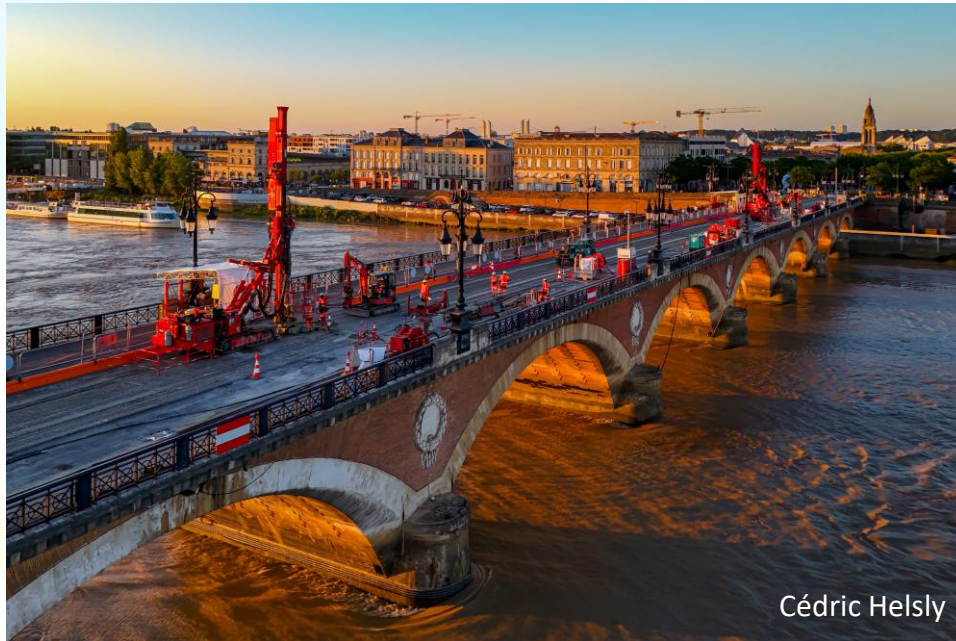


Le Pont de Pierre de Bordeaux : conception et réalisation des travaux de confortement



Gilles Valdeyron – Cerema
Sébastien Burlon – Cerema
Stéphane Dubroca – Cerema
Philippe Jandin – Cerema
Matthieu Rogalle – Cerema

Description de l'ouvrage

Garmeraye – Gravure (1830)



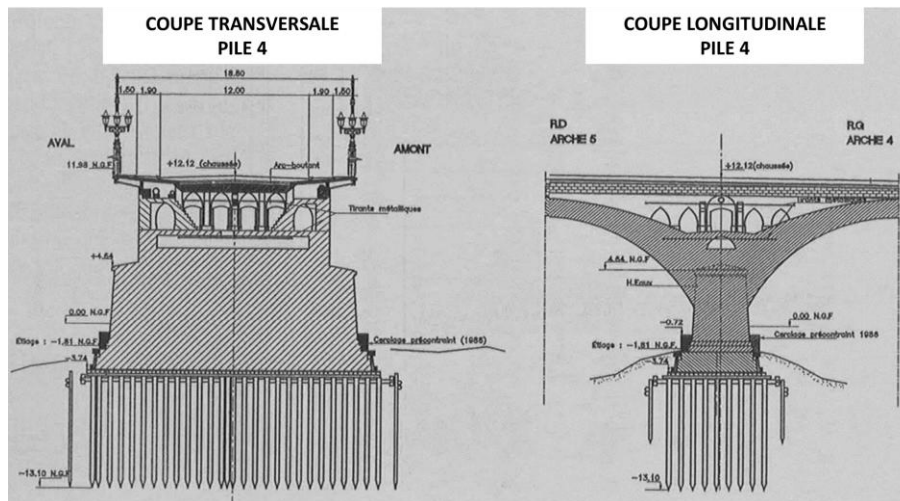
Construction : 1812-1822

486 m de longueur

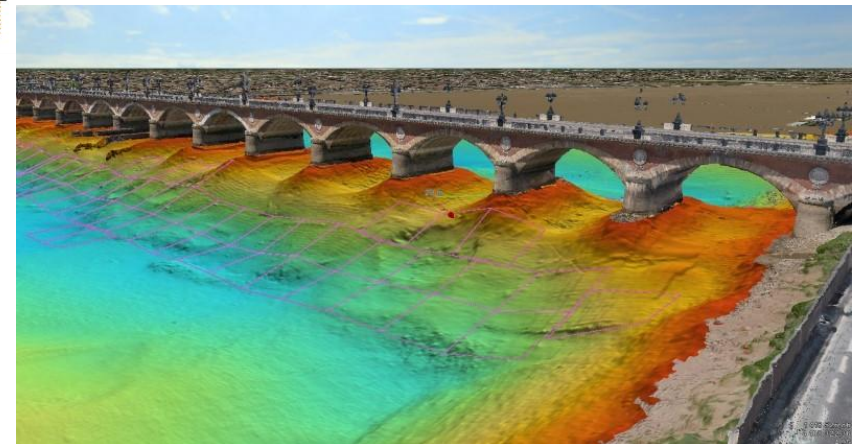
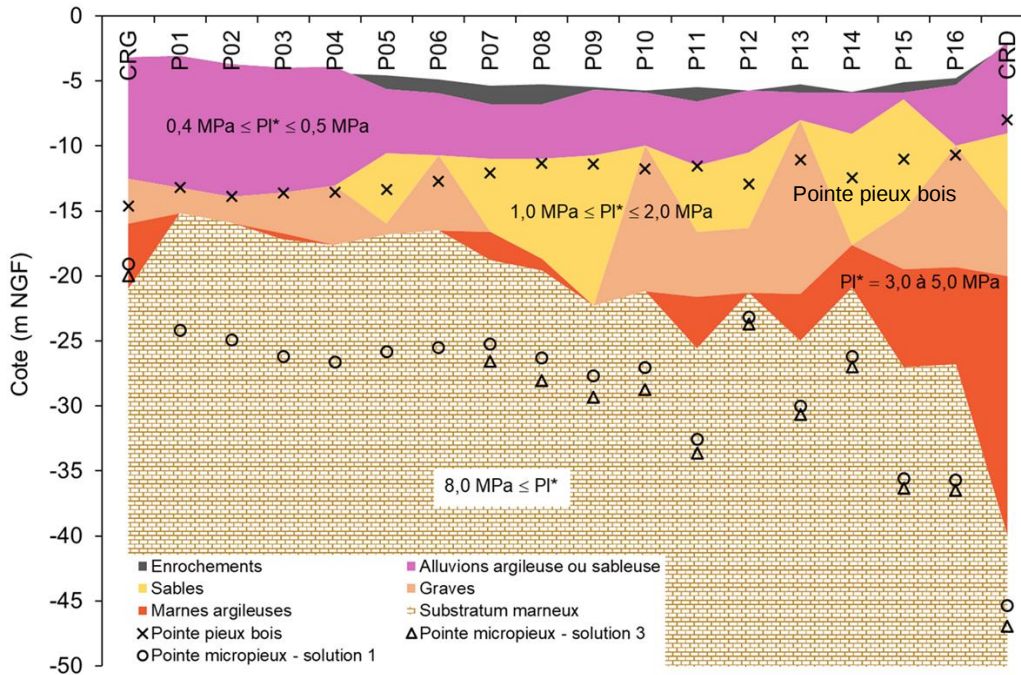
16 piles et 2 culées chacune
fondée sur un réseau de 250 pieux
bois

Ouvrage « évidé » par un système
de voûtes d'élégissement
(comportement complexe entre
« voûte » et « caisson » ?)

Protection contre les affouillements
formée par des enrochements



Contexte géotechnique et hydraulique

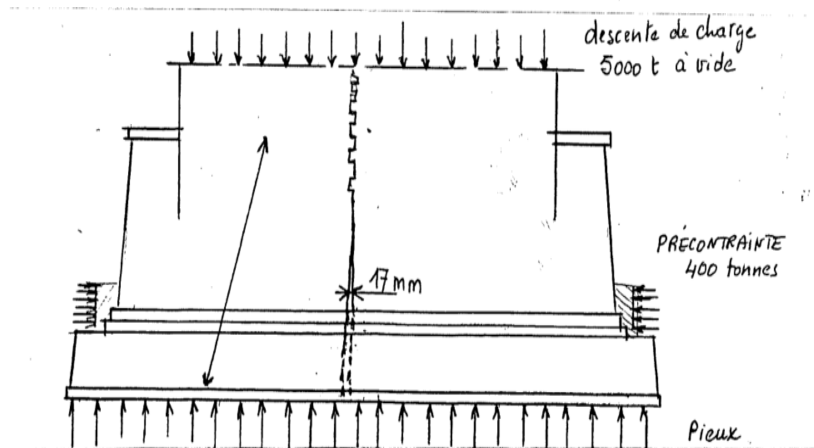


Contexte structural

Fracturation de la pile P04

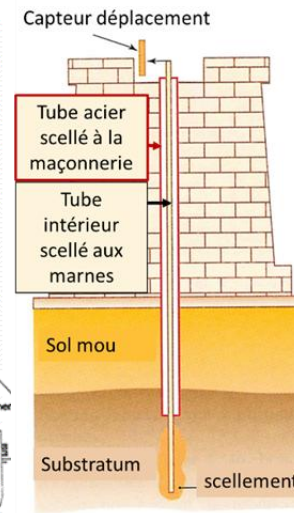
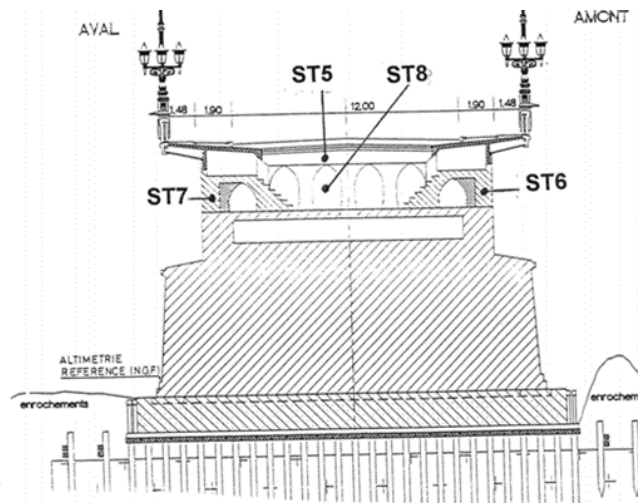
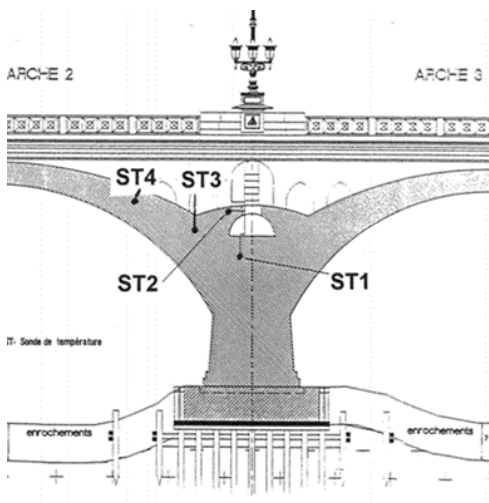
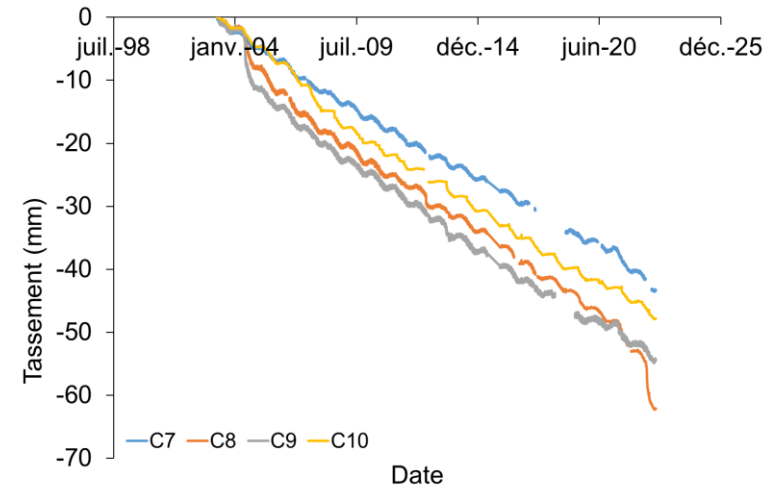


Tassements et défauts de profil en long



Suivi de l'instrumentation

- 18 points fixes (1 par appui) – depuis 1992
- 18 inclinomètres (1 par appui) – depuis 1996
- 8 capteurs de température – en 1993/1994
- Capteurs de forces dans les μp – à chaque campagne



Interventions sur l'ouvrage



Reprise en sous-œuvre par
16 micropieux / pile
P01 à P04 (1993/1994) et
P05/P06 (2002)



Cerclage des piles
(idem)



Stabilisation des talus sous-
fluviaux (2017)

Quelques réflexions autour des ouvrages existants



Au début du 20^{ème} siècle

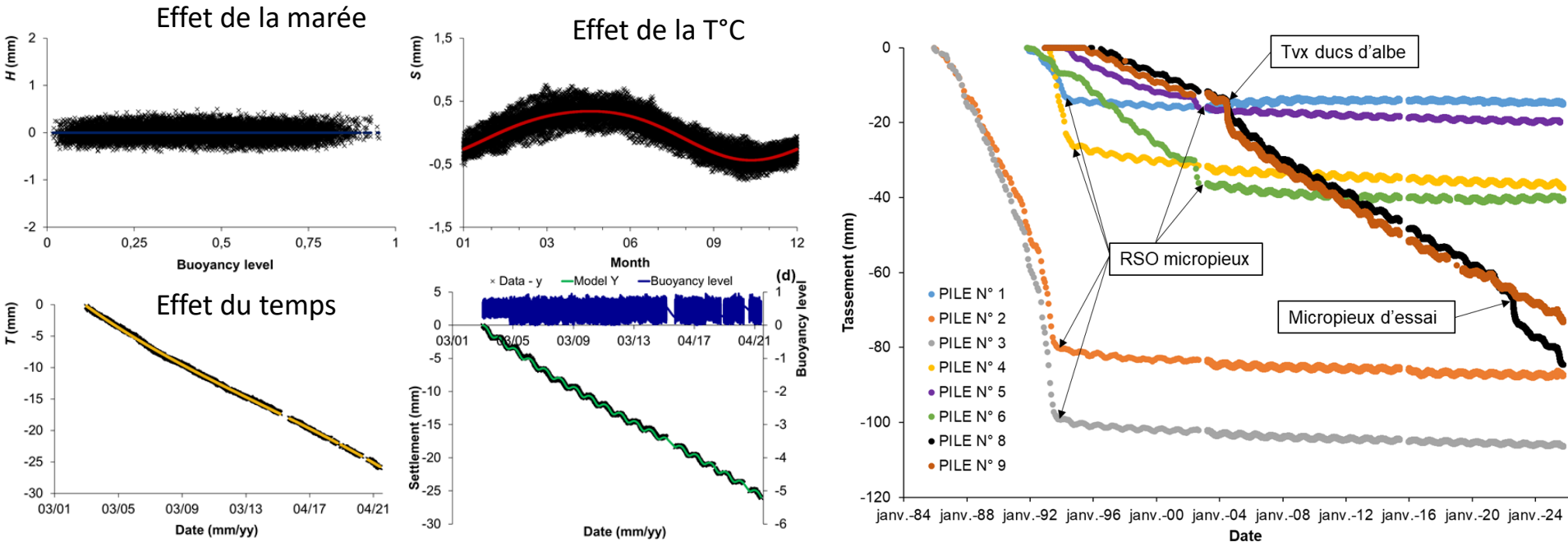


Aujourd'hui

Modification de l'environnement de l'ouvrage
(aménagement des quais, navigation, profils du cours d'eau, etc.)

Modification de l'usage de l'ouvrage
(élargissement, trafic, etc.)

Effets du temps (fluage), des cycles (fatigue) et des travaux



Fluage de la fondation (tassement linéaire jusqu'à 3 mm/an pour certains appuis)

Interventions sur l'ouvrage et accélération des tassements

Les premiers renforcements (1992/2002)

- Quelles charges sont à reprendre par les micropieux ?
100 % du poids propre ? 50 % ? 30 % ?
- Quel coefficient de sécurité viser pour les fondations ?
- Approches menées (1990/1991) : estimations « en fourchette » :
 - 33 % (F = 2 visé) $\Rightarrow$ 16 micropieux
 - 66 % $\Rightarrow$ 32 micropieux
 - 100 % $\Rightarrow$ 44 à 59 micropieux
- Solution retenue : « méthode observationnelle » phasée pour les piles P01 à P04 (puis P05 et P06) :
 - Phase 1 : 16 micropieux réalisés (1 / semaine) avec suivi des tassements ;
 - Phase 2 : ajout de 16 autres micropieux si absence de stabilisation des tassements

Description du projet de renforcement (2020/2028)

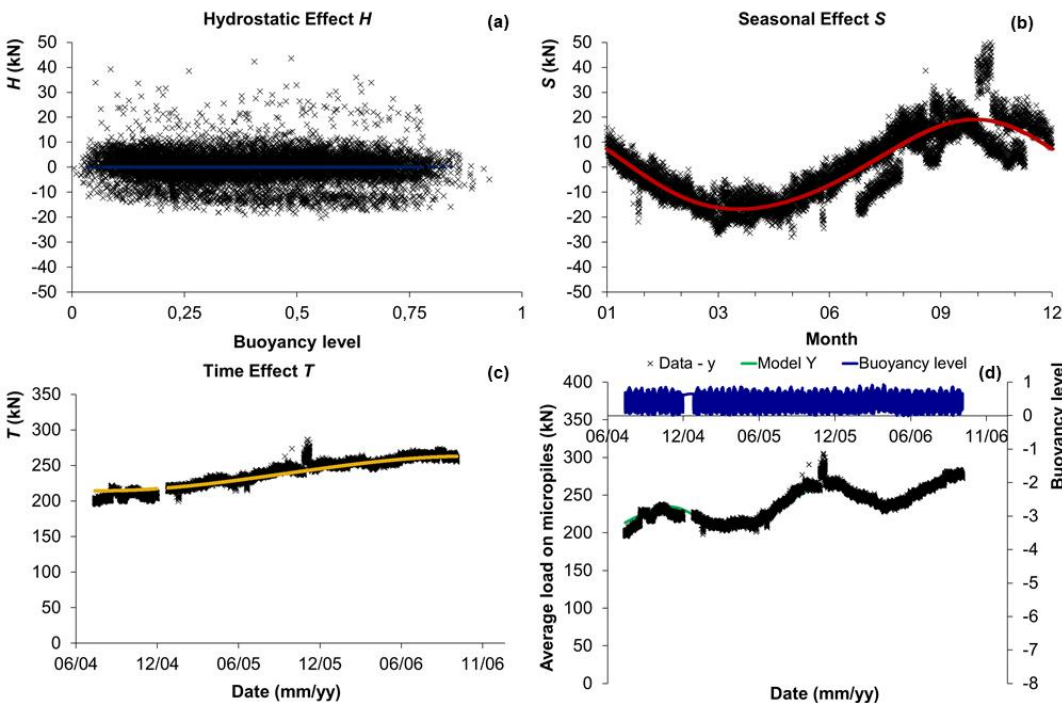
Maitre d'ouvrage : Bordeaux Métropole

Maitre d'œuvre : BG Conseil (WSP) + 2BDM + Verdi

AMO : Cerema

Entreprises : Soletanche Bachy + Aevia / Eiffage GC + Balineau + Sixense

Du suivi à la conception des renforcements (2020/2023)



L'analyse des données d'instrumentation permet de confirmer la raideur des micropieux



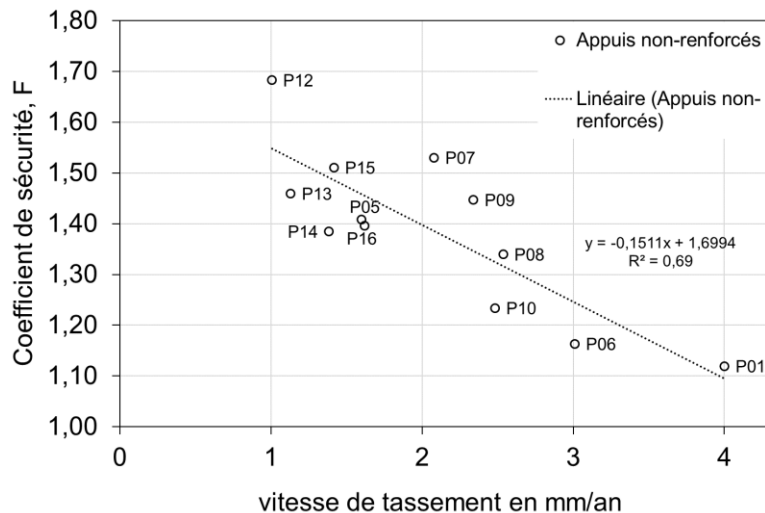
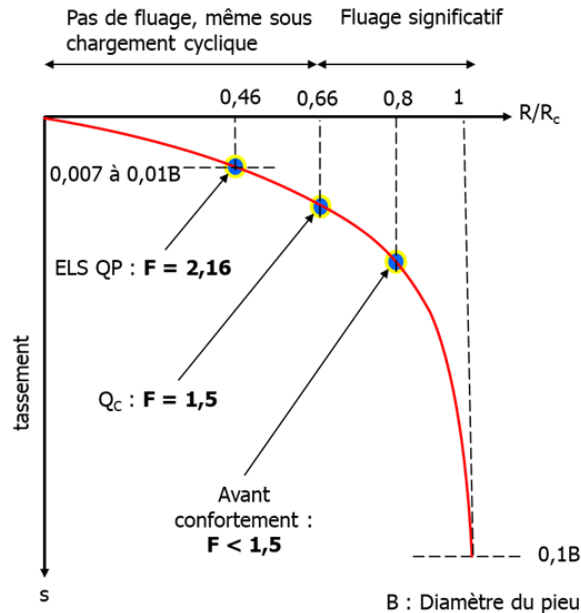
Estimation des % transferts de charge et de la sécurité

Appuis	$K_{\mu\mu}$ calculé (MN/m) ¹	$K_{\mu\mu}$ (T) (MN/m) ²	$K_{\mu\mu}$ (S) (MN/m) ³
P01	95,95	96,93	78,07
P04	84,74	94,54	84,69

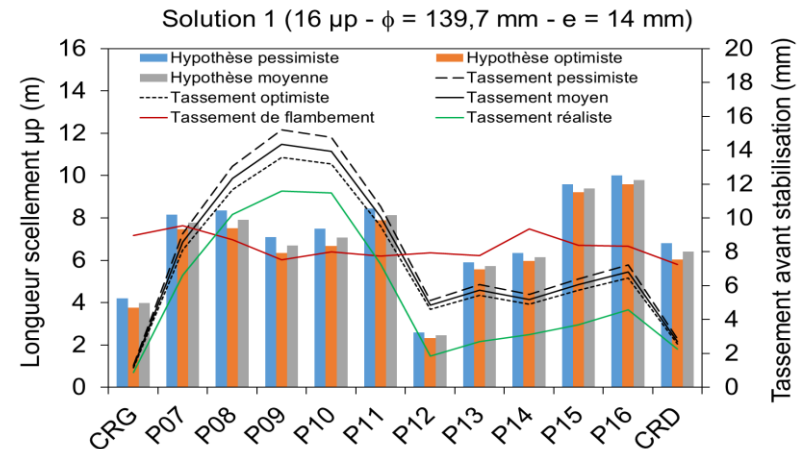
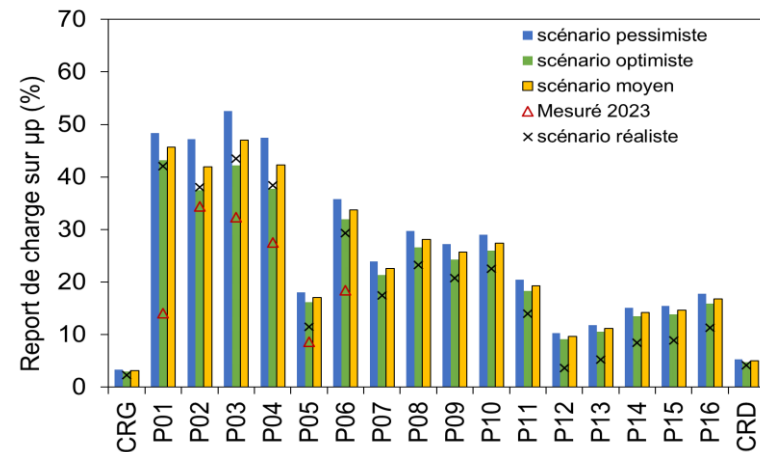
- 1 : Rigidité axiale des micropieux, égale à E.A/l_{libre}
- 2 : Rigidité axiale des micropieux donnée par les effets du temps
- 3 : Rigidité axiale des micropieux donnée par les effets saisonniers

Pile	$F_{initial}$	F_{final}	Transfert de charge (%)
P01	1,10	1,30	14,1
P02	1,14	1,74	34,4
P03	1,06	1,56	32,3
P04	1,15	1,59	27,6
P05	1,40	1,53	8,6
P06	1,16	1,43	18,4

Approche « coefficient de sécurité » (2020/2023)

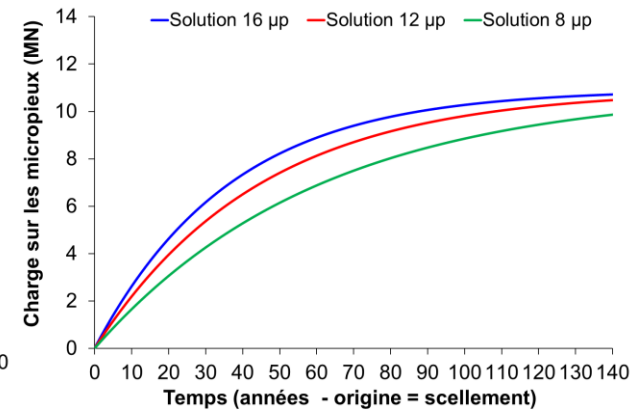
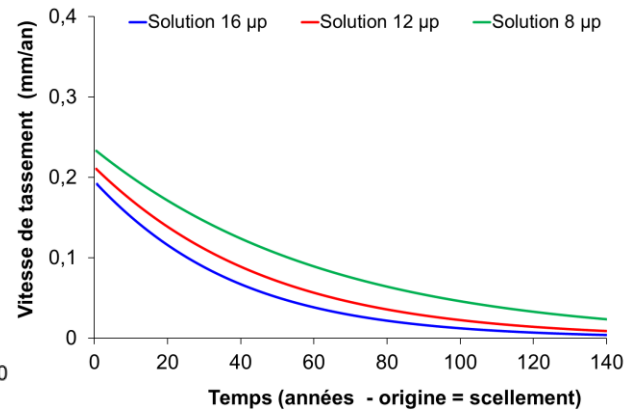
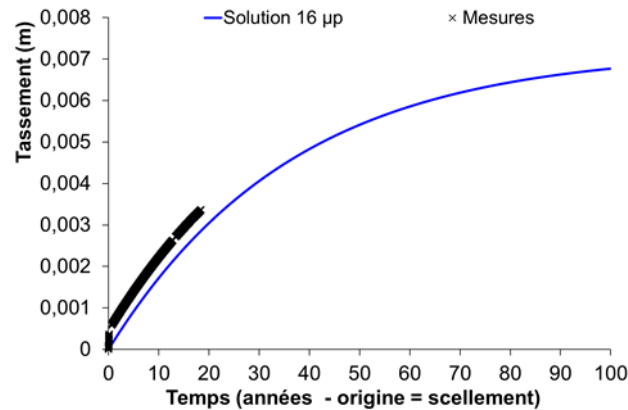


Justifications avec calculs en fourchette sur des objectifs de sécurité variant de 1,5 à 1,7

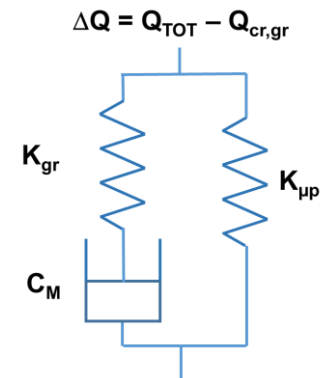


Approche « simplifiée »

- L'approche par coefficient de sécurité ne rend pas spécifiquement compte :
 - du transfert de charge entre les fondations existantes et les micropieux ;
 - des phénomènes de fluage ;
 - des effets de groupe dans la fondation (250 pieux bois) ;
- Développement d'une approche spécifique sur la base d'un macro-élément de fondation tenant compte des interactions sol/pieu et de la vitesse de tassement avant confortement.



387	387	338	316	310	311	317	327	330	326	322	319	318	318	319	322	326	330	327	317	311	310	316	338	387	387
387	219	166	156	151	155	166	175	182	174	172	163	159	159	163	172	174	182	175	166	155	151	156	166	219	387
321	153	104	1191	88,1	95,8	1191	125	1191	124	1191	107	99,1	99,1	107	1191	124	1191	125	1191	95,8	88,1	1191	104	153	321
293	129	78,8	65	59,9	64,7	81,2	98	104	95,7	90,1	82,2	77,1	77,1	82,2	90,1	95,7	104	98	81,2	64,7	59,9	65	78,8	129	293
284	123	70,8	54,5	51	54,4	67,2	87,4	91,6	84,6	78	73,3	70,3	70,3	73,3	78	84,6	91,6	87,4	67,2	54,4	51	54,5	70,8	123	284
293	129	78,8	65	59,9	64,7	81,2	98	104	95,7	90,1	82,2	77,1	77,1	82,2	90,1	95,7	104	98	81,2	64,7	59,9	65	78,8	129	293
321	153	104	1191	88,1	95,8	1191	125	1191	124	1191	107	99,1	99,1	107	1191	124	1191	125	1191	95,8	88,1	1191	104	153	321
387	219	166	156	151	155	166	175	182	174	172	163	159	159	163	172	174	182	175	166	155	151	156	166	219	387
387	387	338	316	310	311	317	327	330	326	322	319	318	318	319	322	326	330	327	317	311	310	316	338	387	387

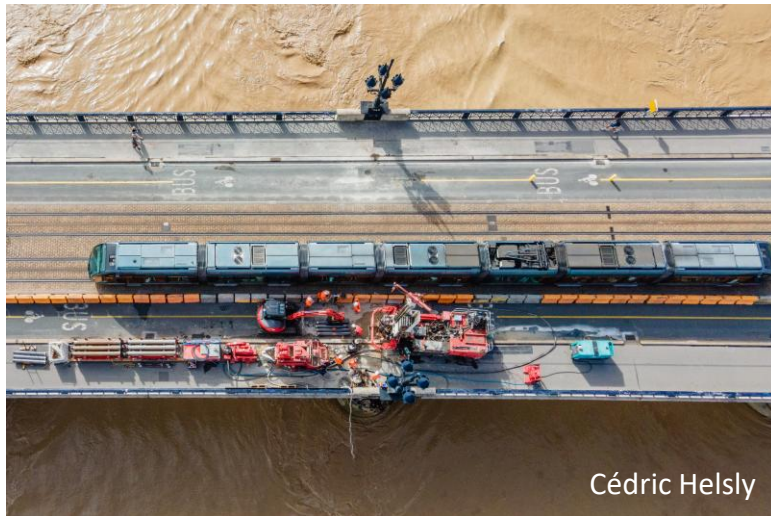


Le choix des techniques (2022/2025)



Un essai de chargement de micropieu (2022) pour :

- caractériser le substratum marneux et ;
- préciser les techniques d'exécution des micropieux dans les marnes (foré simple sous eau, autoforage proscrit).

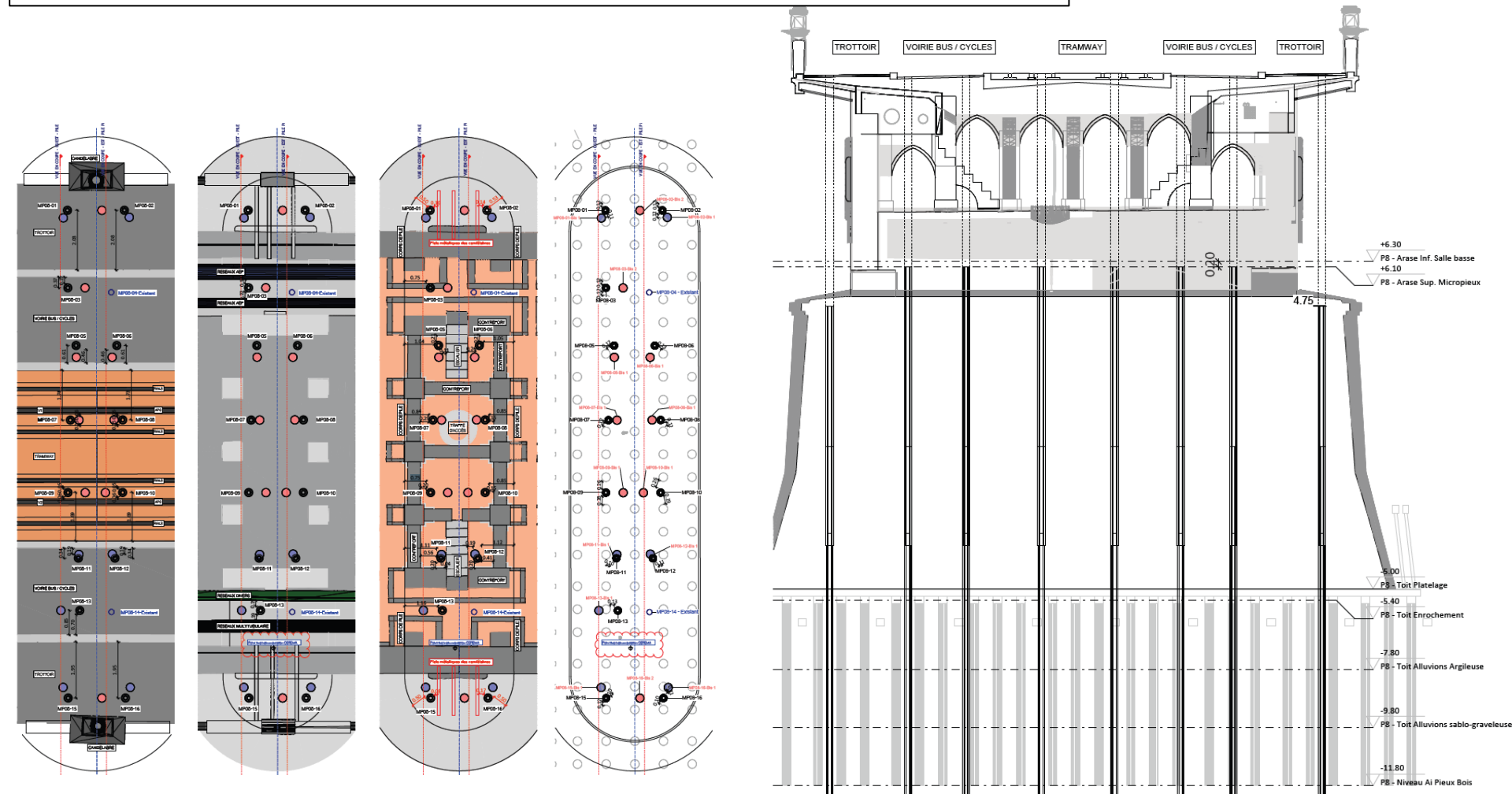


2 micropieux d'essais réalisés sur l'ouvrage pour préciser :

- les cadences de réalisation ;
- la faisabilité en conditions réelles (maintien de l'exploitation du pont) ;
- les techniques d'exécution et les phasages.

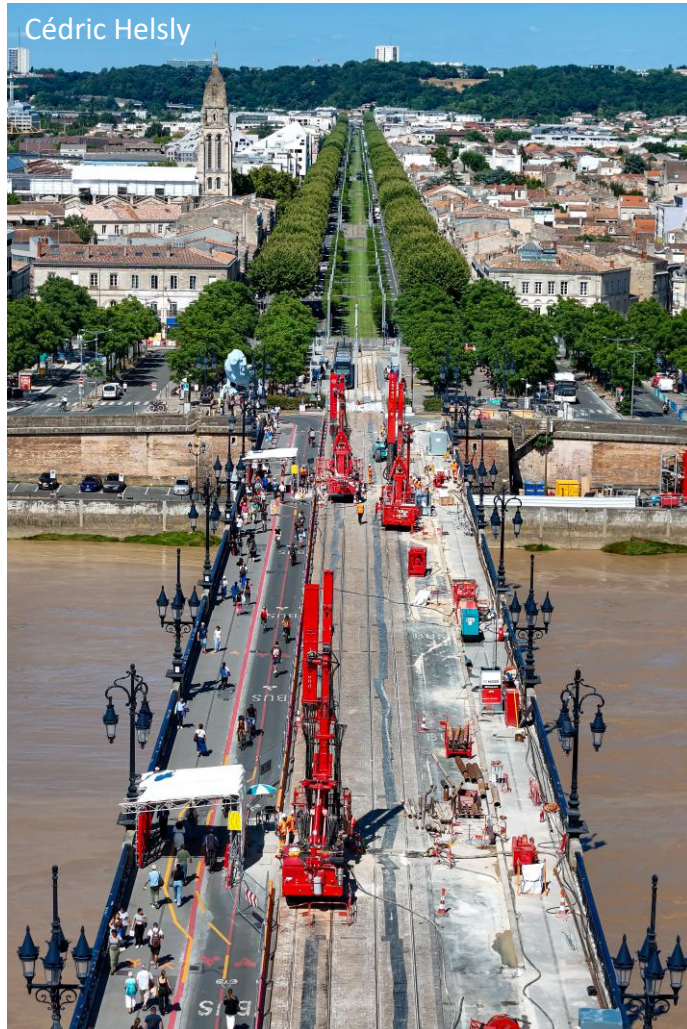
Calepinage des micropieux

1 position de repli / micropieu possible (si interception pieu bois)
Vérification spécifique des effets « points durs » dans la maçonnerie



Ordonnancement des travaux

Contraintes sévères d'exploitation



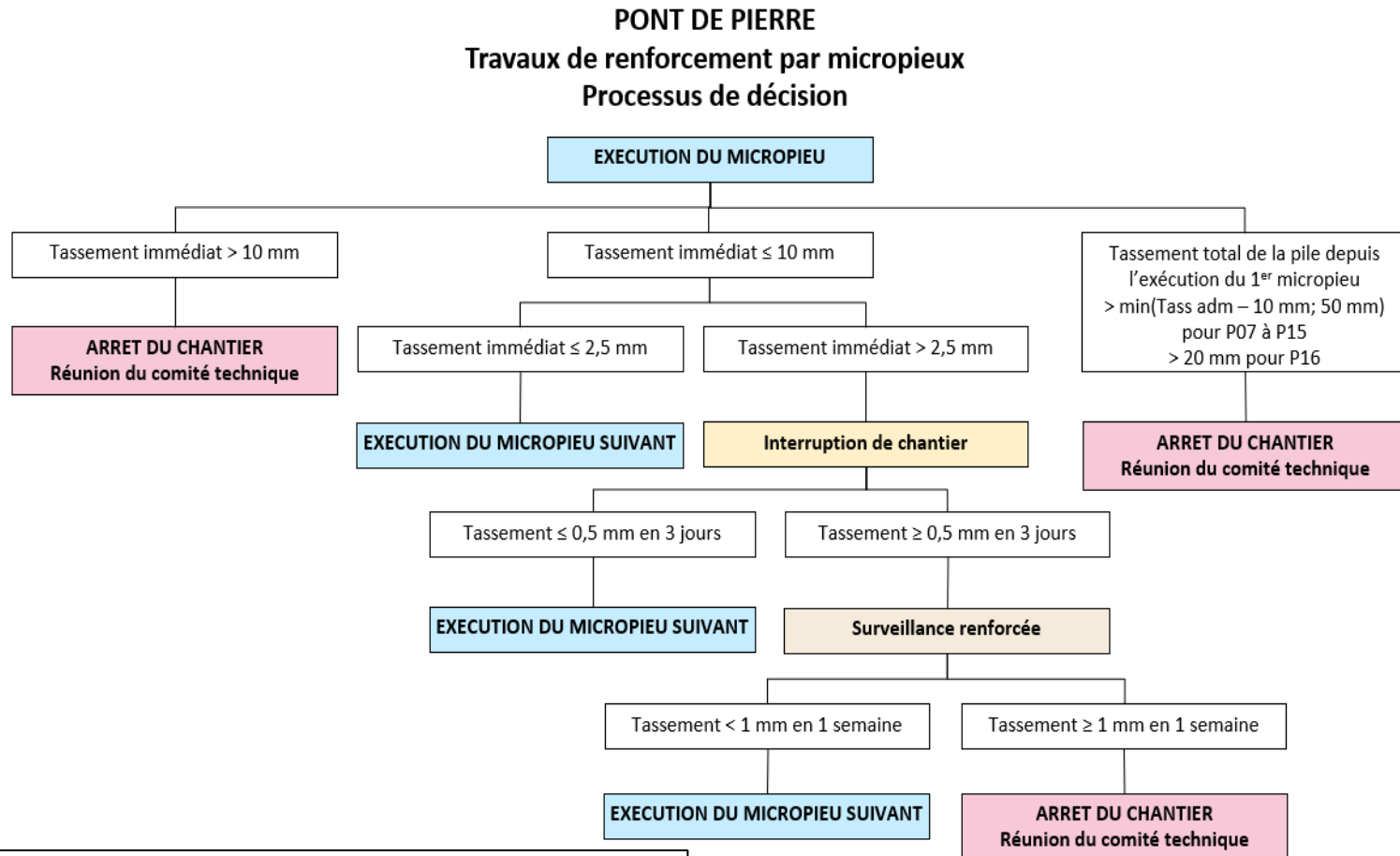
Le phasage doit conduire à améliorer la sécurité à chaque phase des travaux :

- Phasage aval / GLO / amont ou GLO / aval / amont ;
- Frettage des corps de piles avant RSO ;
- Cintrage préalable des voûtes d'élégissement adjacentes ;
- Travaux d'enrochements après RSO ;
- Phasage entre piles déterminé par un modèle global de la structure (minimisation des tassements différentiels).



Conditions d'accès difficiles
(frettage en rivière sous
marnage + atelier d'injection en
RD)

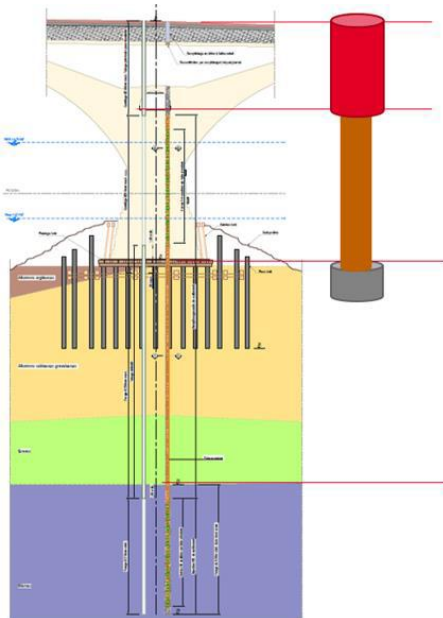
Suivi pendant travaux



Suivi des tassements : capteurs de déplacement (Cerema) + mesures topographiques haute fréquence

Seuils de vigilance et d'alerte assortis d'un arbre décisionnel pour la conduite des travaux

L'exécution des micropieux (2025/2028)



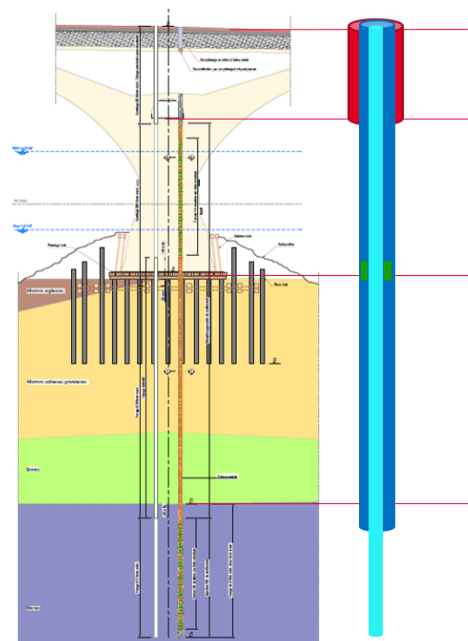
Etape 1 : Mise en œuvre du tube de protection

Etape 2 : Forage de reconnaissance
platelage bois / vide / pieux bois

- Détecter la présence de pieux bois (pour changement d'implantation le cas échéant)
- Détecter la présence de vides > 30cm sous platelage

Etape 3 : Remplissage du vide sous platelage si vide > 30 cm

Etape 4 : Réalésage en 250 dans la pile



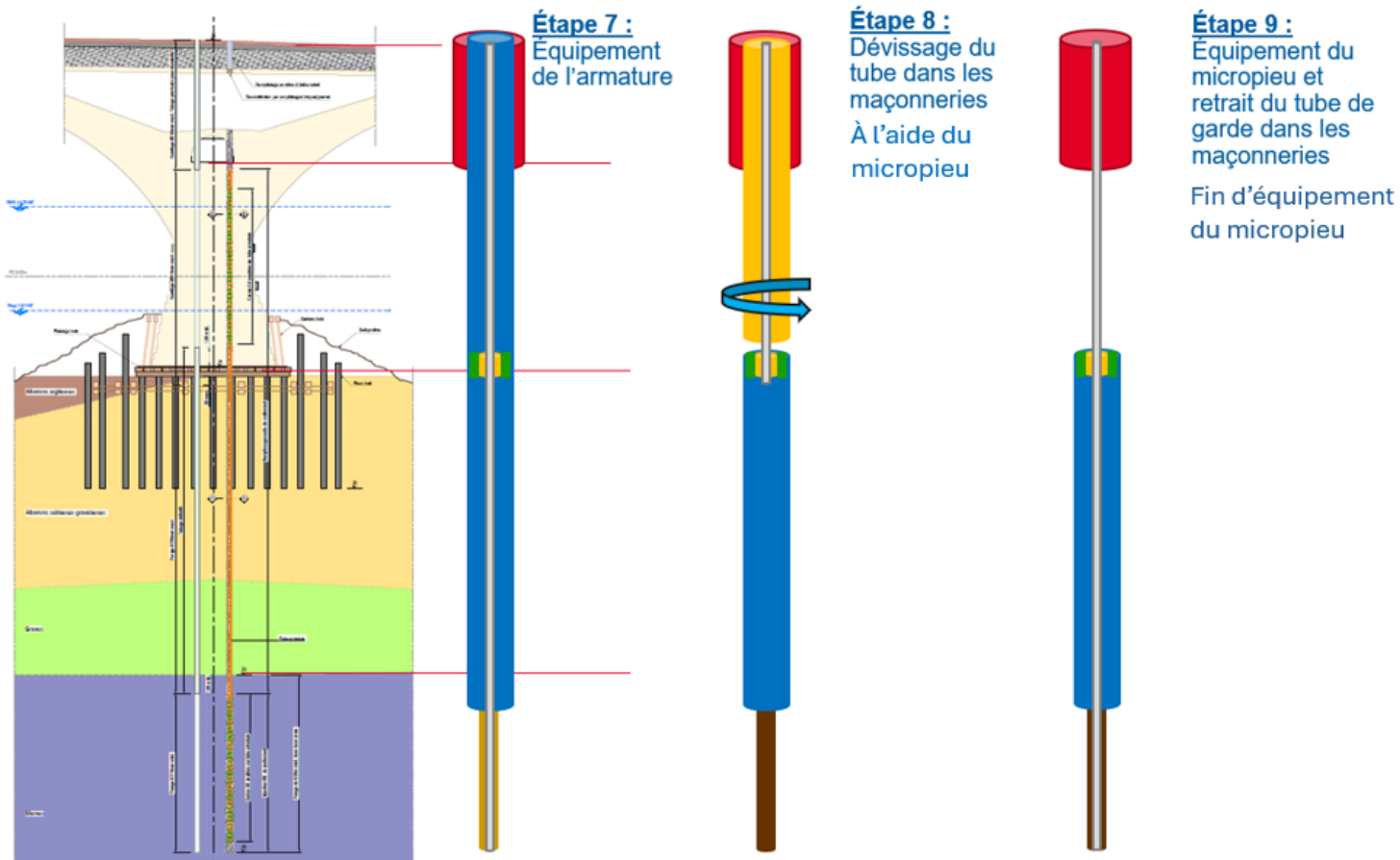
Etape 5 : Forage sous le platelage
« tige-tube »

- Couronne en Ø250mm avec tube en Ø244mm
- Tricône en Ø210mm avec tige en Ø140mm

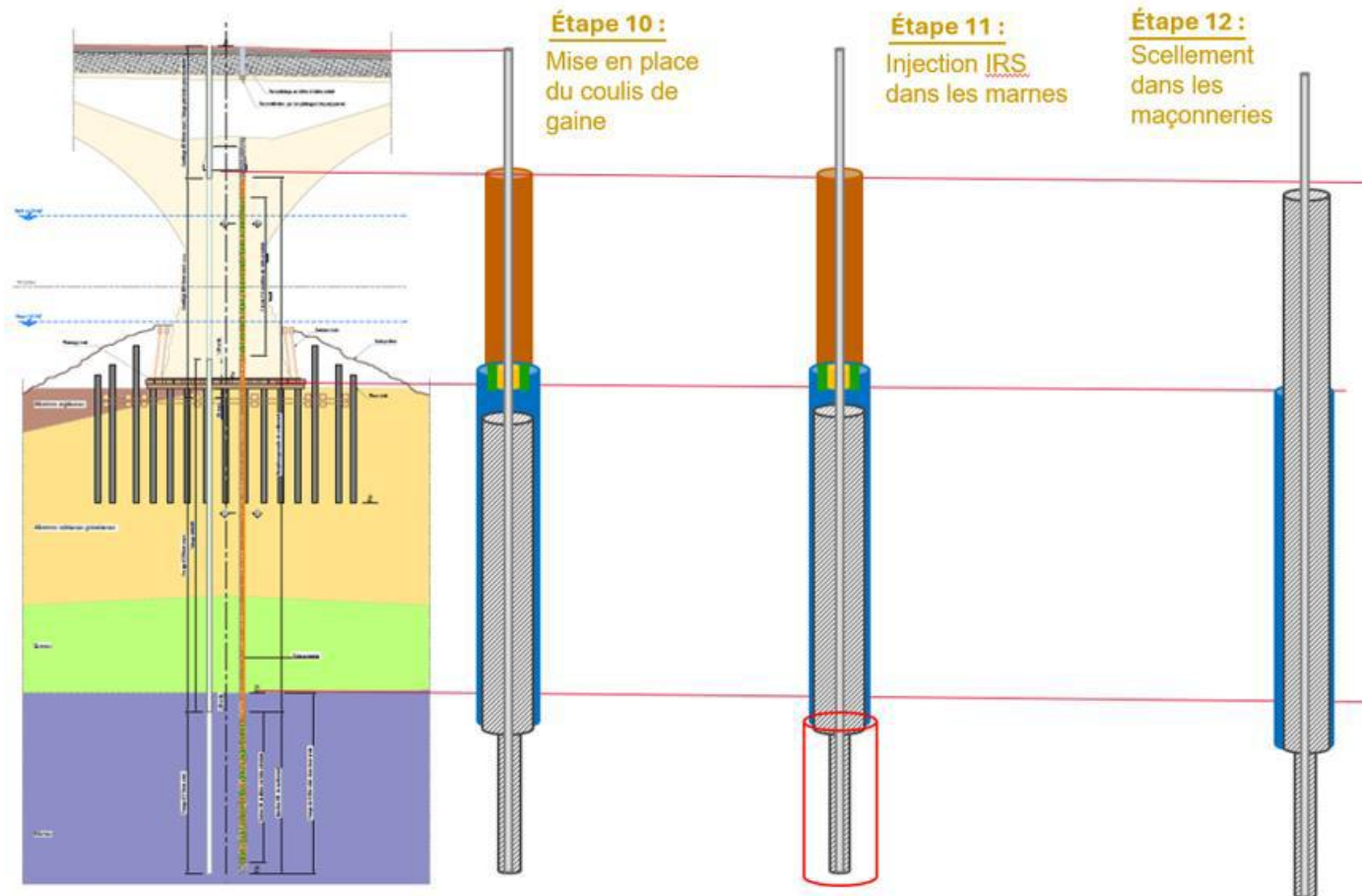
Etape 6 : Forage dans les marnes

- Tricône en Ø210mm avec tige en Ø140mm
- Forage de la longueur d'ancrage nécessaire

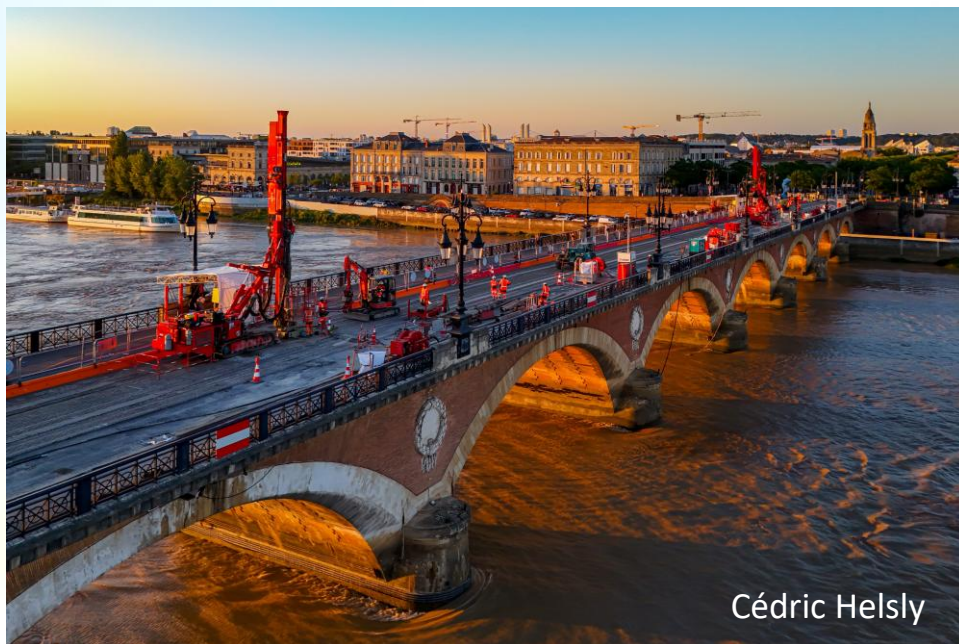
L'exécution (2025/2028)



L'exécution (2025/2028)



Merci de votre attention



gilles.valdeyron@cerema.fr

cerema.fr

Pour en savoir plus

....