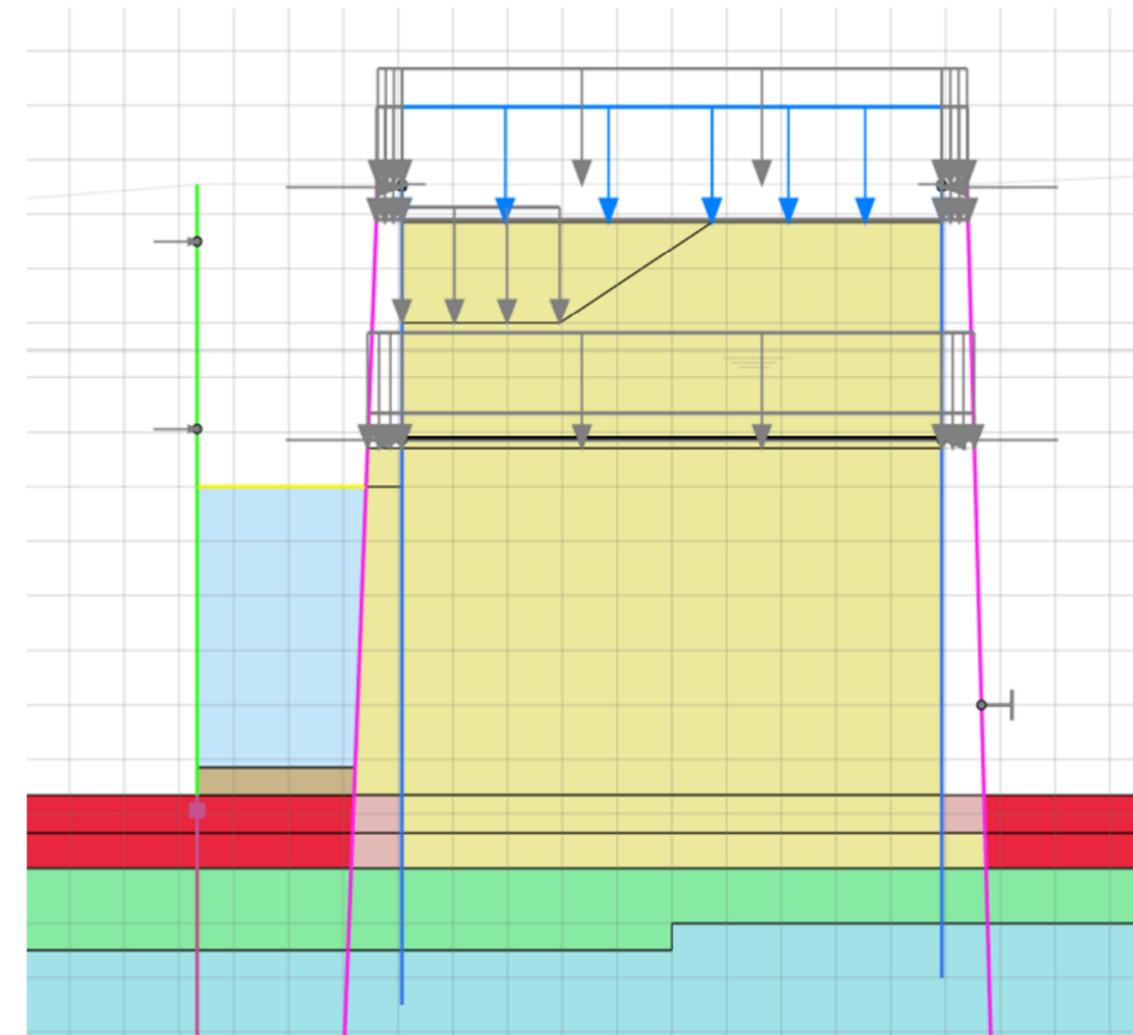
Un seul modèle et deux approches de calculs

Exemple d'une phase de calcul

- ✓ Chômage SAS1 - SAS2 +17.50 + amarrage [Phase_23]
- ✓ Chômage SAS1 - SAS2 +17.50 + amarrage_DESIGN [Phase_49]

- Pour chaque phase chantier, deux phases de calcul sont créées
- Stabilité interne => résultats du logiciel x pondération ELU
- Stabilité externe => Convergence du modèle en "DESIGN APPROACH"

Coupe PLAXIS – phase 23

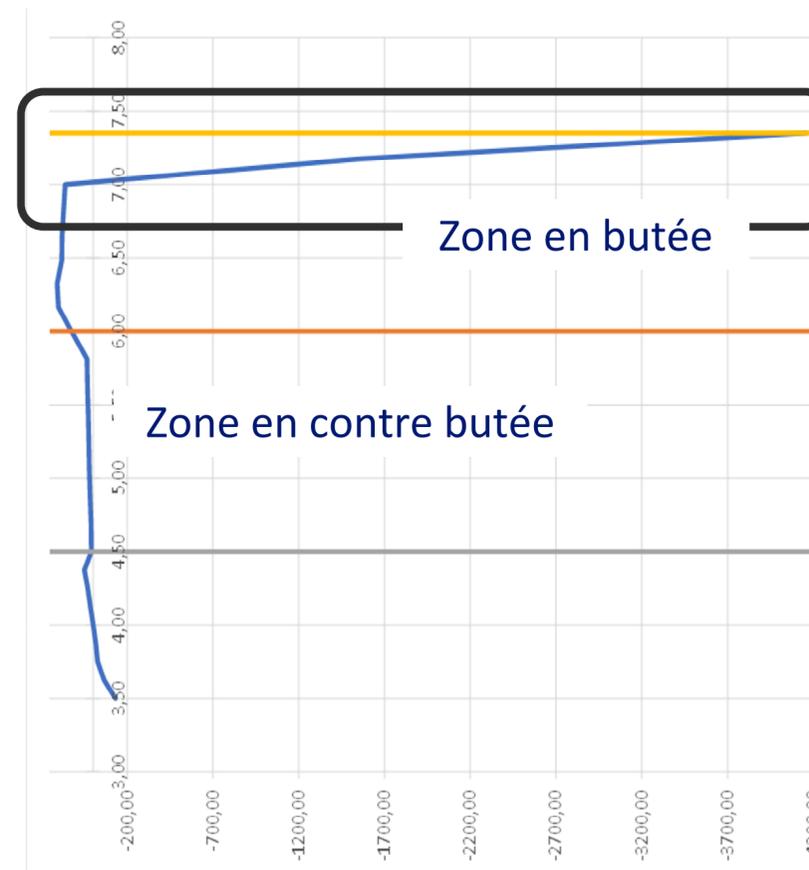


Dimensionnement des Ouvrages

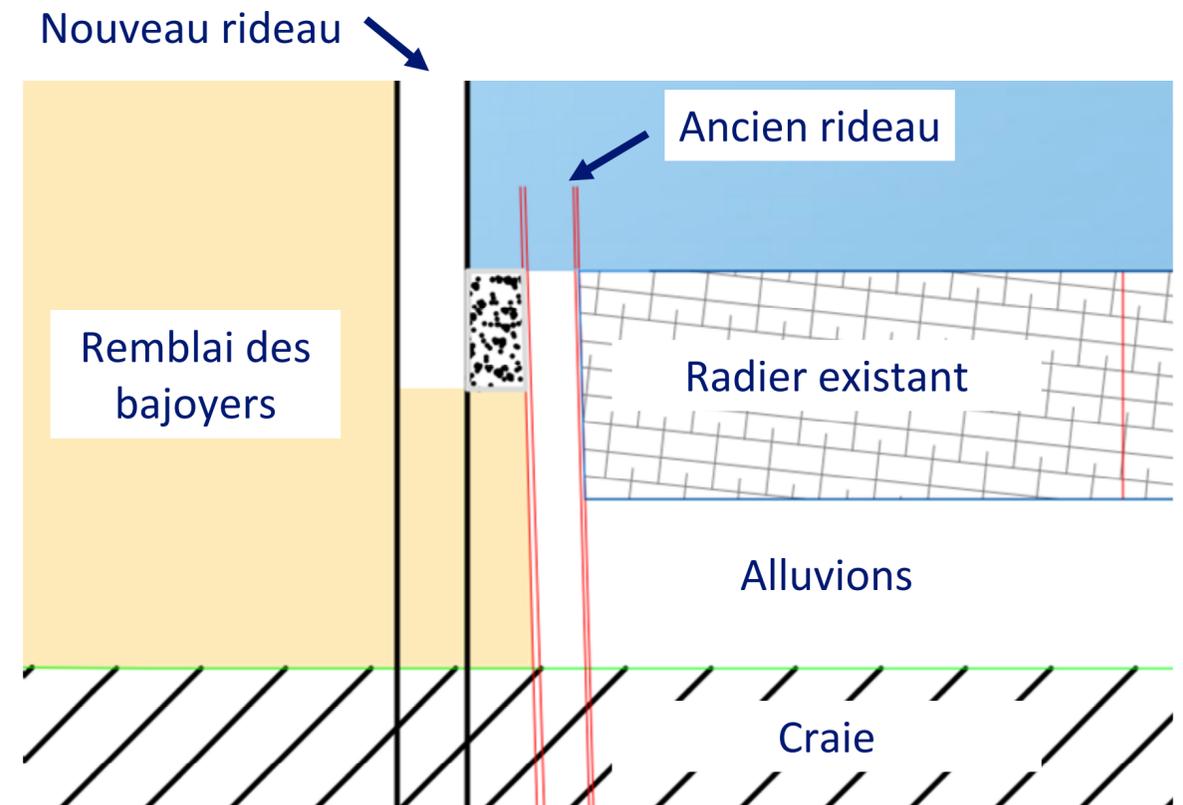
Vérification complémentaire de la butée

- La contrainte dans la reconstitution de butée au droit du radier existant est acceptable
- Le radier a un rôle butonnant qui vient renforcer la fiche des palplanches

Diagramme des contraintes



Coupe de la fiche et butée du bajoyer TPC



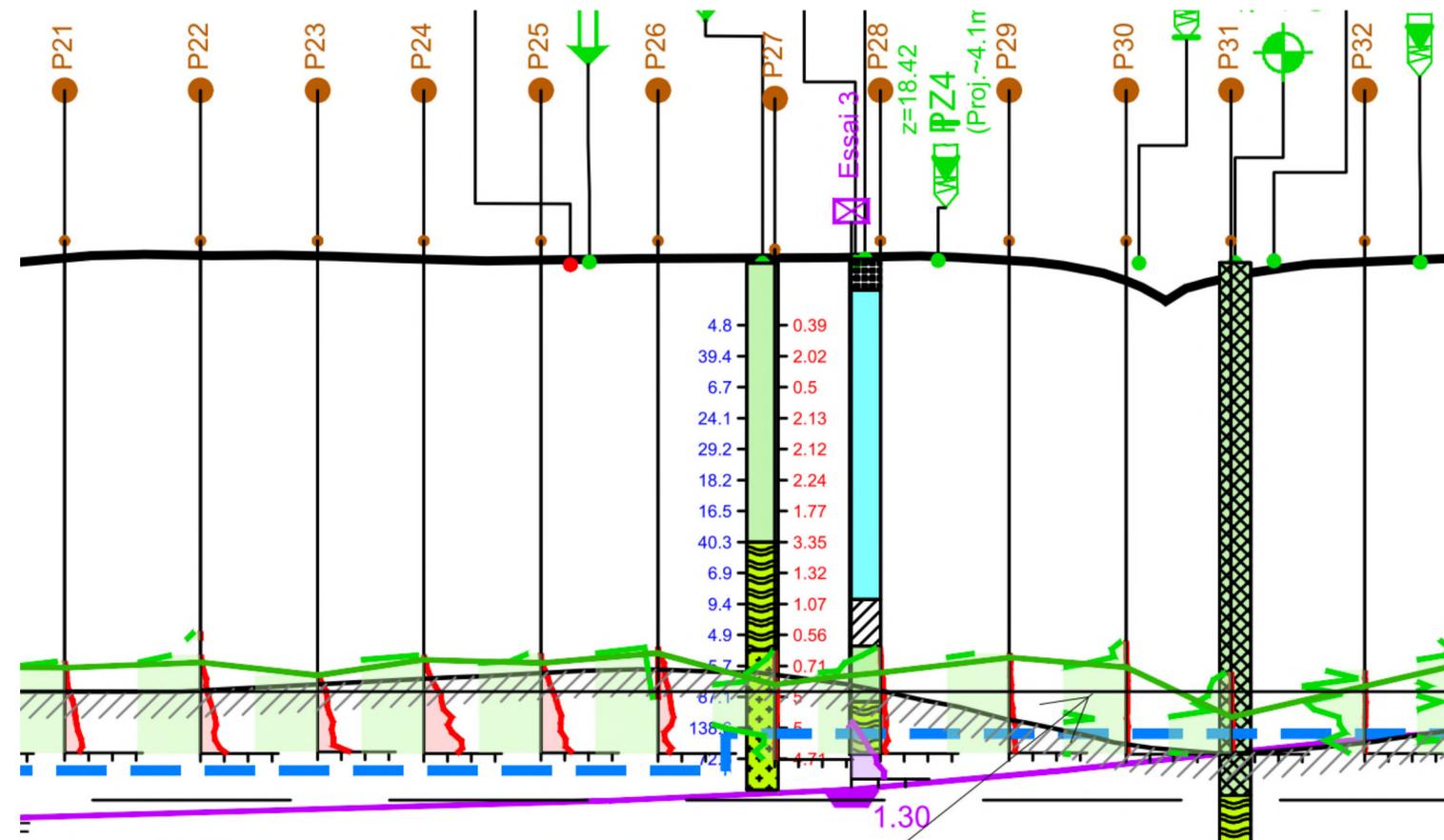
Exploitation des données de Battage

Calage des hypothèses de fiches, avant battage des palplanches

Utilisation des relevés de battage des profilés HEM700 du bajoyer provisoire pour recalibrer le toit de craie

Coupe sur relevés de battage du bajoyer provisoire – mission G3

- La profondeur de mise en fiche des HEM est très proche des récolements de pieds de palplanches existantes
- Difficulté à ficher de plus de 1m dans la craie indurée
- Adaptation du phasage à cette contrainte



Exploitation des REX de battage

Vérification de la fiche de battage suffisante

Identification d'une **forte variabilité des caractéristiques de craie** dans les relevés de battage des palplanches

Relevés des données de battage

Energie (KJ)	Volée (cm)	Nombre de coups		Z pied m NGF
		par passe	par cm	
Cote de départ des mesures de battage				5,400
27	25	54	2,16	5,150
31	25	51	2,04	4,900
43	25	50	2,00	4,650
54	25	55	2,20	4,400
63	25	63	2,52	4,150
63	23	99	4,30	3,920

➔ Cas craie saine => refus marteau 100 coups pour 25cm d'enfoncement à 63kJ

Relevés des données de battage

Energie (KJ)	Volée (cm)	Nombre de coups		Z pied m NGF
		par passe	par cm	
Cote de départ des mesures de battage				5,350
				5,350
30	25	22	0,88	5,100
28	25	13	0,52	4,850
27	25	28	1,12	4,600
30	25	21	0,84	4,350
33	25	36	1,44	4,100

➔ Cas craie altérée => Critère de refus de battage non atteint

Formation	Cote supérieure (NGF)	Cote inférieure (NGF)	pl* (MPa)	E _M (MPa)	α	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
Radier	7.3	6						
Alluvions de la Seine	6	5	0.2	2	1/3	18.5	0	28
Craie altérée	5	4	1.8	15	1/2	19	5	26
Craie compacte	4	-	7	100	1	21	20	35

Revue de presse



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX.

N°971 SEPTEMBRE 2021



Dossier Grands chantiers

20 mai 2022 - N°6192



Rénovation de l'écluse de Méricourt dans les Yvelines

France 3 Paris Ile-de-France  YouTube^{FR}

G. de MALHERBE (Bouygues Travaux Publics)
V. BOULET (Bouygues Travaux Publics Région France)