

République Algérienne Démocratique et populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie Civil



Laboratoire de Génie Sismique et Dynamique des Structures  
(L.G.S.D.S)

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie Civil

## *Caractérisation géotechnique du site du Viaduc V19.2*

Présenté et soutenu en public le 22/06/2016 par :

**OUADHI Noussaiba**

Composition du Jury :

|               |                    |     |     |
|---------------|--------------------|-----|-----|
| Présidente :  | Mr A.BALI          | Pr  | ENP |
| Promotrices : | Mme D. CHERID      | MAA | ENP |
|               | Mme H. MOHABEDDINE | MAA | ENP |
| Examineurs :  | Mme N .BAOUCHE     | MAA | ENP |
|               | Mr S. LEKHAL       | MAA | ENP |

Promotion 2016

Ecole Nationale Polytechnique 10, rue des frères OUDDEK Hassen BADI- El-Harrach Alger (Algérie)

Tel : 213 21 52 53 01/03 – Fax : 213 21 52 29 73 [www.enp.edu.dz](http://www.enp.edu.dz)

## ملخص :

يهدف هذا العمل الى تبيان الخصائص الجيولوجية والجيوتقنية لموقع أساسات الجسر V19.2 انطلاقا من معطيات دراسة طبقات الأرض ونتائج تجارب تعريف الخصائص الجيوتقنية والتي تم إنجازها في مختلف مراحل الدراسة وكذا تعريف النموذج الجيولوجي والجيوتقني المرجعي للجسر محل الدراسة.  
الكلمات المفتاحية : جسر ; موقع ; جيوتقنية ;الجيولوجية .

## Abstract:

The object of this work is to establish geologic and geotechnical character of the foundation's soil of the V19.2 bridge, basing on the stratigraphic data and the geotechnical results realised in different step of study, and to define the geologic and geotechnical model.

Keys words : geologic; geotechnical ; soil ; bridge.

## Résumé :

L'objet de ce travail consiste à établir une caractérisation géologique et géotechnique du site de fondation du viaduc V19.2, et ce, à partir des données stratigraphiques et des résultats des reconnaissances géotechniques réalisées dans les différentes phases de l'étude et de définir le Modèle Géologique et Géotechnique de Référence pour l'ouvrage suscité.

Mots clés : géologique ; géotechnique ; site ; viaduc.



*Nous remercions notre Allah le tout Miséricordieux pour ses grâces à nos endroits, qui nous a fortifiées dans la persévérance pour mener à bien ce modeste travail.*

*Nous remercions infiniment nos chers parents de nous avoir offert tout ce dont nous avons besoin pour être toujours à la hauteur et réussir dans notre vie.*

*Nous remercions vivement nos promotrices, Mme D.CHERID et Mme H.MOHABEDDINE, pour l'aide qu'elles nous ont apportée, et leurs conseils instructifs durant l'élaboration de ce mémoire.*

*Nous souhaiterions manifester notre reconnaissance particulièrement à XXXXXX ingénieur chef d'études à la RIZZANI DE ECCHER, de nous avoir proposé le thème de ce travail, et pour toutes les informations relatives au domaine des ouvrages d'art sur le terrain.*

*Nous remercions aussi Mr BOUTEMEUR et Mr BELKACEMI pour toutes les explications et l'aide qu'ils nous ont apporté durant ce projet de fin d'étude*

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail.*

*Nous voudrions exprimer notre profond respect à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire à l'Ecole Nationale Polytechnique.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail ...*

*Aux personnes les plus chères dans ma vie, vous « Mama » et « Papa » pour toute votre affection, votre amour votre éducation et vos sacrifices, que Dieu me donne la force pour vous honorer, vous servir et vous combler.*

*A mes adorables petites sœurs que j'aime énormément « Meriem » « Louiza »  
et « Manel ».*

*A ma super grande mère « Louiza » pour ses encouragements, ses prières et son soutien, que Dieu lui prête une longue vie pleine de santé et de bonheur.*

*Au meilleur oncle du monde « Abdelkrim » pour sa présence dans toutes les étapes importantes de ma vie pour m'aider me conseiller et me soutenir.*

*A mes chers grands-parents « Hassen » et « Fatima », mes tantes et mes cousines.*

*A ma chère binôme « Naziha ».*

*A tous ceux que j'aime.*

*Noussaïba ...*

# Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Introduction générale.....                            | 10 |
| I.1. Introduction : .....                             | 12 |
| I.2. Différentes phases de l'étude géotechniques..... | 12 |
| I.3. Programme de l'étude géotechnique .....          | 12 |
| I.3.1. Nature des investigations .....                | 12 |
| I.3.2. Densité des sondages et essais.....            | 12 |
| I.4. Sondage et forages .....                         | 13 |
| I.5. Essais mécaniques .....                          | 13 |
| Essais par battage .....                              | 13 |
| Essai au pressiomètre MENARD .....                    | 15 |
| Présentation : .....                                  | 15 |
| I.6. Corrélations entre essais .....                  | 17 |
| I.7. Essais de laboratoire.....                       | 18 |
| I.7.1. Essais d'identifications .....                 | 18 |
| I.7.2. Essais mécaniques .....                        | 18 |
| I.8. Conclusion .....                                 | 20 |
| II.1. Introduction :.....                             | 22 |
| II.2. Présentation du projet :.....                   | 22 |
| II.3. Situation de l'ouvrage :.....                   | 22 |
| II.4. Données fonctionnelles :.....                   | 22 |
| II.9. Conclusion : .....                              | 24 |
| III.1. Formations géologiques.....                    | 26 |
| III.2. Géomorphologie du secteur en étude.....        | 26 |
| IV.1. Introduction : .....                            | 29 |
| IV.2. Sondages .....                                  | 29 |
| IV.3. Mesures piézométriques .....                    | 30 |
| IV.4. Essais in-situ .....                            | 31 |
| a. Essais pressiométriques .....                      | 31 |
| IV.7. Essais de laboratoire.....                      | 38 |
| V.1. Introduction .....                               | 42 |

|   |     |
|---|-----|
| V.2. Unité géotechnique Ug1 .....   | 42  |
| V.3. Unités géotechniques Ug2 et Ug2a .....                                   | 42  |
| V.4. Unités géotechniques Ug4, Ug4a, Ug4b.....                                | 43  |
| V.6. Synthèse de la caractérisation géotechnique et paramètres de projet..... | 45  |
| VI.1. Introduction .....  | 48  |
| Conclusions .....   | 51  |
| Bibliographie.....  | 512 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau I.1. Paramètres du carottier .....   | 14 |
| Tableau.I.2. Catégories conventionnelles des sols.....   | 17 |
| Tableau.I.4. Corrélation entre pressiomètre et nombre N du SPT .....   | 18 |
| Tableau.I.5. Rapport entre $q_d$ et $q_c$ , $p_1$ , $E_M$ Selon Waschkowski.....   | 18 |
| Tableau III.1 – Formations géologiques présentes dans le site du viaduc.....   | 26 |
| Tableau IV.1. Sondages carottés et pressiométriques réalisés dans le secteur en étude.....   | 29 |
| Tableau IV.2 – Piézomètres installés le long du viaduc V-19.2 et lectures du niveau d'eau...30   |    |
| Tableau IV.3 – Liste des essais pressiométriques réalisés dans le secteur en étude .....   | 31 |
| Tableau IV .4 – Valeurs des coefficients rhéologiques $\alpha$ (Briaud, 1992) .....  | 33 |
| Tableau IV.5 – Valeurs des modules élastiques des terrains obtenus à partir des essais pressiométriques.....   | 35 |
| Tableau VI.6 – Statistique des valeurs des paramètres géotechniques ( $P_1$ , $E_m$ , $E$ ) obtenues à partir des essais pressiométriques .....                    | 36 |
| Tableau IV.7 – Valeurs des essais de perméabilité Lefranc réalisés .....   | 38 |
| Tableau IV.8 – Valeurs des essais de perméabilité Lugeon réalisés .....  | 38 |
| Tableau 3.9 – Résumé des essais de laboratoire réalisés .....  | 39 |
| Tableau IV.10 – Analyse statistiques des résultats des essais de laboratoire.....  | 40 |
| Tableau IV.11 – Valeurs des essais de cisaillement rectiligne CD.....  | 40 |
| Tableau V.1 – Unités géotechniques reconnues dans le secteur du viaduc V19.2.....  | 42 |
| Tableau V.2 –Critères de pondération pour les valeurs de résistance a compression de la roche intact ( $\sigma_{ci}$ ), en fonction de la typologie du Flysch..... | 45 |
| Tableau V.3 – Variabilité des paramètres utilisés dans la caractérisation géotechnique avec le critère de rupture de Hoek & Brown.....                             | 45 |
| Tableau V.4 – Synthèse des principaux paramètres géotechniques retenues pour les unités géotechniques identifié dans le secteur du viaduc .....                    | 46 |
| Tableau V.5 –Paramètres géotechniques des unités géotechniques rocheuses.....  | 46 |
| Tableau V.1 – Coefficient d'accélération de zone A (RPOA 2008, §3.1.2).....  | 48 |
| Tableau VI.2 – Caractéristiques géotechniques des sites (RPOA 2008, §3.1.3.1) .....  | 49 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure .I.1. Relation entre N et l'angle de frottement interne $\phi$ des sables .....   | 15 |
| Figure .II 2. Schéma du pressiomètre .....   | 16 |
| Figure. II.1. Situation de l'ouvrage.....  | 22 |
| Figure. II.2. Tracé en plan.....   | 23 |
| Figure. II.3. Profil en long du viaduc.....  | 23 |
| Figure. II.4. Coupe transversale du viaduc.....  | 24 |
| Figure III.1. Morphologie caractéristique du secteur du viaduc .....   | 27 |
| Figure IV.1 – Résultats des essais pressiométriques réalisées dans les Unités Géotechniques Ug1, Ug2 .....   | 32 |
| Figure VI.2 – Résultats des essais pressiométriques réalisées dans les Unités Géotechniques Ug4, Ug4a et Ug4b .....  | 32 |
| Figure IV.3 – Résultats des essais SPT réalisées dans les dépôts alluvionnaires (Ug1, Ug2 et Ug2a) et le flysch de l'Oligocène (Ug4, Ug4a et Ug4b) .....                     | 37 |
| Figure V.1 – Classification des amas rocheux hétérogènes tels que Flysch proposé par Marinos (2011). En évidence, la variabilité du GSI pour les unités Ug4, Ug4a, Ug4b..... | 44 |
| Figure V.1 – Carte de zonage sismique du territoire national .....   | 48 |



# **Introduction Générale**

## Introduction générale

Tout constructeur doit dans son propre intérêt, prendre en compte la nature du sous-sol pour adapter son projet, en conséquence, définir le système de fondation de l'ouvrage avec le meilleur rapport sécurité/ coût, en plus de l'obligation de faire réaliser une étude géotechnique.

### Description de l'ouvrage :

Le Viaduc V19.2 se localise entre le PK 19+174 et le PK 19+ 680 ; il s'agit d'un VIADUC COURANT caractérisé par un tablier de 46m, 7 tabliers de 60m et un tablier de 40m, pour une longueur totale de 506m et 8 piles ayant hauteur de 8.0 à 40.8 m avec fondations directes.

Les culées présentent hauteurs de 7.4 à 7.9 m (semelles exclues) reposantes sur fondations sur 8 pieux.

### Objectifs :

Le présent mémoire envisage les aspects suivants :

✓ Caractérisation géologique et géotechnique des terrains de fondation à partir des données stratigraphiques (logs des sondages) et des résultats des reconnaissances géotechniques (essais in-situ et en laboratoire) réalisées dans différentes phases d'étude (Avant-Projet Détaillé -APD et Etude d'exécution - EXE)

✓ Définition du Modèle Géologique et Géotechnique de Référence pour l'ouvrage en projet ;

### Normes et documents de référence :

Pour la caractérisation et les vérifications géotechniques, les normes de référence adoptées sont les suivantes :

➤ Fascicule N° 62 - Titre V « Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil ».

➤ Règles Parasismiques Applicable s Au Domaine Des Ouvrages D'art RPOA 2008 et RPA 99 version 2003.

# Chapitre I

# **Généralités**

## I.1. Introduction :

Le géotechnicien doit avoir une approche naturaliste et technique des problèmes pour mener à bien sa mission, il doit définir un programme de reconnaissance qui devra être complète et adaptée à la fois au site et à l'ouvrage pour permettre de définir les points suivants :

- La géologie locale détaillée
- Les caractéristiques physiques et mécaniques des sols
- Le régime hydrogéologique

et ne pas se limiter à l'emprise du projet, mais être étendue à son voisinage appelé « le site géotechnique » ou encore le périmètre géotechnique de protection et de se livrer à une enquête portant , notamment, sur :

- La visite du site avec examen des ouvrages voisins
- L'étude des cartes topographiques, géologiques et des photos aériennes
- La consultation des documents relatifs aux risques naturels (cartes de carrières, cartes sismiques...)
- L'utilisation des banques de données.

Avant de s'engager dans un projet, il est souhaitable que ces premières phases d'étude fassent l'objet d'une mission spécifique confiée à des géotechniciens.

## I.2. Différentes phases de l'étude géotechniques

Le volume de la reconnaissance va dépendre de cette enquête préliminaire, de la nature de l'ouvrage et de l'état d'avancement du projet.

## I.3. Programme de l'étude géotechnique

### I.3.1. Nature des investigations

Parmi les essais, l'essai pressiométrique domine car il peut être mis en œuvre dans tous les types de sols et fournit des informations fiables tant sur la résistance à la rupture que sur la déformabilité, cependant, dans certain cas d'autres essais moins universels peuvent être utilisés : pénétromètre statique, scissomètre, essais de laboratoire, etc...

### I.3.2. Densité des sondages et essais

Il n'existe pas de règle simple quant à l'espacement à adopter entre les sondages, celui-ci est dicté par l'hétérogénéité du site et par le projet lui-même.

Pour une meilleure précision, les essais doivent être faits en nombre suffisant afin d'obtenir une valeur statistique représentative de chaque couche « homogène », en particulier, lorsque des essais de laboratoire sont prévus, chaque couche prélevable doit faire l'objet d'un ou plusieurs prélèvements d'échantillons non remaniés selon son épaisseur.

La pose de piézomètres, en nombre suffisant, à l'intérieur des trous de sondage est un point à ne pas négliger.

### **I.3.3. Profondeur D'investigation**

Il est toujours difficile d'estimer la profondeur optimale des sondages puisqu'elle est fonction de la qualité des terrains et du mode de fondation, éléments non encore connus lors de la reconnaissance.

Les règles suivantes peuvent être retenues :

- pour des fondations superficielles : la profondeur à prévoir est de cinq fois la largeur présumée des semelles
- pour des fondations profondes : la profondeur doit atteindre cinq mètres sous la base présumée des pieux (ou sept fois leur diamètre).

## **I.4. Sondage et forages**

Les 2 termes de sondage et forage, souvent confondus, néanmoins le 1<sup>er</sup> terme englobe l'investigation, ainsi que l'ensemble des informations recueillies. Le second désigne l'exécution du trou ou la technique utilisée.

Le but est de réaliser une coupe lithologique, prélever des échantillons de sol, permettre la réalisation d'essais in situ. On note différents sondages, tels que : - sondages par puits et tranchées (échantillons non remaniés), fouilles et galeries (tunnels et barrages) - sondages carottés (échantillon continu d'un sol, par poinçonnement ou par rotation) – Sondages semi destructifs (quand la nature du sol prélevé est identifiable sans équivoque) – Sondages destructifs (foration plus rapide pour le remonter vers la surface) – Diagraphies (enregistrement des paramètres en fonction de la profondeur).

## **I.5. Essais mécaniques**

### **Essais par battage**

Compte tenu de leur relative simplicité, ces essais sont d'un usage courant. Le développement des essais de pénétration dynamique est notamment dû à la similitude avec le battage des pieux ou des palplanches.

Les essais de battage sont utilisés au stade de l'étude préliminaire et qui permettent de resserrer le maillage de la reconnaissance à moindre coût. Il convient de distinguer :

- l'essai de pénétration au carottier ou « Standard Pénétration Test » (S.P.T)
- l'essai de pénétration dynamique type A
- le sondage au pénétromètre dynamique type B

- **Essai de pénétration au carottier**

**Principe et résultats :**

L'essai de pénétration au carottier (de norme NF P 94-116) s'agit de l'essai le plus ancien et le plus pratiqué dans le monde bien que rudimentaire. C'est un moyen d'investigation simple et rapide ; son domaine d'application est limité aux sols fins et aux sols grenus dont les grains n'excèdent pas 20 mm.

Cet essai consiste à battre dans le sol, au fond d'un forage, un carottier de caractéristiques et de dimensions définies.

Après avoir réalisé le forage maintenu par une boue ou par un tubage, le carottier y est descendu puis battu en 3 étapes. Le nombre de coups de mouton  $N_i$  nécessaires à chaque enfoncement de 15 cm est relevé, soit :

$N_0$  : enfoncement d'amorçage de 0 à 15 cm

$N_1$  : premier enfoncement d'essai de 15 à 30cm

$N_2$  : deuxième enfoncement d'essai de 30 à 45 cm

**Tableau I.1. Paramètres du carottier**

| Carottier          |               |
|--------------------|---------------|
| Longueur utile     | $\geq 450$ mm |
| Diamètre intérieur | 35 mm         |
| Diamètre extérieur | 51 mm         |
| Masse du mouton    | 64 kg         |
| Hauteur de chute   | 75 cm         |

Le nombre  $N = N_1 + N_2$  est appelé résistance à la pénétration. Lorsqu'un nombre de coups supérieur à 50 ne permet pas d'obtenir un enfoncement de 15 cm, l'essai est arrêté et l'enfoncement correspondant noté. En fin de battage, la carotte est récupérée afin d'apprécier la nature du sol testé.

A partir de milliers d'essai réalisés, des corrélations ont été établies entre  $N$  et les caractéristiques suivantes :

- La compacité des sables et leur angle de frottement
- La résistance des sols à la compression simple
- La capacité portante des fondations

- Le risque de liquéfaction des sables

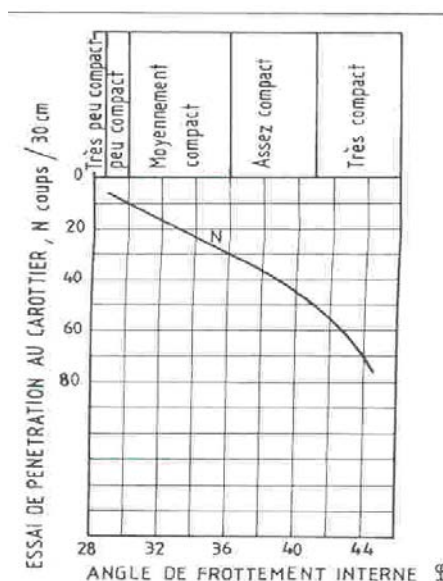


Figure I.1. Relation entre N et l'angle de frottement interne  $\phi$  des sables

La figure ci-dessus présente une corrélation entre le nombre N et l'angle de frottement interne des sables. L'essai de pénétration au carottier est un essai simple fournissant des caractéristiques de rupture. Il doit être utilisé avec prudence pour les sols cohérents.

### ➤ Essai au pressiometre MENARD

#### Présentation :

Depuis sa mise au point par Louis Menard en 1955, l'essai pressiométrique (de norme NF P 94-110) est l'outil de base le plus utilisé en France pour le dimensionnement des fondations

Son succès est dû essentiellement à :

- Relative simplicité d'exécution, rapidité des mesures et des dépouillements, coût
- Essai praticable dans tous les types de sols et de roches
- Seul essai in situ fournissant à la fois un critère de rupture et un critère de déformabilité du sol

#### Principe :

L'essai consiste à descendre, à une profondeur donnée, une sonde cylindrique gonflable dans un forage calibré. Les variations de volume du sol au contact de la sonde sont mesurées en fonction de la pression radiale appliquée, on déduit :

- le module pressiométrique  $E_M$  qui définit le comportement pseudo élastique du sol.
- la pression limite  $p_l$  qui caractérise la résistance de rupture du sol
- la pression de fluage  $p_f$  qui définit la limite entre le comportement pseudo élastique et l'état plastique.

### Appareillage :

La sonde comportant 3 cellules, est descendue dans un forage. Seule la cellule centrale sert à la mesure, les deux cellules de garde ont pour seul but de créer un champ de contrainte bidimensionnel sur la hauteur de la cellule de mesure qui est remplie d'eau.

Le contrôleur pression-volume comporte trois manomètres (capteurs), le premier indique la pression à la sortie de la réserve de gaz, le deuxième indique la pression dans la tubulure reliée à la sonde de mesure et le dernier indique la pression dans la tubulure reliée aux cellules de garde. La variation de volume de la cellule centrale est directement lue sur la règle graduée.

### Réalisation de l'essai – Courbe :

La sonde étant descendue dans le forage à une profondeur  $H$ , l'essai consiste à appliquer au sol une pression radiale croissante par paliers successifs. L'incrément de pression entre deux paliers est adapté à la résistance supposée du sol.

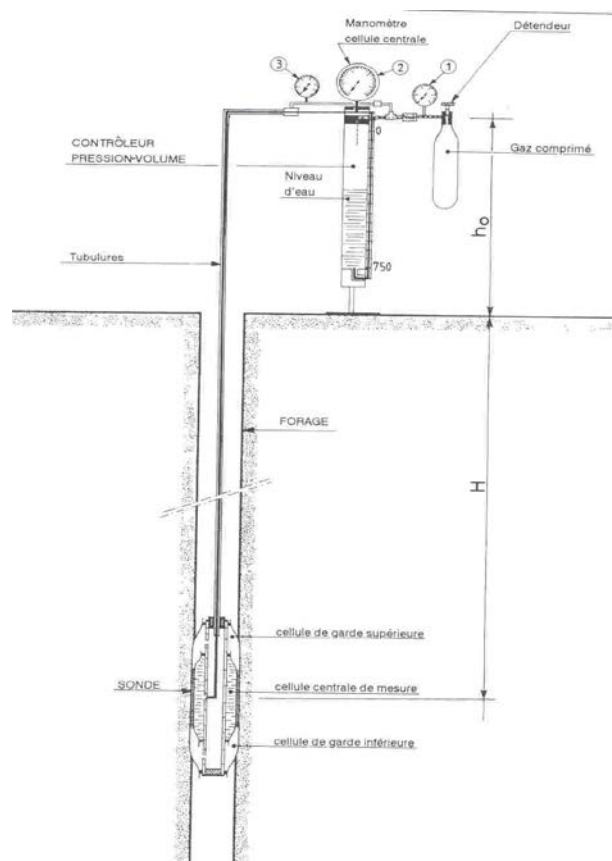


Figure .II 2. Schéma du pressiomètre

La pression dans les cellules de garde est toujours voisine de celle régnant dans la cellule centrale. A chaque palier de chargement, les variations de volume au bout de 15, 30 et 60 secondes sont mesurées avant de passer au palier suivant.

La courbe brute est obtenue en reportant les mesures à 60 secondes en fonction de la pression.



La courbe de fluage traduit les variations de volume mesurées entre 30 et 60 secondes pour chaque palier de pression. Cette courbe permet de définir la pression de fluage.

La courbe corrigée donnant  $V$  en fonction de  $p$  délimite 3 domaines.

- Le 1<sup>er</sup> correspond à la mise en contact de la sonde sur la paroi du forage
- Le 2<sup>ème</sup> correspond au domaine pseudo-élastique. Dans ce domaine, la relation volume – pression est linéaire. Elle peut être représentée par le module pressiométrique Ménard  $E_m$ , défini par la formule :

$$E_m = K. \Delta p / \Delta V$$

$K$  : coefficient qui dépend du type de sonde utilisée et de la valeur du volume moyen ( $V_m$ ) de la plage pseudo-élastique

- Le dernier est le domaine plastique qui s'étend de  $p_f$  à  $p_l$
- La pression limite est définie comme étant la pression nécessaire pour doubler le volume de la cavité

Tableau.I.2. Catégories conventionnelles des sols

| Nature du sol             |   |                             | Pressiomètre<br>$P_1$ (Mpa) | Pénétromètre<br>$q_c$ (Mpa) |
|---------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Argile, limons            | A | Argiles et limons moux      | < 0.7                       | < 3.0                       |
|                           | B | Argiles et limons fermes    | 1.2 - 2                     | 3.0 à 6.0                   |
|                           | C | Argiles très fermes à dures | > 2.5                       | > 6.0                       |
| Sables, graves            | A | Lâches                      | < 0.5                       | < 5.0                       |
|                           | B | Moy. Compactés              | 1.0 - 2.0                   | 8.0 à 15                    |
|                           | C | Compacts                    | > 2.5                       | > 20.0                      |
| Craie                     | A | Molles                      | < 0.7                       | < 5.0                       |
|                           | B | Altérées                    | 1.0 - 2.5                   | > 5.0                       |
|                           | C | Compacte                    | > 3.0                       | ---                         |
| Marnes<br>Marno-calcaires | A | Tendres                     | 1.5 - 4.0                   | ---                         |
|                           | B | Compacte                    | > 4.5                       | ---                         |
| Roches                    | A | Altérées                    | 2.5 - 4.0                   | ---                         |
|                           | B | Fragmentées                 | > 4.5                       | ---                         |

## I.6. Corrélations entre essais

Il est toujours utile de pouvoir faire des recoupements entre les résultats obtenus par différents moyens d'investigation, ne serait-ce que pour en vérifier la bonne exécution. Les tableaux suivants présentent des corrélations simples entre essais in situ.

Tableau.I.4. Corrélation entre pressiomètre et nombre N du SPT

| Nature du sol | $P_1$ (MPa) | E (MPa)      |
|---------------|-------------|--------------|
| Limon         | N/30 à 35   | N/ 2.5 à 3.0 |
| Sable         | N/ 15 à 25  | N/ 1.5 à 3.0 |
| Argile        | N/ 15 à 30  | N/ 1.0 à 2.5 |
| Marne         | N/ 20 à 25  | N/ 1.5 à 2.5 |
| Craie         | N/ 05 à 25  | N/ 0.7 à 1.0 |

Tableau.I.5. Rapport entre  $q_d$  et  $q_c$ ,  $p_1$ ,  $E_M$  Selon Waschkowski

| Nature du sol  | $q_d/q_c$ | $q_d/p_1$ | $q_d/E_M$ |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Argiles, limons et vases NC, sables lâches ou moy. Denses            | $\cong 1$ | 1.4 à 2.5 | 0.1 à 0.3 |
| Argiles et limons O.C  | 1 à 2     | 3 à 5     | 0.2 à 0.4 |
| Sables et graviers, sables limoneux ou argileux denses à très denses | 0.5 à 1   | 5 à 10    | 0.4 à 1.5 |

## I.7. Essais de laboratoire

Il s'agit des essais effectués au laboratoire sur des échantillons remaniés ou intacts convenablement conservés. Généralement ces essais sont classés en trois groupes :

### I.7.1. Essais d'identifications

-Mesure des paramètres physiques (densités, poids volumique, teneur en eau, degrés de saturation, etc )

-Analyse granulométrique

-Limite d'Atterberg

-Equivalent de Sable

### I.7.2. Essais mécaniques

Le but de ces essais est la détermination :

- Caractéristiques de cisaillement : la cohésion et l'angle de frottement

- Caractéristiques de compressibilités et de gonflement : la pression de pré-consolidation, les coefficients de compressibilité et de gonflement.

Les essais qui déterminent ces paramètres sont :

#### ➤ Essais de cisaillements :

##### a. Essai triaxial

La résistance au cisaillement d'un sol est définie comme la contrainte de cisaillement  $\tau$  s'exerçant le long de la surface de rupture, au moment de la rupture. Elle s'exprime en fonction des

paramètres  $C$  (cohésion) et  $\varphi$  (angle de frottement) de la contrainte normale  $\sigma$  à la surface de rupture :

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi$$

L'essai consiste à faire croître le déviateur jusqu'à rupture de l'éprouvette, la pression hydrostatique étant maintenue constante. L'application du déviateur se fait à vitesse de déformation sensiblement constante. On relève au cours de l'essai la courbe déviateur-déformation. On en déduit ainsi la contrainte principale  $\sigma_{BB_1 BB}$  s'exerçant sur l'éprouvette au moment de la rupture.

### b. Essai de cisaillement direct

La résistance au cisaillement d'un sol est définie comme étant la contrainte de cisaillement dans le plan de la rupture au moment de celle-ci.

En effet, lorsqu'un système de forces est appliqué à un volume déterminé d'un sol, il se développe des contraintes de cisaillement. Ces contraintes entraînent des déformations du sol qui peuvent être importantes le long de certaines surfaces appelées surfaces de glissement ou de rupture.

Le but de l'essai de cisaillement est de déterminer les valeurs de la cohésion  $C$  et de l'angle de frottement  $\varphi$ .

L'essai consiste à appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort normal  $N$  maintenu constant, puis, après consolidation sous ce même effort, on produit un cisaillement de l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi boîtes en tirant la demi boîte inférieure, imposant ainsi un déplacement relatif et à vitesse constante.

### c. Essai œdométrique

C'est un essai permettant d'évaluer l'amplitude des tassements des ouvrages ainsi que leur évolution dans le temps

L'essai est réalisé sur une éprouvette de matériau placée dans une enceinte cylindrique rigide, l'œdomètre, où il subira par un dispositif un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai.

La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

A partir des courbes de compressibilité, on peut définir certaines caractéristiques très importantes à l'étude des sols

- Contrainte de préconsolidation  $\sigma'_{BB_p}$ ;
- Indice de gonflement  $C_s$
- Indice de compression  $C_c$

## I.8. Conclusion

La méthodologie de la reconnaissance est généralement une démarche personnelle du géotechnicien qui avec la concertation du maître d'ouvrage et le maître de l'ouvrage définissent les objectifs du projet ainsi que le périmètre de l'étude et élabore le programme d'investigation et estime le budget et les délais d'exécution de l'étude de sol.

Quand les budgets alloués aux études de sol sont insuffisants et les sols pose des problèmes complexes, l'étude de sol peut être menée par étapes, qui permettent au maître d'œuvre un avancement progressif des études de fondations.

L'objectif de l'étude de sol est l'exploration du sol support du projet est de collecter l'information nécessaire qui va guider les ingénieurs pour l'évaluation, l'estimation et la détermination des différents paramètres du sol qui recevra la construction.

L'étude de sol synthétise en général les informations suivantes :

- Description des couches du sol t (nature, couleur, paramètres physiques et chimiques, etc.)
- Etablissement de profil géologique et géotechnique.
- Profondeur d'ancrage des fondations
- Evaluation de la capacité portante
- Estimation du tassement à court et à long terme.
- Indications des conditions hydrogéologiques du site (niveau de la nappe, écoulements des eaux avoisinants, zone inondable)

Dans certains cas l'étude de sol recommande au maître d'ouvrage des solutions spécifiques pour pallier aux problèmes posés par certains conditions de sols telles que :

- La stabilisation des sols en pente (glissement)
- Le traitement des sols gonflants ou compressibles
- Les sols avec des cavités (ex de la sabkha)
- Les sols liquéfiables

Tous ces résultats de synthèse dépendent de la bonne interprétation des résultats d'essais .

Chapitre II  
**Le Viaduc**  
**V19.2**

## II.1. Introduction :

L'étude du viaduc V19.2 a fait sujette de mon projet de fin d'étude, dans ce chapitre il y a lieu de présenter cet ouvrage.

## II.2. Présentation du projet :

Notre projet est le viaduc V19.2, cet ouvrage inscrit dans le projet de réalisation de la liaison autoroutière reliant le port de Djen-Djen à l'autoroute Est-Ouest au niveau d'El Eulma, il est caractérisé par une longueur totale de 506 m.

## II.3. Situation de l'ouvrage :

Le viaduc V19.2 se localise entre le pk 19+174 et le pk 19+680; il s'agit d'un viaduc courant situé dans la commune de Kaous, wilaya de Jijel.

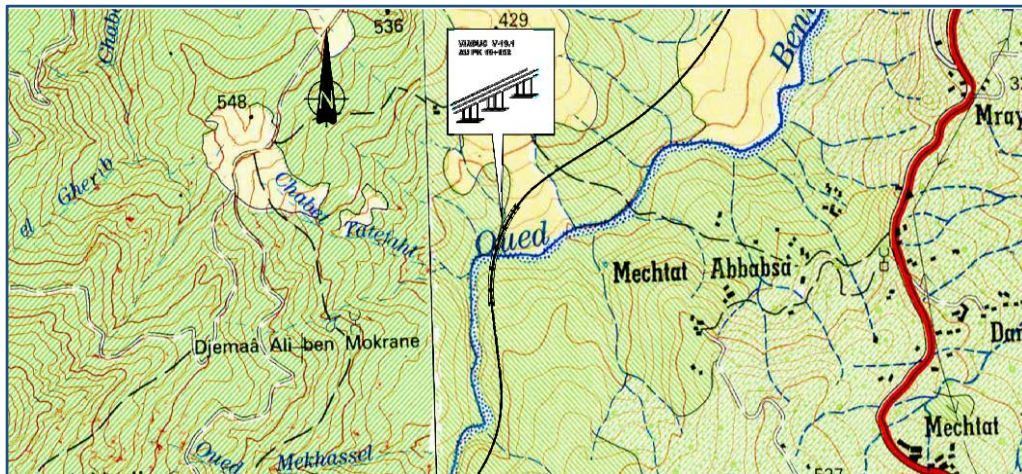


Figure. II.1. Situation de l'ouvrage

## II.4. Données fonctionnelles :

L'allure générale de l'ouvrage est définie par ses données fonctionnelles relatives à la portée : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

### ➤ Tracé en plan :

Le tracé en plan est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, dessinée sur un plan de situation et repérée par les coordonnées de ces points caractéristiques.

La structure géométrique de l'ouvrage en question est légèrement courbée de longueur de 506m avec un rayon de courbure  $R=650$  m. Il est constitué d'un viaduc Est et un viaduc Ouest.



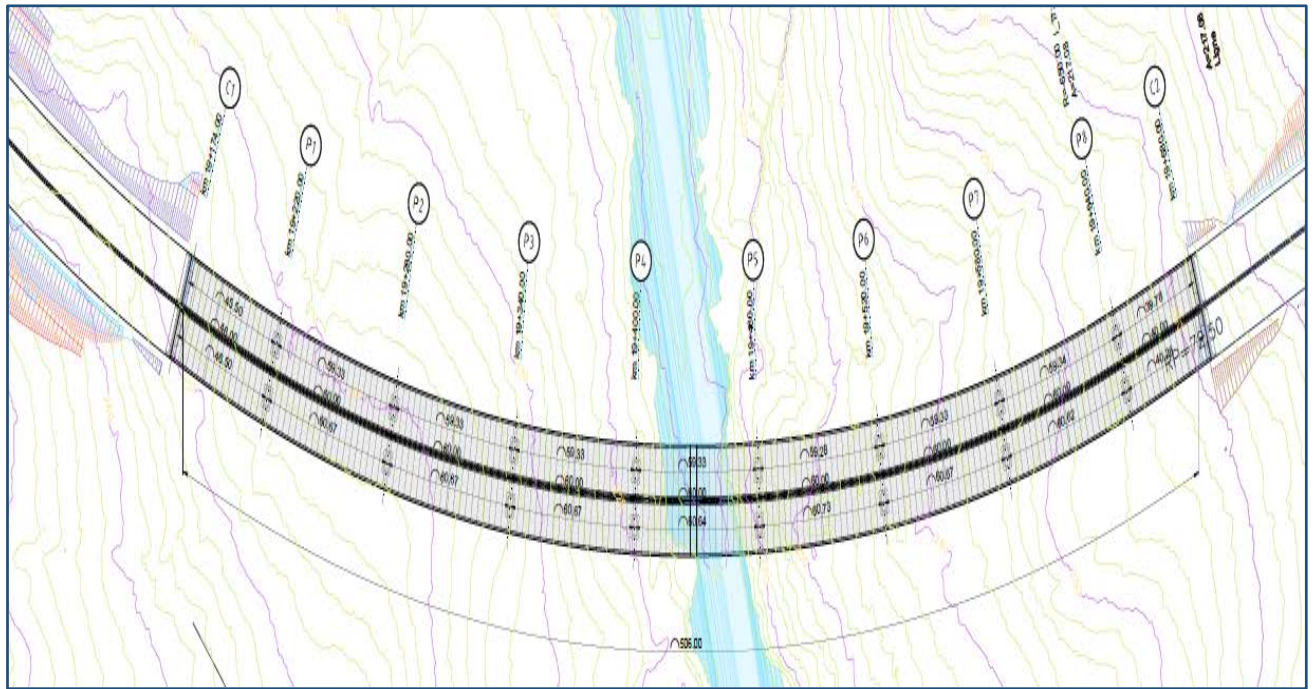


Figure. II.2. Tracé en plan.

### ➤ Profil en long :

L'ouvrage présente une longueur totale de 506 m, il est composé de 9 travées, deux travées de rive de 46 et 40 m de longueur et 7 travées intermédiaires de 60m. Le tablier repose sur 8 piles de hauteur variable et de 2 culées en béton armé.

Le profil en long de l'axe de roulement présente une pente longitudinale de  $I = 10\%$ .

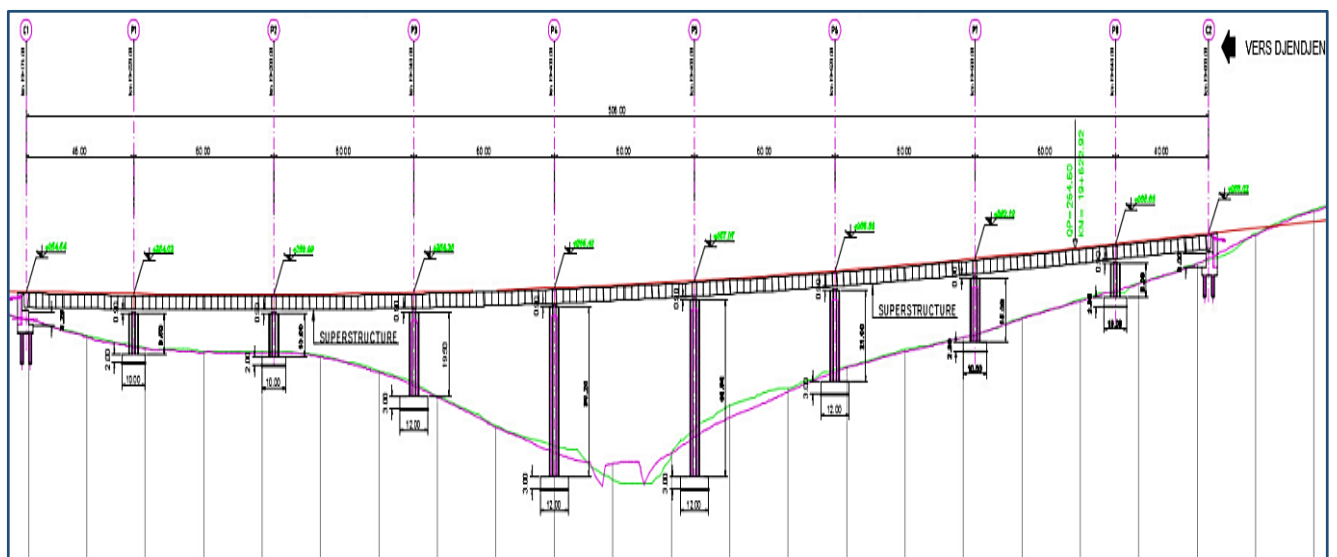


Figure. II.3. Profil en long du viaduc.

### ➤ Profil en travers :

Le profil en travers est l'ensemble des éléments qui définissent la géométrie et les équipements dans le sens transversal.

La largeur totale de l'ouvrage est de 27,5 m, il est constitué de deux chaussées indépendantes (Chaussée Est et Chaussée Ouest) comportant des dispositifs de retenue. Le tablier présente un devers de 2,5%.

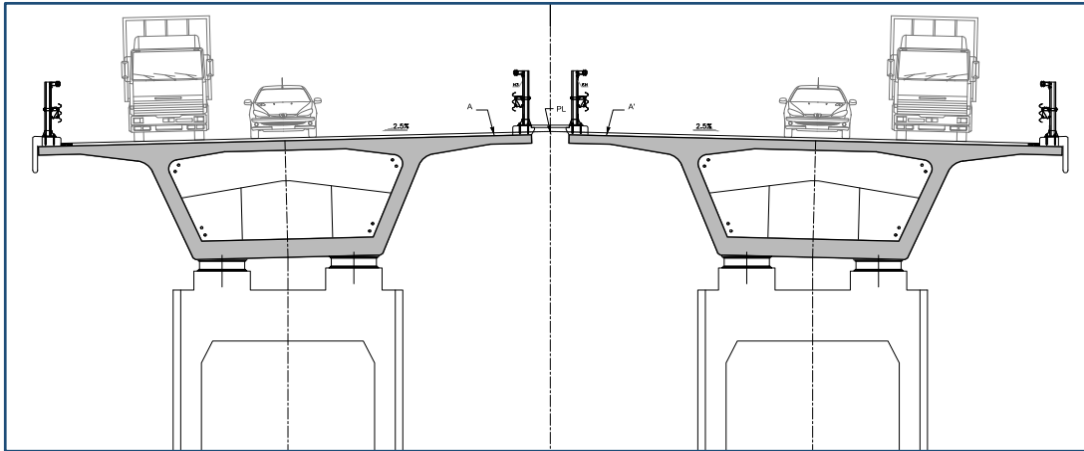


Figure. II.4. Coupe transversale du viaduc.

### II.9. Conclusion :

Cette description sommaire est en partie basée sur les plans architecturaux donnés par l'entreprise RIZZANI.



## Chapitre III

# **Encadrement géologique**



### III.1. Formations géologiques

Le viaduc V19.2, se développe entre PK 19+174 et PK 19+680, surmonte l'Oued Mencha.

Depoint de vue géologique, ce secteur se caractérise par la présence de dépôts récents du Quaternaire (dépôts alluvionnaires), au-dessus du substrat rocheux de l'Oligocène.

En détail, on retrouve les suivantes formations géologiques :

Tableau III.1 – Formations géologiques présentes dans le site du viaduc

| <i>Dépôts quaternaires</i>   |  |
|--|--|
| <p><b>Alluvions actuelles et récentes</b> de l'Oued Mencha (<b>aa-ar</b>): généralement caractérisés par sédiments fins, argilo-limoneux ou sablo-limoneux, avec niveaux plus grossiers (blocs et galets arrondis enrobés dans une matrice graveleuse et sableuse), très abondants en particulier dans les oueds principaux.</p> |   |
| <i>Substrat rocheux – Oligocène</i>  |  |
| <p><b>Grès numidienne (o)</b>, qui se caractérise principalement par des grès avec des intercalations de niveaux argileux et marneux feuilletés grises. Les grès peut être quartzeux, jusqu'à microconglomérat. Dans la formation peuvent être trouvés aussi conglomérats de base et calcaires fossilifères.</p>                 |  |

### III.2. Géomorphologie du secteur en étude

Le secteur du viaduc en étude se localise dans le bassin El Kabir, qui présente un réseau hydrographique sub-dendritique, avec la rive gauche caractérisée par des cours d'eau bien développés et de grande longueur. Les affluents de la rive droite sont généralement moins étendus et ils montrent une géométrie rectiligne.

Le cours d'eau principal présente une géométrie courbée, avec quelque coude bien prononcé, probablement pour effet de la tectonique qui affecte la chaîne montagneuse.

Le viaduc en objet est situé dans un secteur caractérisé par une morphologie collinaire, avec versants plus inclinés vers l'haute de la vallée, en proximité du viaduc.



Figure III.1. Morphologie caractéristique du secteur du viaduc

## Chapitre IV

# **Compagne de reconnaissance géologique et géotechnique**

### IV.1. Introduction :

Pour la définition du *Modèle Géologique et Géotechnique de Référence* (MGGR) du secteur en étude, les résultats des reconnaissances disponibles ont été pris en compte, notamment les reconnaissances et essais réalisées en proximité du viaduc.

Dans ce chapitre, les résultats des reconnaissances géotechniques sont résumés, en forme de graphs et tableaux, en indiquant la typologie et la profondeur d'exécution des essais, avec l'unité géotechnique (Ug) de référence.

Pour les unités géotechniques j'ai fait référence aux codes (Ug) qui sont décrites dans le détail dans le chapitre suivant.

Dans le secteur du viaduc V-19.2 les reconnaissances suivantes ont été réalisées :

➤ campagne des reconnaissances géotechniques complémentaires (Projet d'Exécution), comprenant :

- 6 forages carottés jusqu'à la profondeur maximale de 25.5 m;
- 10 forages pressiométriques, de profondeur maximale de 25 m.

Les données disponibles, résultant des sondages de la campagne de reconnaissance, m'a permis de construire un modèle géotechnique le long du viaduc, qui est représenté dans le profil géotechnique en annexe I.

### IV.2. Sondages

Dans le secteur étudié, 6 sondages carottés et 10 sondages pressiométriques ont été réalisés (6 couplés aux sondages carottés et 4 au niveau des piles P1, P4, P6, P7) pour l'étude d'exécution (EXE). Le tableau suivant synthétise leur localisation, profondeur et les types d'essais exécutés.

Tableau IV.1. Sondages carottés et pressiométriques réalisés dans le secteur en étude

| Sondages<br>Code | PK     | Hors d'axe | Coordonnées (système local) |            |         | Profondeur<br>[m] | type                       | Piézomètre | Essais <i>en situ</i>  |
|------------------|--------|------------|-----------------------------|------------|---------|-------------------|----------------------------|------------|--|
|                  |        | [m]        | X                           | Y          | Z       |                   |                            | [m]        |  |
| S-OA05-1         | 19+170 | 2 NO       | 50465.76                    | 178698.05  | 248.68  | 20                | Carotté et pressiométrique | 20         | 10 essais pressiométriques<br>3 SPT<br>3 échantillons<br>3 Lefranc |
| S-OA05-P1        | 19+220 | 4 NO       | 50436.47                    | 178657.48  | 238.94  | 25                | Pressiométrique            | -          | 10 essais pressiométriques   |
| S-OA05-2         | 19+277 | 2 E        | 50410.74                    | 178605.42  | 240.26  | 25                | Carotté et pressiométrique | 25         | 12 essais pressiométriques 8 SPT<br>8 échantillons<br>5 Lefranc    |
| S-OA05-3         | 19+366 | 2 E        | 50372.88                    | 178524.44  | 225.61  | 25.5              | Carotté et pressiométrique | 25.5       | 12 essais pressiométriques 1 SPT<br>11 échantillons<br>2 Lefranc   |
| S-OA05-P4        | 19+405 | 5 E        | 50362.832                   | 178487.014 | 215.836 | 25                | Pressiométrique            |            | 10 essais pressiométriques   |

|           |        |      |           |            |         |    |                               |    |   |
|-----------|--------|------|-----------|------------|---------|----|-------------------------------|----|---|
| S-OA05-4  | 19+475 | 8 O  | 50332.18  | 178423.05  | 228.00  | 25 | arotté et pressiométrique     | -  | 12 essais<br>pressiométriques 2<br>SPT<br>11 échantillons<br>2 Lefranc            |
| S-OA05-P6 | 19+534 | 15 O | 50315.586 | 178365.195 | 236.597 | 25 | Pressiométrique               |    | 10 essais<br>pressiométriques   |
| S-OA05-P7 | 19+586 |      | 50326.622 | 178311.901 | 244.208 | 25 | Pressiométrique               |    | 10 essais<br>pressiométriques   |
| S-OA05-5  | 19+615 | -    | 50328.59  | 178282.18  | 250.07  | 25 | arotté et pressiométrique     | 25 | 10 essais<br>pressiométriques 8<br>SPT<br>9 échantillons<br>3 Lefranc<br>2 Lugeon |
| S-OA05-6  | 19+665 | 6 O  | 50323.01  | 178231.71  | 258.28  | 20 | Carotté et<br>pressiométrique | 20 | 10 essais<br>pressiométriques 1<br>SPT<br>7 échantillons                          |

### IV.3. Mesures piézométriques

Dans les 6 sondages de phase EXE, 5 piézomètres ont été installés avec le but d'identifier la profondeur de la nappe phréatique ; le niveau piézométrique a été rencontré à une profondeur variable entre 3.35m et 11.30m de la côte du terrain naturel.

Dans le tableau suivant sont résumées les mesures effectuées dans les sondages avec la date du levé.

Tableau IV.2 – Piézomètres installés le long du viaduc V-19.2 et lectures du niveau d'eau

| Sondage    | PK     | Profondeur sondage | Piézomètre | Date de mesure | Profondeur de la nappe | Niveau piézométrique | Cote forage |
|------------|--------|--------------------|------------|----------------|------------------------|----------------------|-------------|
| code       | [m]    | [m]                | [m]        |                | m                      | [m.s.n.m]            | [m.s.n.m]   |
| S-OA05-1   | 19+170 | 20                 | 20         | 13/10/2014     | 9.20                   | 239.48               | 249         |
|            |        |                    |            | 14/10/2014     | 6.00                   | 242.68               | 249         |
|            |        |                    |            | 15/10/2014     | 6.70                   | 241.98               | 249         |
|            |        |                    |            | 16/10/2014     | 6.67                   | 242.01               | 249         |
|            |        |                    |            | 19/10/2014     | 6.77                   | 241.91               | 249         |
|            |        |                    |            | 20/10/2014     | 7.84                   | 240.84               | 249         |
|            |        |                    |            | 21/10/2014     | 7.90                   | 240.78               | 249         |
|            |        |                    |            | 27/10/2014     | 7.02                   | 241.66               | 249         |
|            |        |                    |            | 28/10/2014     | 7.05                   | 241.63               | 249         |
| 29/10/2014 | 7.06   | 241.62             | 249        |                |                        |                      |             |
| S-OA05-2   | 19+277 | 25                 | 25         | 15/03/2015     | 12.16                  | 228.10               | 240         |
|            |        |                    |            | 16/03/2015     | 12.6                   | 227.66               | 240         |
|            |        |                    |            | 23/03/2015     | 11.30                  | 228.96               | 240         |
|            |        |                    |            | 21/06/2015     | 11.45                  | 228.81               | 240         |
| S-OA05-3   | 19+366 | 25.5               | 25         | 15/10/2014     | 7.3                    | 218.31               | 226         |
|            |        |                    |            | 16/10/2014     | 7.6                    | 218.01               | 226         |
|            |        |                    |            | 19/10/2014     | 7.52                   | 218.09               | 226         |
|            |        |                    |            | 20/10/2014     | 7.7                    | 217.91               | 226         |
|            |        |                    |            | 21/10/2014     | 7.80                   | 217.81               | 226         |
|            |        |                    |            | 27/10/2014     | 7.87                   | 217.74               | 226         |
|            |        |                    |            | 28/10/2014     | 7.88                   | 217.73               | 226         |
| 29/10/2014 | 7.89   | 217.72             | 226        |                |                        |                      |             |

|          |        |    |    |            |      |        |     |
|----------|--------|----|----|------------|------|--------|-----|
| S-OA05-5 | 19+615 | 25 | 25 | 21/03/2015 | 3.4  | 246.67 | 250 |
|          |        |    |    | 22/03/2015 | 3.37 | 246.70 | 250 |
|          |        |    |    | 23/03/2015 | 3.35 | 246.72 | 250 |
|          |        |    |    | 21/06/2015 | 4.1  | 245.97 | 250 |
| S-OA05-6 | 19+665 | 20 | 20 | 27/10/2014 | 4.88 | 253.40 | 258 |
|          |        |    |    | 28/10/2014 | 4.88 | 253.40 | 258 |
|          |        |    |    | 29/10/2014 | 4.88 | 253.40 | 258 |

Selon un approche sécuritaire, les niveaux d'eau les plus défavorables (niveaux piézométriques les plus hautes mesurés dans les forages) ont été considérés dans la reconstruction du modèle géologique de référence pour le viaduc en étude (valeurs indiquées dans le tableau avec la couleur bleu).

#### IV.4. Essais in-situ

##### a. Essais pressiométriques

Dans le secteur en étude 10 sondages pressiométriques ont été exécutés (Tableau 3.3). Les essais pressiométriques ont été réalisés, en forme systématique, dans perforations de petit diamètre.

Trois caractéristiques du sol sont notamment déduites :

- le module pressiométrique  $E_M$  qui définit le comportement pseudo-élastique du sol ;
- la pression limite  $P_{LM}$  (indiqué dans certains auteurs avec  $P_{LM}^*$ ,  $p_L$  ou  $p_l$ ) qui caractérise la résistance de rupture du sol ;
- la pression de fluage  $P_F$  qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique.

Tableau IV.3 – Liste des essais pressiométriques réalisés dans le secteur en étude

| PHASE EXE    |             |                        |   |
|--------------|-------------|------------------------|---|
| Code sondage | Progressive | Profondeur sondage [m] | Essais Pressiométriques Menard                    |
| S-OA05-1     | 19+170      | 20                     | Tous les 2 m                                      |
| S-OA05-P1    | 19+220      | 25                     | Tous les 2 m jusqu'à 10 m<br>Tous les 3 m jusqu'à |
| S-OA05-2     | 19+277      | 25                     | Tous les 2 m                                      |
| S-OA05-3     | 19+366      | 25                     | Tous les 2 m                                      |
| S-OA05-P4    | 19+405      | 25                     | Tous les 2 m jusqu'à 10 m<br>Tous les 3 m jusqu'à |
| S-OA05-4     | 19+475      | 25                     | Tous les 2 m                                      |
| S-OA05-P6    | 19+534      | 25                     | Tous les 2 m jusqu'à 10 m<br>Tous les 3 m jusqu'à |
| S-OA05-P7    | 19+586      | 25                     | Tous les 2 m jusqu'à 10 m<br>Tous les 3 m jusqu'à |
| S-OA05-5     | 19+615      | 25                     | Tous les 2 m jusqu'à 10 m<br>Tous les 3 m jusqu'à |
| S-OA05-6     | 19+665      | 20                     | Tous les 2 m                                      |

Les figures ci-dessous présentent les résultats des essais pressiométriques réalisés dans les forages de référence pour le viaduc en étude, en termes de  $E_M$  et de Pression Limite  $P_{LM}$  obtenus dans les alluvions du Quaternaire et les formations du flysch de l'Oligocène (substrat rocheux).

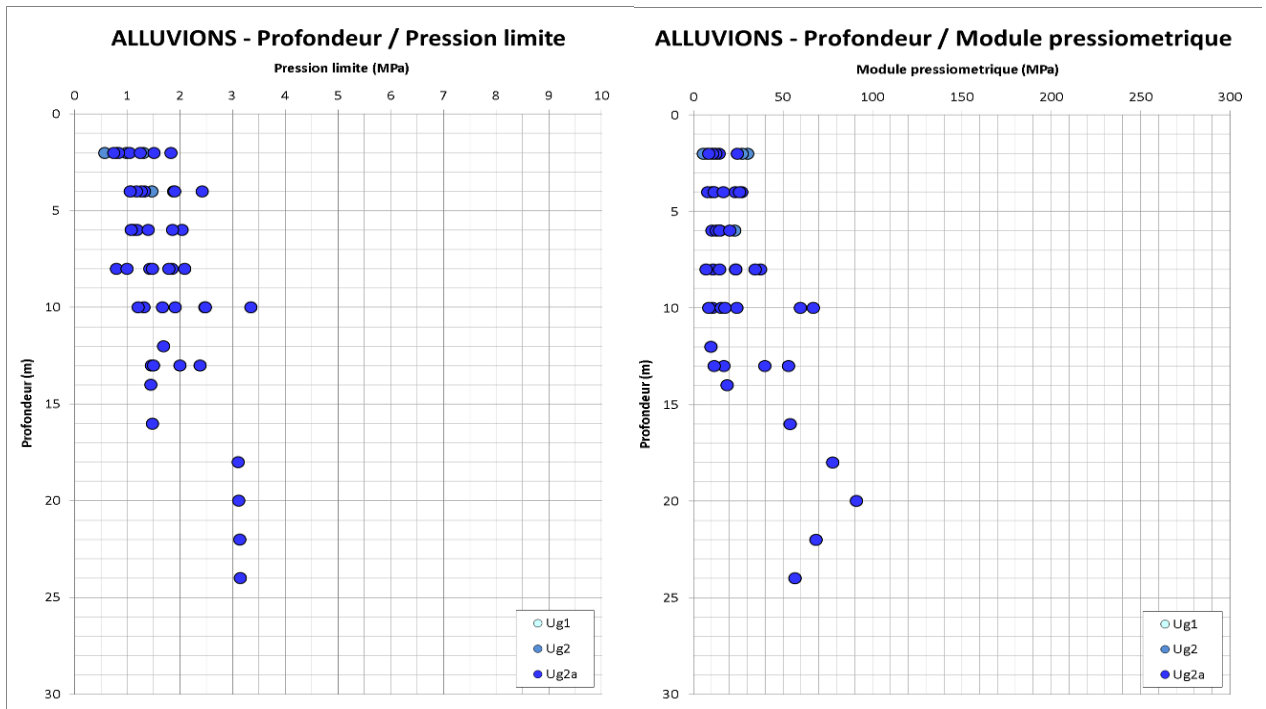


Figure IV.1 – Résultats des essais pressiométriques réalisées dans les Unités Géotechniques Ug1, Ug2

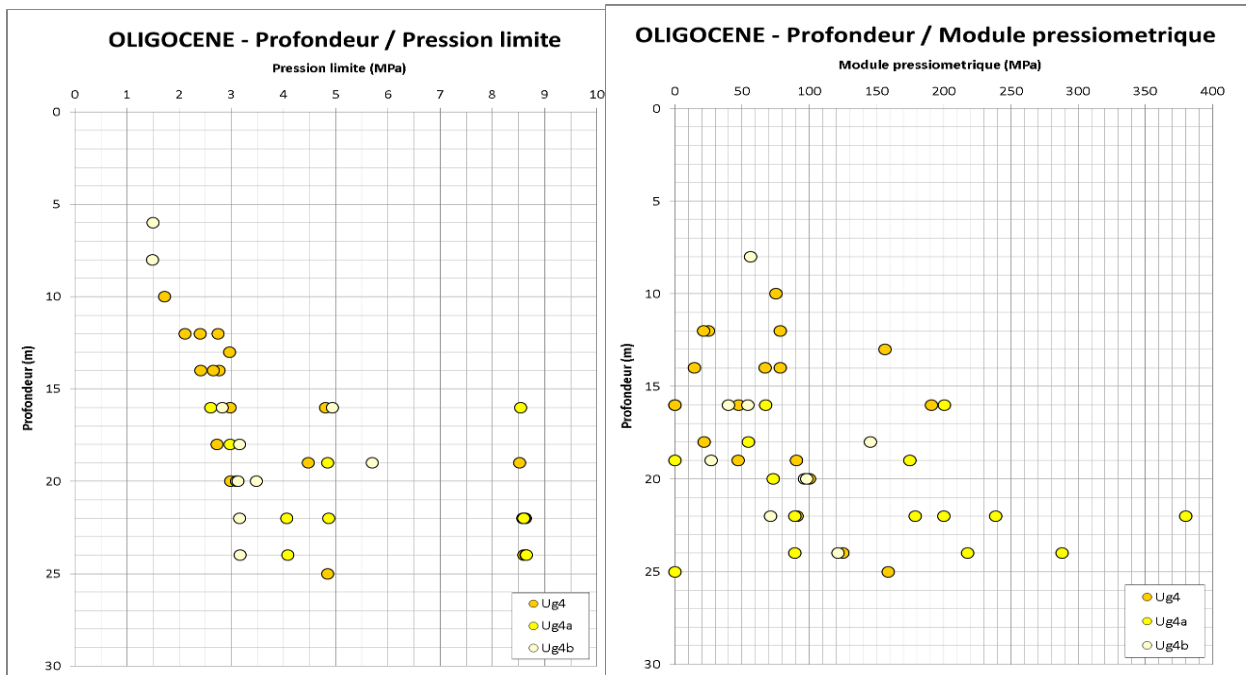


Figure VI.2 – Résultats des essais pressiométriques réalisées dans les Unités Géotechniques Ug4, Ug4a et Ug4b

La valeur du module pressiométrique ( $E_M$ ) a été utilisé pour le calcul du module d'élasticité de Young  $E'$  (indiqué comme EY par l'auteur).

$$E' = E_M / \alpha^n \quad (\text{Baud et Gambin, 2013})$$



Où  $\alpha$  est le coefficient rhéologique du matériau considéré, tiré à partir du diagramme Pressiorama (Baud, 2005) en annexe aux normes NF P94-261 et NF P94-262.

Une estimation indicative du coefficient rhéologique "a" a peut-être faite, en première analyse, sur la base des références bibliographiques reportées dans les tableaux et les formules suivants :

| Type  | Tourbe   | Argile      |          | Limon       |          | Sable       |          | Sable /Gravier |          |
|---|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|----------------|----------|
|   | $\alpha$ | EM/<br>PI.M | $\alpha$ | EM/<br>PI.M | $\alpha$ | EM/<br>PI.M | $\alpha$ | E<br>M/<br>P   | $\alpha$ |
| Surconsolidé/<br>Très serré                                 | -        | >16         | 1        | >14         | 2/3      | >12         | 1/2      | >10            | 1/3      |
| Norm <sup>ent</sup> consolidé<br>/Norm <sup>ent</sup> serré | 1        | 9-16        | 2/3      | 8-14        | 1/2      | 7-12        | 1/3      | 6-10           | 1/4      |
| Sousconsolidé<br>altéré remanié ou<br>lâche                 | -        | 7-9         | 1/2      | 5-8         | 1/2      | 5-7         | 1/3      | -              | -        |

| Type     | Roche             |        |               |             |
|----------|-------------------|--------|---------------|-------------|
|          | Très peu fracturé | Normal | Très fracturé | Très altéré |
| $\alpha$ | 2/3               | 1/2    | 1/3           | 2/3         |

Tableau IV .4 – Valeurs des coefficients rhéologiques  $\alpha$  (Briaud, 1992)

Plus précisément la solution analytique, utilisée pour le calcul du coefficient  $\alpha$ , est ici reportée :

$$\alpha = \frac{(E_M / P^*_{LM})}{4(P^*_{LM} / p_0)}$$

Sur la base de ces considérations, les résultats et l'interprétation des essais pressiométriques effectués dans la zone du viaduc, se présentent par la suite. On remarque que certaines unités présentent une fourchette plutôt large car à différent profondeurs les mêmes unités montrent des niveaux de consistance très différentes.

| Phase d'étude | Sondage   | PK<br>km | Profondeur sondage<br>(m) | Profondeur Essai<br>(m) | Pression limite | Pression de fluage | Em/PL  | Module pressiométrique | Coefficient rhéologique | Module de Young | UG   |
|---------------|-----------|----------|---------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|--------|------------------------|-------------------------|-----------------|------|
|               |           |          |                           |                         | PL (MPa)        | PF (MPa)           |        | Em (MPa)               | $\alpha$                | E (MPa)         |      |
| EXE           | S-OA05-1  | 19+170   | 20                        | 2                       | 0.99            | 0.37               | 7.63   | 7.55                   | 0.69                    | 10.90           | Ug2  |
|               |           |          |                           | 4                       | 1.47            | 0.42               | 6.97   | 10.27                  | 0.60                    | 17.13           | Ug2  |
|               |           |          |                           | 6                       | 1.13            | 0.62               | 20.31  | 22.97                  | 0.54                    | 42.48           | Ug2  |
|               |           |          |                           | 8                       | 3.49            | 3.49               | 22.97  | 80.06                  | 0.47                    | 171.69          | Ug2a |
|               |           |          |                           | 10                      | 3.34            | 1.40               | 17.88  | 59.78                  | 0.44                    | 136.00          | Ug2a |
|               |           |          |                           | 12                      | 2.41            | 1.94               | 10.38  | 25.00                  | 0.38                    | 65.68           | Ug4  |
|               |           |          |                           | 14                      | 2.42            | 1.95               | 6.08   | 14.69                  | 0.30                    | 48.57           | Ug4  |
|               |           |          |                           | 16                      | 2.98            | 2.98               | 15.90  | 47.38                  | 0.48                    | 98.71           | Ug4  |
|               |           |          |                           | 18                      | 2.72            | 0.86               | 7.95   | 21.64                  | 0.36                    | 60.56           | Ug4  |
|               |           |          |                           | 20                      | 2.98            | 2.98               | 33.57  | 100.06                 | 0.74                    | 135.74          | Ug4  |
| EXE           | S-OA05-P1 | 19+220   | 25                        | 2                       | 1.51            | 0.90               | 9.36   | 14.17                  | 0.69                    | 20.55           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 4                       | 1.33            | 0.80               | 8.54   | 11.34                  | 0.68                    | 16.68           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 6                       | 8.51            | 5.03               | 18.16  | 154.5                  | 0.37                    | 420.9           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 8                       | 1.85            | 0.78               | 20.15  | 37.30                  | 0.59                    | 63.38           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 10                      | 2.47            | 1.10               | 9.75   | 24.09                  | 0.39                    | 61.14           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 13                      | 2.00            | 1.22               | 26.48  | 52.95                  | 0.71                    | 74.15           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 16                      | 8.54            | 5.08               | 23.46  | 200.33                 | 0.49                    | 412.90          | Ug4a |
|               |           |          |                           | 19                      | 8.61            | 5.14               | 147.31 | 1268.7                 | 1.00                    | 1268.77         | Ug4a |
|               |           |          |                           | 22                      | 8.63            | 5.16               | 23.18  | 200.10                 | 0.51                    | 391.79          | Ug4a |
|               |           |          |                           | 25                      | 8.68            | 5.20               | 69.43  | 602.6                  | 0.91                    | 665.4           | Ug4a |
| EXE           | S-OA05-2  | 19+277   | 25                        | 2                       | 1.30            | 0.51               | 4.30   | 5.61                   | 0.49                    | 11.56           | Ug2  |
|               |           |          |                           | 4                       | 1.27            | 0.54               | 6.23   | 7.90                   | 0.59                    | 13.43           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 6                       | 1.19            | 0.57               | 8.73   | 10.37                  | 0.34                    | 30.79           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 8                       | 1.42            | 0.67               | 16.48  | 23.47                  | 0.47                    | 49.42           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 10                      | 1.67            | 0.60               | 6.34   | 10.62                  | 0.37                    | 28.68           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 12                      | 1.69            | 0.63               | 5.65   | 9.55                   | 0.36                    | 26.37           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 14                      | 1.45            | 0.68               | 12.93  | 18.75                  | 0.47                    | 39.94           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 16                      | 1.48            | 0.51               | 36.69  | 54.12                  | 0.80                    | 67.43           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 18                      | 3.10            | 3.10               | 25.06  | 77.73                  | 0.69                    | 112.04          | Ug2a |
|               |           |          |                           | 20                      | 3.12            | 3.12               | 29.15  | 90.90                  | 0.76                    | 119.63          | Ug2a |
|               |           |          |                           | 22                      | 3.13            | 3.13               | 21.85  | 68.46                  | 0.57                    | 121.13          | Ug2a |
|               |           |          |                           | 24                      | 3.15            | 2.68               | 18.03  | 56.82                  | 0.61                    | 92.51           | Ug2a |
|               |           |          |                           | EXE                     | S-OA05-3        | 19+366             | 26     | 2                      | 1.83                    | 0.84            | 6.80 |
| 4             | 2.42      | 1.17     | 11.14                     |                         |                 |                    |        | 26.98                  | 0.67                    | 40.34           | Ug2a |
| 6             | 2.97      | 2.97     | 57.16                     |                         |                 |                    |        | 169.93                 | 0.85                    | 200.59          | Ug4a |
| 8             | 3.01      | 3.01     | 36.12                     |                         |                 |                    |        | 108.57                 | 0.71                    | 152.14          | Ug4a |
| 10            | 3.53      | 3.53     | 32.68                     |                         |                 |                    |        | 115.34                 | 0.67                    | 171.51          | Ug4a |
| 12            | 3.55      | 3.07     | 64.97                     |                         |                 |                    |        | 230.71                 | 0.97                    | 237.12          | Ug4a |
| 14            | 3.57      | 3.57     | 72.14                     |                         |                 |                    |        | 257.45                 | 1.00                    | 257.45          | Ug4a |
| 16            | 3.09      | 3.09     | 28.23                     |                         |                 |                    |        | 87.16                  | 0.70                    | 125.18          | Ug4b |
| 18            | 3.11      | 3.11     | 44.31                     |                         |                 |                    |        | 137.66                 | 0.89                    | 154.86          | Ug4b |
| 20            | 3.13      | 3.13     | 30.80                     |                         |                 |                    |        | 96.37                  | 0.75                    | 127.80          | Ug4b |
| 22            | 3.15      | 3.15     | 22.62                     |                         |                 |                    |        | 71.34                  | 0.66                    | 108.68          | Ug4b |
| 24            | 3.17      | 3.17     | 38.31                     |                         |                 |                    |        | 121.45                 | 0.87                    | 140.01          | Ug4b |
| EXE           | S-OA05-P4 | 19+405   | 25                        |                         |                 |                    |        | 2                      | 1.05                    | 0.62            | 9.97 |
|               |           |          |                           | 4                       | 8.45            | 4.99               | 646.7  | 646.70                 | 1.00                    | 646.7           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 6                       | 2.04            | 1.22               | 7.13   | 14.58                  | 0.31                    | 46.88           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 8                       | 0.80            | 0.43               | 13.55  | 10.85                  | 0.57                    | 19.12           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 10                      | 2.48            | 1.50               | 6.25   | 15.52                  | 0.30                    | 51.29           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 13                      | 1.46            | 0.91               | 11.56  | 16.85                  | 0.49                    | 34.13           | Ug2a |
|               |           |          |                           | 16                      | 4.93            | 2.96               | 8.09   | 39.90                  | 0.32                    | 125.64          | Ug4b |
|               |           |          |                           | 19                      | 5.70            | 3.42               | 4.75   | 27.05                  | 0.24                    | 111.31          | Ug4b |
| 22            | 8.61      | 5.11     | 27.75                     | 238.81                  | 0.55            | 436.64             | Ug4a   |                        |                         |                 |      |

| Phase d'étude | Sondage   | PK<br>km | Profondeur sondage<br>(m) | Profondeur Essai<br>(m) | Pression limite<br>PL (MPa) | Pression de fluage<br>PF (MPa) | Em/PL | Module pressiométrique | Coefficient rhéologique | Module de Young | UG    |
|---------------|-----------|----------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------|------------------------|-------------------------|-----------------|-------|
|               |           |          |                           |                         |                             |                                |       | Em (MPa)               | $\alpha$                | E (MPa)         |       |
|               |           |          |                           | 25                      | 8.64                        | 5.17                           | 25.19 | 217.63                 | 0.53                    | 410.31          | Ug4a  |
| EXE           | S-OA05-4  | 19+475   | 25                        | 2                       | 0.84                        | 0.34                           | 12.67 | 10.58                  | 0.93                    | 11.37           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 4                       | 1.07                        | 0.48                           | 21.76 | 23.20                  | 1.00                    | 23.20           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 6                       | 1.40                        | 0.80                           | 8.99  | 12.58                  | 0.34                    | 36.87           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 8                       | 1.48                        | 1.23                           | 23.27 | 34.54                  | 0.58                    | 59.43           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 10                      | 1.91                        | 1.80                           | 35.03 | 67.02                  | 0.71                    | 94.72           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 12                      | 2.75                        | 2.07                           | 28.45 | 78.20                  | 0.61                    | 128.30          | Ug4   |
|               |           |          |                           | 14                      | 2.77                        | 2.09                           | 28.24 | 78.20                  | 0.63                    | 124.13          | Ug4   |
|               |           |          |                           | 16                      | 2.60                        | 1.95                           | 25.88 | 67.39                  | 0.63                    | 106.43          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 18                      | 2.98                        | 1.60                           | 18.30 | 54.51                  | 0.53                    | 102.78          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 20                      | 3.10                        | 2.02                           | 23.60 | 73.13                  | 0.61                    | 119.48          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 22                      | 4.06                        | 3.06                           | 22.00 | 89.36                  | 0.57                    | 157.94          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 24                      | 4.08                        | 3.08                           | 21.90 | 89.36                  | 0.58                    | 155.11          | Ug4a  |
| EXE           | S-OA05-P6 | 19+534   | 25                        | 2                       | 0.74                        | 0.47                           | 11.48 | 8.54                   | 0.91                    | 9.36            | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 4                       | 1.18                        | 0.76                           | 9.85  | 11.59                  | 0.75                    | 15.38           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 6                       | 1.08                        | 0.61                           | 13.79 | 14.82                  | 0.52                    | 28.56           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 8                       | 1.80                        | 1.09                           | 3.81  | 6.84                   | 0.25                    | 27.29           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 10                      | 1.31                        | 0.66                           | 13.40 | 17.61                  | 0.53                    | 33.38           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 13                      | 2.97                        | 1.08                           | 52.70 | 156.41                 | 0.89                    | 174.90          | Ug4   |
|               |           |          |                           | 16                      | 8.57                        | 5.10                           | 43.34 | 371.62                 | 0.65                    | 574.25          | Ug4   |
|               |           |          |                           | 19                      | 8.52                        | 5.08                           | 10.60 | 90.28                  | 0.33                    | 272.10          | Ug4   |
|               |           |          |                           | 22                      | 8.60                        | 5.14                           | 20.78 | 178.70                 | 0.48                    | 374.30          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 24                      | 8.65                        | 5.18                           | 33.30 | 288.15                 | 0.61                    | 468.85          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | EXE                     | S-OA05-P7                   | 19+586                         | 25    | 2                      | 1.25                    | 0.57            | 19.51 |
| 4             | 1.05      | 0.58     | 15.84                     |                         |                             |                                |       | 16.70                  | 0.98                    | 17.00           | Ug2a  |
| 6             | 1.08      | 0.59     | 13.32                     |                         |                             |                                |       | 14.39                  | 0.48                    | 30.25           | Ug2a  |
| 8             | 0.99      | 0.52     | 14.59                     |                         |                             |                                |       | 14.49                  | 0.54                    | 26.93           | Ug2a  |
| 10            | 1.21      | 0.55     | 7.11                      |                         |                             |                                |       | 8.61                   | 0.37                    | 23.04           | Ug2a  |
| 13            | 1.50      | 0.93     | 7.64                      |                         |                             |                                |       | 11.45                  | 0.39                    | 29.48           | Ug2a  |
| 16            | 2.45      | 1.50     | 3.71                      |                         |                             |                                |       | 9.07                   | 0.25                    | 36.19           | ug4   |
| 19            | 4.47      | 3.05     | 10.54                     |                         |                             |                                |       | 47.12                  | 0.38                    | 124.73          | Ug4   |
| 22            | 8.58      | 5.13     | 10.58                     |                         |                             |                                |       | 90.75                  | 0.33                    | 272.81          | Ug4   |
| 24            | 8.60      | 5.15     | 14.54                     |                         |                             |                                |       | 125.03                 | 0.40                    | 314.48          | Ug4   |
| EXE           | S-OA05-5  | 19+615   | 25                        |                         |                             |                                |       | 2                      | 0.58                    | 0.28            | 51.95 |
|               |           |          |                           | 4                       | 1.90                        | 0.81                           | 13.45 | 25.56                  | 0.78                    | 32.73           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 6                       | 1.86                        | 1.05                           | 10.82 | 20.12                  | 0.39                    | 51.68           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 8                       | 2.09                        | 0.94                           | 11.25 | 23.52                  | 0.40                    | 58.10           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 10                      | 3.6                         | 2.20                           | 32.96 | 118.65                 | 0.63                    | 188.4           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 13                      | 2.38                        | 1.10                           | 16.73 | 39.82                  | 0.52                    | 76.06           | Ug2a  |
|               |           |          |                           | 16                      | 4.80                        | 3.24                           | 39.75 | 190.80                 | 0.71                    | 270.15          | Ug4   |
|               |           |          |                           | 19                      | 4.84                        | 4.84                           | 36.08 | 174.65                 | 0.70                    | 250.88          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 22                      | 4.86                        | 4.86                           | 78.22 | 380.16                 | 1.00                    | 380.16          | Ug4a  |
|               |           |          |                           | 25                      | 4.84                        | 4.84                           | 32.79 | 158.70                 | 0.70                    | 225.34          | Ug4   |
|               |           |          |                           | EXE                     | S-OA05-6                    | 19+665                         | 20    | 2                      | 0.81                    | 0.24            | 33.53 |
| 4             | 1.88      | 1.88     | 5.62                      |                         |                             |                                |       | 10.58                  | 0.51                    | 20.89           | Ug2   |
| 6             | 1.50      | 0.95     | 28.66                     |                         |                             |                                |       | 42.99                  | 0.69                    | 61.90           | Ug4b  |
| 8             | 1.49      | 0.90     | 37.80                     |                         |                             |                                |       | 56.32                  | 0.83                    | 67.58           | Ug4b  |
| 10            | 1.72      | 1.28     | 43.86                     |                         |                             |                                |       | 75.34                  | 0.90                    | 83.89           | Ug4   |
| 12            | 2.11      | 1.61     | 10.12                     |                         |                             |                                |       | 21.39                  | 0.42                    | 50.60           | Ug4   |
| 14            | 2.65      | 1.89     | 25.38                     |                         |                             |                                |       | 67.27                  | 0.65                    | 103.37          | Ug4   |
| 16            | 2.83      | 1.25     | 19.16                     |                         |                             |                                |       | 54.12                  | 0.57                    | 94.86           | Ug4b  |
| 18            | 3.15      | 2.21     | 46.16                     |                         |                             |                                |       | 145.48                 | 0.88                    | 165.02          | Ug4b  |
| 20            | 3.47      | 2.48     | 28.21                     |                         |                             |                                |       | 97.96                  | 0.69                    | 142.61          | Ug4b  |

Tableau IV.5 – Valeurs des modules élastiques des terrains obtenus à partir des essais pressiométriques

Les valeurs obtenues ont été analysées statistiquement afin de définir la variabilité des paramètres clés tels que la pression limite (Pl), le module pressiométrique ( $E_m$ ) et le module de Young (E). Les données des essais pressiométriques marquées en bleu dans le tableau ci-dessus n'ont pas été prises en compte dans l'analyse statistique puisque ils représentent valeurs peu fiables et peu représentatifs par rapport aux caractéristiques géologiques et géotechniques identifiées pour l'unité considérée.

Dans le tableau suivant, sont indiqués le minimum, maximum, moyenne et l'écart type des valeurs obtenues pour chaque unité géotechnique.

| UG                     | Ug2   |       |             | Ug2a  |       |              | Ug4   |       |              | Ug4a  |       |              | Ug4b  |       |              |
|------------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| Paramètre géotechnique | Pl    | Em    | E           | Pl    | Em    | E            | Pl    | Em    | E            | Pl    | Em    | E            | Pl    | Em    | E            |
|                        | (MPa) | (MPa) | (MPa)       | (MPa) | (MPa) | (MPa)        | (MPa) | (MPa) | (MPa)        | (MPa) | (MPa) | (MPa)        | (MPa) | (MPa) | (MPa)        |
| Min                    | 0.6   | 5.6   | <b>10.9</b> | 0.7   | 6.8   | <b>9.4</b>   | 1.7   | 14.7  | <b>48.6</b>  | 2.6   | 54.5  | <b>102.8</b> | 1.5   | 27.1  | <b>61.9</b>  |
| Medio                  | 1.2   | 16.3  | <b>22.9</b> | 1.7   | 26.0  | <b>45.7</b>  | 4.0   | 81.7  | <b>150.2</b> | 6.0   | 173.3 | <b>289.8</b> | 3.3   | 75.3  | <b>114.5</b> |
| Max                    | 1.9   | 30.1  | <b>42.5</b> | 3.3   | 90.9  | <b>136.0</b> | 8.6   | 190.8 | <b>314.5</b> | 8.7   | 380.2 | <b>468.8</b> | 5.7   | 145.5 | <b>165.0</b> |
| Ecart type             | 0.4   | 10.1  | <b>11.3</b> | 0.7   | 21.2  | <b>32.3</b>  | 2.3   | 52.1  | <b>88.1</b>  | 2.6   | 97.1  | <b>142.5</b> | 1.3   | 38.7  | <b>32.8</b>  |

Tableau VI.6 – Statistique des valeurs des paramètres géotechniques (Pl, Em, E) obtenues à partir des essais pressiométriques

### b. Essais SPT

Dans les 6 sondages de référence pour le viaduc V19.2, 23 essais SPT ont été réalisés. Les essais ont été exécutés, en forme systématique chaque 2, 3 ou 4 m de perforation, principalement dans les terrains alluvionnaires, fins et granulaires, et dans les roches tendres surtout au niveau des couches du profil d'altération de substrat rocheux.

Le Profil Géotechnique de référence pour le viaduc, montre pour chaque sondage, les valeurs de  $N_{spt}$  (nombre de coup pour 30cm d'enfoncement) avec la profondeur, qui sont illustrées aussi dans le tableau suivant.

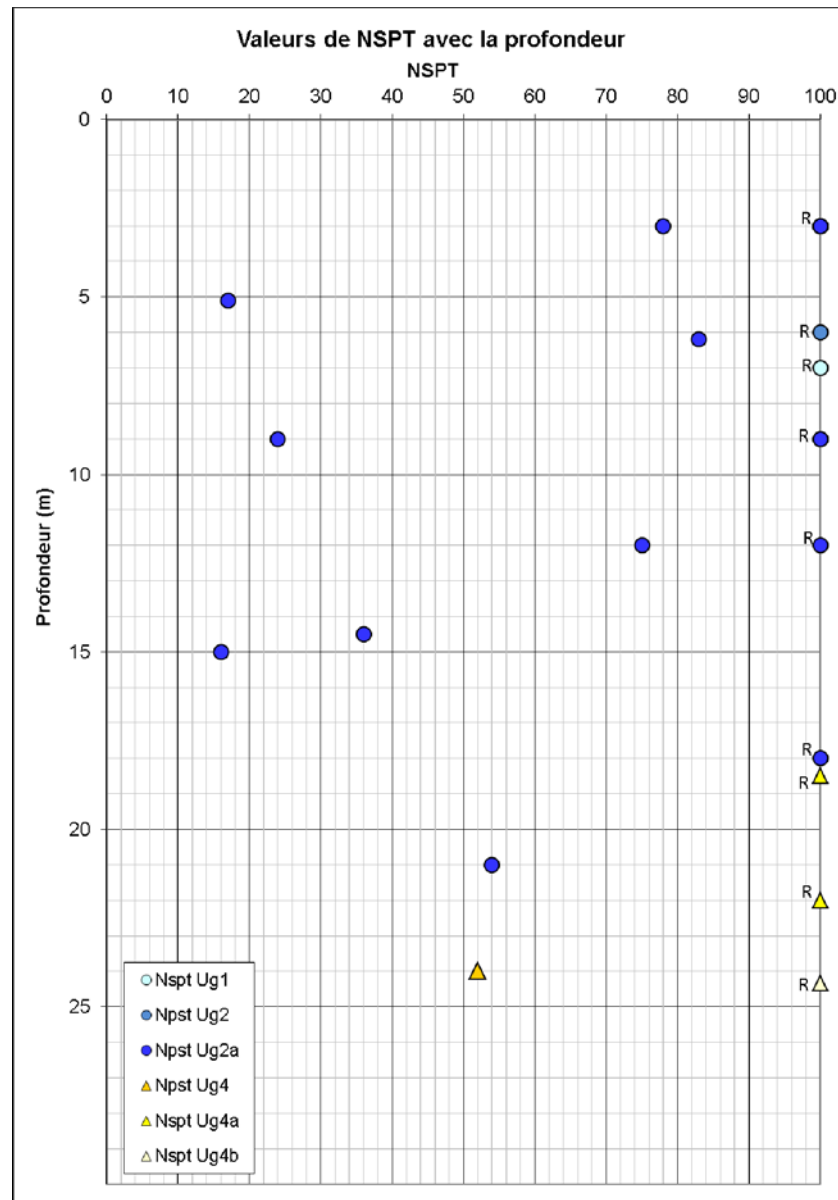


Figure IV.3 – Résultats des essais SPT réalisées dans les dépôts alluvionnaires (Ug1, Ug2 et Ug2a) et le flysch de l'Oligocène (Ug4, Ug4a et Ug4b)

### c. Essais de perméabilité

Pendant la phase EXE 15 essais de perméabilité Lefranc et 2 essais de perméabilité Lugeon ont été exécutés dans les sondages suivants :

- S-OA05-1, PK 19+170 (3 essais Lefranc) ;
- S-OA05-2, PK 19+277 (5 essais Lefranc) ;
- S-OA05-3, PK 19+366 (2 essais Lefranc) ;
- S-OA05-4, PK 19+475 (2 essais Lefranc) ;
- S-OA05-5, PK 19+615 (3 essais Lefranc et 2 essais Lugeon).

Les résultats des essais sont reportés synthétiquement dans les tableaux suivants.

| Forage   | PK     | Profondeur essai [m] | Type Essai | Lithotype  | Coefficient de perméabilité K [m/sec] |
|----------|--------|----------------------|------------|--|---------------------------------------|
| S-OA05-1 | 19+170 | 2.00                 | Lefranc    | Argile limoneuse graveleuse                            | 4.30E-07                              |
|          |        | 4.00                 | Lefranc    | Argile limoneuse graveleuse                            | 2.12E-07                              |
|          |        | 9.00                 | Lefranc    | Gravier, argile et des blocs                           | 1.00E-06                              |
| S-OA05-2 | 19+277 | 5.00                 | Lefranc    | Sables fins à grossier graveleux en matrice argileuse. | 2.96E-04                              |
|          |        | 9.50                 | Lefranc    | Sables fins à grossier graveleux en matrice argileuse. | 1.09E-03                              |
|          |        | 15.75                | Lefranc    | Sables fins à grossier graveleux en matrice argileuse. | 2.95E-04                              |
|          |        | 18.25                | Lefranc    | Sables fins à grossier graveleux en matrice argileuse. | 1.25E-03                              |
|          |        | 21.25                | Lefranc    | Sables fins à grossier graveleux en matrice argileuse. | 1.08E-03                              |
| S-OA05-3 | 19+366 | 2.00                 | Lefranc    | Argile limono-sableuse graveleuse                      | 2.64E-07                              |
|          |        | 4.50                 | Lefranc    | Argile limono-sableuse graveleuse                      | 2.27E-07                              |
| S-OA05-4 | 19+475 | 7.50                 | Lefranc    | Gravier, argile et blocs de grés                       | 1.00E-06                              |
|          |        | 9.50                 | Lefranc    | Gravier, argile et blocs de grés                       | 3.50E-07                              |
| S-OA05-5 | 19+615 | 4.50                 | Lefranc    | Argile peu plastique avec gravier et sables            | 9.77E-04                              |
|          |        | 9.00                 | Lefranc    | Argile peu plastique avec gravier et sables            | 1.43E-04                              |
|          |        | 14.50                | Lefranc    | Argile peu plastique avec gravier et sables            | 1.07E-04                              |

Tableau IV.7 – Valeurs des essais de perméabilité Lefranc réalisés

| Forage   | PK     | Profondeur essai [m] | Type Essai | Lithotype                | Coefficient de perméabilité K [UL] |
|----------|--------|----------------------|------------|--------------------------|------------------------------------|
| S-OA05-5 | 19+615 | 18.25                | Lugeon     | Grés de couleur grisâtre | 2.16                               |
|          |        | 22.50                | Lugeon     | Grés de couleur grisâtre | 1.58                               |

Tableau IV.8 – Valeurs des essais de perméabilité Lugeon réalisés

#### IV.7. Essais de laboratoire

Le long des sondages, des échantillons (intacts et remaniés) ont été prélevés pour la réalisation des essais de laboratoire nécessaires à la définition des caractéristiques physiques et mécaniques des mâtreaux qui affleurent au niveau des fondations du viaduc (sols et des roches).

Sur les échantillons récupérés dans les sondages, les essais suivantes ont été exécutées : essais granulométriques, limites d'Atterberg, essais pour la détermination de poids spécifique (humide, naturel, sec), teneur en eau, porosité et indice des vides. Dans les sols et les facies d'altération de substrat rocheux, des essais triaxiaux CD et des essais œdométriques ont été réalisés afin d'évaluer la résistance mécanique et la déformabilité de matériaux essayés.

La résistance mécanique des échantillons en roche a été définie principalement avec les essais de résistance à la compression simple (UCS).

Le tableau suivant présente la synthèse des essais de laboratoire (classification et résistance mécanique) exécutées dans les échantillons prélevés dans les sondages. Les détails des essais sont reportés dans l'annexe A.

|                | Essais                               | Nombre d'essais | Unité géotechniques intéressées |      |     |      |      |
|----------------|--------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------|-----|------|------|
|                |                                      |                 | Ug2                             | Ug2a | Ug4 | Ug4b | Ug4a |
| CLASSIFICATION | Granulometrie passant                | 34              | 4                               | 14   | 6   | 10   |      |
|                | Teneur en eau                        | 35              | 4                               | 12   | 6   | 12   | 1    |
|                | Teneur en eau de saturation          | 24              | 2                               | 5    | 6   | 11   |      |
|                | Poids spécifique humide              | 35              | 4                               | 12   | 6   | 12   | 1    |
|                | Poids spécifique sec                 | 35              | 4                               | 12   | 6   | 12   | 1    |
|                | Degré de Saturation                  | 35              | 4                               | 12   | 6   | 12   | 1    |
|                | Porosité                             | 24              | 2                               | 5    | 6   | 11   |      |
|                | Indice des vides                     | 24              | 2                               | 5    | 6   | 11   |      |
|                | Limites d'Atterberg                  | 34              | 4                               | 13   | 6   | 11   |      |
|                | Valeur au bleu de Métylène VBS       | 5               | 1                               | 1    | 1   | 2    |      |
| RESISTENCE     | Essais de cisaillement rectiligne CD | 9               | 2                               | 4    | 1   | 2    |      |
|                | Essais de compression monoaxial      | 9               |                                 |      | 2   | 5    | 2    |
|                | Essai de traction (Bresilien)        | 1               |                                 |      |     |      | 1    |
|                | Essais œdométrique                   | 5               | 2                               | 3    |     |      |      |
|                | Essais de gonflement libre           | 3               | 1                               | 2    |     |      |      |

Tableau 3.9 – Résumé des essais de laboratoire réalisés

Les résultats des essais de laboratoire ont été analysés de forme statistique en évaluant les valeurs caractéristiques de l'unité considérée et la variabilité de paramètres le long du viaduc et avec la profondeur.

Pour la caractérisation géotechnique locale et la définition des paramètres représentatifs du modèle géologique et géotechnique local, les valeurs des essais de laboratoire ont été croisées et corrélées avec les résultats des essais in situ (essais pressiométriques, essais SPT). L'interprétation des résultats a pris en compte les aspects suivants :

- Les conditions géologiques et stratigraphiques identifiées le long du viaduc ;
- la quantité et la qualité des données disponibles (nombre de valeur et représentativité de résultats) ;
- les conditions des échantillons prélevés et la modalité d'exécution des essais.

Les tableaux ci-dessous présentent l'analyse statistique des propriétés physiques de matériaux.

| Unité Géotechnique | Analyse statistique | Teneur | Teneur en eau de saturation | Poids spécifique humide | Poids spécifique sec | Degré de Saturation | Porosité | Indice des vides | Limites d'Atterberg (%) |                      |                  |                  |
|--------------------|---------------------|--------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------|------------------|-------------------------|----------------------|------------------|------------------|
|                    |                     |        |                             |                         |                      |                     |          |                  | W(%)                    | W <sub>sat</sub> (%) | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> |
| Ug2                | Min                 | 10.52  | 14.86                       | 2.06                    | 1.75                 | 70.77               | 29.00    | 0.41             | 41.89                   | 20.55                | 1.25             | 14.66            |
|                    | Medio               | 14.15  | 17.27                       | 2.08                    | 1.81                 | 77.51               | 32.31    | 0.47             | 47.26                   | 25.51                | 1.55             | 21.14            |
|                    | Max                 | 17.26  | 20.08                       | 2.13                    | 1.92                 | 88.00               | 36.00    | 0.55             | 60.71                   | 28.17                | 1.93             | 33.17            |
|                    | Ecart type          | 2.82   | 3.69                        | 0.03                    | 0.08                 | 7.89                | 4.95     | 0.10             | 8.76                    | 3.50                 | 0.35             | 7.89             |
| Ug2a               | Min                 | 7.56   | 11.21                       | 2.06                    | 1.71                 | 12.00               | 24.00    | 0.31             | 37.15                   | 21.03                | 1.29             | 14.92            |
|                    | Medio               | 15.82  | 16.14                       | 2.13                    | 1.83                 | 76.73               | 31.02    | 0.44             | 45.47                   | 25.67                | 1.85             | 19.54            |
|                    | Max                 | 21.63  | 20.87                       | 2.24                    | 2.07                 | 100.00              | 37.00    | 0.57             | 62.11                   | 31.46                | 2.26             | 30.65            |
|                    | Ecart type          | 4.74   | 3.93                        | 0.05                    | 0.11                 | 25.58               | 5.32     | 0.11             | 6.25                    | 3.48                 | 0.35             | 4.47             |
| Ug4                | Min                 | 5.69   | 9.59                        | 2.07                    | 1.73                 | 49.43               | 23.00    | 0.27             | 42.35                   | 27.15                | 1.46             | 15.57            |
|                    | Medio               | 12.36  | 15.51                       | 2.19                    | 1.89                 | 78.86               | 30.56    | 0.43             | 45.85                   | 28.68                | 1.84             | 17.50            |
|                    | Max                 | 18.18  | 20.84                       | 2.63                    | 2.14                 | 100.00              | 37.00    | 0.57             | 51.67                   | 31.32                | 2.28             | 21.16            |
|                    | Ecart type          | 4.67   | 4.59                        | 0.22                    | 0.17                 | 17.03               | 5.55     | 0.12             | 3.61                    | 1.78                 | 0.31             | 1.87             |
| Ug4b               | Min                 | 3.56   | 8.84                        | 2.16                    | 1.90                 | 33.64               | 20.00    | 0.25             | 42.73                   | 16.24                | 1.66             | 15.20            |
|                    | Medio               | 10.24  | 12.24                       | 2.30                    | 2.03                 | 82.44               | 25.64    | 0.34             | 44.06                   | 25.90                | 1.98             | 17.14            |
|                    | Max                 | 13.93  | 15.74                       | 2.95                    | 2.18                 | 100.00              | 31.00    | 0.43             | 49.84                   | 29.64                | 2.33             | 20.20            |
|                    | Ecart type          | 3.03   | 1.77                        | 0.21                    | 0.07                 | 17.99               | 2.84     | 0.05             | 2.07                    | 3.37                 | 0.20             | 1.57             |

Tableau IV.10 – Analyse statistiques des résultats des essais de laboratoire

Pour avoir une mesure des valeurs de paramètres drainés  $c'$  et  $\phi'$ , pendant la campagne géotechnique d'EXE, 9 essais de cisaillement rectiligne drainé (CD) ont été effectués. Dans le tableau suivant sont indiqués les résultats obtenus et l'unité géotechnique (UG) de référence.

| Sondage  | PK     | Profondeur échantillon (m) |       | UG   | Vitesse<br>[mm/min] | $c'$<br>[kPa] | $\phi'$<br>[°] |
|----------|--------|----------------------------|-------|------|---------------------|---------------|----------------|
|          |        | de                         | à     |      |                     |               |                |
| S-OA05-2 | 19+277 | 1.00                       | 1.37  | Ug2  | 0.007               | 33            | 27             |
|          |        | 6.65                       | 6.98  | Ug2a | 0.007               | 47            | 27             |
|          |        | 13.17                      | 13.46 | Ug2a | 0.007               | 35            | 27             |
|          |        | 22.71                      | 23.00 | Ug2a | 0.007               | 45            | 28             |
| S-OA05-3 | 19+366 | 18.50                      | 18.95 | Ug4b | 0.06                | 42            | 17             |
| S-OA05-4 | 19+475 | 11.70                      | 12.00 | Ug4  | 0.06                | 37            | 20             |
| S-OA05-5 | 19+615 | 1.95                       | 2.25  | Ug2  | 0.007               | 19            | 28             |
|          |        | 8.02                       | 8.30  | Ug2a | 0.007               | 20            | 28             |
| S-OA05-6 | 19+665 | 17.80                      | 18.00 | Ug4b | 0.06                | 33            | 21             |

Tableau IV.11 – Valeurs des essais de cisaillement rectiligne CD



Chapitre V

**Caractérisation  
géotechnique  
locale**

## V.1. Introduction

Le long du viaduc V19.2 (PK 19+174 et PK 19+680), 3 unités géotechniques principales, avec leurs sub-unités, ont été identifiées sur la base des caractéristiques géologiques des matériaux (contexte géologique local, stratigraphie et description lithologique reportée dans les logs des sondages disponibles), des résultats des essais in situ et en laboratoire exécutés dans les campagnes de reconnaissance (APD, EXE), et des expériences spécifiques de concepteur dans contextes similaires.

| Unité géotechnique (UG) | Lithologie  | Unité géologique                          | Age         |
|-------------------------|---|---|-------------|
| Ug1                     | Alluvions grossiers, dépôts colluviaux de lithologies rocheuses           | Alluvions actuelles<br>Alluvions récentes | Quaternaire |
| Ug2                     | Alluvions fins, dépôts colluviaux   | Alluvions récentes<br>Alluvions anciennes | Quaternaire |
| Ug2a                    | Alluvions fins avec blocs et galets                                       |   |             |
| Ug4                     | Flysch (marne, marnes argileuses avec intercalations du grès et calcaire) | Nappe Numidienne<br>Flysch Kabyle         | Oligocène   |
| Ug4a                    | Grès quartzeux  |   |             |
| Ug4b                    | Argiles et marnes   |   |             |

Tableau V.1 – Unités géotechniques reconnues dans le secteur du viaduc V19.2

En général, la caractérisation géotechnique des différentes unités considère les résultats des reconnaissances géotechniques exécutées dans un lot de 24 km environ, tels que les sondages et les essais in situ (essais SPT et essais pressiométriques) de référence par rapport aux différents secteurs homogènes d’affleurement des formations géologiques et de correspondantes unités géotechniques identifiées. A partir de la caractérisation géotechnique générale, les paramètres géotechniques du projet, ont été calibrés avec les données des reconnaissances spécifiquement réalisés pour le viaduc en étude.

Une description synthétique des unités repérées le long du viaduc et de leurs paramétrés géotechniques caractéristiques, est présentée dans les paragraphes suivantes

### V.2. Unité géotechnique Ug1

Il s’agit de *Alluvions grossières* constitués par de sables grossières, graviers hétérométriques avec galets et blocs enrobés en une matrice sableuse-limoneuse. Ces dépôts forment des niveaux d’épaisseur variable entre 0m et 2m, généralement discontinus et subordonnés à l’intérieur des alluvions fins. L’unité Ug1 est limitée au fond de la vallée et en général se présente peu continue latéralement.

### V.3. Unités géotechniques Ug2 et Ug2a

L’Unité Ug2 se caractérise par des *alluvions fins et dépôts colluviaux*. Il s’agit principalement des argiles et des limons sableux-argileux de couleur brun à jaunâtre, localement avec présence de galets et traces de graves. Ces terrains se trouvent le long du viaduc en objet et ils atteignent un’épaisseur variable de 2 à 15 mètres environ.

Les matériaux de l’unité UG2 sont caractérisés par un poids spécifique variable entre 19 et 21 kN/m<sup>3</sup>, une plasticité moyenne (14<IP<33) avec valeur moyenne de 21.

Les essais triaxiaux réalisés sur les échantillons prélevés en proximité du viaduc, donnent paramètres drainés caractérisés par des angles de frottement variables entre 28 et 27° et une cohésion

entre 19 et 33 kPa. En considération de la présence d'une composante sableuse significative et de subordonnés niveaux graveleux qui s'intercalent aux argiles, une valeur sécuritaires entre 0 - 10kPa (5), a été considéré dans les calculs

Dans l'unité Ug2 et dans le secteur du viaduc, une sub-unité des *alluvions fins avec blocs et galets (Ug2a)* peut être différenciée ; il s'agit des sables et des argiles limoneuses plastiques, qui enrobent fréquents blocs et galets de nature gréseuse et de dimensions de peu centimètres à quelques décimètres. L'unité Ug2a se caractérise par une grande variabilité granulométrique des matériaux, avec niveaux fréquents de sédiments granulaires (sables, blocs et galets) localement d'aspect chaotique et enrobés en une matrice fine principalement argileuse.

L'unité Ug2a se caractérise par un poids spécifique variable entre 20 et 22 kN/m<sup>3</sup> et une plasticité moyenne ( $15 < IP < 30$ ) avec valeur moyenne de 19. Les paramètres drainés obtenus avec les essais triaxiaux se caractérisent par des angles de frottement entre 28 et 27° et une cohésion variable entre 35 et 45 kPa, la quelle parait surestimée. Pour ce raison, les paramètres drainés de résistance mécanique ( $c'$  et  $\varphi'$ ) ont été identifiés aussi sur la base des essais pressiométriques, en utilisant les formules de corrélation (Amar et al.1991; Cassan, 1978) déjà présentées dans le rapport géotechnique des terrassements du lot PK15+580-24+000 (E.G0.PTE.R.00.02.DS.01.Aa).

Dans le cas spécifique, les paramètres drainés de référence pour l'unité Ug2a sont caractérisés par la variabilité suivante :  $c'=8-26$  (20) kPa et  $\varphi'=27-35$  (29)°.

#### V.4. Unités géotechniques Ug4, Ug4a, Ug4b

L'unité Ug4 est caractérisée par les lithos types du *Flysch* de l'Oligocène et leur profil d'altération. Il s'agit d'une alternance de couches de marnes et argiles marneuses avec intercalations de grès et calcaires d'épaisseur variable entre quelque décimétrique jusqu'à 1- 2 mètres. Cette variabilité stratigraphique est typique des formations complexes tell que les Flysch (Marinos, 2011) qui montrent un' alternance des couches plus résistantes (grés) et des couches plus faibles de nature argilo-marneuse. En présence des niveaux stratigraphiques plus homogènes et continus et des changements significatifs des paramètres géotechniques avec la profondeur, a été possible identifier les 2 sub-unités représentatives de les lithologies dominantes observées :

- *Ug4a – Grés quartzeux*, constitués principalement par grés quartzeux et microconglomérats en banc de quelques mètres d'épaisseur ; des niveaux marneux peuvent être rencontrés intercalés aux grés.
- *Ug4b – Argiles, argiles marneuses et marnes*, qui comprend les lithotypes les plus faibles du Flysch Numidienne tels que les niveaux argilo-marneux et leur profil d'altération de nature principalement argileuse.

Afin d'évaluer les paramètres de résistance et déformabilité des unités géotechniques rocheuses, les critères et données de base suivantes ont été utilisés :

- Pour la définition de l'indice du GSI (*Geological Strength Index*) a été utilisée la classification des amas rocheux hétérogènes tels que Flysch proposé par Marinos

(2011). Selon cet approche méthodologique, l'indice GSI a été estimé sur la base de la relation entre les couches faibles, *weak rocks*, et les couches plus résistantes, *strong rocks* (%) et des caractéristiques des discontinuités (rugosité, altération, ouverture, remplissage, etc..), selon la norme ISRM (1981), relevées au niveau des levés géostructuraux et des échantillons des sondages;

- Le paramètre de la roche intacte  $m_i$  (Hoek & Brown) a été estimé sur la base des références bibliographiques ;
- La résistance à compression de la roche intacte ( $\sigma_{ci}$ ) et le module de déformabilité de Young ( $E_y$ ) ont été estimés respectivement sur la base des données de laboratoire et des essais pressiométriques réalisés dans le secteur du viaduc.
- Les paramètres de résistance d'amas ont été obtenus selon le critère de rupture de Hoek & Brown, en utilisant le logiciel ROCLAB (Rocscience Inc.2007).

Le graph ci-dessous montre les valeurs de GSI estimées pour les distinctes unités géotechniques (unités rocheuses); les amas rocheux montrent une prévalence de couches faibles (60-80% de marnes argilites, argiles) par rapport aux couches des grés et calcaires plus résistantes (40-20%). En plus, ils se présentent souvent déformés (pliés et localement fracturés) par effet de la tectonique régionale.

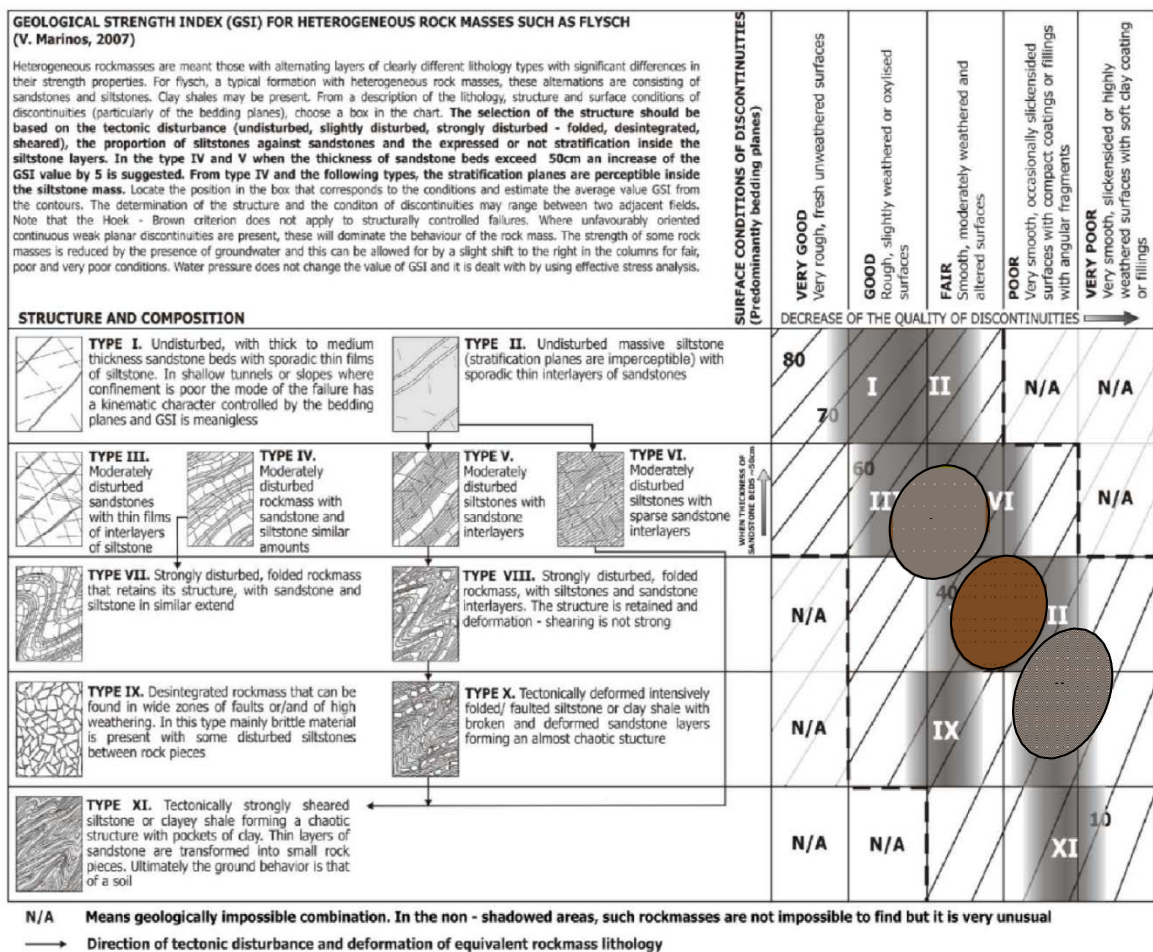


Figure V.1 – Classification des amas rocheux hétérogénies tels que Flysch proposé par Marinos (2011). En évidence, la variabilité du GSI pour les unités Ug4, Ug4a, Ug4b

Les valeurs de résistance de la roche intacte ( $\sigma_{ci}$ ) ont été pondérées en fonction de la composant degrés et de marnes/argiles, selon les critères suivantes (Marinos, 2011) :

| Unité géotechnique (UG) | Flysch type (Marinos,2011) | Unité géologique  |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Ug4                     | VII-VIII                   | Réduire du 20% les valeurs des grés + toutes les valeurs de marnes/argiles.   |
| Ug4a                    | IV (III-V)                 | Utiliser les valeurs équivalentes des grés et des marnes/argiles.<br>En présence de couches minces des grés, réduire du 10% leurs valeurs de résistance |
| Ug4b                    | X                          | Réduire du 40% les valeurs des grés + toutes les valeurs des marnes/argiles   |

Tableau V.2 – Critères de pondération pour les valeurs de résistance a compression de la roche intact ( $\sigma_{ci}$ ), en fonction de la typologie du Flysch

Dans le tableau suivant, sont indiquées les données d'entrée utilisées pour la caractérisation des unités rocheuses (critère de Hoek et Brown), tels que les paramètres géotechniques de la roche intacte ( $\gamma$ , poids volumique,  $\sigma_c$ , résistance à la compression simple,  $m_i$ , constant de H&B) et le facteur de perturbation  $D$  (*Disturbance factor*) considéré. En fonction de ces données, les constants de Hoek & Brown ( $m_b, s, a$ ) ont été calculées.

| Ug   | Litho type                                     | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | GSI<br>[-] | UCS<br>[MPa] | $m_i$<br>[-] | D<br>[-] | Critère de rupture de Hoek & Brown (*) |                  |             |
|------|--|----------------------------------|------------|--------------|--------------|----------|--|------------------|-------------|
|      |  |                                  |            |              |              |          | $M_b$<br>[-]                           | s<br>[-]         | a<br>[-]    |
| Ug4  | Marnes, argilites, grés (flysch indifférencié) | 20-26 (22)                       | 25-35 (30) | 1-50 (12)    | 7-12 (7)     | 0.3      | 0.300-0.456                            | 0.0001-0.0003    | 0.516-0.531 |
| Ug4a | Grés, grés calcaires                           | 24-26 (24)                       | 35-50 (40) | 40-65 (50)   | 12-17 (12)   | 0.3      | 0.782-1.468                            | 0.0003-0.021     | 0.506-0.516 |
| Ug4b | Marnes, argiles, argiles marneuses             | 20-22 (20)                       | 15-25 (20) | <10(5)       | 7±2 (7)      | 0.3      | 0.197 - 0.300                          | 2.77E-5 - 0.0001 | 0.353-0.544 |

\*valeurs calculées avec le logiciel Roclab.

Tableau V.3 – Variabilité des paramètres utilisés dans la caractérisation géotechnique avec le critère de rupture de Hoek & Brown

## V.6. Synthèse de la caractérisation géotechnique et paramètres de projet

Sur la base des considérations exposées ci-dessus, sont résumés, par la suite, les paramètres géotechniques de référence pour chaque *Unité Géotechnique (Ug)* identifiées.

Le Tableau ci-dessous présente la variabilité des paramètres géotechniques des unités géotechniques (sols et formation rocheuses) et les valeurs utilisées dans les calculs.

| Ug   | Poids volumique<br>$\gamma$ | Cohésion<br>$c'$    | Angle de frottement<br>$\varphi'$ | Pression limite<br>$PI^*$ | Module pressiométrique<br>$E_m$ | Module de Young<br>$E'$ | Cohésion non drainée<br>$c_u$ |
|------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|      | [kN/m <sup>3</sup> ]        | [kPa]               | [°]                               | [MPa]                     | [MPa]                           | [MPa]                   | [kPa]                         |
| Ug1  | 18                          | 0                   | 34-36 ( <b>35</b> )               | -                         | -                               | 30-100                  | -                             |
| Ug2  | 19                          | 0-10 ( <b>5</b> )   | 28-30 ( <b>28</b> )               | 0.6-1.9                   | 5-30                            | 15-30                   | 50-100 ( <b>50</b> )          |
| Ug2a | 20                          | 8-26 ( <b>20</b> )  | 27-35 ( <b>29</b> )               | 0.7-3.3                   | 7-90                            | 15-145                  | -                             |
| Ug4  | 22                          | -                   | -                                 | 1.7-8.6                   | 15-190                          | 50-300                  | -                             |
| Ug4a | 24                          | -                   | -                                 | 2.6-8.7                   | 54-380                          | 100-500                 | -                             |
| Ug4b | 20                          | 20-40 ( <b>35</b> ) | 20-32 ( <b>26</b> )               | 1.5-5.7                   | 27-145                          | 50-165                  | 110-300 ( <b>110+6.5z</b> )   |

Tableau V.4 – Synthèse des principaux paramètres géotechniques retenues pour les unités géotechniques identifiées dans le secteur du viaduc

Les paramètres de calcul des unités rocheuses ont été choisis sur la base de la caractérisation de Hoek & Brown; afin de vérifier la fiabilité des résultats, les valeurs obtenues ont été vérifiées avec les résultats des essais pressiométriques et de laboratoire en utilisant les formulations de corrélation pour l'estimation de paramètres drainés.

Les paramètres de résistance mécanique des unités rocheuses (constants de Hoek & Brown et données d'entrée) et les paramètres de Mohr-Coulomb à utiliser dans le projet sont reportés dans le tableau suivant.

| Ug   | Paramètres géotechniques d'entrée |            |                     |              |          | Critère de Hoek & Brown |          |          | paramètres de Mohr-Coulomb |                |
|------|-----------------------------------|------------|---------------------|--------------|----------|-------------------------|----------|----------|----------------------------|----------------|
|      | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ]  | GSI<br>[-] | $\sigma_c$<br>[MPa] | $m_i$<br>[-] | D<br>[-] | $M_b$<br>[-]            | s<br>[-] | a<br>[-] | $c'$<br>[kPa]              | $\Phi'$<br>[°] |
| Ug4  | 22                                | 30         | 12                  | 7            | 0.3      | 0.37                    | 0.0002   | 0.522    | <b>70</b>                  | <b>35</b>      |
| Ug4a | 24                                | 40         | 50                  | 12           | 0.3      | 0.965                   | 0.0006   | 0.511    | <b>175</b>                 | <b>45</b>      |
| Ug4b | 20                                | 20         | 5                   | 7            | 0.3      | 0.243                   | 0.0001   | 0.544    | <b>35</b>                  | <b>26</b>      |

Tableau V.5 – Paramètres géotechniques des unités géotechniques rocheuses

La nappe phréatique a été interceptée par les forages S-OA05-1, S-OA05-2, S-OA05-3 et S-OA05-5 et S-OA05-6, à une profondeur variable entre 3.35m et 11.30m de la côte du terrain naturel.

Chapitre VI

**Caractérisation  
sismique locale**



## VI.1. Introduction

Le document technique RPOA 2008 identifie, pour chaque Wilaya du territoire national, la valeur de référence de l'accélération de zone. La Wilaya de Jijel, dans laquelle se localise l'ouvrage objet de l'étude, est caractérisée par une sismicité moyenne (zone Iia).

La classe des ouvrages rentre dans le groupe des ponts «1».

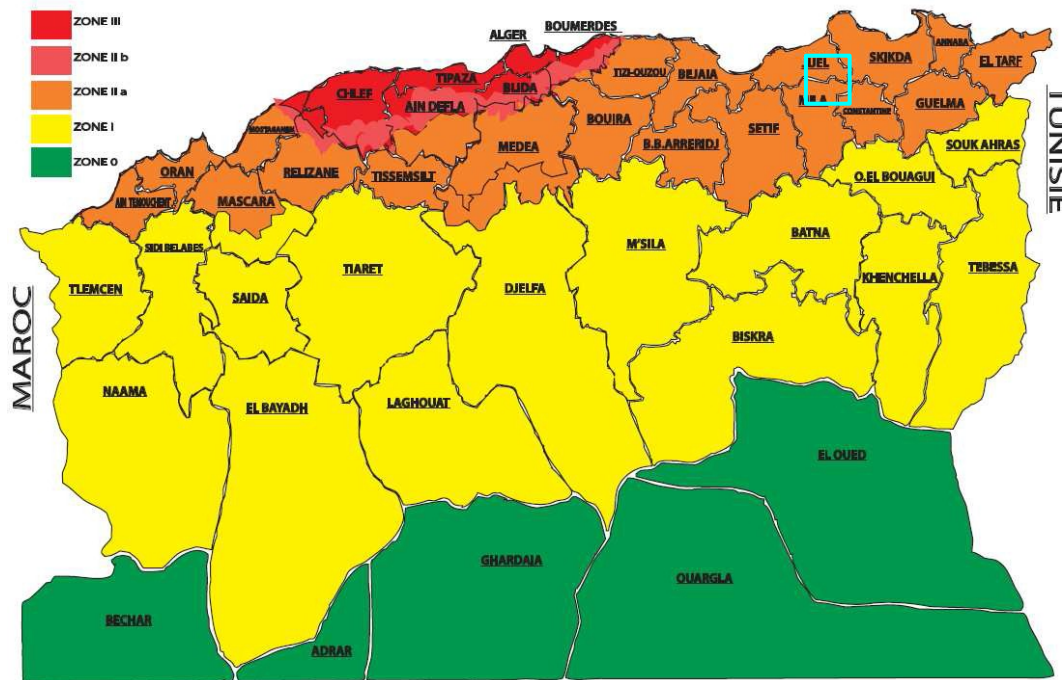


Figure V.1 – Carte de zonage sismique du territoire national

| Groupe de pont | Zone sismique |             |      |      |
|----------------|---------------|-------------|------|------|
|                | I             | IIa         | IIb  | III  |
| 1              | 0.15          | <b>0.25</b> | 0.30 | 0.40 |
| 2              | 0.12          | 0.20        | 0.25 | 0.30 |
| 3              | 0.10          | 0.15        | 0.20 | 0.25 |

Tableau V.1 – Coefficient d'accélération de zone A (RPOA 2008, §3.1.2)

Comme indiqué dans la norme RPOA 2008, les sites peuvent être classés en quatre catégories en fonction des propriétés mécaniques des couches de sols qui les constituent.

- Catégorie S1: site rocheux
- Catégorie S2: site ferme
- Catégorie S3: site meuble
- Catégorie S4: site très meuble

Par ailleurs, la classification des sites pourrait envisager les valeurs moyennes harmoniques des caractéristiques mécaniques, mesurée au moyen d'essais réalisées sur site ou en laboratoire sur les différentes couches de sol constituant la colonne de sol sur une



profondeur de 30m. En Tableau 5.2 sont reportées les limites pour les moyennes harmoniques des caractéristiques mécaniques suivantes:

- résistance au pénétromètre statique ( $\bar{q}_c$ ),
- nombre des coups non corrigé ( $\bar{N}$ ),
- pression limite ( $\bar{p}_l$ ),
- module pressiométrique ( $\bar{E}_p$ ),
- résistance en compression simple ( $\bar{q}_u$ ) et
- vitesse d'onde de cisaillement ( $V_s$ ).

| Catégorie | Description |               | $\bar{q}_c$ | $\bar{N}$ | $\bar{p}_l$ | $\bar{E}_p$ | $\bar{q}_u$ | $V_s$                |
|-----------|-------------|---------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
|           |             |               | [MPa]       | [-]       | [MPa]       | [MPa]       | [MPa]       | [m/s]                |
| S1        | Rocheux (a) |               | --          | --        | >5          | >100        | >10         | $V_s \geq 800$       |
| S2        | Ferme       | Sable/gravier | >15         | >50       | >2          | >20         | --          | $400 \leq V_s < 800$ |
|           |             | Argile        | >5          | --        | >2          | >25         | >0.4        |                      |
| S3        | Meuble      | Sable/gravier | 5-15        | 10-50     | 1-2         | 5-20        | --          | $200 \leq V_s < 400$ |
|           |             | Argile        | 1.5-5       | --        | 0,5-2       | 5-25        | 0.1-0.4     |                      |
| S4        | Très meuble | Sable/gravier | <5          | <10       | <1          | <5          | --          | $100 \leq V_s < 200$ |
|           |             | Argile        | <1.5        | --        | <0.5        | <5          | <0.1        |                      |

Tableau VI.2 – Caractéristiques géotechniques des sites (RPOA 2008, §3.1.3.1)

# **Conclusions**

## CONCLUSIONS

Le présent rapport géotechnique aborde le dimensionnement des éléments de fondation du viaduc V-19.2 (PK 19+174 - 19+680), en examinant les questions de nature géologique ainsi que celles géotechnique de caractérisation des terrains de fondation et de définition du modèle géotechnique de référence. Par surcroît, le document expose les résultats des vérifications géotechniques aux états-limites de référence (ELU, ELA, ELS) et les considérations sur l'évaluation des tassements des éléments de fondation.

Le viaduc V-19.2 est caractérisé par un tablier de 46m, 7 tabliers de 60m et un tablier de 40m, pour une longueur totale de 506m et 8 piles ayant hauteur de 8.0 à 40.8 m avec fondations directes. Les culées présentent hauteurs de 7.4 à 7.9m (semelles exclues) reposant sur fondations sur 8 pieux.

Le long du tronçon en étude, 3 unités géotechniques principales, avec leurs sub-unités, sont identifiées sur la base des caractéristiques lithologiques observées (description lithologique reportée dans les stratigraphies des sondages disponibles), des résultats des essais in-situ et en laboratoire exécutés dans les campagnes de reconnaissance (EXE), et des expériences spécifiques dans les contextes similaires. Une description synthétique des unités repérées est exposée au paragraphe 4.

Le Tableau 4.4 résume la variabilité des paramètres géotechniques définis pour chaque unité, selon les résultats des essais in-situ et de laboratoire disponibles. En ce qui concerne l'étude du niveau de la nappe phréatique, les forages S-OA05-1, S-OA05-2, S-OA05-3 et S-OA05-5 et S-OA05-6 l'ont intercepté à une profondeur variable entre 3.35m et 11.30m de la cote du terrain naturel.

La caractérisation sismique locale est conduite par l'égard du règlement de référence RPOA 2008, en classant le site du viaduc en étude en catégorie S3. Les coefficients sismiques sont présentés au chapitre 5 du présent document.

En raison des conditions du sous-sol attendues sur la base du modèle géologique et géotechnique, il est prévu d'adopter fondations sur pieux pour les culées et fondations directes.

La sélection des appuis pour lesquelles on a conduit les vérifications se base sur les valeurs des sollicitations les plus défavorables et la variabilité des conditions du sous-sol le long du viaduc.

Les excavations temporaires pour la réalisation des ouvrages de fondation seront exécutées selon les pentes définies, dans le tronçon d'intérêt, sur la base de la caractérisation géotechnique des matériaux observés.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.G.I. (1984), Raccomandazione sui pali di fondazione, Quaderni dell'Associazione Geotecnica Italiana.
- [2] Amar S., Clarke B.G., Gambin M. (1991), The pressuremeter studies, report ISSMFE.
- [3] Baud J. P. (2005), Analyse des résultats pressiométriques Ménard dans un diagramme spectral [Log(pLM), Log (EM/pLM)] et utilisation des regroupements statistiques dans la modélisation d'un site, ISP5 – PRESSIO 2005, Vol. 1. Gambin, Magnan et Mestat (ed.), Presses ENPC, Paris (2005), pp.167-174.
- [4] Baud J. P., Gambin M. (2013), Détermination du coefficient rhéologique  $a$  de Ménard dans le diagramme Pressiorama®. Preprint submitted to 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris, pp.8.
- [5] Briaud J. L. (1992), The Pressuremeter, Taylor and Francis, London, pp.422.
- [6] Cassan. M. (1978), Les Essais In-Situ en Mécanique des Sols, Eyrolles, Paris, pp. 342.
- [7] Fleming W. G. K., Weltman A. J., Randolph M. F. & Elson W. K. (1992), Piling engineering, 2nd edition, London, E & FN Spon.
- [8] Frank R. (1999), Calcul des fondations superficielles et profondes, Presses des ponts, Paris, pp.142.
- [9] International Society for Rock Mechanics (ISRM) (1981), Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown ET (ed) ISRM suggested methods, International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press, Oxford.
- [10] Magnan J. P., Soyez B. (2000), Déformabilité des sols - Tassements - Consolidation, Art. C 214. Traité Construction, Collection documentaire technique et scientifique, Ed. Techniques de l'Ingénieur, Paris, pp. 23.
- [11] Marinos V., Fortsakis P., Prountzopoulos G. (2011), Estimation of geotechnical properties and classification of geotechnical behaviour in tunnelling for flysch rock masses. Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering A. Anagnostopoulos et al. (Eds.), Part 1, pp. 435-440, Athens 2011.
- [12] Poulos H.G. & Davis E.H. (1974), Elastic solutions for soils and Rock mechanics, John Wiley and Sons.