

Brazzaville - La route de la corniche et le pont du 15 Aout 1960.

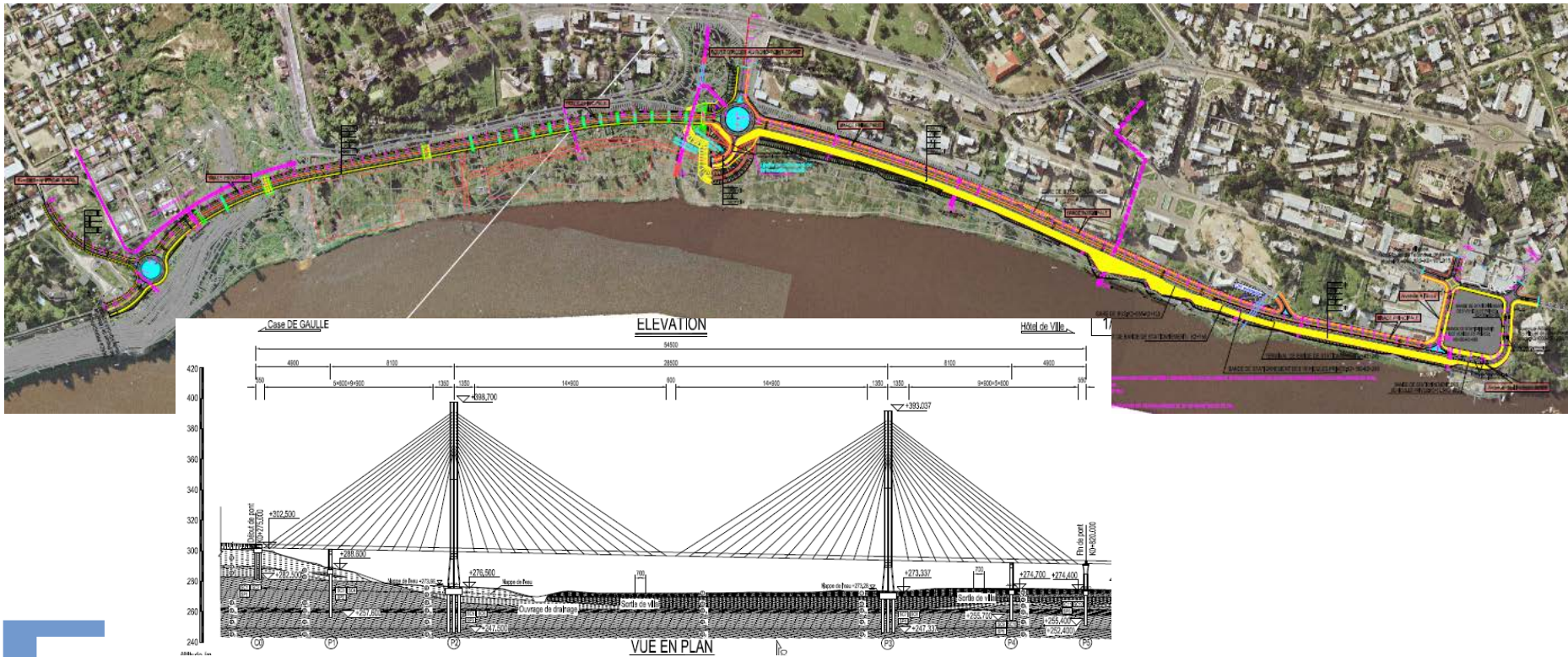
Journée technique CFMS 1er Décembre 2016



1.2 La géométrie

Les travaux sont décomposés comme suit en partant du Sud-Ouest :

- Un viaduc haubané de 545m de longueur totale et 285m de portée centrale,
- Un viaduc (estacade) d'accès de 360m de longueur,
- Un élargissement aval (mise à 2x2 voies + trottoirs) sur plus d'un kilomètre.



2.— Les aspects géologiques et géotechniques.

2.1 Géologie

Le projet est situé à l'extrémité Ouest de la cuvette du pool, sur la formation dite de Stanley-Pool (Crétacé) composée de grès tendres intercalés d'argilites et de marnes.

Le recouvrement est composé de dépôts alluvionnaires sableux sur une épaisseur de 6 à 13m.

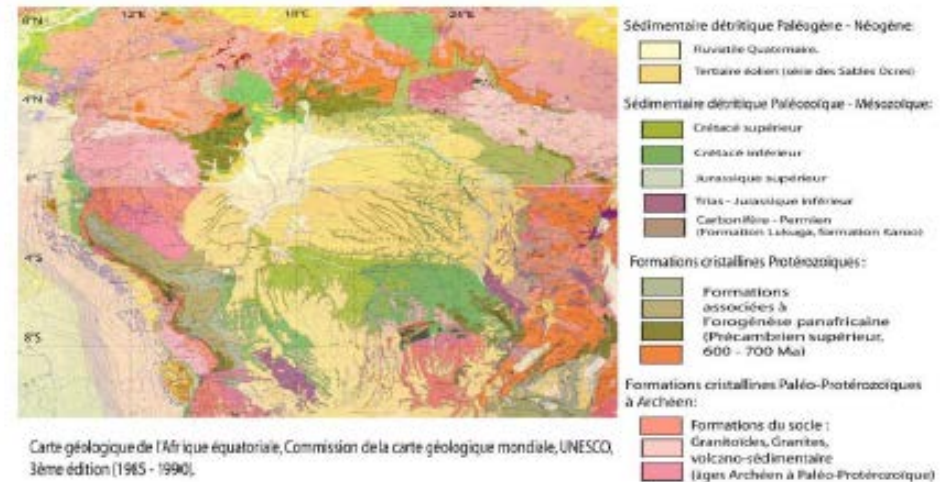
Au sein des dépôts superficiels, des zones d'argile et de tourbe ont été mises en évidence.

2.2 Hydrogéologie

En pied de versant et au fond des ravines, la nappe est en relation avec le fleuve et donc sub-affleurante.

2.3 Géotechnique

Les caractéristiques géotechniques des différentes formations ont été déterminées après une importante campagne de reconnaissance complémentaire.



N° de couche	Désignation de couche	Caractéristiques de distribution	Profondeur enterrée du fond de couche(m)	Epaisseur (m)
			Min – max moyenne	Min – max moyenne
Ⓟ	Sable limoneux (remblai)	Distribué principalement au décharge autour du petit fossé à l'est de vallée Glacière (les organismes intéressés ont exécuté le nettoyage pendant la période de la prospection), et partiellement aux terrasses de l'avenue de rivage ancienne et de la route des résidences de Président.	0.50~4.20 1.86	0.50~4.20 1.86
①	Sable limoneux (très lâche –non tassée)	Avec la distribution large, principalement aux parties plates au dessous de la terrasse de la route ancienne.	1.00~6.30 3.05	1.00~4.50 2.44
① ₁	Argile	Que le Relèvement de forage SC31.	3.80	3.80
②	sables vasard	Distribution continué aux tronçons après le pile principale P3.	2.60~8.10 4.45	1.20~5.80 2.60
③	Argile	Distribution aux tronçons après le pile principale P2, mais sans continue, suppression partielle.	4.00~12.20 8.08	0.90~8.40 4.05
④	sables fins	Au milieu de fondation aux deux côtes de vallée et avenue de rivage ancienne.	4.40~13.70 7.55	1.30~13.70 4.75
④ ₁	Galets	Que le relèvement des forages SC26, SC33 et des forages avant la culée C0.	3.80~14.80 9.47	0.80~2.60 1.40
⑤	sables fins	Distribution large, ne manqué que aux tronçons de la pile transitoire P1, de la pile principale P3 et de la fondation.	3.60~23.60 12.28	0.80~11.70 5.04
⑥ ₁	Grès altéré intense	Distribution large, relèvement dans tous les forages, mais sans relèvement dans le tronçon de fondation.	4.40~51.20 22.78	1.00~30.80 10.40
⑥ _{1a}	Mudstone altérée intense	Relèvement de tous les forages du tronçon du pont de viaduc	12.50~40.70 19.89	1.10~4.00 2.22
⑥ ₂	Grès altéré moyen	Distribution large, Relèvement de tous les forages du tronçon du pont de viaduc, pas de exposée.	31.00~51.20 35.73	6.00~6.50 6.21

N° couche	Désignation de couche	Humidité	Unité de poids du sol	Porosité	Limite liquide	Limite de plasticité	Indice des plasticités	Indice liquide
		w %	γ kN/m ³	e	W _L %	W _P %	I _p	I _L
Ⓟ	Sable limoneux (très lâche ~ lâche)	17.7	21.0	0.502				
Ⓟ ₁	Argile	30.8	18.3	0.963	48.3	25.3	23.0	0.25
③	Argile	48.4	17.0	1.396	47.7	25.6	22.0	1.29
④	Sables fins(lâche–moyenne)	26.3	17.1	0.979				
⑤	Sable fins (dense –très dense)	16.5	20.5	0.518				
⑥ ₁	Grès altéré intense	18.4	19.6	0.624				
⑥ _{1a}	Mudstone altérée intense	25.6	19.7	0.747	49.1	21.7	27.3	0.16

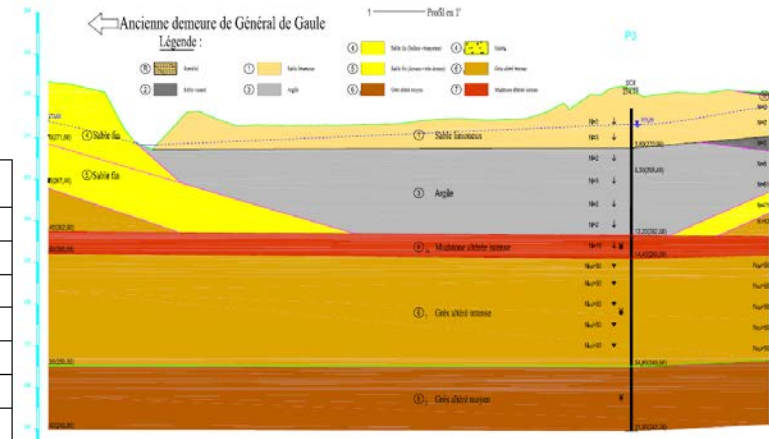
N° couche	Désignation de couche	Coefficient de	Module de	Coefficient de consolidation			
		a ₁₋₂	E _{s1-2}	C _v (×10 ⁻⁴ cm ² /s)			
		MPa ⁻¹	MPa	50kPa	100kPa	200kPa	400kPa
Ⓟ	Sable limoneux (très lâche ~ lâche)	0.245	6.2	0.442	0.418	0.394	0.368
Ⓟ ₁	Argile	0.300	6.9	0.934	0.914	0.884	0.843
③	Argile	1.140	2.3	1.350	1.262	1.148	1.014
④	Sables fins(lâche–moyenne)	0.350	5.7	0.960	0.937	0.902	0.844
⑤	Sable fins (dense –très dense)	0.120	12.7	0.506	0.499	0.487	0.473
⑥ ₁	Grès altéré intense	0.145	12.9	0.606	0.595	0.580	0.565
⑥ _{1a}	Mudstone altérée intense	0.180	9.9	0.732	0.720	0.702	0.675

N° couche	Désignation de couche	Cisaillement rapide en ciseaux droits		Cisaillement solide en ciseaux droits		Cisaillement rapide triaxial		Cisaillement rapide et solide triaxial	
		Cohésion Cq	Angle de frottement interne φq	Cohésion Cg	Angle de frottement interne φg	Cohésion Cuu	Angle de frottement interne φuu	Cohésion Ccu	Angle de frottement interne φcu
		kPa	Degré	kPa	Degré	kPa	Degré	kPa	Degré
Ⓟ ₁	Argile	36	15.9	—	—	—	—	—	—
③	Argile	14	0.7	37	13.7	14	1.2	19	13.4
④	Sables fins(lâche–moyenne)	10	25.4	—	—	—	—	—	—
⑤	Sable fins (dense –très dense)	10	32.3	—	—	—	—	—	—
⑥ ₁	Grès altéré intense	7	33.4	—	—	—	—	—	—
⑥ _{1a}	Mudstone altérée intense	78	15.3	—	—	—	—	—	—

N° couche	Désignation de couche	Pénétration standard		Pénétration dynamique en cône lourde	
		Valeur géométrale	Valeur correctrice de la longueur de pénétration	Valeur géométrale	Valeur correctrice
		N (trappement)	N (trappement)	N63.5 (trappement)	N63.5 (trappement)
Ⓟ	Remblais (terrasse)	3.0	2.9	—	—
①	Sable limoneux (très lâche ~ lâche)	2.7	2.7	—	—
① ₁	Argile	6.0	5.9	—	—
②	Sable vasard	2.4	2.3	—	—
③	Argile	2.0	1.8	—	—
④	Sables fins(lâche–moyenne)	14.3	13.0	—	—
④ ₁	Galets	—	—	36.8	25.7
⑤	Sable fins (dense –très dense)	70.2	39.1	—	—
⑥ ₁	Grès altéré intense	78.4	—	87.1	—
⑥ _{1a}	Mudstone altérée intense	14.5	10.6	—	—

N° couche du sol	Désignation de roche	qc(MPa)	fs(kPa)	Rf(%)
α	Remplissage divers	1.38	118.9	9.1
①	Sable limoneux	3.79	125.3	3.9
②	Sable vasard	0.33	47.7	14.9
③	Argile	0.26	36.3	14.2
④	Sables fins	2.71	12.3	0.5
⑤	Sables fins	8.70	259.9	3.6

N° de couche	Désignation de roche	P _{LM} (MPa)	E _M (MPa)	EM/PI*	PI*/Pf
②	Sable vasard	0.26	4.0	13	1.65
③	Argile	0.30	3.3	12.2	1.68
④	Sables fins	0.99	19.9	20.8	1.67
⑤	Sables fins	2.13	36.8	16.2	1.68
⑥1	Grès altéré intense	4.21	62.2	16.9	1.67
⑥1a	Mudstone altérée intense	1.08	10.4	11.4	1.69
⑥2	Grès altéré moyen	12.85	578.5	48.7	1.66



On distingue :

- Les matériaux anthropiques : remblais divers de caractéristiques très variables,
- Les sols peu compacts : argiles, sables lâches, horizon tourbeux,
- Les sols compacts : sables et graves,
- Le substratum gréseux : altération variant avec la profondeur.

3.— Les problématiques et les réponses apportées.

3.1 Fondations du viaduc

3.1.1 Problématiques

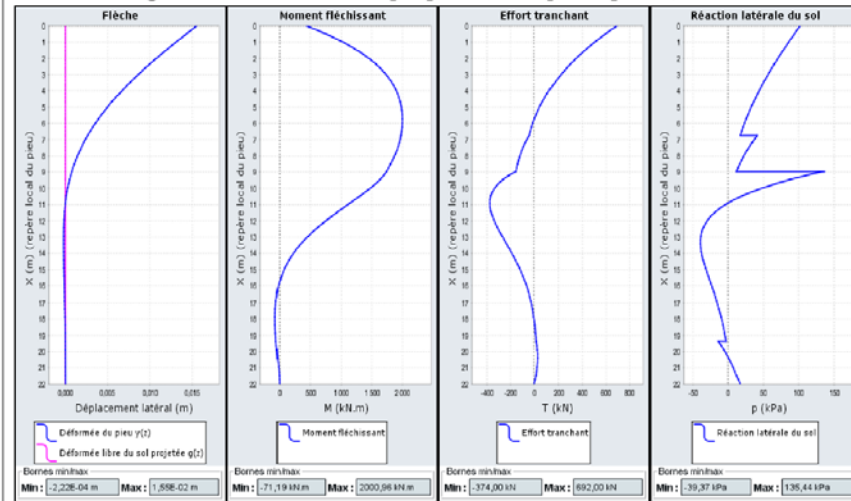
- Descente de charge importante,
- Efforts horizontaux importants,
- Substratum gréseux avec horizons altérés.

3.1.2 Réponses

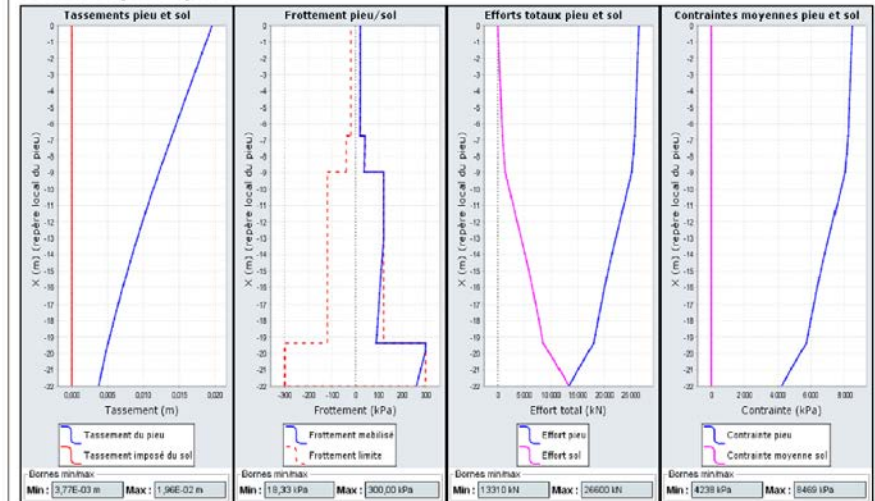
- Pieux de gros diamètre ancrés de plusieurs mètres dans le substratum gréseux,
- 21 pieux diamètre 2.00m sous les appuis principaux du viaduc,
- Dérogation sur la résistance conventionnelle du béton validée par essais,
- Efforts issus du modèle global avec prise en compte des raideurs des pieux,
- Contre calcul avec le logiciel Foxta pour la répartition des efforts dans les pieux sous sollicitations normales, horizontales et rotationnelles,
- Foration par trépanage sous boue,
- Contrôle systématique des pointes de pieux par carottage.

P3										
Cas de charge	T1 max	T1 min	M1 max	M1 min	T2 max	T2 min	M2 max	M2 min	TZ max	TZ min
1	837	-701	2 461	959	753	-931	2 812	152	24 149	19 443
2	682	-918	2 253	674	786	-1 084	3 244	30	22 792	17 451
3	867	-659	2 491	1 004	744	-901	2 774	227	24 369	18 024
4	682	-918	2 253	674	786	-1 084	3 244	30	22 792	17 451
5	763	-804	2 426	884	925	-840	2 720	116	22 991	19 197
6	712	-876	2 312	747	729	-1 299	3 676	121	24 111	16 568
7	867	-659	2 491	1 004	744	-901	2 774	227	24 369	18 024
8	682	-918	2 253	674	786	-1 084	3 244	30	22 792	17 451
9	783	-777	2 385	855	955	-793	2 579	83	22 382	18 151
10	712	-876	2 312	747	728	-1 303	3 687	125	24 113	16 566

Cas de chargement en tête n°1 - T [kN]=692,00M [kN.m]=435,44

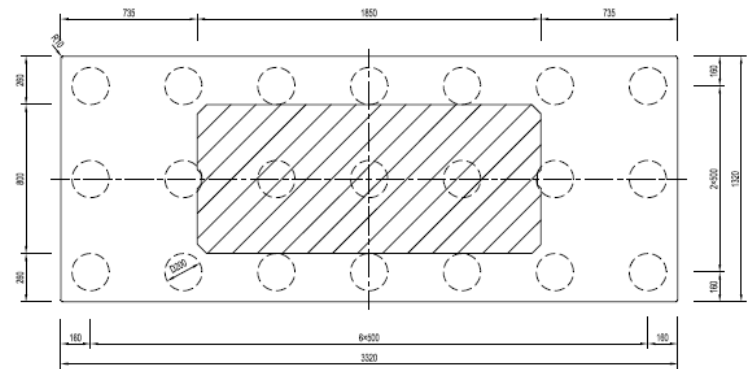


Courbes principales





VUE EN PLAN



3.2 Remblais d'accès

3.2.1 Problématiques

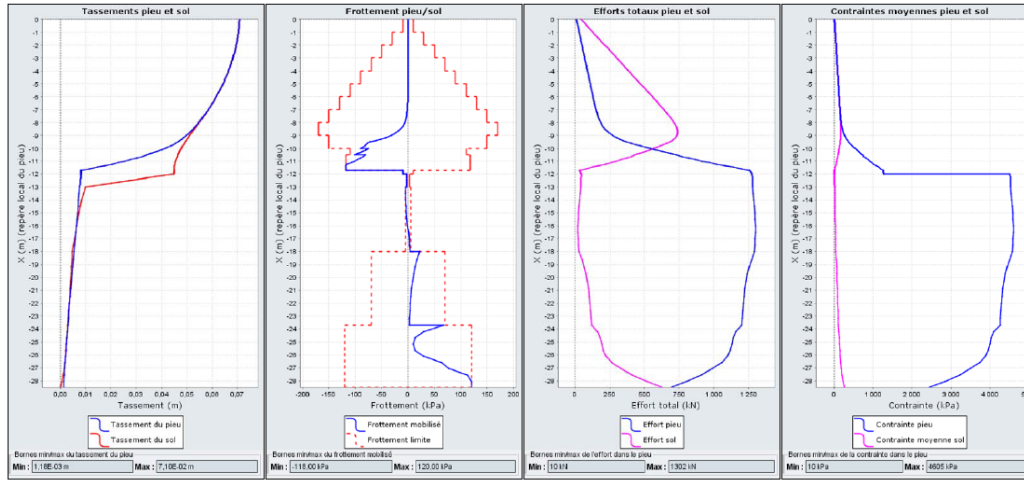
- Hauteur importante,
- Sol d'assise compressible,
- Topographie d'assise contraignante.

3.2.2 Réponses

- Délais de pré-chargement importants → inclusions rigides,
- Traitement de la stabilité générale → inclusions travaillant en cisaillement,
- Résistance au cisaillement des inclusions → armatures → difficultés de mise en place des armatures → profilés,
- Calcul couplé de déformation verticale + de stabilité globale → modèle aux éléments finis,
- Contre calcul avec le logiciel Foxta selon les recommandations ASIRI et Talren en stabilité globale,
- Armatures par profilés H → inertie différente dans les deux directions horizontales.

Contres Calculs effectués à l'aide de Foxta.

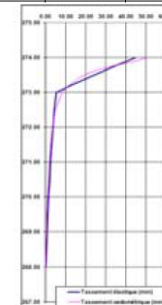
- Calage de q_s dans les remblais afin de respecter : $q_s \cong K \cdot \tan \delta \times \sigma'v$



- Calage du module de déformation dans les couches molles afin que $s_{oedo} \cong s_{élast}$

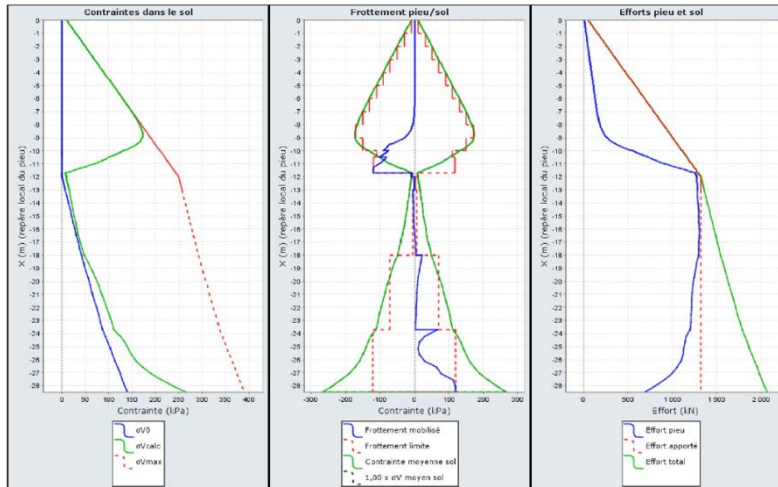
Horizon	Z base (mCongo)	Es (MPa)	q_s (kPa)	$K \cdot \tan \delta$
Remblai	285.0	45	10	1
Remblai	284.0	45	30	1
Remblai	283.0	45	50	1
Remblai	282.0	45	70	1
Remblai	281.0	45	90	1
Remblai	280.0	45	110	1
Remblai	279.0	45	130	1
Remblai	278.0	45	150	1
Remblai	277.0	45	170	1
Remblai	276.0	45	150	1
Remblai*	275.5	45	110	1
Remblai* + géo grille	274.3	45	118	1
Remblai* + dalette	274.0	45	10	1
(2) - Sable vasard (-)	273.0	0.25	2	0.2
(2) - Sable vasard (+)	268.0	5.0	5	0.2
(5) - Sable fin	262.3	58	70	1
(6-1) - Grès altéré intense	260.8	97	120	1

Nom de la couche	Zsup (m)	Zinf (m)	E (kPa)	Cs(1+e0)	Co(1+e0)	tc
2	274	273	2.50E+02	0.012	0.12	2
2	273	268	5.00E+03	0.012	0.12	2



(*) Le mateais de répartition ayant un E_s variant de 50 MPa à 80 MPa, le calcul a pris en compte un $E_s = 45$ MPa équivalent à celui du remblai. L'ajustement de la longueur des inclusions en s'assurant que le critère $Q_c/Q_{max} > 1,4$ (d'après le fascicule 62, Titre V) est vérifié, avec Q_c la charge de fluage et Q_{max} la charge mobilisée.

- Vérification des inclusion en terme de portance



- Vérification du non poinçonnement du matelas (Prandl ou cône)

Géométrie du renforcement

Maille (m) = 2.30
 $D_{inclusions}$ (m) = 1.13
 $H_{matelas}$ (m) = 1.20
 $q(+H)$ (kPa) = 244.00
 $q(+0.0)$ (kPa) = 268.00

S_{maille} (m²) = 5.290
 R_{maille} (m) = 1.298
 $S_{inclusions}$ (m²) = 1.003
 α (%) = 18.958%
 S_{sol} (m²) = 4.287
 $Q(+H)$ (kN) = 1290.76
 $Q(+0.0)$ (kN) = 1417.72

Caractéristiques du matelas

φ_{mat} (°) = 35
 c_{mat} (kPa) = 0
 γ_{mat} (kN/m³) = 20
 $Kp(rankine)$ = 3.69
 Nq = 33.30
 Nc = 46.12
 Ng = 45.23
 Ng (oui = 1) = 0

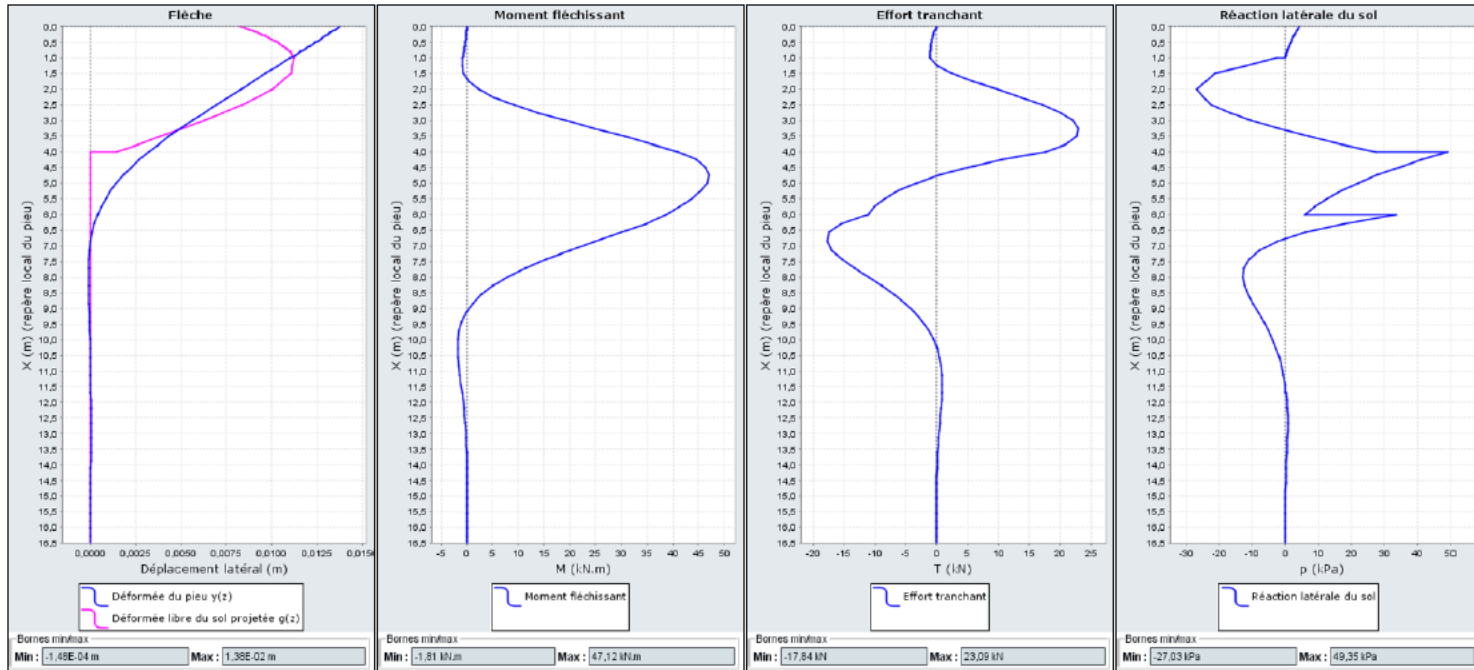
H_{max} (m) = 2.15
 L_{max} (m) = 6.52
 L_1 (m) = 3.83

	Sol		Inclusion		Maille	ΔQ (kN)	$E_{max}(Q_s, Q_i)$	$E_{max}(\alpha)$
	q_s (kPa)	Q_s (kN)	q_i (kPa)	Q_i (kN)	$Q_s + Q_i$ (kN)			
Prandtl	37.63	161.3	1252.81	1256.4	1417.7	0.0	0.886	0.886
Cône	11.83	50.7	1363.06	1367.0	1417.7			
Enveloppe	37.63	161.3	1252.81	1256.4	1417.7			

Solution

- Vérification de la flexion des inclusions sous les déplacements horizontaux des remblais (application d'un $g(z)$ avec $g_{max} = 25\%$ du tassement).

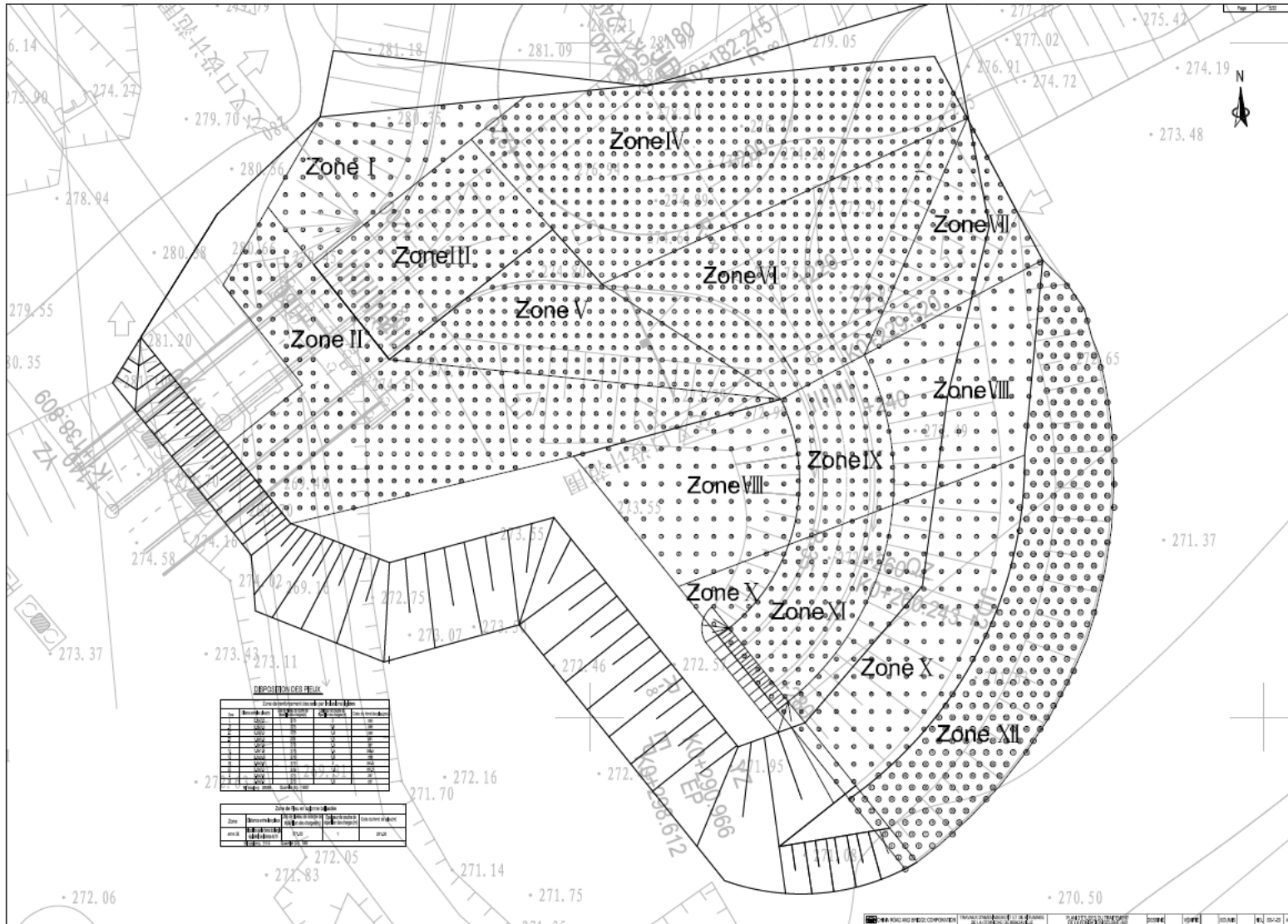
Résultats principaux



3.2.3 La réalisation

- Inclusions béton à la tarière creuse,
- Armature par profilés H mis en place après bétonnage,
- Plaques de tête réalisés in-situ.





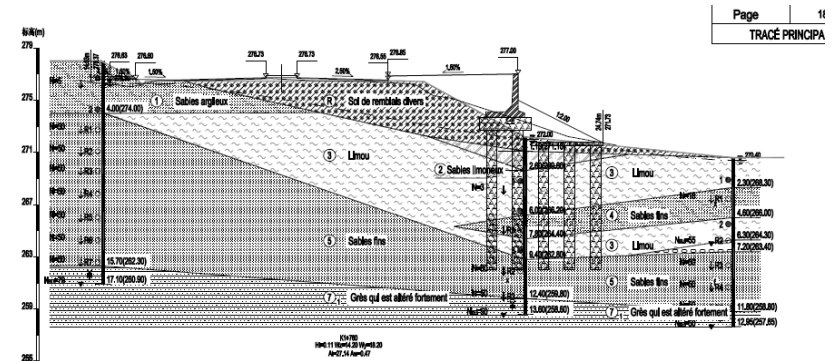
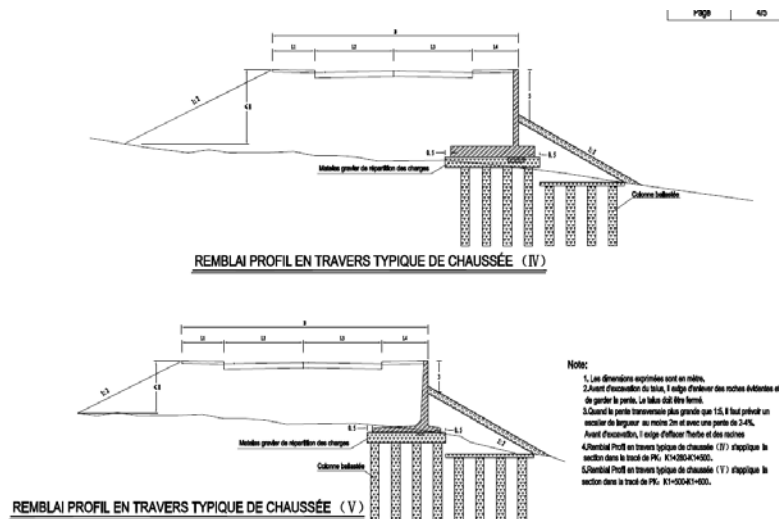
3.3 Elargissement aval

3.3.1 Problématiques

- Stabilité des murs de soutènement aval,
- Tassements de l'élargissement.

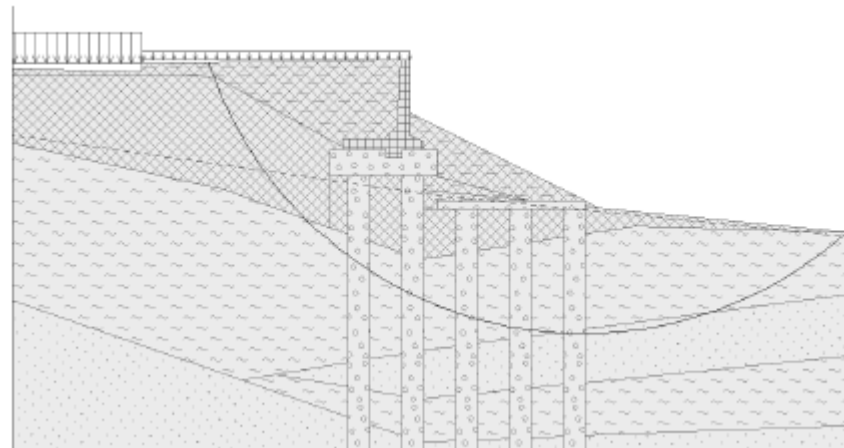
3.3.2 Réponses

- Amélioration du sol support vis-à-vis des tassements → colonnes ballastées,
- Participation des colonnes ballastées à la stabilité globale.

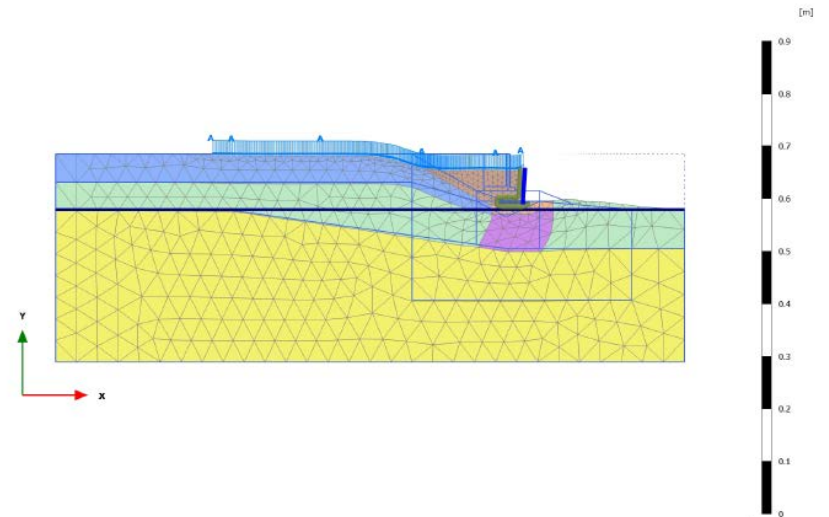
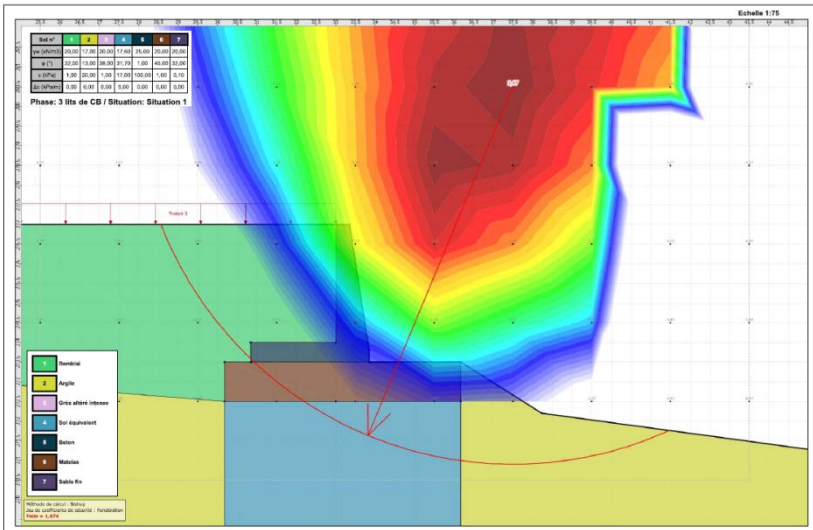


3.3.3 La réalisation

- Colonnes ballastées par voie sèche,
- Calculs selon la méthode de Priebe et vérification de la stabilité globale.



- Contres calculs effectués à l'aide de Talren et de Plaxis.



Deformed mesh |u| (scaled up 50.0 times)
 Maximum value = 0.04216 m (Element 1022 at Node 10050)

4.— Conclusions.

Ce chantier « emblématique » pour le pays a été mené à bien tant du point de vue délai que du point de vue technique malgré :

- Un contexte géotechnique compliqué,
- Des ouvrages géotechniques complexes tant au niveau réalisation qu'ingénierie (fondations profondes multiples, colonnes ballastées, inclusions rigides),
- Une entreprise (chinoise) peu familière avec les calculs géotechniques des renforcements de sol et les normes françaises.

Le suivi topographique assuré jusqu'à maintenant montre des déplacements (aussi bien verticaux qu'horizontaux) tout à fait conformes à ceux prédits par les calculs d'exécution.



Merci pour votre attention



setec
Tour Central Seine
42 - 52, quai de la Rapée
75583 Paris cedex 12

Tél +33 1 82 51 68 00
Fax +33 1 82 51 68 00
adresse@setec.fr

j.drivet@terrasol.com

www.setec.fr