

## **T12E MS06 : SOUTÈNEMENTS DÉFINITIFS POUR PASSAGE DU TRAM 12 EXPRESS À MORSANG-SUR-ORGE (91)**

### ***T12E MS06 : permanent retaining walls for passing the TRAM 12 EXPRESS at MORSANG-SUR-ORGE (91)***

Kheir-Eddine BENKAHOUL<sup>1</sup>, Patrick EXSHAW<sup>2</sup>, Maël LE LAGADEC<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NGE Fondations, Nanterre, France

<sup>2</sup> NGE Fondations, Servon-sur-Vilaine, France

<sup>3</sup> NGE Fondations, Nanterre, France

**RÉSUMÉ** – Le tracé du tramway 12 express le long de l'autoroute A6 sur la commune de MORSANG-SUR-ORGE (91), prévoit une section en déblai interceptant la formation des Argiles Vertes de puissance pluri métrique au droit du projet. Le comportement à long terme de cette formation, très sensible aux phénomènes de retrait-gonflement et de fluage, a conduit à une adaptation du projet en phase exécution afin de maîtriser les risques sur la pérennité de l'ouvrage liés à ces phénomènes.

**ABSTRACT** – The route of the 12 express tramway along the A6 highway at MORSANG-SUR-ORGE (91), plans to a vertical cut section passing through the plurimetric thick Green Clay formation on the project. The long-term behavior of this formation, which is very sensitive to shrinkage-swelling and creep phenomena, led to an adaptation of the project during the execution stage to control the risks regarding the durability of the structure related to these phenomena.

## **1. Introduction**

### **1.1. Présentation du projet**

Le tramway 12 Express est une ligne nouvelle qui entrera en service en 2023 au sud de l'Île de France, pour le compte d'une maîtrise d'ouvrage constituée de TRANSAMO (mandataire) et IDF MOBILITES, et avec pour maîtrise d'œuvre ARTELIA. Cette ligne reliera la gare de MASSY-PALAISEAU à celle d'ÉVRY-COURCOURONNES (91) sur un tracé de 20 kilomètres.

Différents ouvrages sont nécessaires afin d'insérer le tracé dans l'environnement urbain du projet.

L'ouvrage MS06 est situé à MORSANG-SUR-ORGE le long de l'autoroute A6. Sa réalisation a nécessité d'entailler le talus existant en bordure d'autoroute sur une hauteur pouvant aller jusqu'à 10 mètres et sur un linéaire de 250 mètres.

### **1.2. Contexte géotechnique et hydrogéologique**

Les terrains identifiés au droit du tronçon sont les suivants :

- Remblais anthropiques
- Argiles à meulières de Brie
- Argiles Vertes
- Marnes Supra-gypseuses

Les Argiles Vertes sont réputées pour leurs propriétés de forte plasticité et de grande sensibilité aux variations hydriques.

En effet, elles sont sujettes aux phénomènes de retrait-gonflement, leur consistance se modifiant en fonction de leur teneur en eau. Lorsqu'elles sont sèches, elles perdent leur

état de saturation intrinsèque par évaporation de l'eau qu'elles contiennent, devenant alors dures et cassantes, et subissant une forte diminution de volume (retrait). Lorsque leur teneur en eau augmente, elles subissent à contrario une augmentation de volume (gonflement).

Dans le cadre du présent projet, les investigations géotechniques menées ont conduit aux observations suivantes :

- Un comportement fluant selon les indices de plasticité mesurés ( $I_p > 20$ )
- Des instabilités de type glissement fréquent
- Des problématiques de gonflement engendré par une modification de l'état de contrainte du terrain en place, mis en évidence par deux essais de gonflement à l'œdomètre .

Il est d'usage d'adopter une approche prudente dans le cas de projet en interaction avec cet horizon, qui est l'un des plus sensible de la coupe géologique du Bassin Parisien.

Par ailleurs, d'un point de vue hydrogéologique, les Argiles Vertes constituent un substratum étanche pour la nappe des Argiles à Meulière de Brie sus-jacentes.

## 2. Études en phase de conception

### 2.1. Stratigraphie

Les sondages réalisés au droit du projet durant la phase de conception ont mis en évidence la stratigraphie courante suivante :

- 2 à 3 m de Remblais
- 5 m d'Argiles à Meulière
- 5 m d'Argiles Vertes.

### 2.2. Solution initiale de soutènement

La conception initiale de l'ouvrage MS06 a conduit à prévoir la réalisation d'une paroi clouée définitive, d'une dizaine de mètres de hauteur, ancrée principalement dans les Argiles à Meulière, la hauteur soutenue d'Argiles Vertes correspondant à environ 15 % de la hauteur soutenue totale, en partie basse de l'ouvrage.

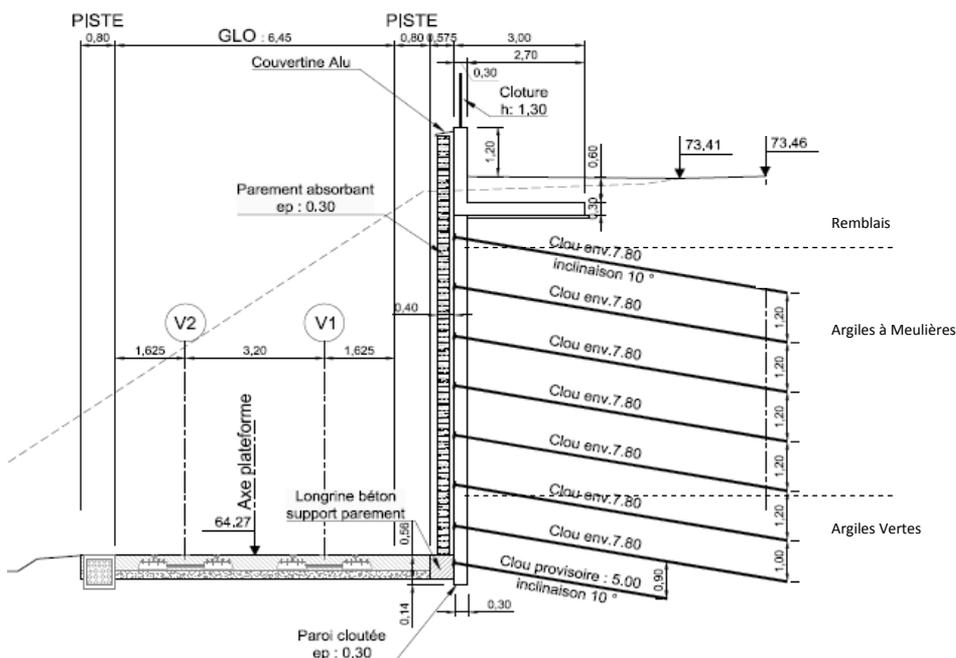


Figure 1. Coupe de principe

### 3. Adaptation de la conception en phase d'exécution

#### 3.1. Modèle géotechnique

La campagne de reconnaissance complémentaire réalisée en phase de préparation de travaux a permis de compléter et d'affiner le profil en long géotechnique à considérer pour les études d'exécution.

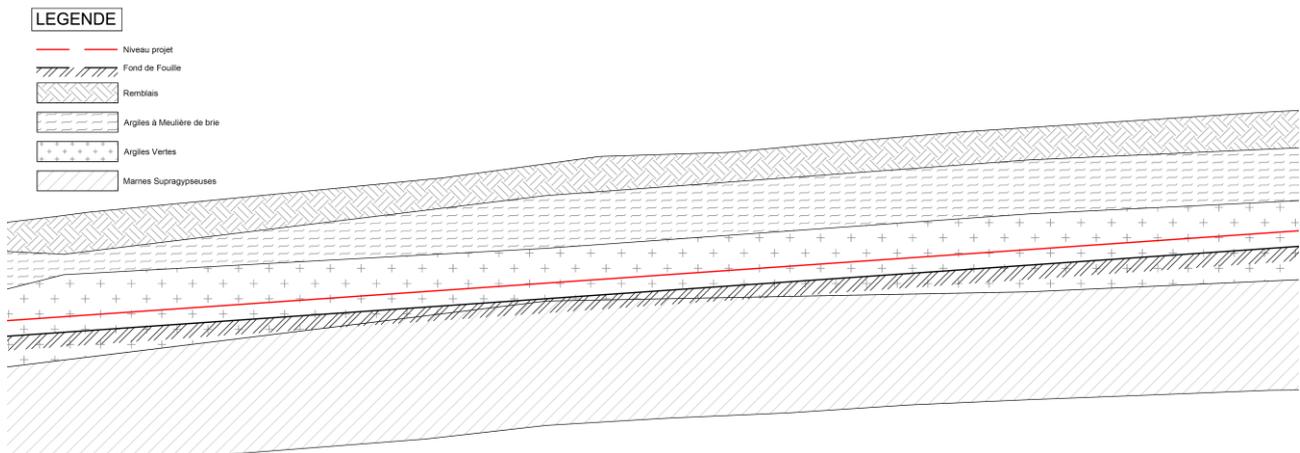


Figure 2 : Profil en long établi en mission G3

Le profil en long établi en mission G3 (figure 2) a mis en évidence que les travaux de terrassement nécessaires à la réalisation de l'ouvrage conduisaient à découvrir les Argiles Vertes sur une hauteur bien plus importante que prévue (jusqu'à 40 % de la hauteur vue totale), cela conduisant à réaliser une majorité des ancrages dans cette couche.

Par conséquent, la solution initialement prévue a dû être réévaluée en vue de conserver un niveau de risque acceptable par rapport à la maîtrise de la pérennité de l'ouvrage.

#### 3.2. Description de la conception retenue

La recherche d'une adaptation de la conception initiale a été menée de façon à réduire l'interaction entre la couche des Argiles Vertes et la paroi clouée, afin de s'affranchir de la réalisation d'ancrages permanents dans cette couche.

La conception d'origine a été conservée pour la phase provisoire permettant la réalisation des terrassements nécessaires au projet.

Pour la phase définitive, la réalisation d'un mur en L inversé fondé sur pieux, réalisé à l'avant de la paroi clouée, permet la reprise de l'intégralité des poussées de terres et hydrostatiques. Il permet également de limiter l'interaction entre les voies de train et les Argiles Vertes.

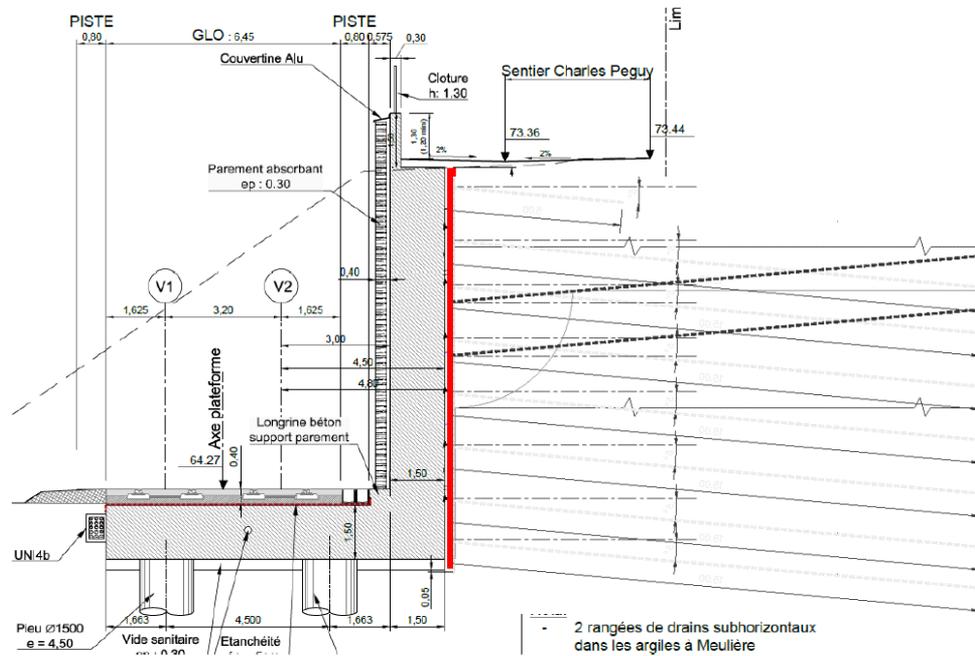


Figure 3 : Coupe de calcul de la solution retenue

### 3.3 Dimensionnement de la paroi clouée

Les calculs de stabilité générale ont été menés suivant la méthode de BISHOP simplifiée.

Des drains subhorizontaux ont été mis en œuvre afin de réduire les poussées de la nappe contenue dans la formation des Argiles à Meulière.

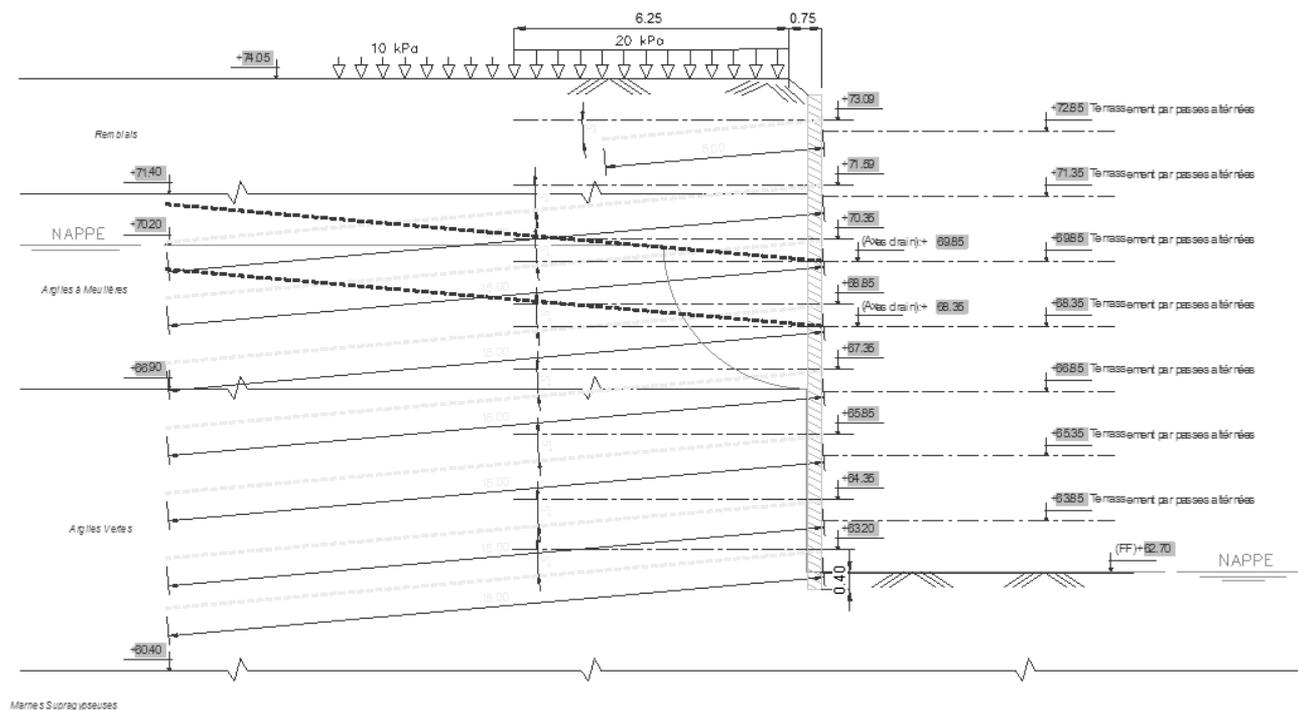


Figure 4 : Coupe de calcul représentant la paroi clouée provisoire

Du fait des faibles caractéristiques mécaniques considérées dans les Argiles Vertes, les calculs ont conduit à des ancrages de longueurs importantes (de l'ordre de 1,5 fois la hauteur vue), permettant de recouper les cercles de glissement potentiels.

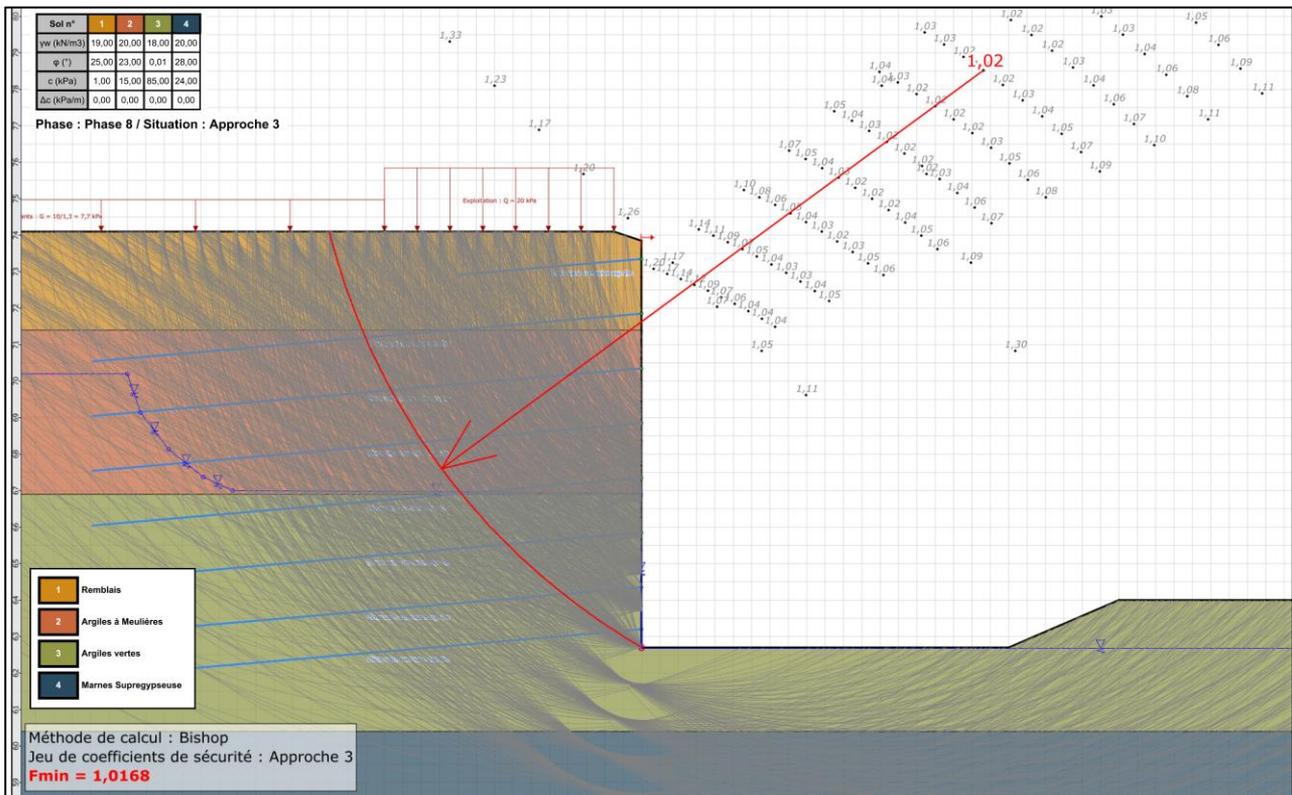


Figure 5 : Cercles de glissement de la paroi clouée provisoire

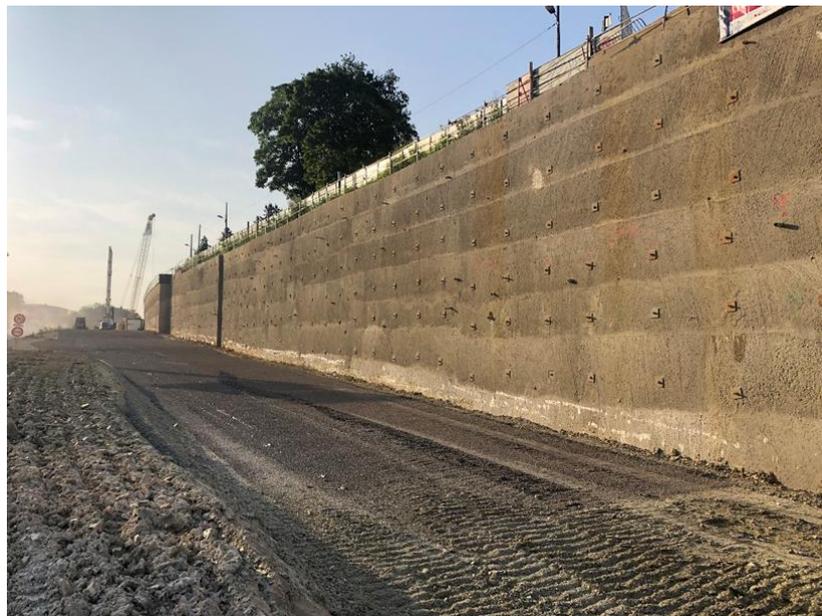


Figure 6 : Photo de la paroi clouée provisoire

### 3.4 Dimensionnement des pieux de fondations du mur en L inversé

Le mur en L inversé est conçu pour reprendre la totalité des poussées de terres et des eaux en phase définitive. Il est constitué de 9 tronçons, chacun fondé sur 6 à 9 files de 2 pieux de diamètres 1 200 mm à 1 500 mm. Un vide est prévu en sous face de semelle afin d'annuler les pressions de gonflement des Argiles Vertes liée au déconfinement de ces derniers. Les pieux sont ancrés dans les Marnes Supragypseuses.

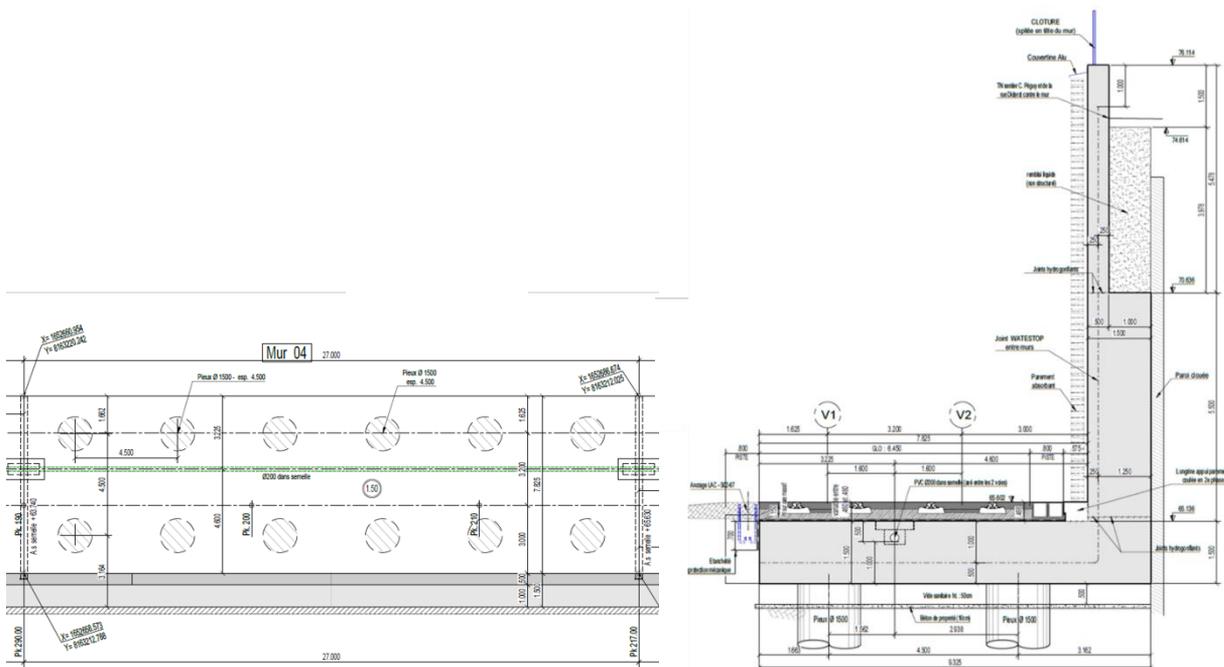


Figure 7 : Vue en plan et coupe du mur en L

Les pieux sont considérés encastrés dans la semelle du mur.

Les modélisations ont été effectuées en deux étapes :

- Mur en L sur appuis : le mur en L a été modélisé sur des appuis souples, en considérant les raideurs de pieux libres en tête. Cette modélisation est schématisée ci-après :

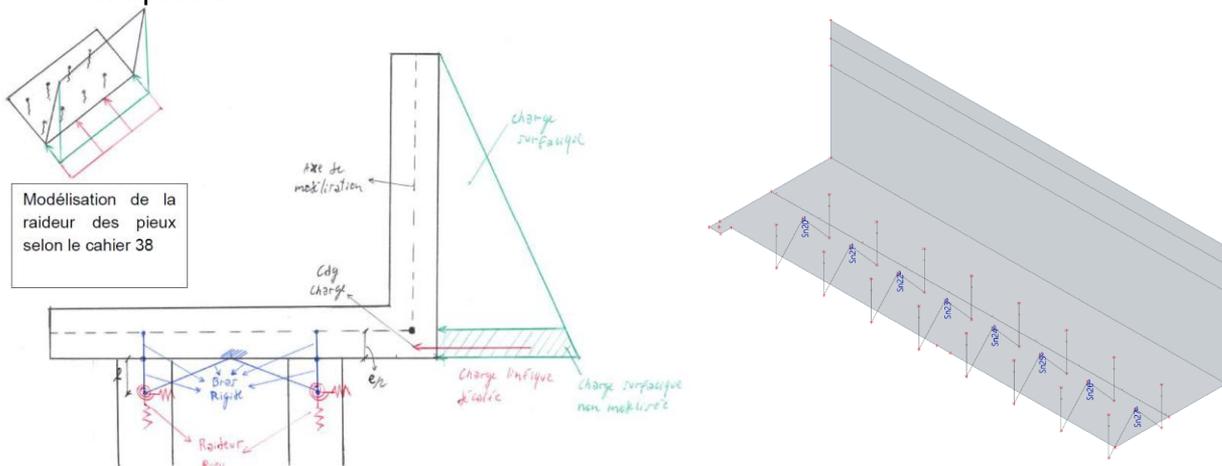


Figure 8 : Modélisation du mur en L sur appuis

Les murs sont modélisés à l'axe par deux plaques représentant la semelle et le voile. Les pieux en sous face de semelle sont modélisés par des bras rigides, pour la prise en compte de la raideur croisée. Le bras rigide est composé de deux barres.

Les terrains ne sont pas pris en compte dans ce modèle.

Cette modélisation permet de fournir un torseur de réaction au centre de deux pieux.

- Pieux sous le mur en L :

Une autre modélisation a ensuite été effectuée afin d'obtenir les sollicitations dans les pieux. Cette fois-ci, un couple de pieux est modélisé dans les terrains en place. Le modèle qui tient compte des paramètres de sol permet d'obtenir les raideurs horizontales, verticales et en rotation des pieux en fonction des dimensions de ces derniers et des torseurs appliqués.

Le torseur obtenu précédemment y est intégré. Pour ce modèle, la semelle est considérée comme infiniment rigide.

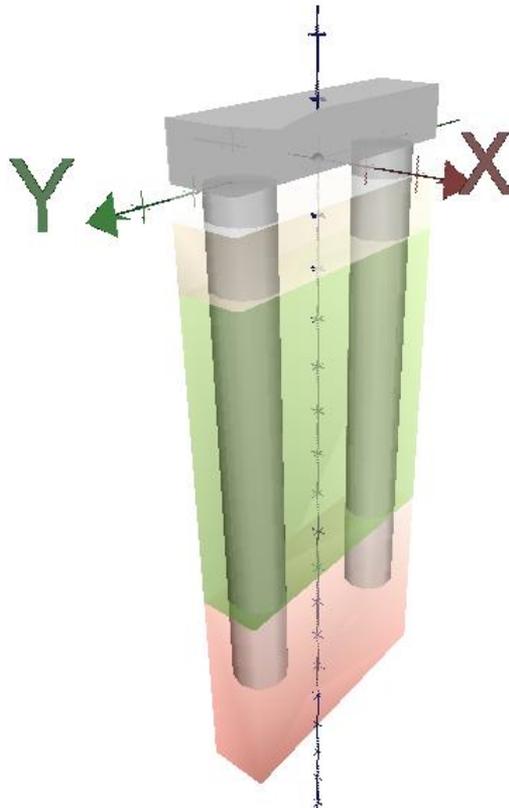


Figure 9 : Modélisation des pieux

La répartition des efforts sur chacun des pieux est ainsi obtenue. Un exemple de descente de charges verticales en tête de pieux est fourni ci-dessous :

$V_{\max}^{\text{ELS CAR}}$ (kN)	$V_{\min}^{\text{ELS CAR}}$ (kN)	$V_{\max}^{\text{ELS QP}}$ (kN)	$V_{\min}^{\text{ELS QP}}$ (kN)	$V_{\max}^{\text{ELU}}$ (kN)	$V_{\min}^{\text{ELU}}$ (kN)	$V_{\max}^{\text{ACC}}$ (kN)	$V_{\min}^{\text{ACC}}$ (kN)
3 507	1 121	2 935	1 101	4 783	-221	2 940	1 124

Le pieux situés au plus près du voile peuvent faire état de traction sous certaines combinaisons ELU.



Figure 10 : Pieux en cours de réalisation

#### **4. Conclusions**

Les Argiles Vertes constituent l'un des horizons les plus sensibles de la stratigraphie du Bassin Parisien. Au droit de l'ouvrage MS06 du projet du TramTrain Massy-Evry (91), son interaction sur une hauteur de 5 à 10 m avec l'ouvrage de soutènement à réaliser a conduit lors de la phase d'exécution à reconsidérer la conception initialement prévue.

La solution définitive retenue a été définie de façon à limiter les risques liés au comportement à long terme des Argiles Vertes, notamment les effets sur l'ouvrage engendré par le retrait-gonflement.

#### **5. Références bibliographiques**

Filliat G. (1981) La pratique des sols et fondations  
NF EN 1997 et annexes : Calculs géotechniques