

PONT JJ. BOSC À BORDEAUX, CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES ET PROBLÈMES GÉOTECHNIQUES

BORDEAUX BRIDGE PROJECT (JEAN-JACQUES BOSC) – PRINCIPALS CHARACTERISTICS AND GEOTECHNICALS ISSUES

Vincent SAVATIER¹, Remi DELUZARCHE¹, Fabien AVESQUE¹, Jean-François MIRALLES¹

¹ *EGIS STRUCTURES & ENVIRONNEMENT EGIS Géotechnique, Toulouse, France*

RÉSUMÉ – Lors d'un AVP, où aucun sondage en rivière n'était disponible, il est montré comment l'exploitation d'archives a permis de définir un modèle géotechnique pour concevoir une campagne adaptée. La stratégie présentée a permis d'optimiser le planning et le budget de sondage, et de préciser l'hydrogéologie de l'estuaire de Garonne.

ABSTRACT – In spite of the lack of geological data on river for the APD, a geotechnical model has been defined thanks to the exploitation of the available archives. On this basis, an adapted geotechnical campaign has been design. The strategy presented has been able to optimize the schedule and the budget of the investigation, and clarified the hydrogeology of the Garonne estuary.

1. Introduction et présentation du projet

Le projet du pont Jean-Jacques Bosc vise à relier les deux rives de Bordeaux, entre les communes de Floirac et de Bègles. Il franchit la Garonne entre le pont routier François Mitterrand en amont et le pont ferroviaire Saint-Jean en aval (cf. figure 1).

Ce pont de 44 mètres de large pour 549 mètres de long, est composé de 9 travées de 63 mètres environ pour 8 piles et 2 culées. Les piles sont appuyées sur une grande semelle enfouie sous le fond du lit de la Garonne portée par 10 pieux forés de diamètre Ø 1 500 mm, ancrés dans le substratum marno-calcaire.

Le projet comprend également un rétablissement routier sur chaque rive, sous la forme de trémies et tranchées couvertes fondées sur radier. Dans un contexte fluvio-maritime complexe de la Garonne (régime d'estuaire avec de forte variation de niveau d'eau entre le flot et le jusant), la connaissance du niveau de la nappe est nécessaire pour éviter les phénomènes de sous-pression sur ces radiers.

Ces contraintes liées à la géométrie de l'ouvrage (largeur importante, emprise importante sur les deux rives) et à l'environnement du projet (contexte géologique alluvial, fort marnage de la Garonne), implique de concevoir une campagne de reconnaissance la mieux adaptée, afin de caler avec précision le toit du substratum marno-calcaire, avec un grand nombre de sondages à réaliser en milieu fluvial, mais également de définir l'influence de la Garonne sur les mouvements de la nappe alluviale de chaque rive.

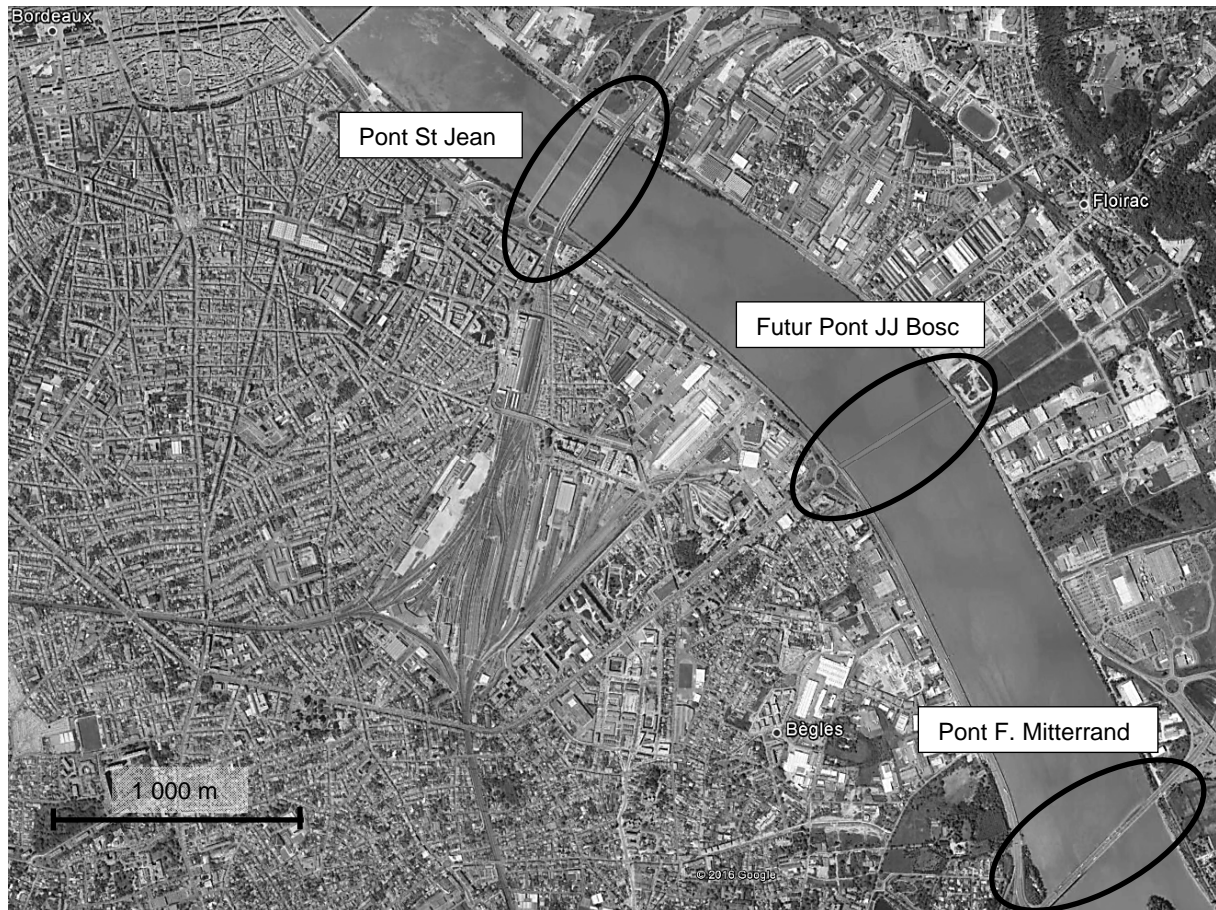


Figure 1. Localisation du pont Jean-Jacques Bosc

Nous allons présenter dans cet article, comment l'étude et l'exploitation des données d'archives disponibles nous ont permis de définir un premier modèle géotechnique et de concevoir une campagne de reconnaissance adaptée en phase PRO.

Dans un deuxième temps, après avoir présenté les principales caractéristiques de la conception géotechnique de l'ouvrage, nous allons discuter des conséquences économiques et de planning d'une densification ou d'un allègement de la campagne de reconnaissance géotechnique.

2. Exploitation des archives pour la définition de la campagne géotechnique

2.1. Exploitation des archives

Au moment de l'AVP, aucun sondage en rivière n'a été réalisé. Pour pallier ce manque, une étude approfondie des archives disponibles a été réalisée, dans le but de faire la synthèse de ces données et de construire par la suite un modèle géologique et géotechnique au droit des appuis du futur pont.

L'analyse a été conduite à partir des documents suivants (EGIS Géotechnique, 2014) :

- le profil en travers établi pour le projet du Pont F. Mitterrand, situé à l'amont du pont JJ. BOSC ;
- le profil en travers du pont ferroviaire Saint Jean (RFF), situé à l'aval du pont JJ. BOSC ;
- le rapport du CEBTP relatif au pont JJ. BOSC (phase préliminaire), avec les coupes de sondages réalisées en berge de la Garonne.

La structure géologique correspond à une plaine alluviale commandée par la Garonne et est située sur un substratum homogène marno-calcaire. La structure des ponts François Mitterrand et St Jean ont permis d'apprécier les éléments constructifs en rivière en phase AVP.

Il a été procédé à la superposition des deux coupes transversales des Pont St Jean et F. Mitterrand. Les éléments de calage n'étant pas formels, la superposition qui a été faite est restée interprétative. La coupe des sols au niveau des deux ponts est homogène, et montre les similitudes géologiques suivantes :

- Un remplissage alluvial constitué de vases (voire des sables fins vasards), et d'alluvions sablo-graveleuses.
- Un substratum constitué de marnes et argiles marneuses attribué au Stampien, au-dessus du Sannoisien avec une frange de transition.
- Une remontée du substratum en rive gauche, alors qu'en rive droite l'épaisseur des vases est importante.

L'analyse a donc permis la réalisation d'une coupe transversale géologique au droit du projet. Cette coupe est présentée sur la figure 2.

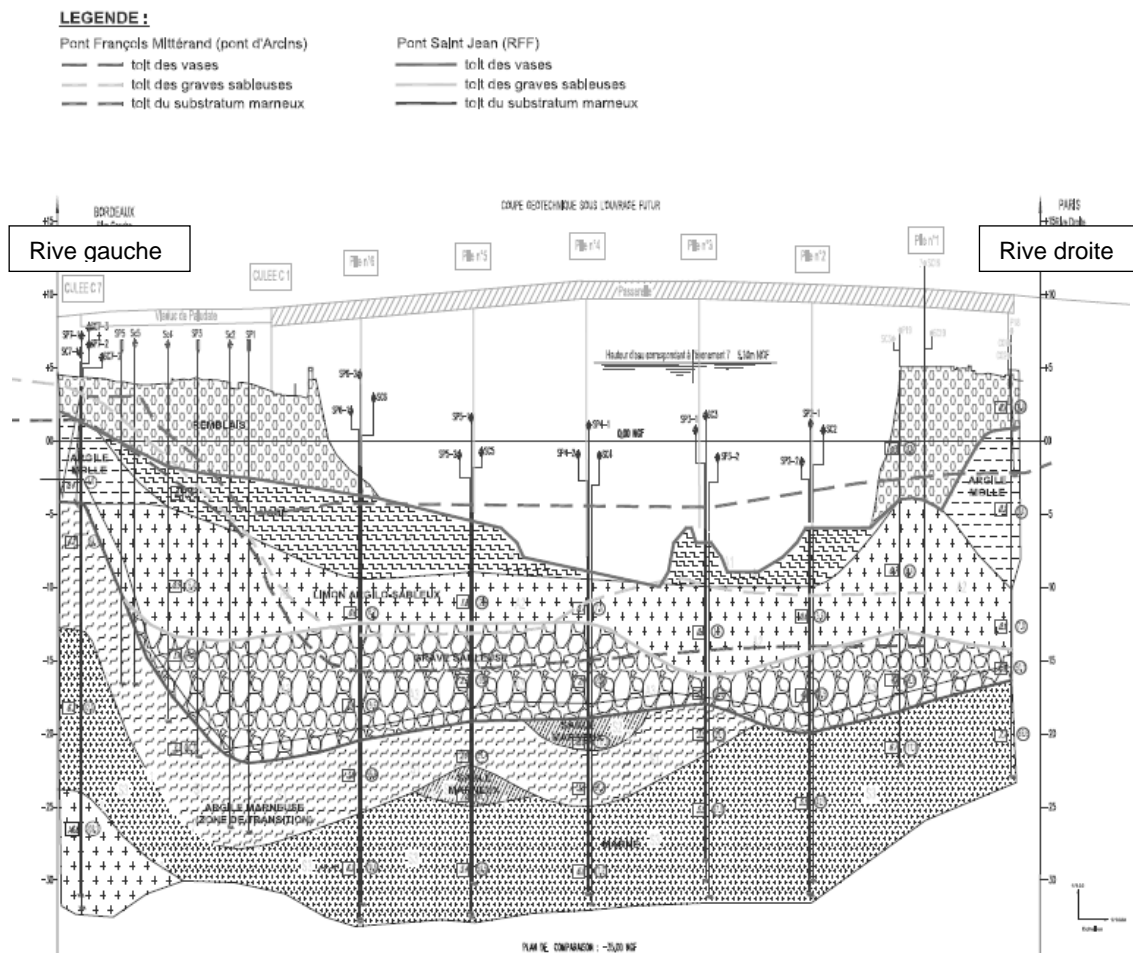


Figure 2. Coupe transversale analysée du pont Jean-Jacques Bosc

Les incertitudes résultant de cette analyse sont les suivantes :

- Existence ou non d'une frange d'altération du substratum, présente uniquement au niveau du pont St Jean,
- Épaisseur des couches de vases et des horizons sablo-graveleux,
- Détermination de l'horizon et de la nature des matériaux d'ancrage des batardeaux.

2.2. Objectifs des reconnaissances

L'objectif de la campagne de phase PRO a donc été de lever les incertitudes mises en évidence par l'analyse AVP, par des reconnaissances faites au droit de chaque appui (cf. tableau 1).

Tableau 1. Reconnaissance prévue par appui

Type	Norme	Objectifs
1 sondage pressiométrique	NF-P-94-110-1	Déterminer les caractéristiques mécaniques (E_M , P_I et P_f) des terrains d'ancrage des pieux de l'appui
1 sondage carotté avec mesure de perméabilité des sols	NF-P-94-202 NF EN ISO 22282-2 (Lefranc et Lugeon)	Déterminer les caractéristiques intrinsèques des différentes formations et leurs perméabilités
2 essais au pénétromètre statique (CPT) avec mesure de pression interstitielle en continu et dissipation	NF-P-94-119	Reconnaitre et caractériser de façon précise les différentes couches d'alluvions vasardes et sablo-graveleuses, mais également de reconnaître la formation où le refus sera obtenu par les batardeaux (refus CPT).

Il a été fait le choix de la réalisation de CPT afin de mieux discrétiser les alluvions vasardes et sablo-graveleuses sur chaque appui, ce qui est important pour le dimensionnement des batardeaux (en particulier l'ancrage). Par ailleurs, la réalisation et l'interprétation d'un essai au pénétromètre statique étant rapide, cela permet d'avoir des données rapidement, et de réduire le délai nécessaire pour les sondages en rivière.

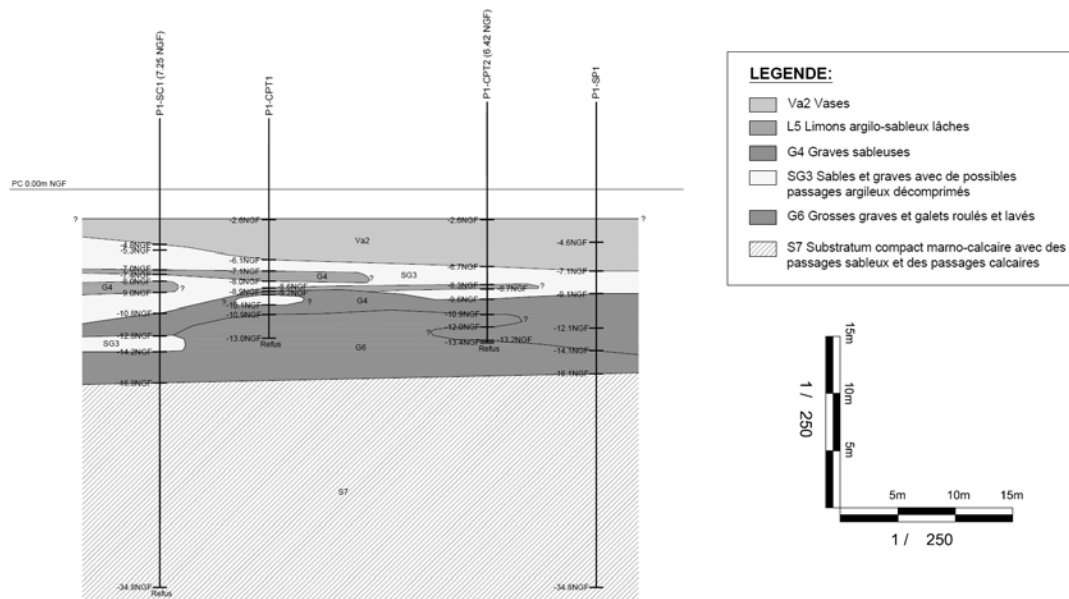


Figure 3. Profil en travers au droit de la pile P1

2.3. Suivi hydrogéologique

Dans le but de définir les mouvements de nappe au droit des différentes trémies et comprendre son fonctionnement vis-à-vis du marnage de la Garonne, une instrumentation piézométrique a été mise en place. Deux sondes par rive ont été placées dans des piézomètres existants (avec des distances / berge de 25 m en RD et 80 m en RG), ainsi qu'une sonde supplémentaire dans le lit de la Garonne. Ces sondes ont relevées toutes les demi-heures le niveau d'eau, et ce pendant une durée de 3 semaines consécutives entre septembre et octobre 2010, afin de tenir compte des différents coefficients de marée. Nous donnons figure 3 les résultats obtenus.

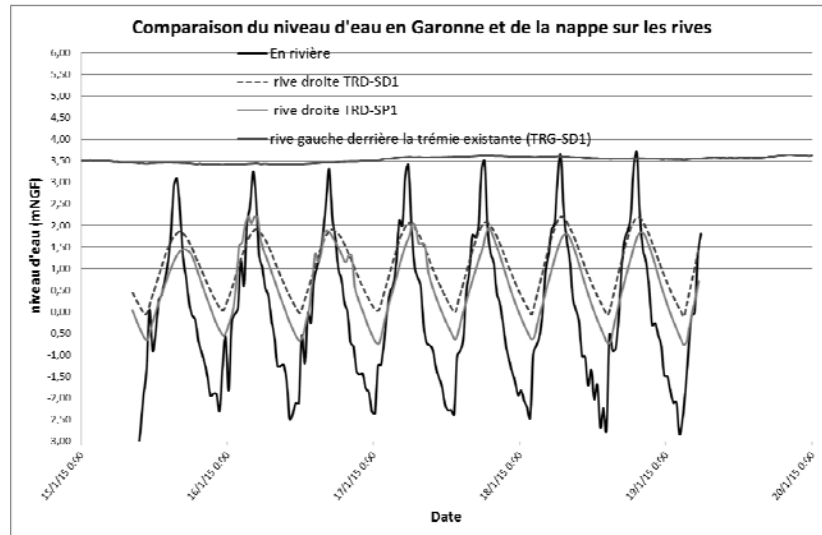


Figure 4. : Garonne au droit du pont JJ. Bosc niveau d'eau de la nappe et du fleuve

En rive gauche, on constate que la marée n'influence que très légèrement le niveau de la nappe, et principalement en fonction des coefficients de marées. Au contraire, en rive droite, la nappe est directement influencée par le marnage de la Garonne, et fluctue de plusieurs mètres, à chaque marée, un effet retard par rapport à la marée. Les circulations d'eau au sein de la nappe sont ralenties par la perméabilité des sols, ce qui explique ce retard.

La connaissance de la cote moyenne de la nappe permet de dimensionner l'épaisseur du radier des trémies et tranchées couvertes de façon à reprendre les sous pressions.

3. Gestion du projet

De façon à montrer l'intérêt de la campagne proposée, elle est comparée à une campagne classique qui aurait consisté, pour l'étude des piles, en :

- La réalisation de deux sondages carottés par appui descendus à 41 m de profondeur,
- La réalisation de deux sondages destructifs avec essais pressiométriques, pour une moyenne de 1 essai par mètre, descendus à 41 m moyen.

L'ouvrage comprend 8 piles. La totalité d'une telle campagne aurait alors consisté en la réalisation de :

- 16 sondages carottés pour un linéaire de 576 ml et 80 ml de tube de réservation (Vide + eau) (41 m moyen),
- 16 sondages destructifs pour un linéaire de 576 ml et 80 ml de tube de réservation (Vide + eau) (41 m moyen) et de 576 essais pressiométriques.

Le tableau ci-après récapitule et compare les caractéristiques des deux campagnes.

Tableau 2. Tableau comparatif de la campagne réalisée à une campagne dite « classique » - piles du pont JJ BOSC

		Campagne réalisée	Campagne dite « classique »
Sondage carotté	Nombre	8	16
	Linéaire	313.5 m	627
Sondage pressiométrique	Nombre	8	16
	Linéaire	332 m	664
	Nb essais pressiométriques	223	446

		Campagne réalisée	Campagne dite « classique »
Essais de pénétration statique	Linéaire	321.9 m	0
	Nb essais de dissipation	86	0

Les essais de laboratoires de la campagne « classique » sont quantifiés proportionnellement au linéaire carotté.

Nous comparons, tableaux 3 et 4, les deux campagnes en termes de budget et de délai. Les prix retenus sont les prix ayant été appliqués lors de la campagne de reconnaissance de niveau PRO.

Tableau 3. Tableau comparatif (estimé) du montant des campagnes géotechniques

		Campagne réalisée	Campagne dite « classique »
Sondage carotté	Montant estimé	~ 39 k€	~78 k€
Sondage pressiométrique	Montant estimé	~ 25.3 k€	~ 50.4 k€
Essais de pénétration statique	Montant estimé	~ 31 k€	-
Essais laboratoire	Montant estimé	~ 15.8 k€	~ 31.6 k€
Montant cumulé		~ 110.8 k€	~ 160 k€

Les montants estimés, présentés dans le tableau ci-dessus ne considèrent pas la mise à disposition d'une plateforme élévatrice pour la réalisation des sondages en milieu aquatique. Ces prestations sont chiffrées en journée (hors forfait pour l'amenée/repli et le déplacement entre deux appuis en milieu aquatique).

Le tableau ci-dessous estime les délais des campagnes réalisées. Ces délais sont estimés sur la base de cadences moyennes issues du projet JJ. BOSC hors aléa météo.

Tableau 4. Tableau comparatif des temps estimés des campagnes

		Campagne réalisée	Campagne dite « classique »
Temps estimé (jour-10h)		35 j	65 j
Montant location plateforme	5 500€/jour	~192.5 k€	~357.5 k€

Les études comparatives du quantitatif de la campagne et du délai de celle-ci mettent en évidence une réduction des coûts des reconnaissances géotechniques de l'ordre de 214.2 k€ et de délai de l'ordre de 30 j ouvrables.

4 Incidence sur le dimensionnement des pieux

La campagne réalisée telle que définie dans les chapitres précédents a eu pour incidence dans le dimensionnement des pieux, les points suivants :

- Dimensionnement des pieux selon le modèle « terrain » (NF P 94-262, 2012),
- Meilleure appréhension des sols vasards alluvionnaires mais appréhension moindre du substratum marno-calcaire.

La réalisation d'une campagne dite « classique » aurait permis de dimensionner les fondations selon la procédure du « pieu modèle » (procédure provenant de la norme NF P 94-262, 2012, pp70) avec des coefficients plus favorables.

Dans le développement ci-dessous, nous présentons l'incidence de l'application de la procédure du « pieu modèle » sur la base des sondages pressiométriques réalisés au droit des P1 et P5. Nous comparons ainsi les valeurs caractéristiques entre la procédure du « pieu modèle » et la procédure du « modèle terrain ».

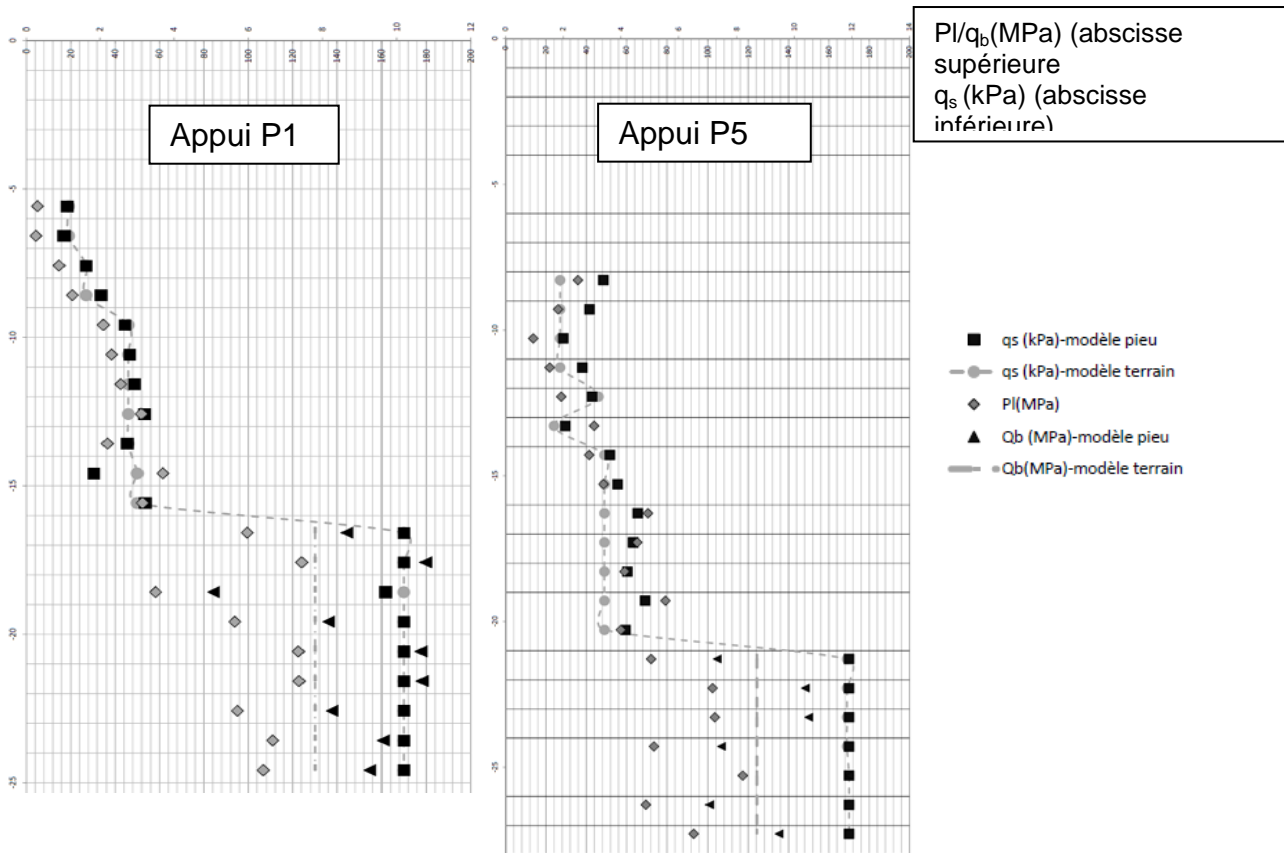


Figure 5. : Comparatif des valeurs caractéristiques issues de la procédure « pieu modèle » et « modèle terrain ».

Tableau 5. Calculs comparatifs procédure pieu modèle et procédure modèle terrain sur les appuis P1 et P5 (notations provenant de la norme NF P 94-262, 2012).

Long. de pieux	Appui P1		Appui P5		Descente de charge par appui (max/min)
	25m	24m	27m	27m	
Procédure	modèle terrain	pieu modèle	modèle terrain	pieu modèle	
ELS quasi-permanent (kN)	9 450	9 142	9 290	9203	8 901/3 947
ELS caractéristique (kN)	11 550	11 173	11 354	11 248	11 166/3 378
ELU durable (kN)	16 330	16 103	16 428	16 137	15 229/2 996
ELU accidentel (kN)	17 963	17 714	18 071	17 751	13 479/-377 (choc)

La figure 4 et le Tableau 5 présentent les différentes caractéristiques susceptibles d'être retenues pour le dimensionnement des fondations profondes selon la procédure sélectionnée. Il apparaît, pour l'appui P1, qu'une réduction de la longueur des pieux de 1m est envisageable dans le cas où l'on considérerait une approche selon le « pieu modèle » par rapport à l'approche du « modèle terrain ». Concernant l'appui P5, aucune optimisation des longueurs de pieux ne peut être proposée par rapport à l'approche de la procédure « modèle terrain » dans le cadre d'une campagne dite classique consistant en

2 sondages carottés par appui et deux sondages destructifs avec essais pressiométriques.

5. Conclusion

La campagne géotechnique définie pour la phase PRO s'est avérée être totalement adaptée pour les problématiques géotechniques identifiées, avec les données suivantes bien caractérisées :

- Épaisseur des couches de vases et des horizons sablo-graveleux au droit de chaque appui ;
- Détermination de l'horizon et de la nature des matériaux d'ancrage des batardeaux ;
- Identification de la cote de la nappe et de ses mouvements au niveau de chaque rive.

Le choix fait sur la campagne menée, fondée sur un dimensionnement de pieux selon le modèle « terrain », a ainsi permis de mieux appréhender les sols alluvionnaires (niveaux et caractéristiques). Ce choix conduit pour le modèle pieux, à paramètre géotechnique constant, à des charges de calcul équivalentes sans possibilité d'optimisation majeure quant au dimensionnement.

L'impact de ce choix sur la gestion du projet a surtout permis une réduction du coût général de la campagne géotechnique.

Pour conclure, la compréhension des enjeux techniques d'un projet permet d'appréhender les besoins de données géotechniques, avec des conséquences non négligeables sur la gestion du projet.

6. Bibliographie

Association française de normalisation. (2012). Justification des ouvrages géotechniques. Norme NF P 94-262. France, AFNOR, pp.70, 71, 117.

EGIS Géotechnique (2014). Note d'hypothèse géotechnique phase AVP Ouvrage Principale. EGIS-AVP-NTE-CIV-C-3-53201-0 Version A4 du 20/09/2014, pp5.