

Le bureau d'études ...
en ingénierie

& services*

TESORA / ADEME

PRESTATIONS GEOTECHNIQUES DANS LE
CADRE D'UN PLAN DE GESTION

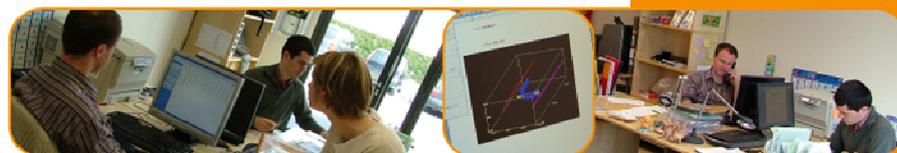
ANCIEN SITE INDUSTRIEL

SAINT LAURENT LE MINIER (30)



ETUDE GEOTECHNIQUE DE PROJET

MISSION G2



RÉFÉRENCE DOSSIER : 03318 VERSION 01

DATE : 30 JANVIER 2013



Afin de préserver l'environnement, certaines pages de ce document sont imprimées en recto verso

SAGA

22 rue des Carriers Italiens – 91350 GRIGNY

Tél : 01 75 30 25 20 – Fax : 01 69 06 08 64

info@saga-ingenierie.eu

SASU au capital de 38 000 € - RCS EVRY 453 887 176

SIRET : 453 887 176 00031 – APE : 7112 B- N°TVA intracom. : FR 81 453 887 176



SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| SOMMAIRE | 3 |
| INTRODUCTION | 5 |
| 1. GENERALITES..... | 5 |
| 2. MISSION CONFIEE ET TEXTES REGLEMENTAIRES..... | 5 |
| 3. CONTEXTE DU PROJET..... | 6 |
| 3.1. DESCRIPTION DU PROJET | 6 |
| 3.2. DOCUMENTS DE BASE | 7 |
| 4. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE..... | 8 |
| 4.1. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE | 8 |
| 4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE | 8 |
| 4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE | 8 |
| 4.4. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES | 9 |
| 4.4.1. <i>Retrait-gonflement des argiles</i> | 9 |
| 4.4.2. <i>Risque d'inondations par remontées de nappes</i> | 9 |
| 4.4.3. <i>Sismicité</i> | 10 |
| CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE | 11 |
| 5. IMPLANTATION DES SONDAGES..... | 11 |
| 6. TRAVAUX REALISES | 11 |
| RESULTATS ET SYNTHESE DES INVESTIGATIONS..... | 13 |
| 7. SYNTHESE LITHOLOGIQUE..... | 13 |
| 7.1. EN AVAL DES BASSINS DE DECANTATION | 13 |
| 7.2. EN AMONT DES BASSINS DE DECANTATION | 13 |
| 8. SYNTHESE GEOMECANIQUE..... | 14 |
| 9. RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE | 14 |
| 9.1. IDENTIFICATION GTR..... | 14 |
| 9.2. CARACTERISATION DES PARAMETRES INTRINSEQUES | 15 |
| 9.3. AGRESSIVITE DU SOL VIS-A-VIS DU BETON | 16 |
| 10. FOUILLES DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS..... | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 11. SONDAGES CAROTTES DES MURS..... | 18 |
| INTERPRETATIONS ET RECOMMANDATIONS | 19 |
| 12. SYNTHESE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE | 19 |
| 13. DIAGNOSTIC DE STABILITE DES MURS DE SOUTÈNEMENT..... | 20 |
| 13.1. DIAGNOSTIC VISUEL DES MURS | 20 |
| 13.2. AVIS SUR L'ORIGINE DES DESORDRES..... | 25 |
| 13.3. SOLUTIONS DE CONFORTÈMENT | 25 |
| 14. STABILITE GEOTECHNIQUE DES STERILES DES AVINIÈRES..... | 26 |
| 14.1. OBSERVATIONS | 26 |
| 14.2. STABILITE GÈNERALE VIS-A-VIS DU GLISSEMENT..... | 27 |
| 14.3. CONCLUSION | 29 |
| 15. ETUDE DES SOLUTIONS DE TRAVERSEE DE LA RIVIERE ET DE LEUR FAISABILITE | 30 |
| ALEAS GEOTECHNIQUES - CONDITIONS CONTRACTUELLES..... | 32 |

Table des annexes

ANNEXE 1 EXTRAIT DE LA NORME NF P 94-500

ANNEXE 2 PLAN DE SITUATION

ANNEXE 3 PLAN D'IMPLANTATION

ANNEXE 4 DIAGNOSTIC VISUEL DES MURS DES BASSINS – PROFILS EN LONG

ANNEXE 5 COUPES DES SONDAGES

ANNEXE 6 PHOTOS ET COUPES DES SONDAGES CAROTTES

ANNEXE 7 PHOTOS ET COUPES DES FOUILLES DE RECONNAISSANCE DE FONDATIONS

ANNEXE 8 RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

ANNEXE 9 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL

INTRODUCTION

1. Généralités

Donneur d'ordres : ADEME

Client : TESORA

Projet : Prestations géotechniques dans le cadre d'un plan de gestion

Adresse du chantier : Ancien site industriel – SAINT LAURENT LE MINIER (30)

2. Mission confiée et textes réglementaires

Le présent rapport d'étude s'inscrit dans le cadre de la norme AFNOR NF P 94 500 du 05/12/2006 dont un extrait est joint en Annexe n°1.

Les différentes missions confiées à SAGA étaient les suivantes :

| Mission | Définition et description |
|---|---|
| Investigations géotechniques | Exécuter les sondages, essais et mesures in situ et en laboratoire selon un programme défini dans la mission proposée. |
| G2 Phase Projet sans estimation des coûts, des délais et des quantités (NF P 94 500 du 05/12/2006) | <ul style="list-style-type: none"> o Réaliser un diagnostic de solidité des murs des bassins de décantation et déterminer, en fonction du contexte géologique et géotechnique du site, les origines des désordres des murs. o Définir les dimensionnements et les recommandations géotechniques vis-à-vis de la mise en place des dispositifs de confortement, si nécessaires. o Déterminer, en fonction des résultats des essais de laboratoire, la stabilité des stériles des Avinières. o Etudier les différentes solutions de traversée de la rivière et leur faisabilité. |

Remarques :

- o L'estimation des coûts fait partie de notre mission G2 et fera l'objet d'une version 02 du présent rapport.
- o Les différentes préconisations définies dans le présent rapport peuvent évoluer une fois le projet défini.

Les textes réglementaires suivants ont été utilisés pour définir les prédimensionnements et recommandations fournis :

- o Normes AFNOR en vigueur, ou notes techniques particulières existantes concernant les travaux de sondages et essais in-situ et en laboratoire.
- o Afnor P11-211 – DTU 13.11 Fondations superficielles et Afnor P11-711 - DTU 13.12 Règles pour le calcul des fondations superficielles.
- o Guide Technique SETRA-LCPC « Réalisation des remblais et des couches de formes » Fascicule II.

3. Contexte du projet

3.1. Description du projet

Le secteur de la Papeterie à Saint Laurent le Minier dans le Gard (30) a fait l'objet d'un arrêté préfectoral. Les sociétés TESORA et EAUGEO, ont été alors missionnées par l'ADEME pour réaliser un plan de gestion relatif aux séquelles encore présentes des anciennes activités industrielles en lien avec l'exploitation minière. Le but est de proposer des mesures concrètes à engager pour réduire l'exposition des habitants de la Papeterie et protéger les eaux de la Vis.

La commune de Saint Laurent Le Minier a été, depuis l'époque gallo-romaine, le siège d'activités d'extraction et de traitement des minerais. Notre zone d'étude fait partie de la concession de Saint Laurent Le Minier, la plus ancienne sur cette commune, qui a été en activité entre 1875 et 1940. Des études environnementales ont révélé la présence d'une concentration élevée en différents éléments métalliques ou métalloïdes, notamment en plomb, dans certains sols de la commune.

La zone concernée par ce plan de gestion comprend le hameau de la Papeterie, les stériles des Avinières, les différents bassins de décantation, s'étendant de la Cascade au pont de Mange-Châtaigne, sur les deux rives de la rivière de La Vis, et en périphérie immédiate.



Zone d'étude à Saint Laurent le Minier (30) (<http://slmpapeterie.unblog.fr/>)

Pour mener à bien ce plan de gestion, les principales prestations menées sur la zone d'étude porteront sur la faune, la flore, les eaux de surface et souterraines, les poussières et les sols.

Le présent rapport porte exclusivement sur la partie géotechnique et comporte :

- o Une étude de la stabilité des stériles des Avinières,
- o Un diagnostic de la solidité des murs de soutènement des bassins de décantation,
- o Une étude des solutions envisageables de traversée de la Vis.

3.2. Documents de base

- o Cahier des charges « Plan de gestion – Saint Laurent le Minier (30) » - Dossier de Consultation des Entreprises.

4. Contexte géomorphologique et géologique

4.1. Contexte géomorphologique

Le site se trouve au centre de la commune de Saint-Laurent-Le-Minier, dans le Gard (30), en face du hameau de la Papeterie, et en rive gauche de la Vis. Il se situe en contexte de versant et de plaine alluviale de la Vis.

La topographie présente des dénivelées importantes Nord-Sud et Ouest-Est. La cote actuelle du site varie entre 160,0 et 250,0 mNGF.

Le plan de situation est joint en Annexe n°2.

4.2. Contexte géologique

La commune de Saint Laurent le Minier est située à l'extrémité méridionale du Massif Central dans la zone de contact entre les formations cristallines et paléozoïques des Cévennes et les formations mésozoïques transgressives sur le socle cristallin.

Au niveau des Avinières, des failles bordières orientales du horst de Roquedur s'organisent selon un réseau de fractures Nord-Nord-Est et Est-Sud-Est.

D'après les documents consultés (carte géologique de LE VIGAN au 1/50 000^{ème}) et notre expérience locale, les horizons que l'on devrait normalement rencontrer dans ce secteur sont, de haut en bas :

- o *Remblais/Dépôts dus à la décantation,*
- o *Alluvions de la Vis,*
- o *Calcaire Grossier.*

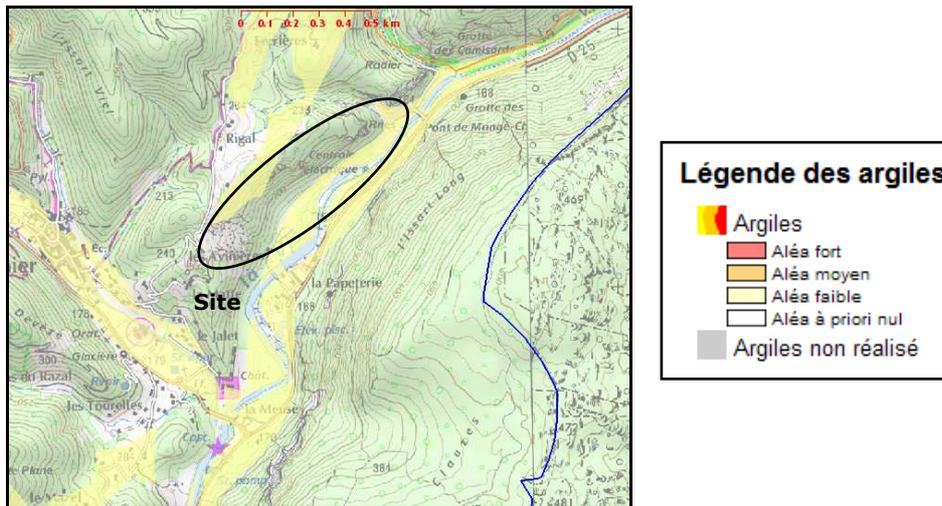
4.3. Contexte hydrogéologique

Selon le Cahier des charges, deux nappes ont été recensées sur la zone des bords de la Crenze, affluent de la Vis, à l'entrée du hameau de la Papeterie : la première étant située dans les terrains karstiques du Jurassique moyen et supérieur et la deuxième contenue dans les dolomies et les schistes et s'écoulant vers le Sud.

4.4. Risques naturels et anthropiques

4.4.1. Retrait-gonflement des argiles

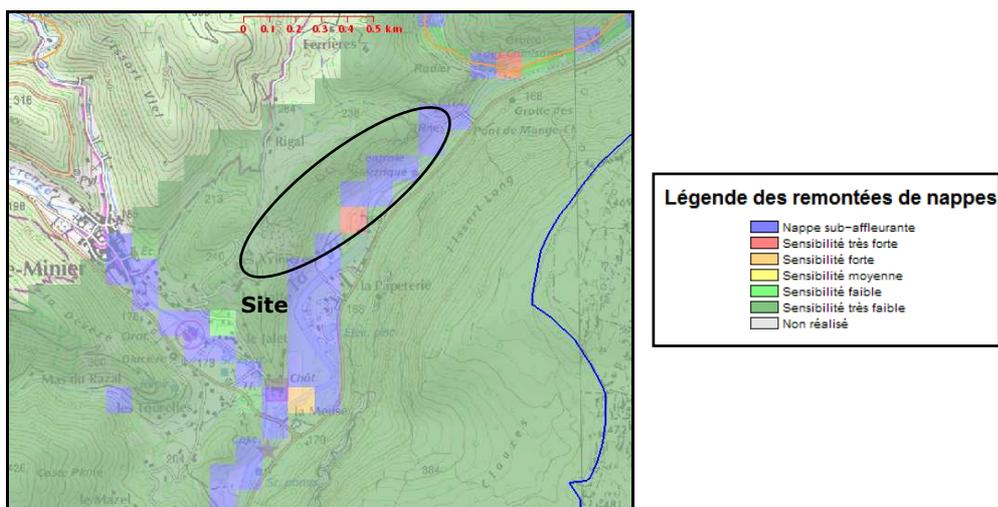
La cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles sur la commune de Saint Laurent le Minier (30), établie par le BRGM, montre que le site se trouve dans une zone d'aléa nul à faible.



Cartographie du risque de retrait-gonflement des argiles à Saint-Laurent-Le-Minier (www.argiles.fr)

4.4.2. Risque d'inondations par remontées de nappes

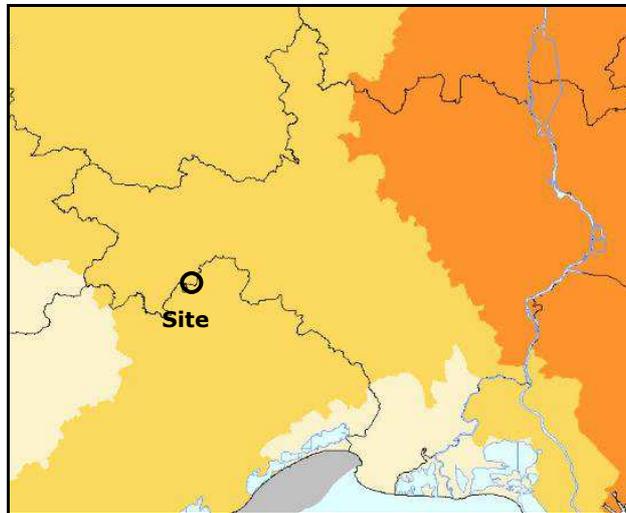
D'après la carte de remontées des nappes sur la commune de Saint Laurent le Minier (30), on remarque que le site se trouve dans une zone à sensibilité forte à très faible, selon la proximité immédiate ou pas de la Vis.



Cartographie du risque d'inondations par remontées de nappes à Saint-Laurent-Le-Minier (www.inondationsnappes.fr)

4.4.3. Sismicité

D'après le zonage de sismicité du territoire français en vigueur au 1^{er} Mai 2011, la commune de Saint Laurent le Minier se trouve en zone de sismicité 2, aléa faible.



| Aléa | Mouvement du sol |
|-------------|--|
| très faible | accélération < 0.7 m/s ² |
| faible | 0.7 m/s ² ≤ accélération < 1.1 m/s ² |
| modéré | 1.1 m/s ² ≤ accélération < 1.6 m/s ² |
| moyen | 1.6 m/s ² ≤ accélération < 3.0 m/s ² |
| fort | accélération ≥ 3.0 m/s ² |

CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE

5. Implantation des sondages

L'implantation des sondages a été réalisée, par nos soins, au droit du projet. Elle est reportée en Annexe n°3.

6. Travaux réalisés

Les profondeurs des sondages réalisés du 18/06/2012 au 22/06/2012, sont comptées à partir du niveau du terrain naturel au moment de la reconnaissance.

| Sondages de reconnaissance | Référence | Implantation | Profondeur (m/TN) | Essais pressiométriques/ Remarques |
|--|-----------|--|-------------------|---|
| Murs de soutènements | | | | |
| Sondage pressiométrique Norme NFP94.110-1 | SP1 | Bassin 1, en aval, à côté du Contrefort 1 | -10,0 | 9 essais pressiométriques |
| | SP2 | Bassin 2, en aval, à côté du Contrefort 7 | -10,0 | 9 essais pressiométriques |
| | SP3 | Limite entre Bassins 2 et 3, en aval, à côté du Contrefort 12 | -10,0 | 9 essais pressiométriques |
| Sondage carotté (géologique) | SC1 | Bassin 1, en amont | -4,3 | Prélèvement d'échantillons intacts pour essais de laboratoire |
| | SC2 | Bassin 2, en amont | -3,0 | Prélèvement d'échantillons intacts pour essais de laboratoire |
| | SC3 | Bassin 3, en amont | -3,0 | Prélèvement d'échantillons intacts pour essais de laboratoire |
| Fouille de reconnaissance de fondations | F1 | Limite entre Bassins 2 et 3, en aval Entre Contreforts 11 et 12 | -1,4 | - |
| | F2 | Bassin 2, en aval Contrefort 9 | -2,3 | - |
| | F3 | Limite entre Bassins 1 et 2, en aval Entre contreforts 6 et 7 | -1,0 | - |
| | F4 | Bassin 1, en aval Contrefort 4 | -2,0 | - |
| | F5 | Bassin 1, en aval Contrefort 1 | -1,7 | - |

| Sondages de reconnaissance | Référence | Implantation | Profondeur (m/TN) | Essais pressiométriques/ Remarques |
|---|-----------|--|-------------------|------------------------------------|
| Murs de soutènements | | | | |
| Fouille de reconnaissance de fondations | F6 | Bassin 3, côté amont | -3,6 | - |
| | F7 | Bassin 5, côté amont | -4,0 | - |
| | F8 | Bassin 5, côté amont | -1,7 | - |
| Sondage carotté sur mur | SC4 | Mur du Bassin 1, côté amont | -0,27 | - |
| | SC5 | Mur du Bassin 2, côté amont | - | Carotte en vrac |
| | SC6 | Mur du Bassin 3, côté amont | - | Carotte en vrac |
| Avinières | | | | |
| Prélèvement d'échantillons | - | Avinières, dépôts de matériaux stériles en hauteur | - | Essais de laboratoire |
| Future passerelle | | | | |
| Sondage pressiométrique Norme NF P 94.110-1 | SP4 | Rive gauche de la Vis (du côté des bassins) | -10,0 | 9 essais pressiométriques |
| | SP5 | Rive droite de la Vis (du côté de la Papeterie) | -10,0 | 9 essais pressiométriques |

Les sondages pressiométriques ont été réalisés en mode destructif avec enregistrements des paramètres de forage. Les coupes de sondages sont reportées en Annexe n°5.

Les photos et coupes des sondages carottés sont reportées en Annexe n°6.

Les fouilles de reconnaissance de fondations ont été réalisées à la pelle mécanique. Les photos et coupes sont reportées en Annexe n°7.

Les échantillons issus des sondages carottés et des Avinières ont fait l'objet d'essais mécaniques (proctor, cisaillement à la boîte de Casagrande) et d'analyses physico-chimiques des sols. Les procès-verbaux des essais de laboratoire sont joints en Annexes n°8 et 9.

Les essais de traction et de compression sur les carottes extraites des murs des bassins n'ont pas été réalisés compte tenu de la mauvaise qualité des carottes (voir Annexe n°6).

RESULTATS ET SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS

7. Synthèse lithologique

7.1. En aval des bassins de décantation

Les sondages pressiométriques ont été réalisés en aval des bassins, sur les rives gauche (SP1 à SP4) et droite (SP5). Les coupes sont jointes en Annexe n°5. Il en ressort la lithologie suivante :

1. Remblais : sous une couche de *Terre Végétale* de 0,4 m d'épaisseur, les *Remblais* sont constitués de limon sableux marron à cailloutis. Ils ont été reconnus jusqu'à -0,9 à -5,0 m/TN.

La surépaisseur de *Remblais* rencontrée au droit du SP5 est due à l'implantation du sondage sur la rive droite de la Vis, en amont d'un mur de soutènement.

2. Alluvions de la Vis : constituées de sable moyen à grossier marron jaunâtre avec graviers et galets, les *Alluvions de la Vis* ont été reconnues jusqu'à -5,5 à -6,0 m/TN.

Cette formation était absente au droit de SP5.

3. Substratum calcaireux du Kimméridgien : sous forme de strates de calcaire dur grisâtre, cette formation a été rencontrée jusqu'à -10,0 m/TN (arrêt volontaire de nos sondages).

La vitesse d'avancement de l'outil au forage très faible, inférieure à 10 m/h, met en évidence un faciès très compact.

Remarque : Les formations superficielles *Remblais/Alluvions* étaient absentes au droit du sondage SP4 réalisé à proximité immédiate de la rive gauche de la Vis, où le calcaire est affleurant.

7.2. En amont des bassins de décantation

Les sondages carottés ont été réalisés à l'intérieur des bassins de décantation. Les photos et coupes jointes en Annexe n°6 mettent en évidence des dépôts de décantation argileux plastiques, marron-ocre à orangés.

8. Synthèse géomécanique

Les résultats des essais pressiométriques réalisés sont répertoriés en fonction des couches dans le tableau suivant :

| N° de couche | Horizons | Profondeur de la base (m/TN) | Pressiomètre | | | |
|--------------|--|------------------------------|----------------------------|---|-----------------|----------|
| | | | E_M (MPa) | P_i^* (MPa) | Nombre d'essais | α |
| 1 | <i>Remblais</i> | -0,9/-5,0 | 2,3 à 4,0 Mh = 3,0 | 0,24 à 0,36 Ma = 0,28 σ = 0,50 | 7 | 1 |
| 2 | <i>Alluvions de la Vis</i> | -5,5/-6,0 | 3,1 à 38,4 Mh = 5,2 | 0,19 à 3,38 Ma = 0,62 σ = 0,82 | 13 | 2/3 à 1 |
| 3 | <i>Substratum calcaireux du Kimméridgien</i> | <-10,0 | 56.2 à 206.0 Mh = 121,7 | > 5,00 | 24 | 1/3 |

NOTA : Ma = Moyenne arithmétique - Mh = Moyenne harmonique - σ = écart-type.

Les valeurs pressiométriques mesurées au sein des *Remblais* témoignent de leur faible consistance. Toutefois la présence de blocs et passages indurés n'est pas à exclure.

Les *Alluvions de la Vis* présentent des caractéristiques mécaniques faibles dans l'ensemble. On note la présence de passages indurés en profondeur ($P_i=3,38$ MPa).

Le *Substratum calcaireux* est de bonne compacité avec des valeurs pressiométriques supérieures à 5,00 MPa et des modules pressiométriques supérieurs à 100 MPa.

9. Résultats des essais de laboratoire

9.1. Identification GTR

Les résultats des essais Proctor menés en laboratoire sur les échantillons prélevés au droit des Avinières sont présentés dans le tableau récapitulatif suivant :

| Prélèvement | Coupe lithologique | W_N (%) | W_{OPN} (%) | γ_d (g/cm ³) |
|-------------|--|-----------|---------------|---------------------------------|
| E1 | Sable orangé ocre à graviers et petits blocs | 10,5 | 11,0 | 2,006 |
| E2 | Sable orangé ocre à graviers et petits blocs ($\varnothing 75$ mm) | 17,5 | 13,0 | 2,067 |
| E3 | Sable grisâtre à marron foncé limoneux avec graviers et petits blocs | 11,0 | 9,5 | 2,052 |

On note que l'optimum Proctor est atteint pour des teneurs en eau comprises entre 9,5 % et 13,0 %.

9.2. Caractérisation des paramètres intrinsèques

Des essais de cisaillement consolidé-drainé (CD) à la boîte de Casagrande ont été réalisés sur des échantillons intacts prélevés au niveau des sondages carottés et ceux prélevés au droit des Avinières et compactés à l'optimum proctor. Les caractéristiques intrinsèques obtenues correspondent à un comportement de sol à long terme :

| Sondage | Profondeur (m/TN) | Formation | C' (kPa) | ϕ' (°) |
|----------------------|-------------------|--|----------|-------------|
| E1 compacté à OPN | - | Sable grossier et moyen peu limoneux marron orangé à grains siliceux | 0 | 34 |
| E2 compacté à OPN | - | Sable grossier et moyen peu limoneux marron orangé à grains siliceux | 0 | 43 |
| E3 compacté à OPN | - | Sable grossier et moyen peu limoneux marron grisâtre à grains siliceux | 0 | 46 |
| SC1 | -0,7 | Silt sableux fin rouge ocre à orangé, très mou à pâteux | 0 | 20 |
| SC1 | -3,5 | Sable silteux fin rouge ocre à inclusions noirâtres, très mou | 0 | 30 |
| SC2 | -1,5 | Argile silteuse rouge ocre très molle et compressible, gorgée d'eau | 1 | 5 |
| SC2 | -3,0 | Sable moyen à grossier marron foncé grisâtre à graviers | 0 | 30 |
| SC3 | -1,5 | Argile silteuse rouge ocre très molle et compressible, gorgée d'eau | 0 | 4 |
| SC3 | -2,7 | Argile silteuse rouge ocre très molle et compressible, gorgée d'eau | 0 | 7 |

Pour les matériaux prélevés au niveau des Avinières et compactés à l'OPN, on observe, à long terme, un angle de frottement compris entre 34° à 46° et une cohésion nulle, caractéristiques des sols sablo-graveleux.

A long terme, les dépôts argileux, prélevés au droit des bassins de décantation, présentent des paramètres intrinsèques hétérogènes : un angle de frottement faible à élevé, allant de 5° à 30°, et une cohésion nulle.

9.3. Agressivité du sol vis-à-vis du béton

Conformément à la norme FD P 18-011 « Béton - Définition et classification des environnements chimiquement agressifs », les résultats des essais en laboratoire pour les teneurs en sulfates déterminées en mg/kg total, et les degrés d'acidité déterminés en ml/kg, sont résumés dans le tableau suivant :

| Echantillon (m/TN) | Teneur en sulfates | | % en sulfates | Degré d'acidité | |
|-----------------------|--------------------|--|---------------|-----------------|-----------------------------|
| | (mg/kg MS) | (mg/kg total) | | (ml/kg MS) | (ml/kg) |
| SC1 (0,0/-1,0) | 210 | 167 <2000 → Non agressif | 0,0167 | 7 | 5,6 <200 → Non agressif |
| SC1 (-3,0/-4,0) | 2300 | 1858 <2000 → Non agressif | 0,1858 | 2 | 1,6 <200 → Non agressif |
| SC2 (-1,0/-2,0) | 5500 | 3443 >3000 et ≤10 000 → Agressif | 0,3443 | 7 | 4,4 <200 → Non agressif |
| SC2 (-2,0/-3,0) | 460 | 403 <2000 → Non agressif | 0,0403 | <2 | <1,8 <200 → Non agressif |
| SC3 (-1,0/-2,0) | 2400 | 1810 <2000 → Non agressif | 0,1810 | 19 | 13,2 <200 → Non agressif |
| SC3 (-2,0/-2,8) | 2600 | 1758 <2000 → Non agressif | 0,1758 | 20 | 13,5 <200 → Non agressif |

Les résultats des degrés d'acidité montrent que les sols constituent un milieu non agressif vis-à-vis du béton.

Toutefois, les valeurs des teneurs en sulfates mettent en évidence un milieu agressif de classe XA2.

Les analyses chimiques concernant la détermination de la teneur en sulfate dans le sol, ont mis en évidence des valeurs comprises entre 0,02% et 0,34%, et inférieures à la valeur seuil égale à 0,5%.

10. Fouilles de reconnaissance des fondations

Huit fouilles de reconnaissance de fondations des murs ont été réalisées, à la pelle mécanique, côtés amont et aval des bassins, selon les contraintes du site.

Les photos et coupes des fouilles, notées F1 à F8, sont reportées en Annexe n°7. Les observations faites sont reportées dans le tableau ci-dessous :

| Fouille | Localisation | Type de fondation | Ancrage | H (m) | D (m) | l (m) | L (m) |
|---------|--|--|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| F1 | Limite entre Bassins 2 et 3, en aval Entre Contreforts 11 et 12 | Semelle filante Prolongation du mur | Remblais | 0,25 | 0,40 | ≈1,10 | - |
| F2 | Bassin 2, en aval Contrefort 9 | Massif isolé | Alluvions de la Vis | -2,10 | - | 3,40 | ≈4,00 |
| F3 | Limite entre Bassins 1 et 2, en aval Entre contreforts 6 et 7 | Semelle filante Prolongation du mur | Remblais | 0,25 | 0,40 | ≈1,10 | - |
| F4 | Bassin 1, en aval Contrefort 4 | Massif isolé | Alluvions de la Vis | -2,00 | - | - | - |
| F5 | Bassin 1, en aval Contrefort 1 | Massif isolé | Alluvions de la Vis | -1,50 | 1,00 | 3,00 | ≈4,60 |
| F6 | Bassin 3, côté amont | | | | | | |
| F7 | Bassin 5, côté amont | Semelle filante Prolongation du mur | Alluvions de la Vis | -2,50 | - | ≈1,10 | - |
| F8 | Bassin 5, côté aval | Semelle filante Prolongation du mur | Alluvions de la Vis | -1,70 | | | |

H : Hauteur fondation ;

D : Débord ;

l : Largeur fondation (le mur a une épaisseur de 0,70 m) ;

L : Longueur fondation (on considère un débord d'environ 0,70 à 1,00 m au niveau des contreforts).

- o Les fouilles de reconnaissance de fondations des murs F1 et F4, réalisées en aval des bassins, ont mis en évidence une semelle filante par prolongation du mur, ancrée à -0,25 m/TN, au sein de *Remblais*. Cette fondation présente un débord d'environ 0,40 m.

En tenant compte d'une épaisseur de mur de 0,7 m, et sans considérer de débord en amont du bassin, la largeur de la semelle est estimée à environ 1,1 m.

- o Les fouilles F6 et F7 ont été réalisées à l'intérieur des bassins 3 et 5, respectivement jusqu'à -3,6 et -4,0 m/TN.

La fondation du mur n'a pas été mise en évidence au niveau de la fouille F6 où le mur se prolonge encore. La hauteur cumulée du mur est de 6,4 m.

Au niveau de la fouille F7, le mur est fondé superficiellement par semelle filante (prolongation du mur) sans débord (à l'intérieur de la fouille).

- o Les fouilles F2, F4 et F5, réalisées au niveau des contreforts (en aval des bassins), mettent en évidence des fondations par massifs isolés en pierres, ancrés au sein des *Alluvions de la Vis*. Ces fondations présentent des débords allant de 0,70 à 1,00 m.

11. Sondages carottés des murs

Nous avons effectué 3 sondages carottés des murs des bassins 1, 2 et 3. Les photos sont jointes en Annexe n°6. On note que :

- o Seule la carotte SC4, extraite du mur du Bassin 1, est en bon état sans pour autant être exploitable et pouvoir réaliser des essais de compression et traction.
- o Les carottes SC5 et SC6 sont désagrégées : le liant est peu ou plus présent, les granulats sont disjoints.

INTERPRETATIONS ET RECOMMANDATIONS

12. Synthèse géologique et hydrogéologique

Dans le cadre du plan de gestion de l'ancien site minier de Saint Laurent le Minier, la reconnaissance du site a mis en évidence les éléments suivants :

- **Terrains traversés en aval des bassins :**

- *Remblais*, constitués de limon sableux marron à cailloutis, ils présentent des caractéristiques mécaniques faibles.

Cette formation a été observée jusqu'à -0,9 à -5,0 m/TN.

- *Alluvions de la Vis*, constituées de sable moyen à grossier marron jaunâtre avec graviers et galets, elles ont été reconnues jusqu'à -5,5 à -6,0 m/TN et présentent des caractéristiques mécaniques faibles à moyennes.
- *Le Substratum calcaireux du Kimméridgien*, constitué de calcaire stratifié très compact, a été reconnu jusqu'à -10,0 m/TN. Il présente des caractéristiques mécaniques très élevées.

Les *Remblais* et les *Alluvions* peuvent renfermer des blocs et niveaux indurés pluricentimétriques (graviers, blocs, etc.).

- **Terrains traversés en amont des bassins :**

Les terrains traversés à l'intérieur des bassins sont des dépôts de décantation, argileux plastiques, marron-ocre à orangés.

Les essais de laboratoire présentent des paramètres intrinsèques hétérogènes : un angle de frottement faible à élevé, allant de 5° à 30°, et une cohésion nulle.

L'analyse physico-chimique de ces sols met en évidence un milieu agressif vis-à-vis du béton, de classe XA2.

- **Matériaux des Avinières :**

Les stériles des Avinières sont constitués de sable légèrement silteux à argileux marron jaunâtre avec graviers et blocs.

Les essais de laboratoire mettent en évidence des matériaux denses avec une masse volumique de 20 kN/m³. L'optimum proctor a été atteint pour une teneur en eau comprise entre 9,5 % et 13,0 %.

Compactés à l'OPN, ces matériaux ont, à long terme, un angle de frottement compris entre 34° à 46° et une cohésion nulle, caractéristiques des sols sablo-graveleux.

▪ **Fondations des murs des bassins :**

Les fouilles de reconnaissance de fondations mettent en évidence :

- o Un mode de fondations superficielles par semelles filantes pour les murs des bassins, ancrées au sein des *Remblais et/ou des Alluvions de la Vis*.
- o Un mode de fondations par massifs isolés pour les contreforts, ancrés au sein des *Alluvions de la Vis*.

13. Diagnostic de stabilité des murs de soutènement

13.1. Diagnostic visuel des murs

Les murs de soutènements, objet de ce chapitre, sont les murs des cinq bassins de décantation. Construits en béton, ils sont soutenus par plusieurs contreforts, en pierres, de dimensions différentes (12 contreforts pour les Bassins 1 et 2).

Lors de nos investigations géotechniques du 18/06/2012 au 22/06/2012, nous avons réalisé un diagnostic visuel des murs. Des profils en long sont joints en Annexe n°3.



Vue en long des murs et contreforts des Bassins 1 et 2

Le diagnostic a permis de formuler les observations suivantes :

- o Les murs en béton font 0,7 m d'épaisseur. Par endroits, ils sont délabrés voire en état de ruine. Des blocs sont tombés côté bassins et d'autres bordent la Vis.



Vue des murs des bassins abimés – côté amont



Côté amont des bassins – Mur séparatif en ruine



Blocs de mur tombés, côté amont



Blocs de mur tombés, côté aval

- o La présence de croix métalliques fixées sur les murs à l'extérieur des bassins (côté aval), de crochets fixés au mur à l'intérieur (côté amont) et d'attentes au fond des bassins, montre que les murs étaient tirantés dans un premier temps.

Les tirants n'existent plus actuellement.



Croix fixées au mur, à l'extérieur des bassins



Crochets fixés au mur, à l'intérieur des bassins



Attente pour tirant au fond d'un bassin



Attentes pour tirants au fond des bassins



o Dans un deuxième temps, les murs des bassins ont été soutenus par des contreforts en pierre, de 4,0 m environ de hauteur, et de différentes largeurs allant de 1,1 à 4,0 m environ (voir coupes en Annexe n°3). Nous avons observé les désordres suivants :

o Des décollements entre le mur et les contreforts allant de 1 cm à 15 cm (voire plus).



o Des fissures localisées essentiellement dans la partie basse des contreforts.



- o Par endroits, les fondations des murs sont apparentes, déchaussées et reposent sur quelques galets et blocs uniquement. De même, les massifs de certains contreforts sont aussi découverts en partie.



Fondations du mur déchaussées



Massifs de contreforts découverts

13.2. Avis sur l'origine des désordres

Les murs des bassins sont fondés superficiellement par semelle filante (prolongation du mur en vieille maçonnerie), ancrée dans les *Remblais*.

Les contreforts sont fondés par massifs isolés ancrés dans les *Alluvions de la Vis*.

Compte tenu des contextes géologique et hydrogéologique, des observations faites sur site et des résultats de nos investigations, il apparaît que les désordres sont dus au concours de l'ensemble des facteurs suivants :

- o La faible profondeur d'assise des fondations des murs des bassins, et leur ancrage au sein des *Remblais/Alluvions de la Vis*, formations de caractéristiques mécaniques faibles à moyennes.
- o Le déchaussement des semelles par la Vis en période de crue.
- o Les murs des bassins ont été construits en béton de mauvaise qualité (liant hydraulique presque inexistant). De plus, ils sont dans un état de délabrement dû à l'agressivité de dépôts de décantation (sols identifiés comme milieu agressif vis-à-vis du béton de classe XA2).
- o La vétusté des ouvrages (plusieurs dizaines d'années) et l'état d'abandon dans lequel ils sont.
- o La poussée des terres appliquée sur les murs n'est plus aussi importante que celle appliquée initialement lorsque les bassins étaient encore exploités.

13.3. Solutions de confortement

Le plan de gestion doit assurer en premier lieu la mise en sécurité du site et des futurs usagers par la régénération des murs des bassins associée à une solution de confortement à confirmer par le bureau d'étude structure.

En effet, afin d'éviter le ravinement des sols d'assises des contreforts et des murs, il est nécessaire de réduire l'impact des crues de la Vis moyennant :

- o Soit la mise en place de perrés en empierrement. Cette solution est conditionnée par un entretien continu.
- o Soit la reprise en sous œuvre des fondations par micropieux ancrés dans le *Substratum calcareux*. Cette solution peut être coûteuse ; toutefois, elle permet de s'affranchir des désordres liés au contexte géotechnique du site.

14. Stabilité géotechnique des stériles des Avinières

14.1. Observations

Les stériles des Avinières sont des dépôts de matériaux entreposés à l'entrée des puits, en amont des bassins, entre les cotes 190,0 et 240,0 mNGF. On note alors que :

- o Des éboulements plus au moins fréquents ont été constatés surtout en période pluviale.
- o Les dépôts, essentiellement des matériaux sablo-graveleux, sont irréguliers et reposent sur des massifs rocheux affleurants. Ils présentent des pentes très raides, supérieures à 1H/1V, et allant au-delà de 2H/3V localement.



Rapport photographique des stériles des Avinières (photos datant du 11/2011 et 06/2012)

14.2. Stabilité générale vis-à-vis du glissement

La vérification de stabilité des stériles au glissement est effectuée par modélisation à l'aide du logiciel TALREN 4 v2.0.3, et en adoptant la méthode de Bishop.

La norme NFP 94-270 indique, selon l'approche 3, les coefficients partiels à prendre en compte pour les calculs de justification. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

| ACTION | | Symbole NFP 94-270 | Ensemble | |
|---------------------------------|-------------|--------------------|----------|-----|
| | | | A1 | A2 |
| Permanente | Défavorable | γ_{Gsup} | 1,35 | 1,0 |
| | Favorable | γ_{Ginf} | 1,0 | 1,0 |
| Variable | Défavorable | γ_{Gsup} | 1,5 | 1,3 |
| | Favorable | γ_{Ginf} | 0 | 0 |
| PARAMETRES DE SOL | | Symbole NFP 94-270 | M2 | |
| Angle de frottement interne | | $\gamma_{\phi'}$ | 1,25 | |
| Cohésion effective | | $\gamma_{c'}$ | 1,25 | |
| Cohésion non drainée | | γ_{cu} | 1,4 | |
| Poids volumique | | γ_{γ} | 1,0 | |
| Pression limite pressiométrique | | γ_{pl} | 1,4 | |

Dans ces conditions, la stabilité est assurée pour un coefficient : $F_{min} > 1$.

Les paramètres de sol retenus sont déduits à partir des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons prélevés au droit des stériles :

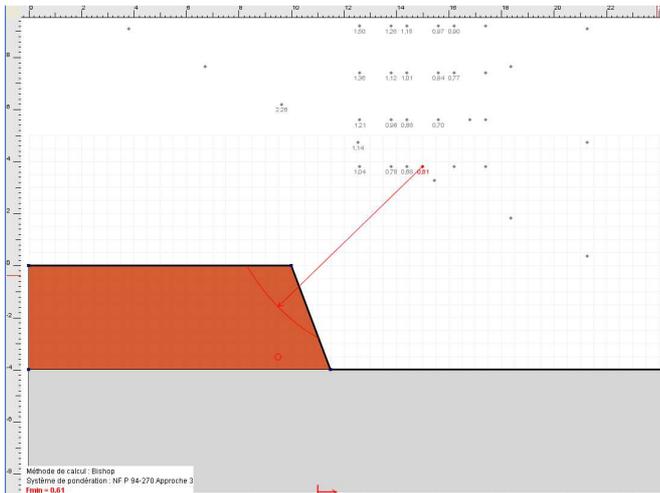
| Formations | Paramètres intrinsèques | | |
|---|----------------------------------|----------------|---------------|
| | γ (kN/m ³) | ϕ' (°) | c' (kPa) |
| <i>Matériaux sablo-graveleux des stériles</i> | 20 | 35 | 0 |
| <i>Roche (terrain naturel)</i> | 21 | 30 | 25 |

Nous avons considéré deux modèles possibles des divers dépôts constituant les stériles des Avinières :

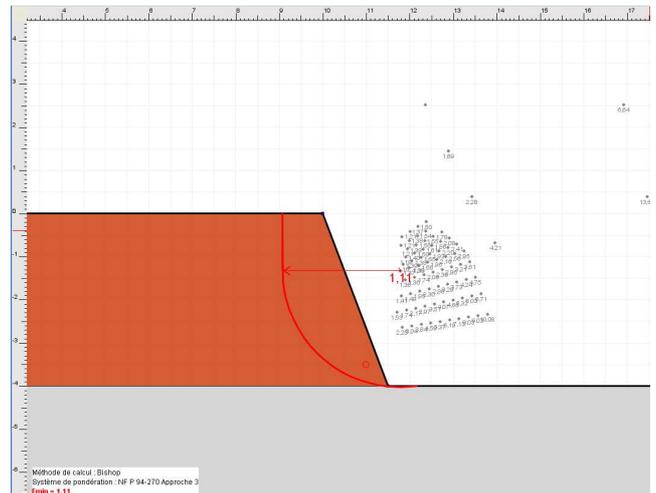
- o 1^{er} Modèle : On considère un dépôt de 4,0 m de hauteur et d'un angle d'inclinaison d'environ 70°, reposant sur la roche du terrain naturel.

- o 2^{ème} Modèle : on considère deux dépôts de 4,0 m de hauteur et d'un angle d'inclinaison d'environ 70° chacun avec un palier de 2,0 m de largeur. Les dépôts reposent également sur la roche.

1^{er} Modèle :



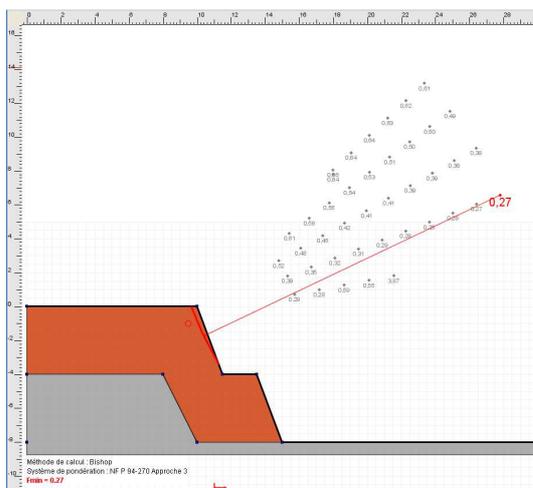
a) $F_{min} = 0,61 < 1,00$



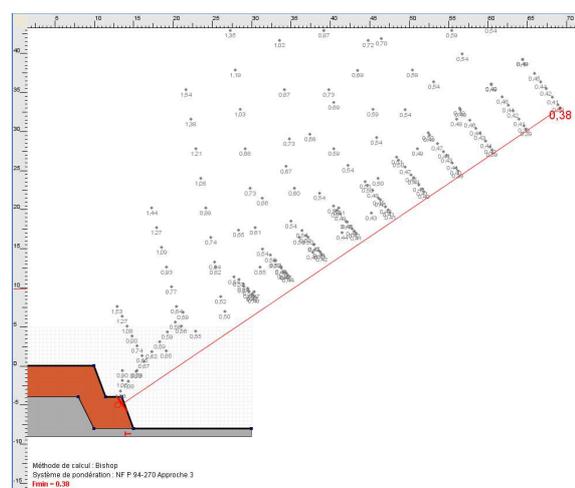
b) $F_{min} = 1,11 > 1,00$

- o Sur la figure a) le coefficient de sécurité est de 0,61 inférieur au coefficient minimum requis → Associé à l'emplacement de la ligne de rupture, ce coefficient met en évidence un glissement de peau.
- o Sur la figure b) le coefficient F_{min} est égal à 1,11, supérieur au coefficient minimum → La stabilité générale est assurée.

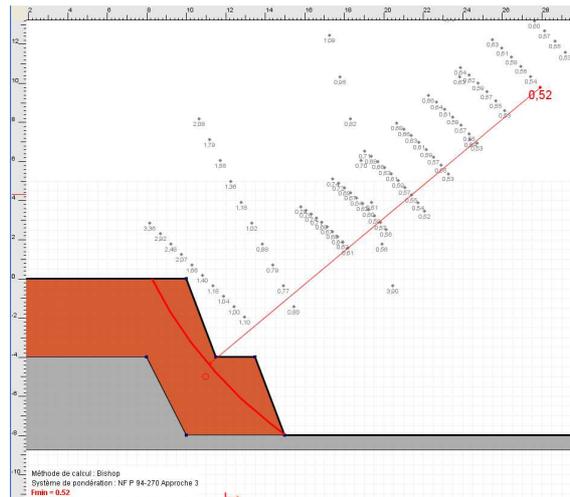
2^{ème} Modèle :



c) $F_{min} = 0,27 < 1,00$



d) $F_{min} = 0,38 < 1,00$



e) $F_{min} = 0,52 < 1,00$

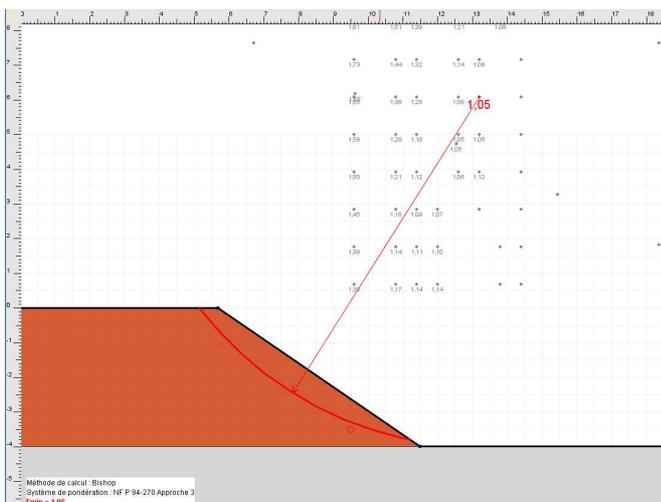
Dans tous les cas de figures du 2^{ème} Modèle, la stabilité générale minimale du dépôt est inférieure à 1,00. La stabilité n'est donc pas assurée.

Remarque : Selon l'Eurocode 8 « Règlementation parasismique », aucune exigence n'est nécessaire par rapport à la vérification de stabilité des stériles même si le site se trouve en zone 2. En effet, les exigences sont aussi relatives à la catégorie d'importance de l'ouvrage et, dans notre cas, l'importance est limitée à ce stade de l'étude.

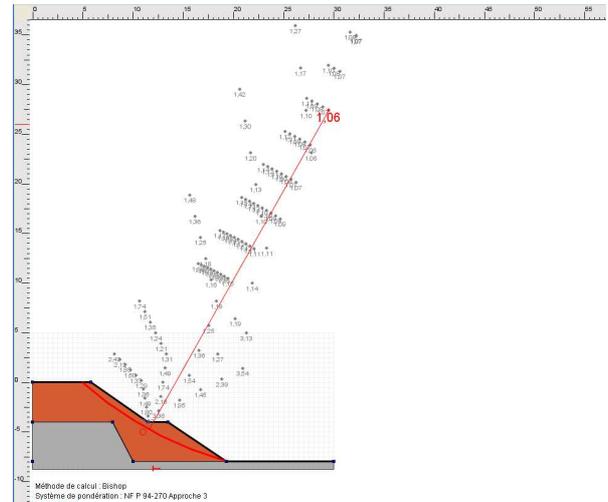
14.3. Conclusion

Il convient de procéder à un reprofilage des dépôts afin de diminuer la pente et ainsi le phénomène de glissement de peau (éboulements observés par les anciens propriétaires).

Nous avons modélisé les deux cas avec une pente de 35° et on note que la stabilité générale est assurée (aucun type de glissement) :



1^{er} Modèle : $F_{min} = 1,05 > 1,00$



2^{ème} Modèle : $F_{min} = 1,06 > 1,00$

Remarques :

- o Le reprofilage des dépôts sera difficile au vu des matériaux pollués les constituant et des difficultés d'accès et de circulation des engins de chantier et des personnes,
- o D'autres solutions garantissant la stabilité des dépôts peuvent être avancées telles que des couvertures en géosynthétiques, des murs de soutènements. Toutefois, ces solutions ne permettront pas de garder l'authenticité du site.

15. Etude des solutions de traversée de la rivière et de leur faisabilité

Dans le cadre du plan de gestion du site, il est prévu la construction d'une passerelle ou pont entre les deux rives de la Vis.

Nous avons réalisé nos sondages SP4 et SP5 de part et d'autre de la rivière à l'emplacement désigné comme opportun pour la faisabilité du futur ouvrage.

Compte tenu de l'affleurement du *Substratum calcareux*, de la faible profondeur du niveau d'eau, et des contraintes liées à l'accès au site (rive gauche), il convient de s'orienter vers une solution de fondations profondes par *micropieux*, ancrés dans le *Substratum calcareux*.

Les micropieux seront plus longs coté rive droite à cause de la surépaisseur de *Remblais*.

Conformément au Fascicule 62 Titre V, selon la méthode de calcul pressiométrique, on a :

| Lithologie | Profondeur (m/TN) | | Frottement latéral (qs en kPa) Micropieu type II |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--|
| | Rive Gauche (SP4) | Rive Droite (SP5) | |
| <i>Remblais</i> | - | 0,0/-5,0 | 0 |
| <i>Substratum calcareux</i> | 0,0/-10,0 | -5,0/-10,0 | 300 kPa (Courbe Q ₆) |

Selon le Fascicule 62 Titre V, et pour les micropieux de type II, les résultats du dimensionnement sont récapitulés dans le tableau suivant :

| | Micropieux | | Etats limites de service Q_{adm} (kN) Type II |
|--------------------|------------|-------|--|
| | Ø (m) | L (m) | |
| Rive Gauche | 0,25 | 6,0 | 706,8 |
| Rive Droite | 0,25 | 11,0 | 706,8 |

Remarque : Ces exemples de micropieux ne sont donnés qu'à titre indicatif. Ils seront dimensionnés en fonction des descentes de charges réelles, et en précisant la technique de forage utilisée.

Sujétions d'exécution des micropieux

La mise en œuvre des micropieux devra être conforme aux documents en vigueur. Plus particulièrement, dans le cadre de cette étude, cela implique les sujétions suivantes :

- La technique de forage des pieux devra être adaptée aux blocs, niveaux indurés du *Substratum calcareux* et vestiges d'anciennes structures (rive droite), dans les formations traversées. L'Entreprise devra mettre en œuvre le matériel nécessaire pour atteindre les profondeurs requises.
- La mise en œuvre de stockage ou de remblais en périphérie du projet générerait des frottements négatifs sur toute la hauteur des terrains compressibles. Dans ce cas, on appliquera à leur droit sur toute leur épaisseur un frottement négatif sans coefficient de sécurité. Cette disposition est clairement destinée au secteur sud comprenant des surépaisseurs de *Remblais*.
- Une surconsommation de béton est à prévoir dans les *Remblais*.

Aléas géotechniques - Conditions contractuelles

1. Les reconnaissances de sol procèdent par sondages ponctuels, les résultats ne sont pas rigoureusement extrapolables à l'ensemble du site. Il persiste des aléas (exemple : hétérogénéités locales) qui peuvent entraîner des adaptations tant de la conception que de l'exécution qui ne sauraient être à la charge du géotechnicien.
2. Le présent rapport et ses annexes constituent un tout indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite suite à une communication ou reproduction partielle ne saurait engager SAGA.
3. Des modifications dans l'implantation, la conception ou l'importance des constructions ainsi que dans les hypothèses prises en compte et en particulier dans les indications de la partie «Présentation» du présent rapport peuvent conduire à des remises en cause des prescriptions. Une nouvelle mission devra alors être confiée à SAGA afin de réadapter ces conclusions ou de valider par écrit le nouveau projet.
4. De même des éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution des fondations et n'ayant pu être détectés au cours des reconnaissances de sol (exemple dissolution, cavité, hétérogénéité localisée, venues d'eau etc.) peuvent rendre caduques certaines des recommandations figurant dans le rapport.
5. Au moment de l'ouverture des fouilles, il est conseillé de faire procéder à une visite de chantier par un géotechnicien de SAGA. Cette visite donne lieu à avis écrit portant sur la conformité de la méthode d'exécution des fondations. Cette visite doit faire l'objet d'une commande préalable.

A Grigny, le 30 Janvier 2013

L'Ingénieure Chargée du dossier

Sihem SOUISSI

Contrôle Interne

Laurent GLANDUT

ANNEXE 1
EXTRAIT DE LA NORME NF P 94-500

CONDITIONS GENERALES DES MISSIONS GEOTECHNIQUES (version de décembre 2006)

1. Cadre de la mission

Par référence à la norme NF P 94-500 sur les missions d'ingénierie géotechnique (en particulier extrait de 2 pages du chapitre 4 joint à toute offre et à tout rapport), il appartient au maître d'ouvrage et à son maître d'œuvre de veiller à ce que toutes les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires à la conception puis à l'exécution de l'ouvrage soient engagées avec les moyens opportuns et confiées à des hommes de l'Art.

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique suit la succession des phases d'élaboration du projet, chacune de ces missions ne couvrant qu'un domaine spécifique de la conception ou de l'exécution. En particulier :

- les missions d'étude géotechnique préliminaire de site (G11), d'étude géotechnique d'avant projet (G12), d'étude géotechnique de projet (G2), d'étude et suivi géotechniques d'exécution (G3), de supervision géotechnique d'exécution (G4) sont réalisées dans l'ordre successif;
- exceptionnellement, une mission confiée à notre société peut ne contenir qu'une partie des prestations décrites dans la mission type correspondante après accord explicite, le client confiant obligatoirement le complément de la mission à un autre prestataire spécialisé en ingénierie géotechnique;
- l'exécution d'investigations géotechniques engage notre société uniquement sur la conformité des travaux exécutés à ceux contractuellement commandés et sur l'exactitude des résultats qu'elle fournit;
- toute mission d'ingénierie géotechnique n'engage notre société sur son devoir de conseil que dans le cadre strict, d'une part, des objectifs explicitement définis dans notre proposition technique sur la base de laquelle la commande et ses avenants éventuels ont été établis, d'autre part, du projet du client décrit par les documents graphiques ou plans cités dans le rapport;
- toute mission géotechnique préliminaire de site, d'étude géotechnique d'avant projet ou de diagnostic géotechnique exclut tout engagement de notre société sur les quantités, coûts et délais d'exécution des futurs ouvrages géotechniques. De convention expresse, la responsabilité de notre société ne peut être engagée que dans l'hypothèse où la mission suivante d'étude géotechnique de projet lui est confiée;
- une mission d'étude géotechnique de projet G2 engage notre société en tant qu'assistant technique à la maîtrise d'œuvre dans les limites du contrat fixant l'étendue de la mission et la (ou les) partie(s) d'ouvrage(s) concerné (s).

La responsabilité de notre société ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission d'ingénierie géotechnique objet du rapport. En particulier, toute modification apportée au projet ou à son environnement nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

2. Recommandations

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension. Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution, pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport, doivent immédiatement être signalés à l'ingénierie géotechnique chargée de l'étude et suivi géotechniques d'exécution (mission G3) afin qu'elle en analyse les conséquences sur les conditions d'exécution voire la conception de l'ouvrage géotechnique.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une validation à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, un tel caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

3. Rapport de la mission

Le rapport géotechnique constitue le compte-rendu de la mission d'ingénierie géotechnique définie par la commande au titre de laquelle il a été établi et dont les références sont rappelées en tête. A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du rapport géotechnique fixe la fin de la mission.

Un rapport géotechnique et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés : un par le client et le second par notre société. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de notre société. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'ouvrage ou par un autre constructeur ou pour un autre ouvrage que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de notre société et pourra entamer des poursuites judiciaires.

Classification et enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique

(extrait du chapitre 4 de la norme NF P 94-500 du 5 décembre 2006).

Tout ouvrage est en interaction avec son environnement géotechnique. C'est pourquoi, au même titre que les autres ingénieries, l'ingénierie géotechnique est une composante de la maîtrise d'œuvre indispensable à l'étude puis à la réalisation de tout projet.

Le modèle géologique et le contexte géotechnique général d'un site, définis lors d'une mission géotechnique préliminaire, ne peuvent servir qu'à identifier des risques potentiels liés aux aléas géologiques du site. L'étude de leurs conséquences et de leur réduction éventuelle ne peut être faite que lors d'une mission géotechnique au stade de la mise au point du projet : en effet, les contraintes géotechniques de site sont conditionnées par la nature de l'ouvrage et variables dans le temps, puisque les formations géologiques se comportent différemment en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises (géométrie de l'ouvrage, intensité et durée des efforts, cycles climatiques, procédés de construction, phasage des travaux notamment).

L'ingénierie géotechnique doit donc être associée aux autres ingénieries, à toutes les étapes successives d'étude et de réalisation d'un projet, et ainsi contribuer à une gestion efficace des risques géologiques afin de fiabiliser le délai d'exécution, le coût réel et la qualité des ouvrages géotechniques que comporte le projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions types d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 et 2. Les éléments de chaque mission sont spécifiés dans les chapitres 7 à 9. Les exigences qui y sont présentées sont, à respecter pour chacune des missions, en plus des exigences générales décrites au chapitre 5 de la présente norme. — L'objectif de chaque mission, ainsi que ses limites, sont rappelés en tête de chaque chapitre. Les éléments de la prestation d'investigations géotechniques sont spécifiés au chapitre 6.

Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique (Tableau 1 de la norme NF P 94-500 du 5 décembre 2006)

| Étape | Phase d'avancement du projet | Missions d'ingénierie géotechnique | Objectifs en termes de gestion des risques liés aux aléas géologiques | Prestations d'investigations géotechniques * |
|-----------------|--|---|---|--|
| 1 | Étude préliminaire Étude d'esquisse | Étude géotechnique préliminaire de site (G11) | Première identification des risques | Fonction des données existantes |
| | Avant projet | Étude géotechnique d'avant-projet (G12) | Identification des aléas majeurs et principes généraux pour en limiter les conséquences | Fonction des données existantes et de l'avant-projet |
| 2 | Projet Assistance aux Contrats de Travaux (ACT) | Étude géotechnique de projet (G2) | Identification des aléas importants et dispositions pour en réduire les conséquences | Fonction des choix constructifs |
| 3 | Exécution | Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) | Identification des aléas résiduels et dispositions pour en limiter les conséquences | Fonction des méthodes de construction mises en œuvre |
| | | Supervision géotechnique d'exécution (G4) | | Fonction des conditions rencontrées à l'exécution |
| Cas particulier | Étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques | Diagnostic géotechnique (G5) | Analyse des risques liés à ces éléments géotechniques | Fonction de la spécificité des éléments étudiés |

* NOTE : À définir par l'ingénierie géotechnique chargée de la mission correspondante.

Classification des missions types d'ingénierie (Tableau 2 de la norme NF P 94-500 du 5 décembre 2006)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique doit suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques.

Il appartient au maître d'ouvrage ou à son mandataire de veiller à la réalisation successive de toutes ces missions par une ingénierie géotechnique.

ÉTAPE 1 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PREALABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de projet (étape 2). Elles sont normalement à la charge du maître d'ouvrage.

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE (G11)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire ou d'esquisse et permet une première identification des risques géologiques d'un site :

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisnants avec visite du site et des alentours.
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport avec un modèle géologique préliminaire, certains principes généraux d'adaptation du projet au site et une première identification des risques.

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE D'AVANT PROJET (G12)

Elle est réalisée au stade de l'avant projet et permet de réduire les conséquences des risques géologiques majeurs identifiés :

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, certains principes généraux de construction (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisnants).

Cette étude sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE PROJET (G2)

Elle est réalisée pour définir le projet des ouvrages géotechniques et permet de réduire les conséquences des risques géologiques importants identifiés. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage et peut être intégrée à la mission de maîtrise d'œuvre générale.

Phase Projet

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir une synthèse actualisée du site et les notes techniques donnant les méthodes d'exécution proposées pour les ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, dispositions vis-à-vis des nappes et avoisnants) et les valeurs seuils associées, certaines notes de calcul de dimensionnement niveau projet.
- Fournir une approche des quantités/délais/coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques et une identification des conséquences des risques géologiques résiduels.

Phase Assistance aux Contrats de Travaux

- Établir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres.

ÉTAPE 3 : EXÉCUTION DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Se déroulant en 2 phases interactives et indissociables, elle permet de réduire les risques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures d'adaptation ou d'optimisation. Elle est normalement confiée à l'entrepreneur.

Phase Étude

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivis, contrôles, auscultations en fonction des valeurs seuils associées, dispositions constructives complémentaires éventuelles), élaborer le dossier géotechnique d'exécution.

Phase Suivi

- Suivre le programme d'auscultation et l'exécution des ouvrages géotechniques, déclencher si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des excavations et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

Elle permet de vérifier la conformité aux objectifs du projet, de l'étude et du suivi géotechniques d'exécution. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage.

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Avis sur l'étude géotechnique d'exécution, sur les adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, sur le programme d'auscultation et les valeurs seuils associées.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Avis, par interventions ponctuelles sur le chantier, sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur, sur le comportement observé de l'ouvrage et des avoisnants concernés et sur l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
 - Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, rabattement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans d'autres éléments géotechniques.
- Des études géotechniques de projet et/ou d'exécution, de suivi et supervision, doivent être réalisées ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique, si ce diagnostic conduit à modifier ou réaliser des travaux.

ANNEXE 2

PLAN DE SITUATION

PLAN DE SITUATION

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)



©2012 Google - Données cartographiques ©2012 Google - Conditions d'utilisation



| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
|---------------------------|------|----------|---------------|--------|---------|----------|
| 03318 | A | 09/07/12 | | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | sans | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format : | word | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

ANNEXE 3

PLAN D'IMPLANTATION

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
SAINT LAURENT LE MINIER (30)



LEGENDE :

- SP Sondage pressiométrique
- SC Sondage carotté
- F Fouille de reconnaissance

SAGA

La maîtrise de l'ingénierie des sols

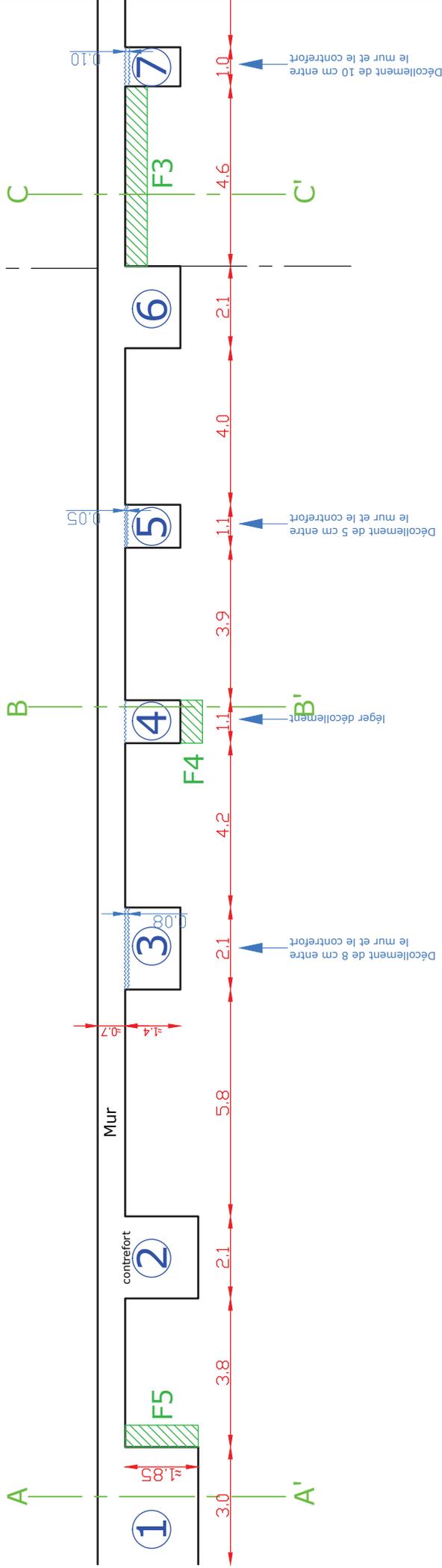
| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérfié | Approuvé |
|---------------------------|------|----------|-------------------|--------|--------|----------|
| Ech. sans | A | 30/01/13 | Emission initiale | ADE | SSO | LGL |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format: | dwg | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

ANNEXE 4
DIAGNOSTIC VISUEL DES MURS DES BASSINS –
PROFILS EN LONG

PROFIL EN LONG

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)

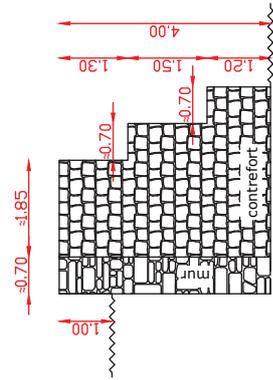
Bassin 1



Coupe AA'

Amont (bassin)

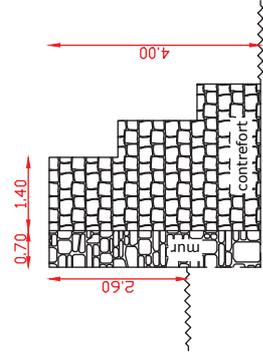
Aval



Coupe BB'

Amont (bassin)

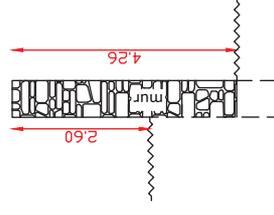
Aval



Coupe CC'

Amont (bassin)

Aval



SAGA
 La maîtrise de l'ingénierie des sols

afao
 ISO 9001
 ANNEX CERTIFICATION

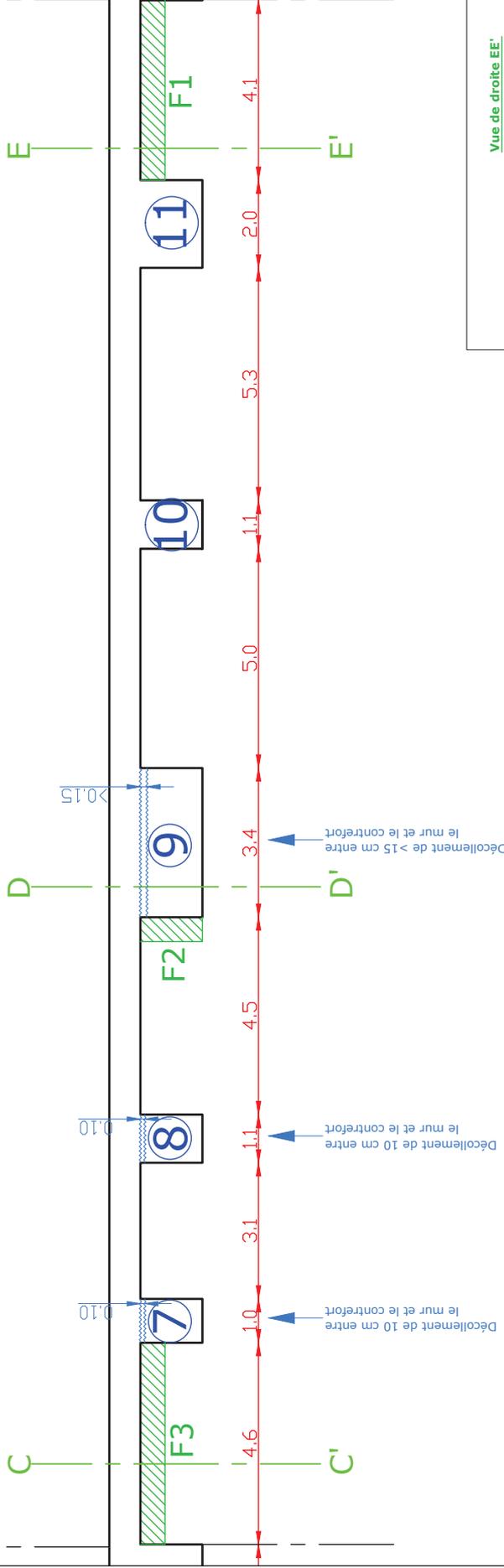
| | | | | | | |
|------------|--------|---------------|---------------|---------------------------|-------------|--------------|
| Aff. 03316 | Ind. A | Date 17/10/17 | Modifications | Etabli ADE | Vérifié SSO | Approuvé LGL |
| Ech. 1/10 | | | Format dwg | Maitre d'ouvrage : TESORA | | |

PROFIL EN LONG

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)

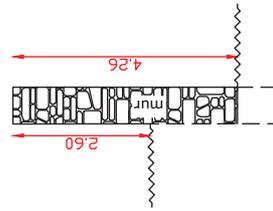
Bassin 2

Bassin 3

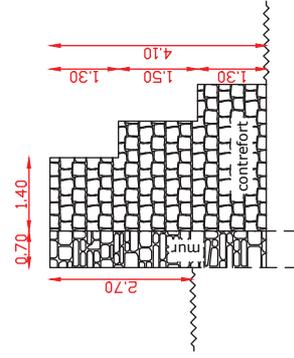


Coupe CC'

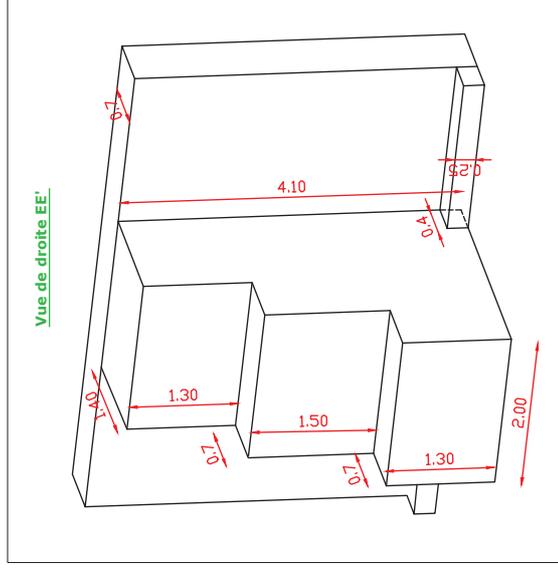
Amont (bassin)



Amont (bassin)



Coupe DD'



Vue de droite EE'

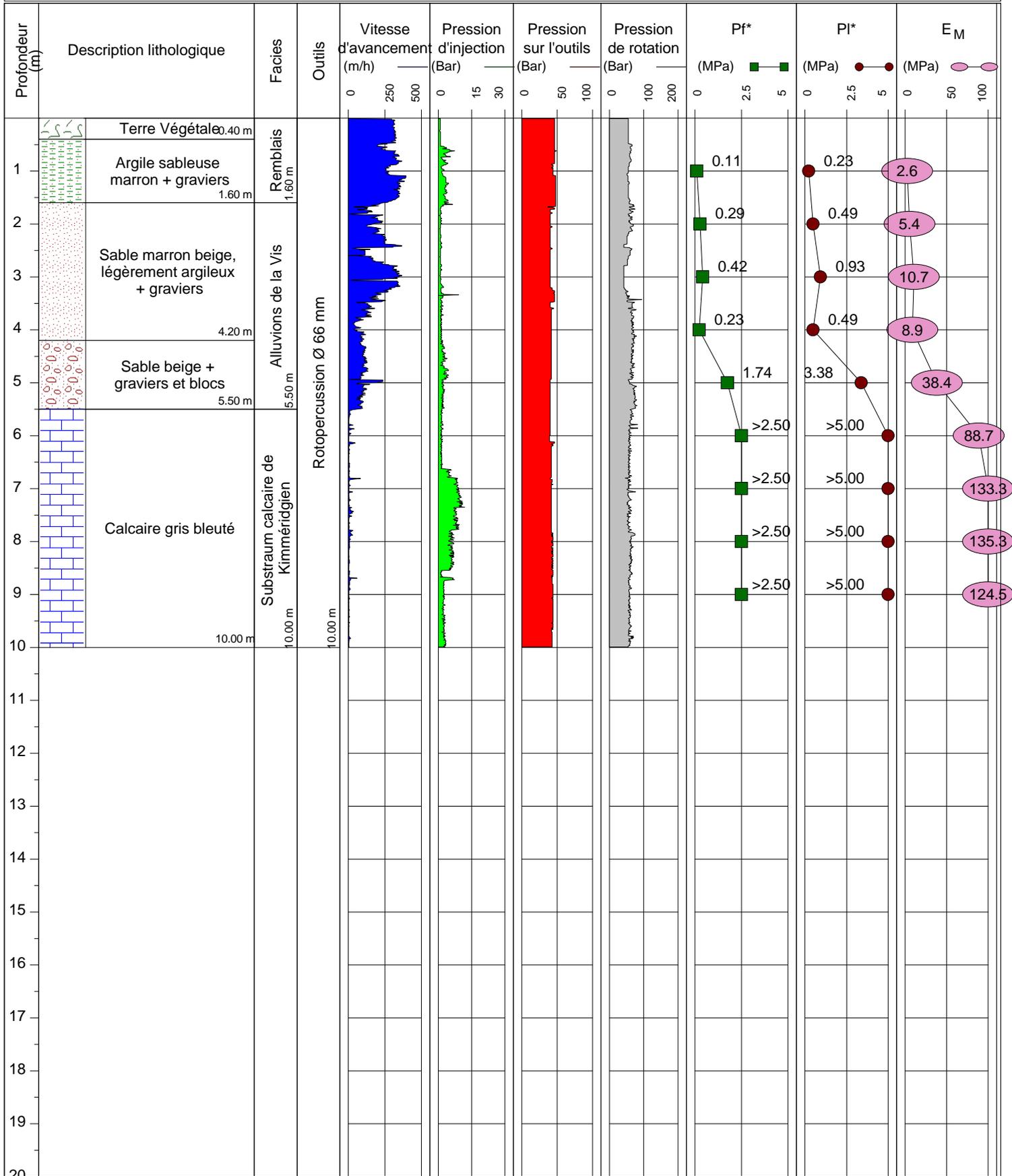


| | | | | | | |
|---------------------------|--------|----------|-------------------|--------|---------|----------|
| Aff. 03316 | Ind. 1 | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
| Ech. 1/100 | A | 15/09/21 | Emission initiale | ADE | SSO | LGL |
| Folio 1/1 | | | | | | |
| Format dwg | | | | | | |
| Maître d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

ANNEXE 5

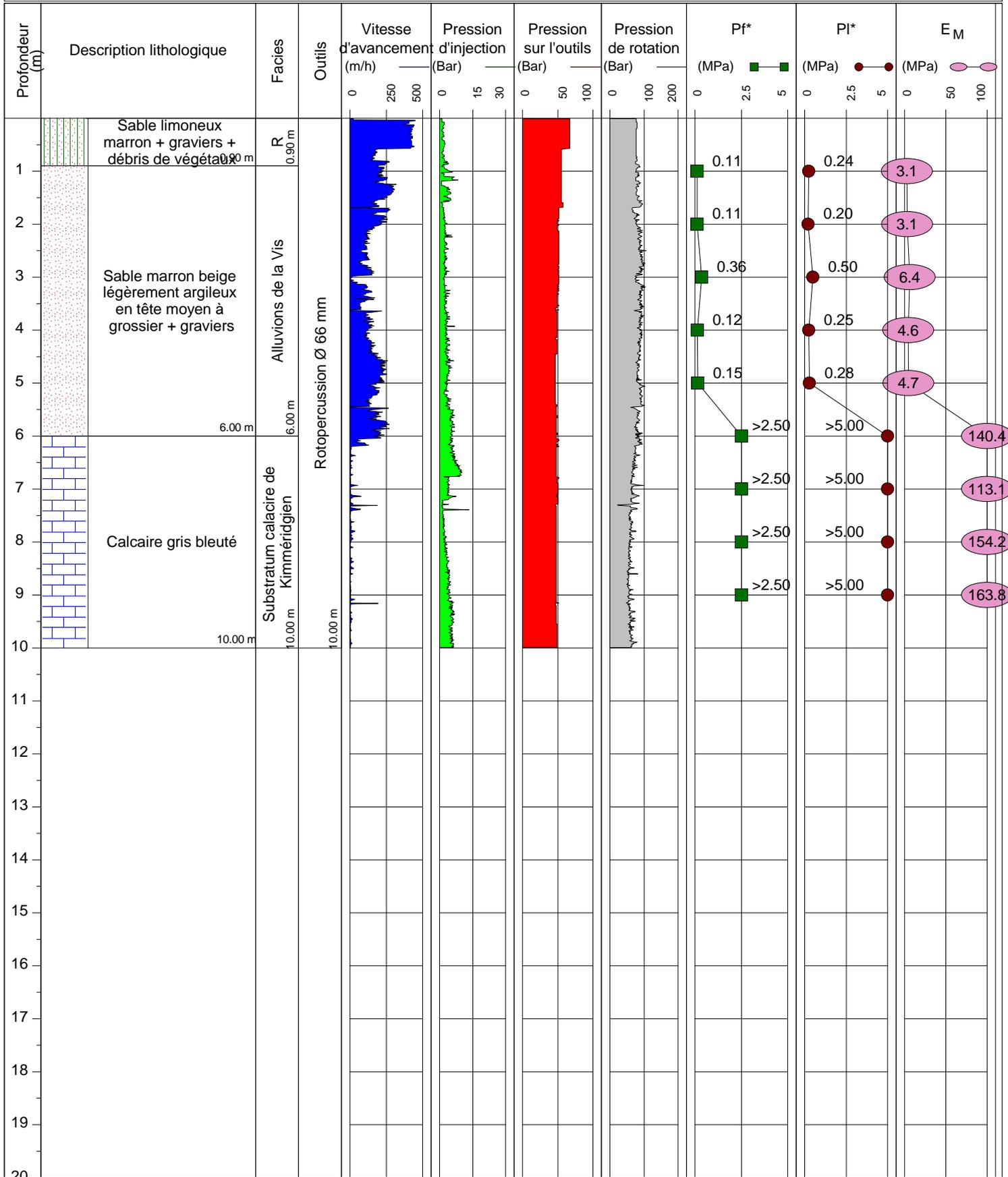
COUPES DES SONDAGES

Client: TESORA



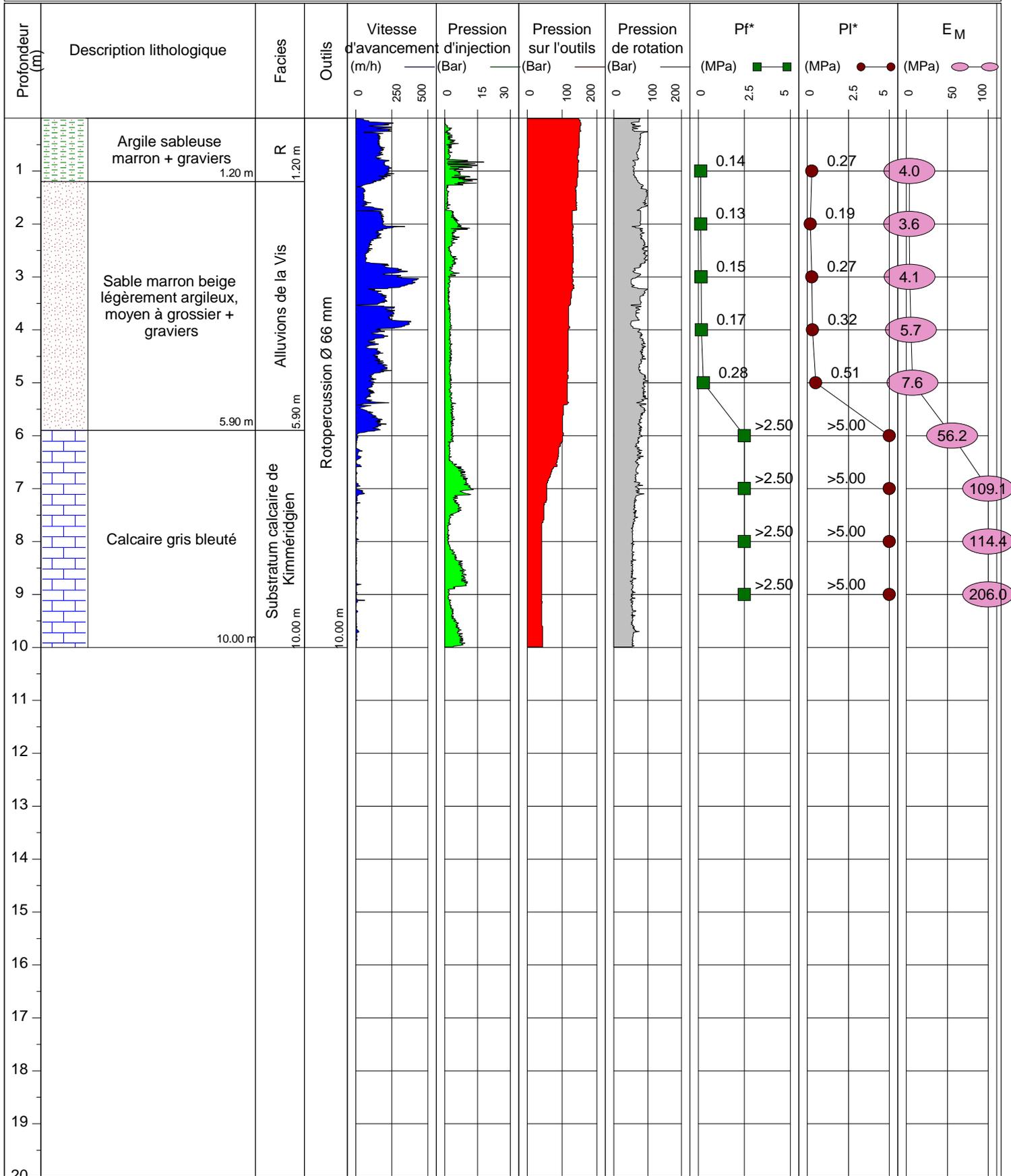
Obs:

Client: TESORA

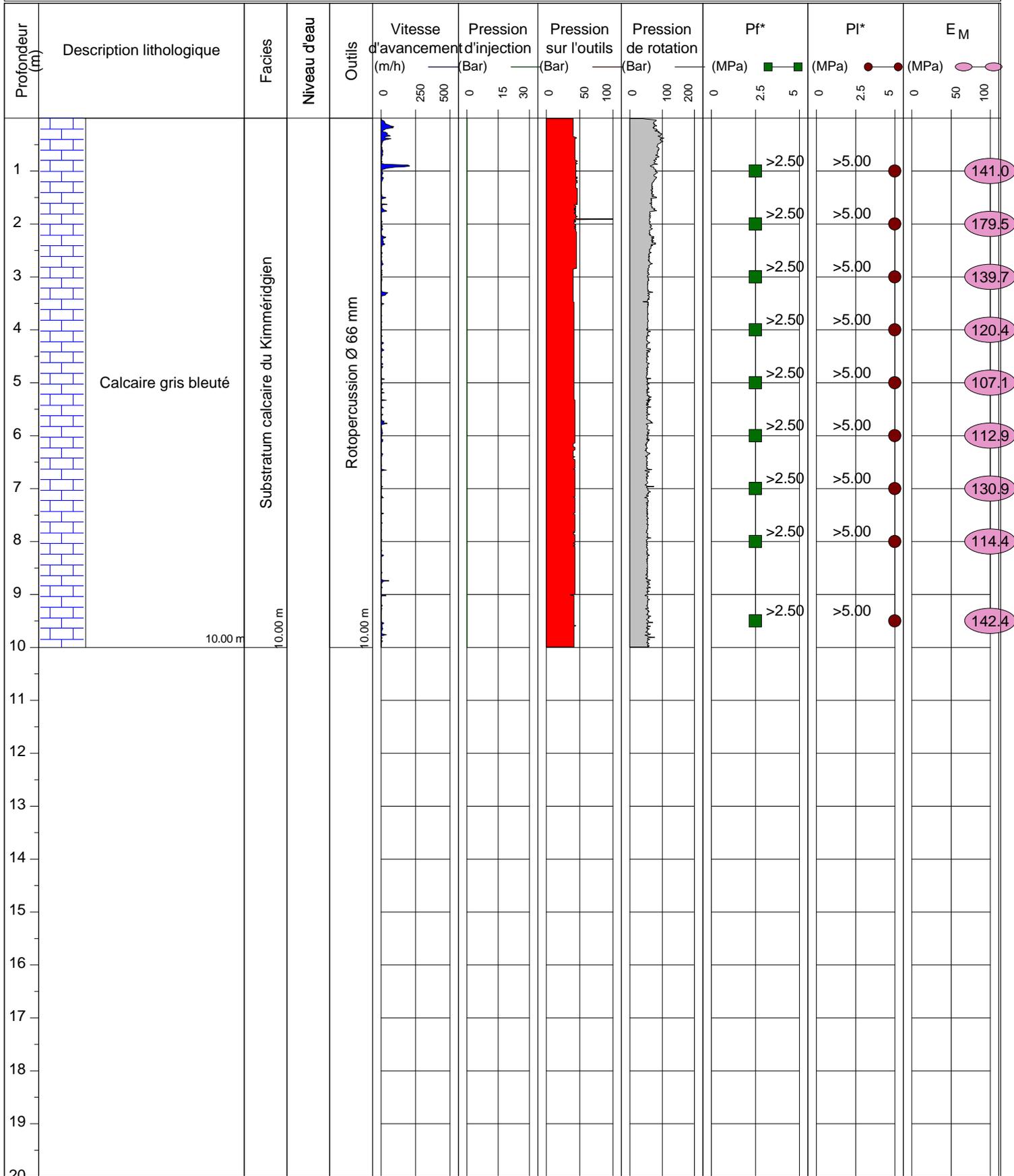


Obs:

Client: TESORA

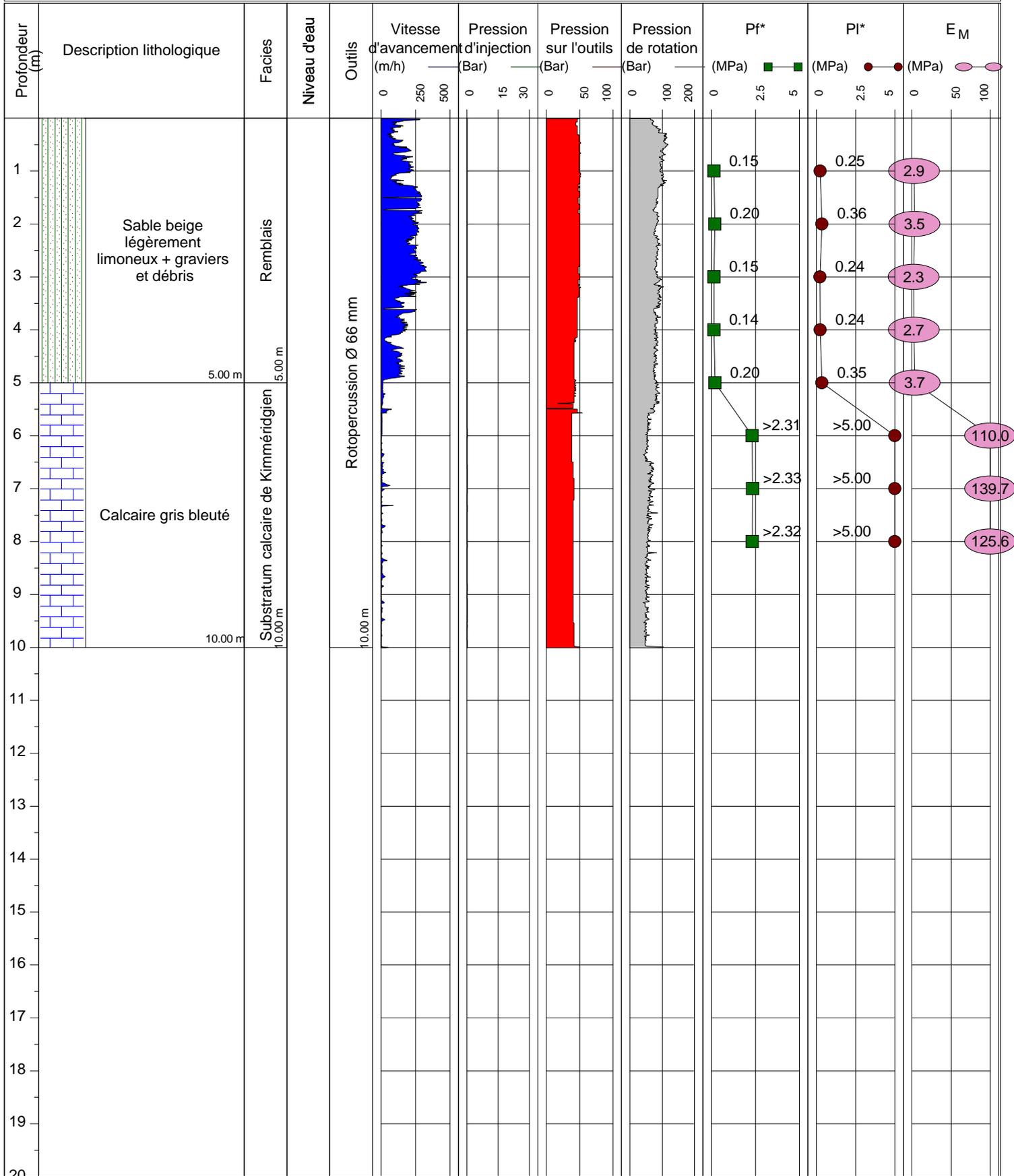


Obs:



Obs:

Client: TESORA

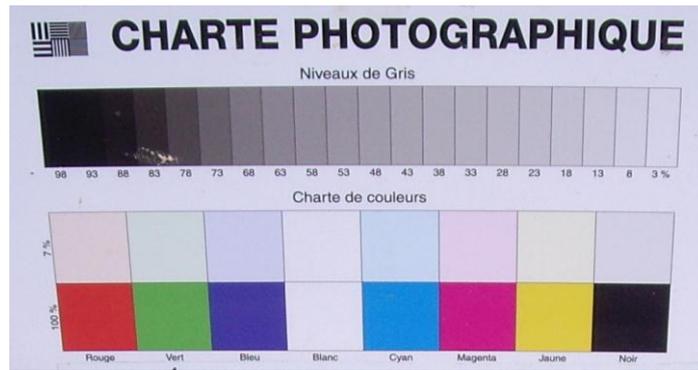


Obs:

ANNEXE 6
PHOTOS ET COUPES DES SONDAGES CAROTTES

PHOTOGRAPHIES DU SC1

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
SAINT LAURENT LE MINIER (30)



0,00

1,00



1,00

2,00



3,00

4,00



4,00

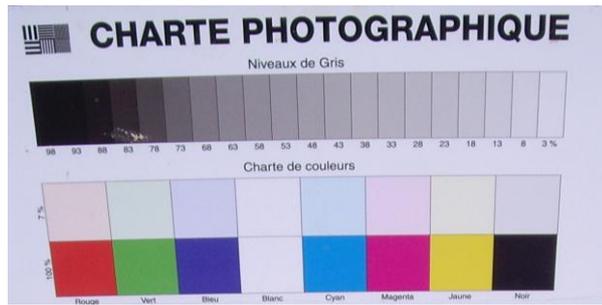
4,30



| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
|---------------------------|------|----------|---------------|--------|---------|----------|
| 03318 | A | 06/11/12 | | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | sans | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format : | word | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

PHOTOGRAPHIES DU SC2

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
SAINT LAURENT LE MINIER (30)



0,00

1,00



1,00

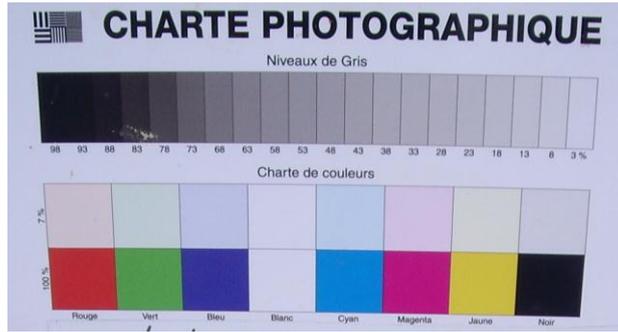
2,00



| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
|---------------------------|------|----------|---------------|--------|---------|----------|
| 03318 | A | 06/11/12 | | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | sans | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format : | word | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

PHOTOGRAPHIES DU SC3

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
SAINT LAURENT LE MINIER (30)



0,00

1,00



1,00

2,00



2,00

3,00

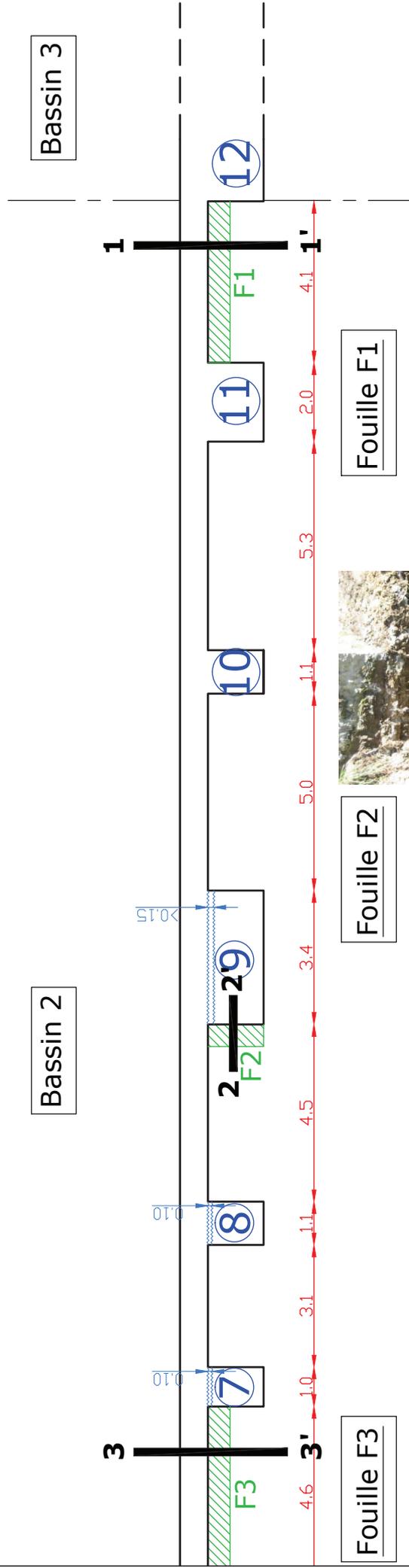


| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
|---------------------------|------|----------|---------------|--------|---------|----------|
| 03318 | A | 06/11/12 | | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | sans | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format : | word | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

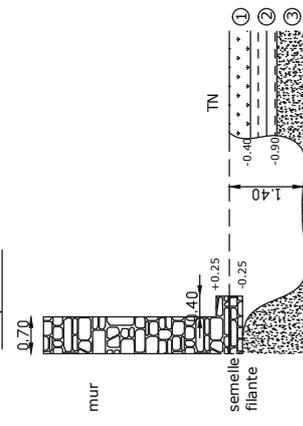
ANNEXE 7
PHOTOS ET COUPES DES FOUILLES DE
RECONNAISSANCE DE FONDATIONS

PHOTOS ET COUPES DES FOUILLES DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS DES MURS ET CONTREFORTS DES BASSINS DE DECANTATION

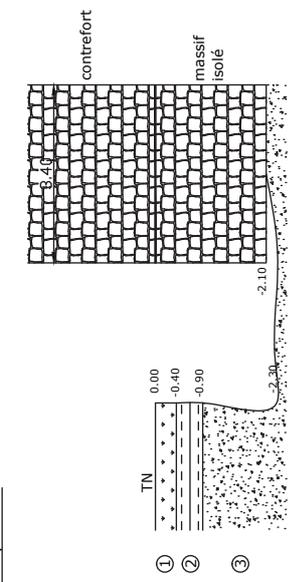
PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
SAINT LAURENT LE MINIER (30)



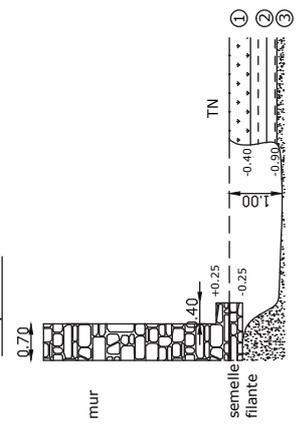
Coupe 1-1'



Coupe 2-2'



Coupe 3-3'



LEGENDE :

- ① terre végétale
- ② limon sableux marron + cailloutis
- ③ sable grossier + graviers de silex
- ④ Alluvions Anciennes

SAGA
La maîtrise de l'ingénierie des sols

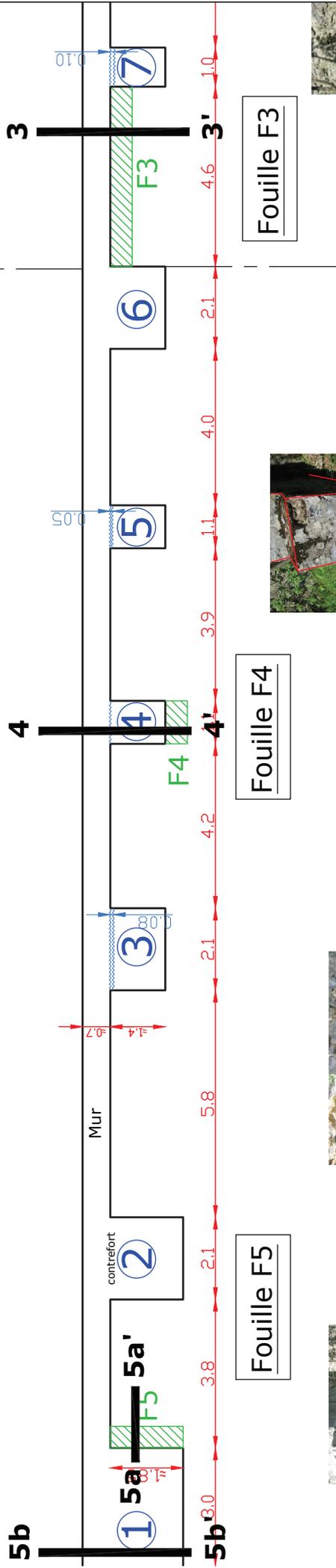
afao
ISO 9001
ANNEE CERTIFICATION

| | | | | | | |
|---------------------------|-------|----------|-------------------|--------|---------|----------|
| Aff. 03318 | Indi. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
| Ech. 1/100 | A | 15/09/21 | Emission initiale | ADE | SSO | LGL |
| Folio 1/1 | | | | | | |
| Format dwg | | | | | | |
| Maître d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

PHOTOS ET COUPES DES FOUILLES DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS DES MURS ET CONTREFORTS DES BASSINS DE DECANTATION

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)

Bassin 1



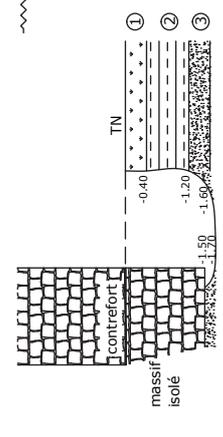
Fouille F4

Fouille F5

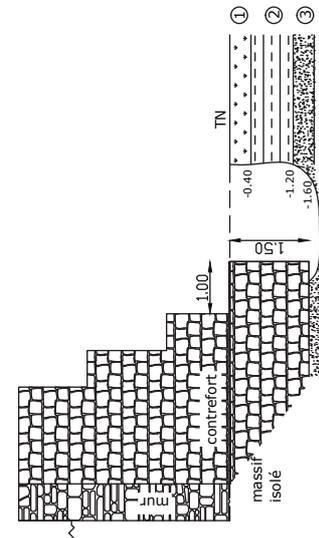
Fouille F3



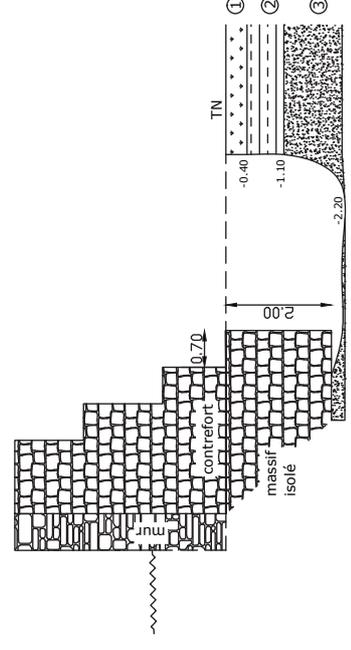
Coupe 5a-5a'



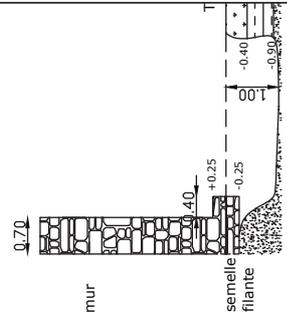
Coupe 5b-5b'



Coupe 4-4'



Coupe 3-3'



LEGENDE :

- ① terre végétale
- ② limon sableux marron + cailloutis
- ③ sable grossier + graviers de silex
- Alluvions Anciennes

SAGA
 La maîtrise de l'ingénierie des sols

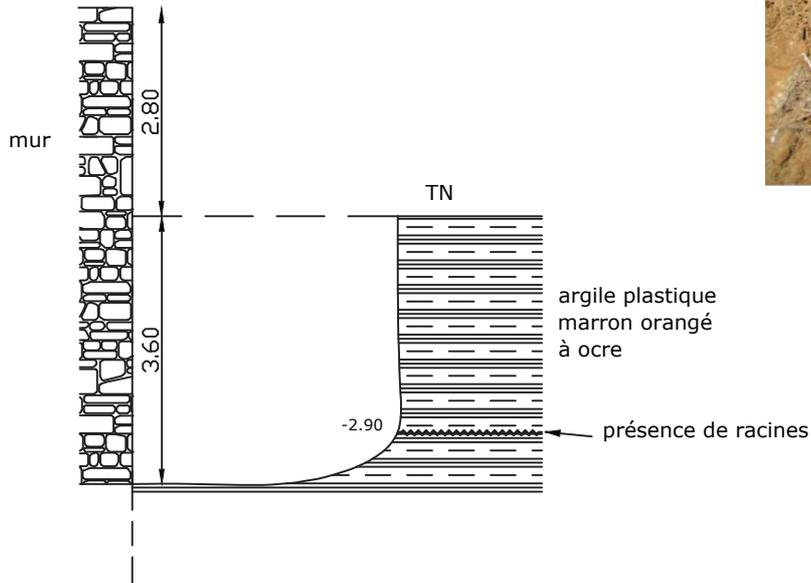
afao
 ISO 9001
 QUALITÉ
 ANNEX CERTIFICATION

| Aff. | 03318 | Indi. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
|---------------------------|-------|-------|----------|-------------------|--------|---------|----------|
| Ech. | 1/100 | A | 15/09/21 | Emission initiale | SSO | SSO | LGL |
| Folio | 1/1 | | | | | | |
| Format | dwg | | | | | | |
| Maître d'ouvrage : TESORA | | | | | | | |

PHOTOS ET COUPE DE FOUILLE DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS - BASSIN 3

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)

Fouille F6

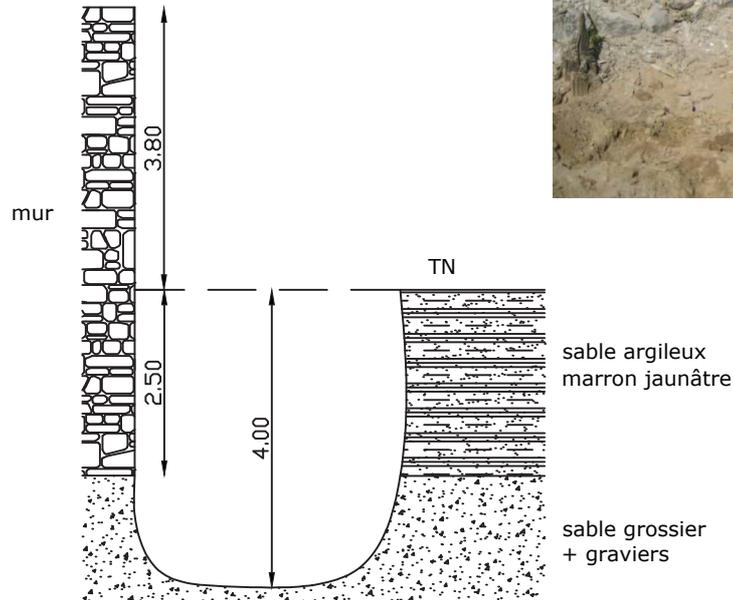


| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérifié | Approuvé |
|---------------------------|-------|----------|-------------------|--------|---------|----------|
| 03318 | A | 08/11/12 | Emission initiale | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | 1/100 | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format: | dwg | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

PHOTOS ET COUPE DE FOUILLE DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS - BASSIN 5

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)

Fouille F7

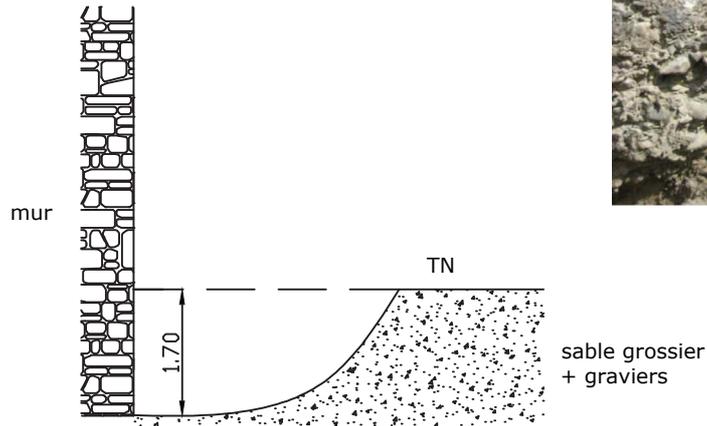


| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérfié | Approuvé |
|---------------------------|-------|----------|-------------------|--------|--------|----------|
| 03318 | A | 08/11/12 | Emission initiale | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | 1/100 | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format: | dwg | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

PHOTOS ET COUPE DE FOUILLE DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS - BASSIN 5

PROJET GEOTECHNIQUE DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ANCIEN SITE INDUSTRIEL
 SAINT LAURENT LE MINIER (30)

Fouille F8



| Aff. | Ind. | Date | Modifications | Etabli | Vérfié | Approuvé |
|---------------------------|-------|----------|-------------------|--------|--------|----------|
| 03318 | A | 08/11/12 | Emission initiale | ADE | SSO | LGL |
| Ech. | 1/100 | | | | | |
| Folio | 1/1 | | | | | |
| Format: | dwg | | | | | |
| Maitre d'ouvrage : TESORA | | | | | | |

ANNEXE 8

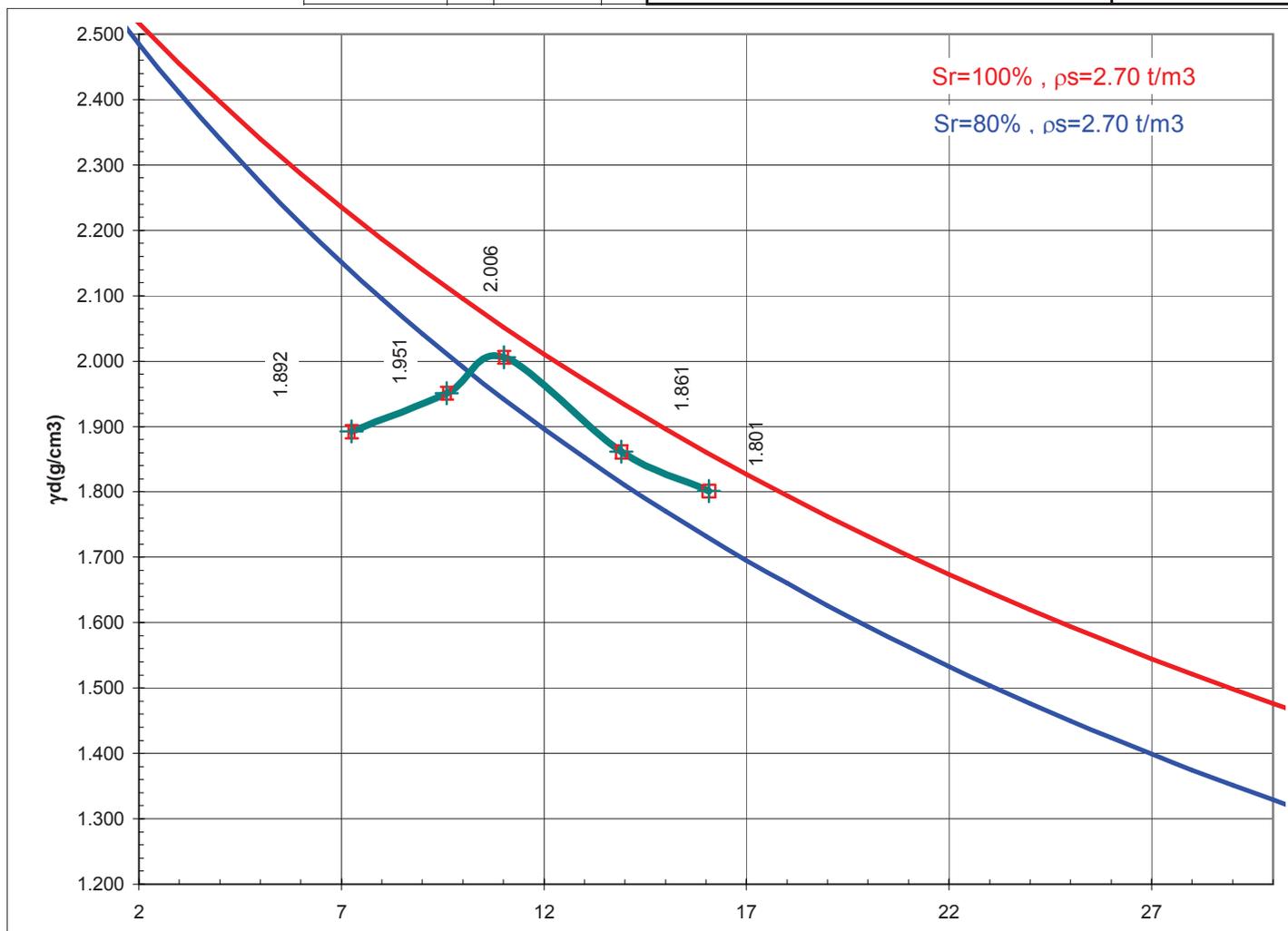
RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE



ESSAI PROCTOR REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-093

| | | | | |
|-----------------|---|----------------|-------------|---------------------------------|
| Site: | Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: | Sac E1 | |
| | 0 | profondeur (m) | 0.5m | date essai: septembre-12 |
| | | | | N° dossier: D:O3318 |
| Nature terrain: | Sable orangé-ocre à graviers et petits blocs non carbonatés aspect chailles,hétérogène | | | |

| ENERGIE | MOULE | RESULTAT | | | | wn=10.5% |
|---------|----------|----------|---------------|--------------|-------------------------|----------|
| normal | 1 | proctor | γd OPN | 2.006 | g/cm³ | |
| modifié | | CBR | w OPN | 11.00 | % | |

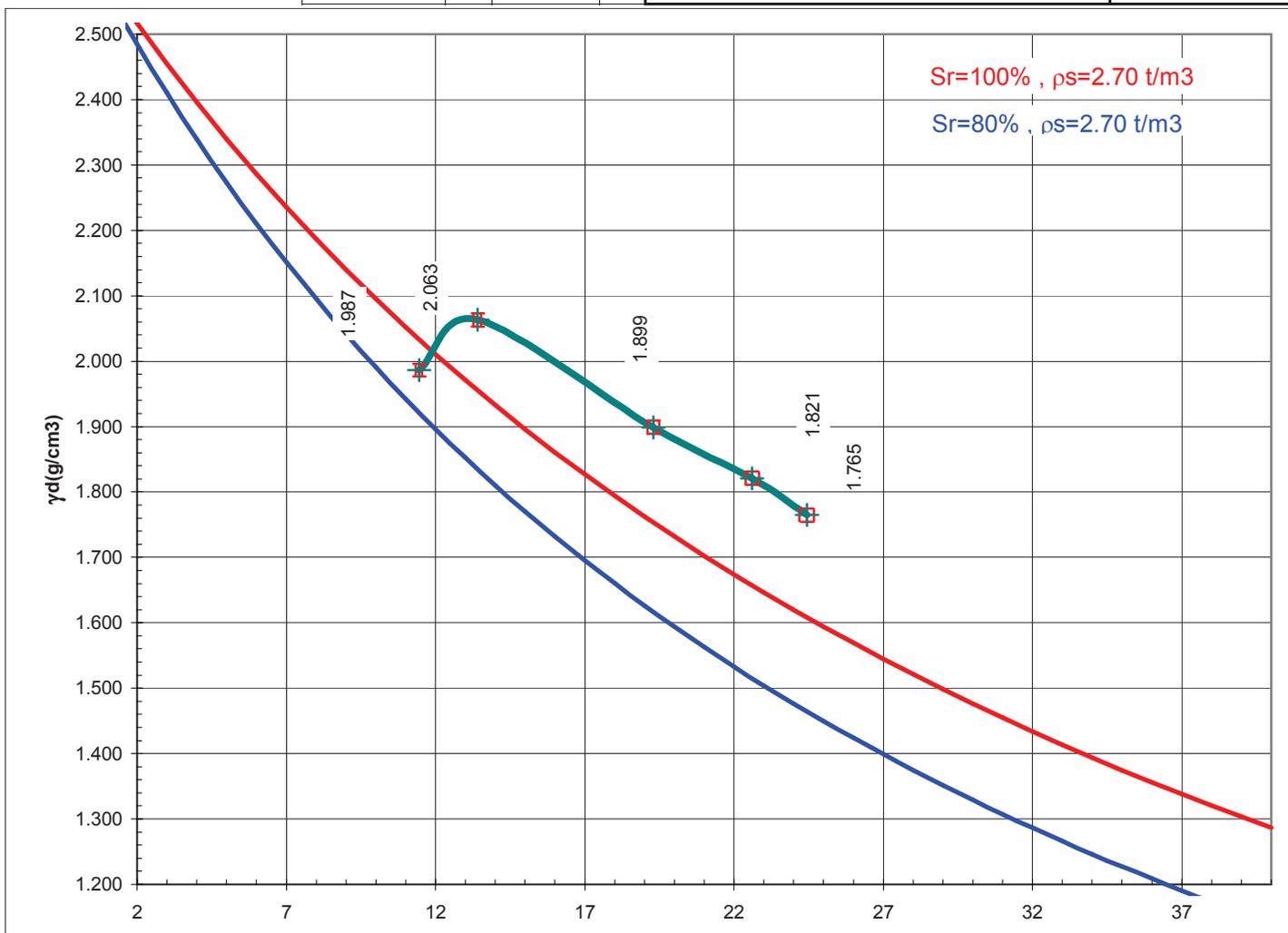




ESSAI PROCTOR REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-093

| | | | | | |
|-----------------|---|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| Site: | Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: | Sac E2 | | |
| | 0 | profondeur (m) | 0.5m | date essai: | septembre-12 |
| | | | | N° dossier: | D:O3318 |
| Nature terrain: | Sable orangé-ocre à graviers et petits blocs(diamètre 75mm) non carbonatés aspect chailles,hét | | | | |

| ENERGIE | MOULE | RESULTAT | | | wn=17.5% |
|---------|-------|----------|---------------|--------------|-------------------------|
| normal | 1 | proctor | γd OPN | 2.067 | g/cm³ |
| modifié | | CBR | w OPN | 13.00 | % |





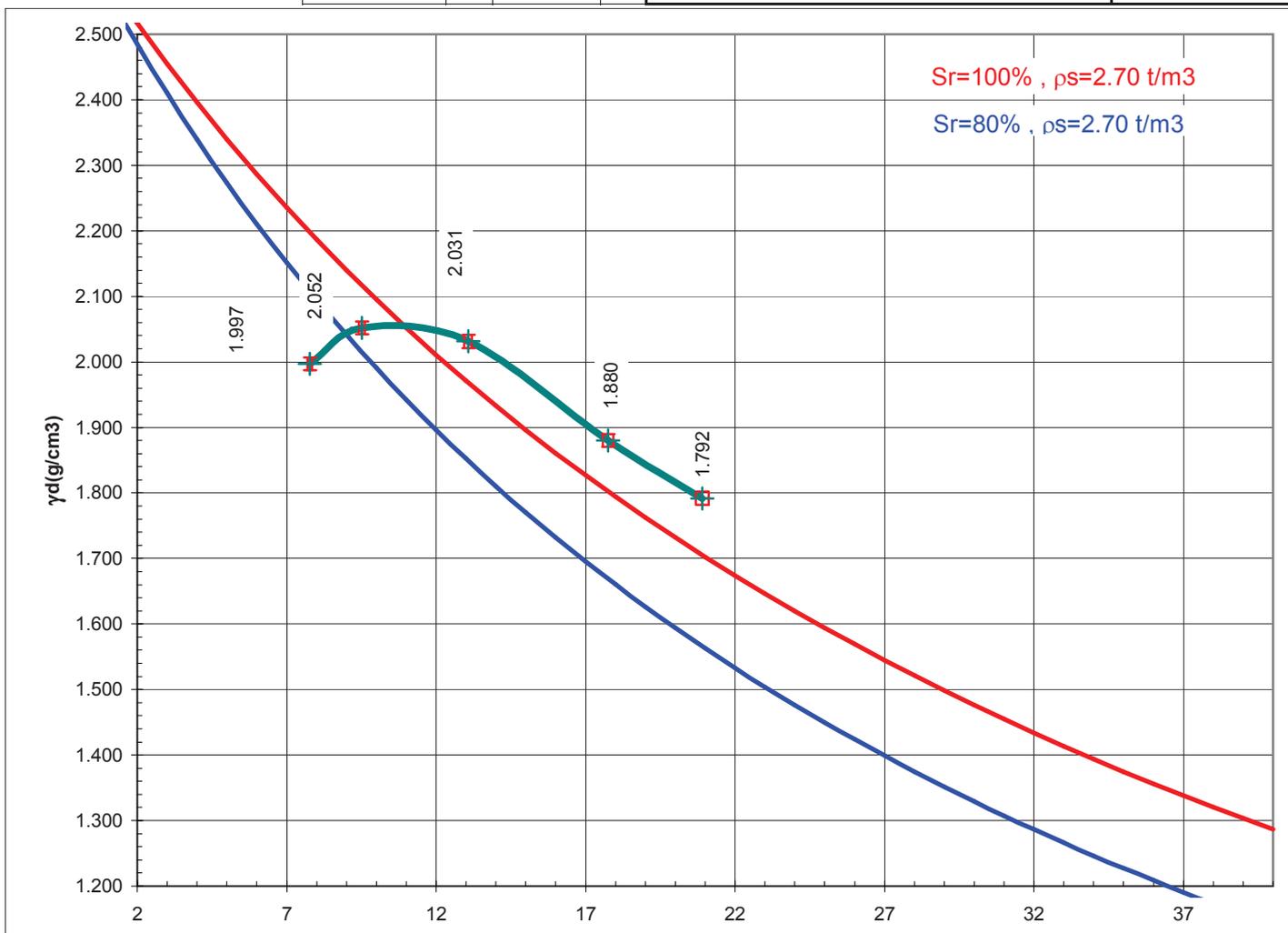
ESSAI PROCTOR REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-093

| | | | | | |
|-------|------------------------------------|----------------|--------|-------------|--------------|
| Site: | Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: | Sac E3 | | |
| | | profondeur (m) | 0.5m | date essai: | septembre-12 |
| | | | | N° dossier: | D:O3318 |

Nature terrain: **Sable grisâtre-marron-foncé limoneux à graviers et petits blocs non carbonatés aspect chailles,**

| ENERGIE | MOULE | RESULTAT | | | |
|---------|-------|----------|----------------|-------|----------|
| normal | 1 | proctor | γ_d OPN | 2.052 | g/cm^3 |
| modifié | | CBR | w OPN | 9.50 | % |

wn=11%



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé) après compactage à OPN

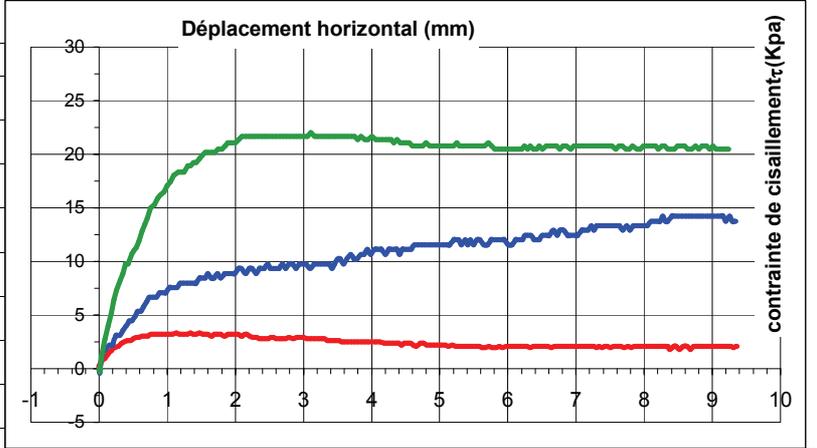
| | | | |
|---|---------------------------------|------------------------------|--|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: Sac E1 | U0(Kpa): 0 | |
| | profondeur (m): 0.5 | date essai: 8-sept-12 | |
| | σ'_{v0} (Kpa): 10 | N° dossier: O3318 | |

Nature terrain: Sable grossier et moyen marron-orangé à grains siliceux(aspect chailles)

Essai reconstitué, écrété à 5mm

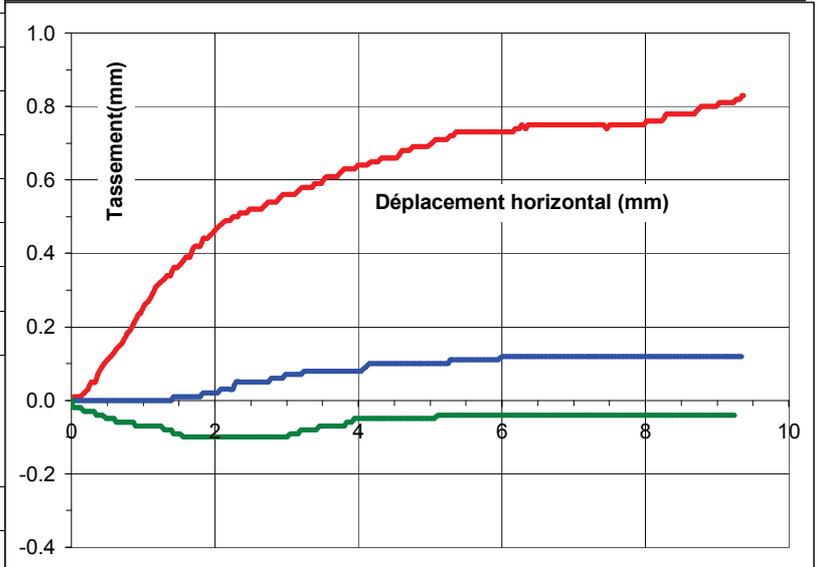
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 12% | 11% | 14% | |
| γ_h (KN/m ³): | 20.78 | 20.88 | 20.80 | |
| γ_d (KN/m ³): | 18.49 | 18.74 | 18.28 | |
| γ_s (KN/m ³): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 73% | 70% | 78% | |
| e= | 0.46 | 0.44 | 0.48 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 28.3 | 42.2 | 56.1 | |



Après consolidation

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 23.5 | 23.5 | 23.5 |
| γ_d (KN/m ³): | 22.339 | 22.442 | 22.059 |
| t100(min) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Vitesse(mm/min): | 0.05 | 0.05 | 0.05 |



Après cisaillement

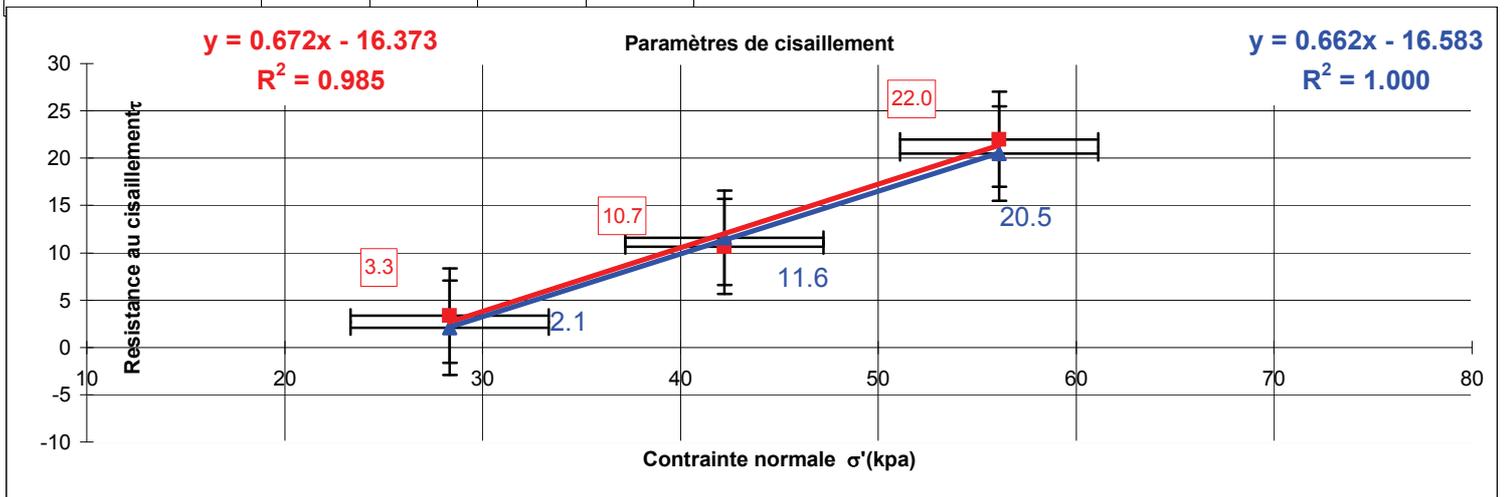
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 21% | 20% | 21% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 3.3 | 10.7 | 22.0 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 1.1 | 3.7 | 3.1 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 2.1 | 11.6 | 20.5 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | | |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| | C' (Kpa): | Φ' (degré) |
| AU PIC | 0 | 34 |
| Etat Final | 0 | 34 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé) après compactage à OPN

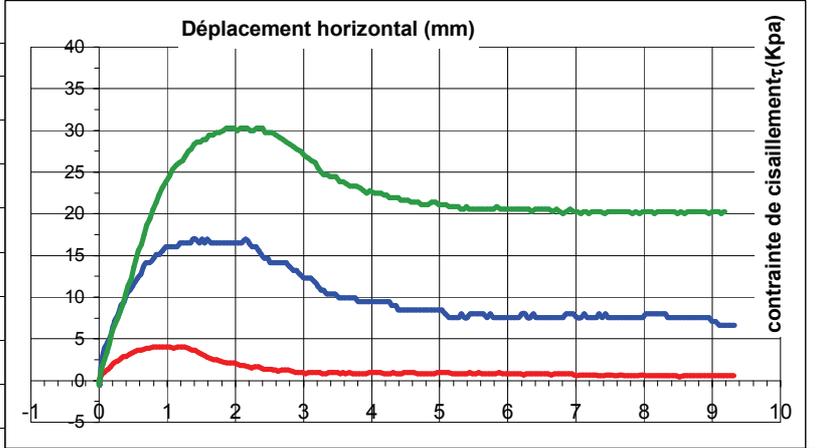
| | | | |
|---|----------------------------|--------------------------|--|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: Sac E2 | U0(Kpa): 0 | |
| | profondeur (m): 0.5 | date essai: 9-sept-12 | |
| | σ'_{v0} (Kpa): 11 | N° dossier: O3318 | |

Nature terrain: Sable grossier et moyen marron-orangé à grains siliceux(aspect chailles)

Essai reconstitué, écrété à 5mm

Caractéristiques des éprouvettes

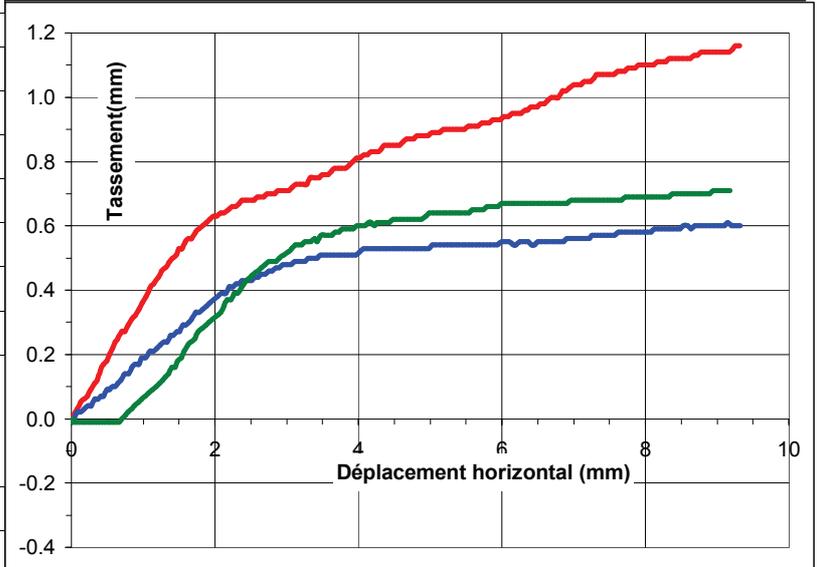
| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 14% | 15% | 15% | |
| γ_h (KN/m ³): | 23.00 | 22.43 | 23.11 | |
| γ_d (KN/m ³): | 20.09 | 19.54 | 20.18 | |
| γ_s (KN/m ³): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 100% | 100% | |
| e= | 0.34 | 0.38 | 0.34 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 28.3 | 42.2 | 56.1 | |



Après consolidation

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 23 | 22.5 | 22.5 |
| γ_d (KN/m ³): | 24.131 | 23.476 | 24.183 |
| t100(min) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Vitesse(mm/min): | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

| Après cisaillement | A | B | C |
|--------------------|-----|-----|-----|
| w(%): | 20% | 20% | 20% |

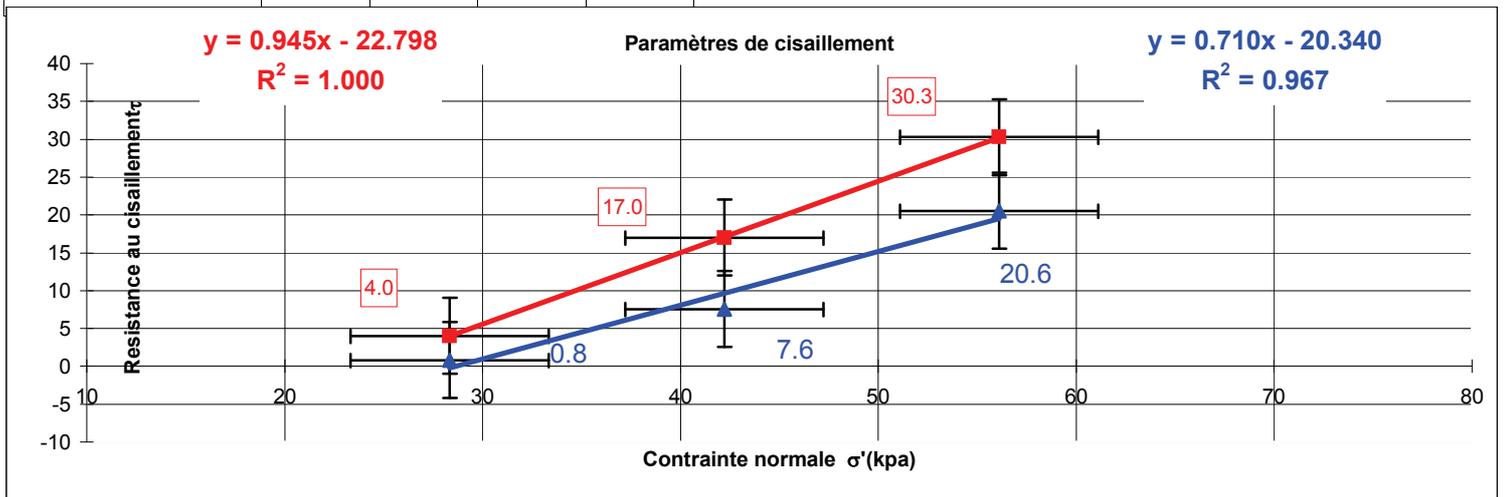


Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 4.0 | 17.0 | 30.3 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 0.8 | 1.4 | 1.9 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 0.8 | 7.6 | 20.6 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ' (degré) |
|-------------------|----------|-----------------|
| AU PIC | 0 | 43 |
| Etat Final | 0 | 35 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé) après compactage à OPN

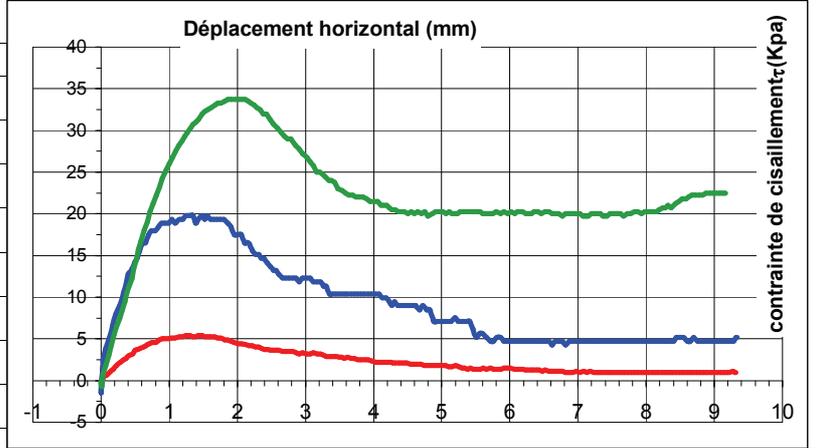
| | | | |
|---|----------------------------|--------------------------|--|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: Sac E3 | U0(Kpa): 0 | |
| | profondeur (m): 0.5 | date essai: 10-sept-12 | |
| | σ'_{v0} (Kpa): 11 | N° dossier: O3318 | |

Nature terrain: Sable grossier et moyen peu limoneux marron-foncé-grisâtre à grains siliceux(aspect chailles)

Essai reconstitué, écrété à 5mm

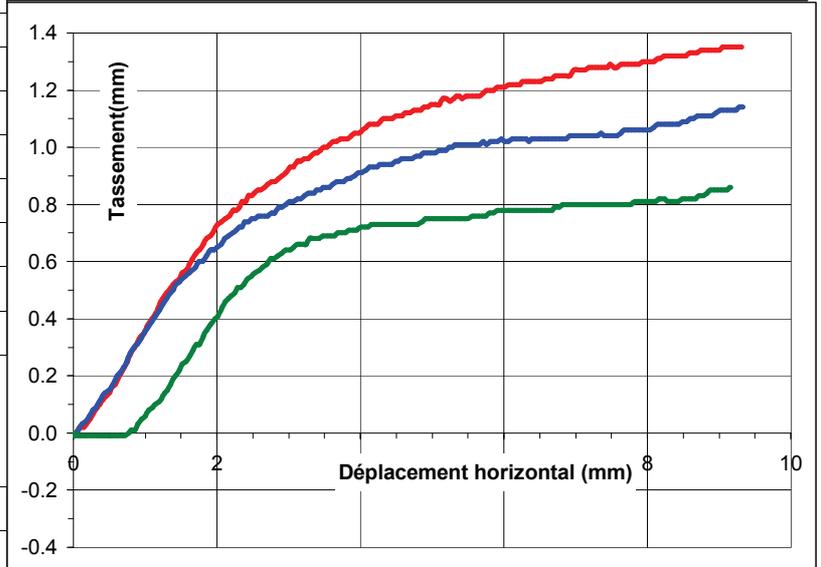
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 13% | 13% | 13% | |
| γ_h (KN/m ³): | 22.92 | 22.41 | 22.88 | |
| γ_d (KN/m ³): | 20.22 | 19.84 | 20.27 | |
| γ_s (KN/m ³): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 97% | 100% | |
| e= | 0.34 | 0.36 | 0.33 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 28.3 | 42.2 | 56.1 | |



Après consolidation

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 23.5 | 23.5 | 23.5 |
| γ_d (KN/m ³): | 23.764 | 23.466 | 23.763 |
| t100(min) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Vitesse(mm/min): | 0.05 | 0.05 | 0.05 |



Après cisaillement

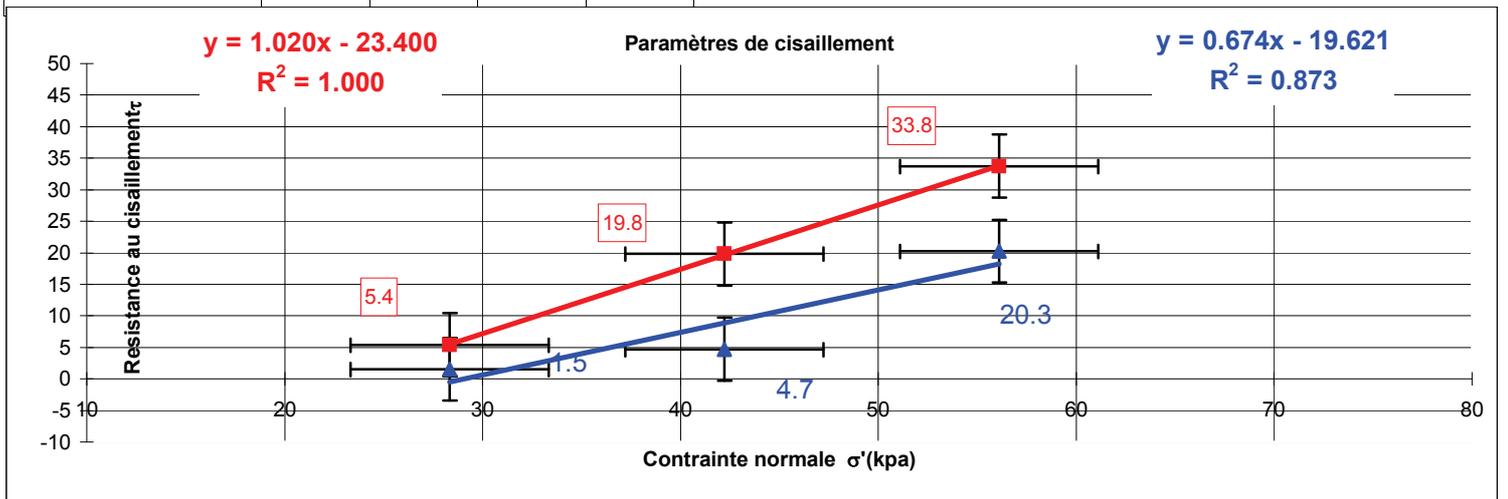
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 18% | 18% | 17% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 5.4 | 19.8 | 33.8 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 1.3 | 1.3 | 1.9 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 1.5 | 4.7 | 20.3 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ '(degré) |
|-------------------|----------|-----------------|
| AU PIC | 0 | 46 |
| Etat Final | 0 | 34 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

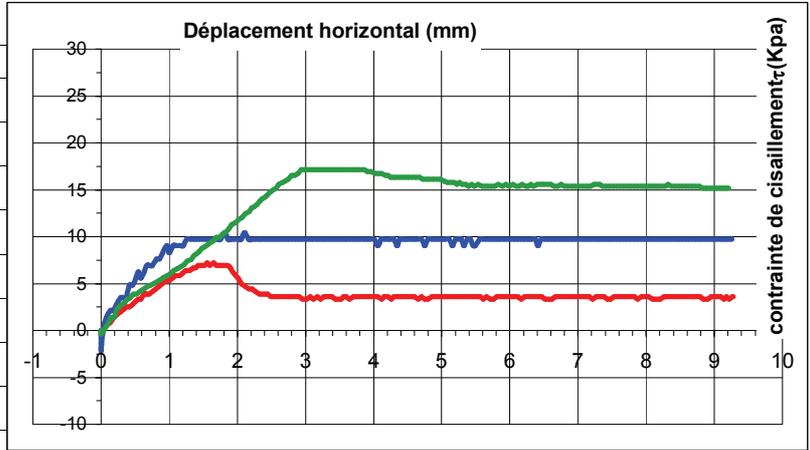
CD(consolidé drainé)

| | | |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: SC1 | U0(Kpa): 0 |
| | profondeur (m): 0.7 | date essai: 1-sept-12 |
| | σ'_{v0} (Kpa): 15 | N° dossier: O3318 |

Nature terrain: Silt sableux fin rouge-orangé-ocre, très mou à pâteux, thixotrope

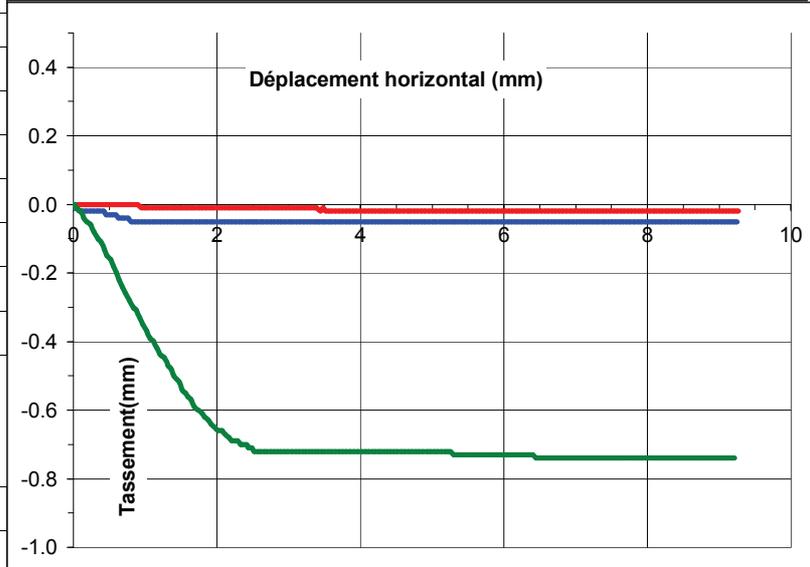
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 36% | 35% | 33% | |
| γ_h (KN/m ³): | 20.84 | 20.87 | 20.94 | |
| γ_d (KN/m ³): | 15.29 | 15.43 | 15.78 | |
| γ_s (KN/m ³): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 100% | 100% | |
| e= | 0.77 | 0.75 | 0.71 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 28.3 | 42.2 | 56.1 | |



Après consolidation

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 21 | 20 | 19.5 |
| γ_d (KN/m ³): | 20.879 | 20.883 | 20.906 |
| t100(min) | 2 | 2 | 2 |
| Vitesse(mm/min): | 0.06 | 0.06 | 0.06 |

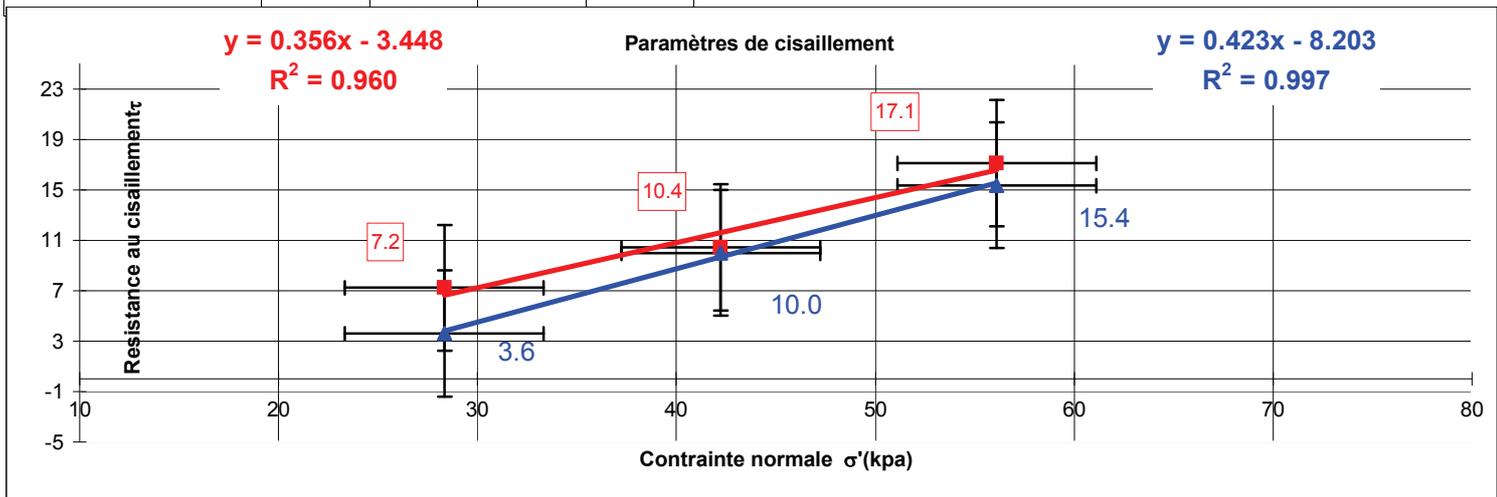


Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 7.2 | 10.4 | 17.1 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 1.6 | 1.8 | 2.9 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 3.6 | 10.0 | 15.4 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ' :(degré) |
|-------------------|----------|------------------|
| AU PIC | 0 | 20 |
| Etat Final | 0 | 23 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

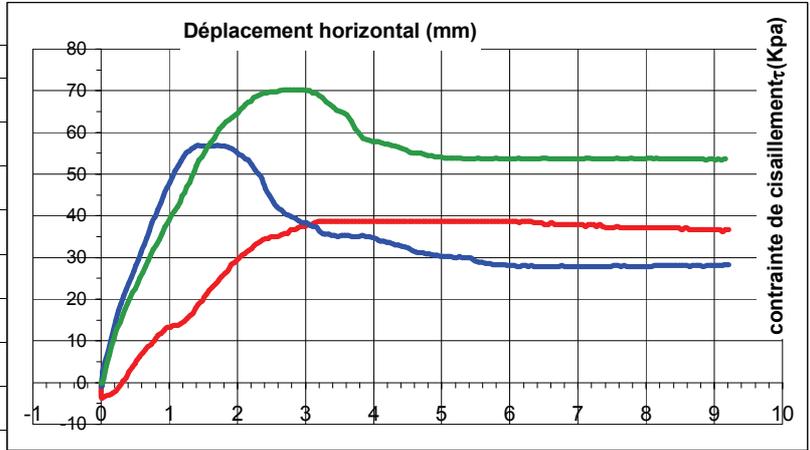
CD(consolidé drainé)

| | | |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: SC1 | U0(Kpa): 0 |
| | profondeur (m): 3.5 | date essai: 3-sept-12 |
| | σ'_{v0} (Kpa): 74 | N° dossier: O3318 |

Nature terrain: Sable silteux fin rouge-ocre-mauve à inclusions noirâtre, très mou, eau libre, thixotrope

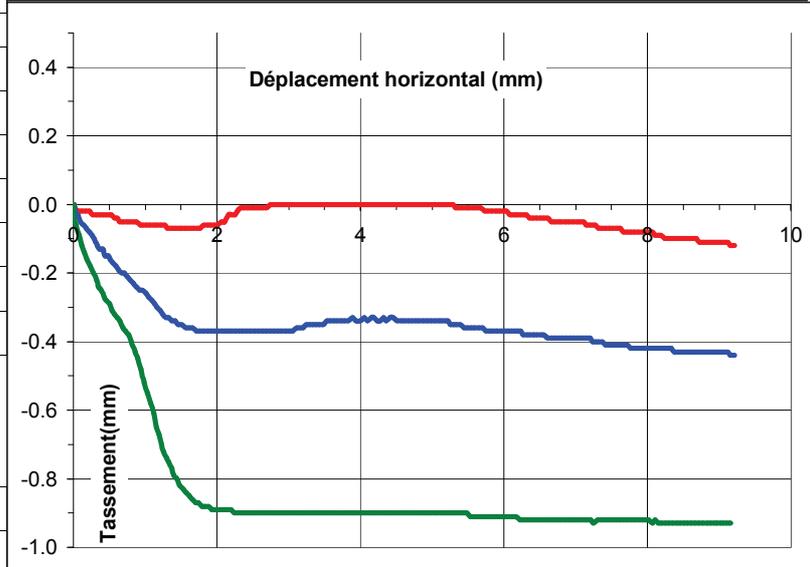
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 31% | 28% | 30% | |
| γ_h (KN/m ³): | 20.79 | 21.62 | 21.43 | |
| γ_d (KN/m ³): | 15.91 | 16.84 | 16.54 | |
| γ_s (KN/m ³): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 100% | 100% | |
| e= | 0.70 | 0.60 | 0.63 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 70.0 | 97.8 | 125.6 | |



Après consolidation

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 22 | 21 | 20.5 |
| γ_d (KN/m ³): | 21.016 | 21.626 | 21.451 |
| t100(min) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Vitesse(mm/min): | 0.05 | 0.05 | 0.05 |



Après cisaillement

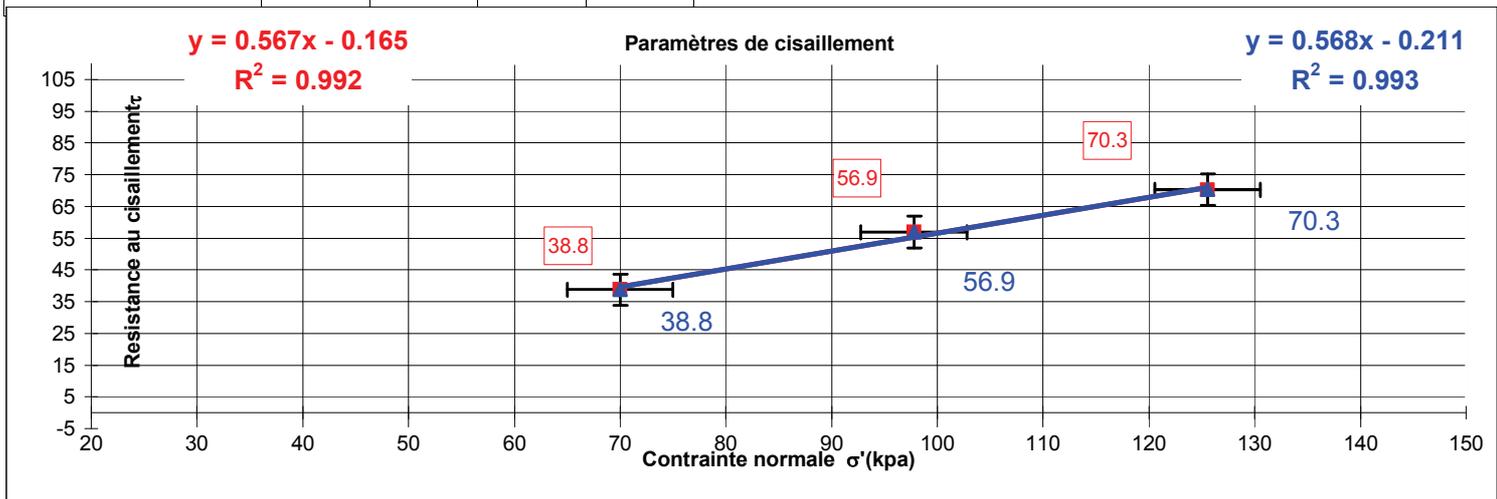
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 32% | 28% | 30% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|------|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 38.8 | 56.9 | 70.3 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 3.2 | 1.4 | 2.7 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 38.8 | 56.9 | 70.3 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ' :(degré) |
|-------------------|----------|------------------|
| AU PIC | 0 | 30 |
| Etat Final | 0 | 30 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé)

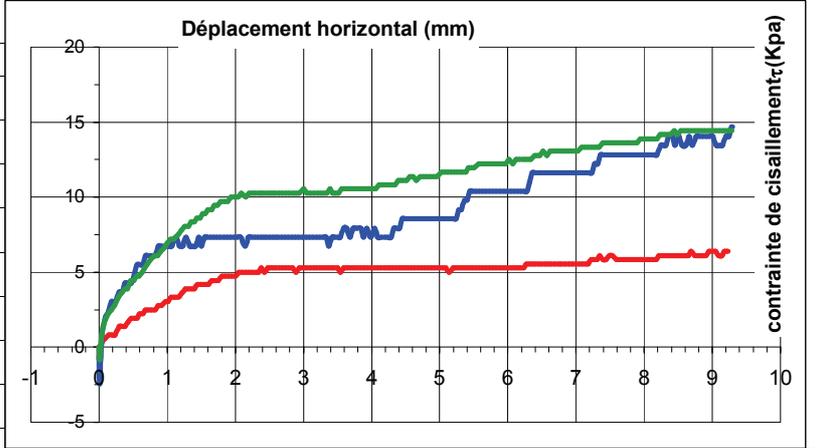
| | | |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: SC2 | U0(Kpa): 0 |
| | profondeur (m): 1.5 | date essai: 4-sept-12 |
| | σ'_{v0} (Kpa): 26 | N° dossier: O3318 |

Nature terrain: Argile silteuse rouge brique-ocre(aspect latéritique)très molle,gorgée d'eau,très compressible

échantillon pâteux

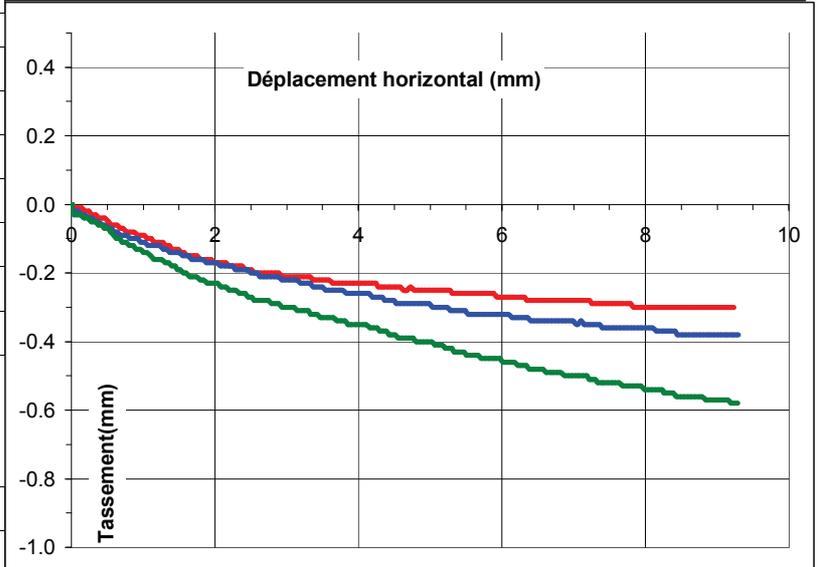
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 62% | 64% | 65% | |
| γ_h (KN/m3): | 17.46 | 17.26 | 17.33 | |
| γ_d (KN/m3): | 10.77 | 10.51 | 10.48 | |
| γ_s (KN/m3): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 100% | 100% | |
| e= | 1.51 | 1.57 | 1.58 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 42.2 | 70.0 | 97.8 | |



Après consolidation

| | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 21 | 20.5 | 19 |
| γ_d (KN/m3): | 17.236 | 16.954 | 16.644 |
| t100(min) | 3 | 3 | 3 |
| Vitesse(mm/min): | 0.04 | 0.04 | 0.04 |



Après cisaillement

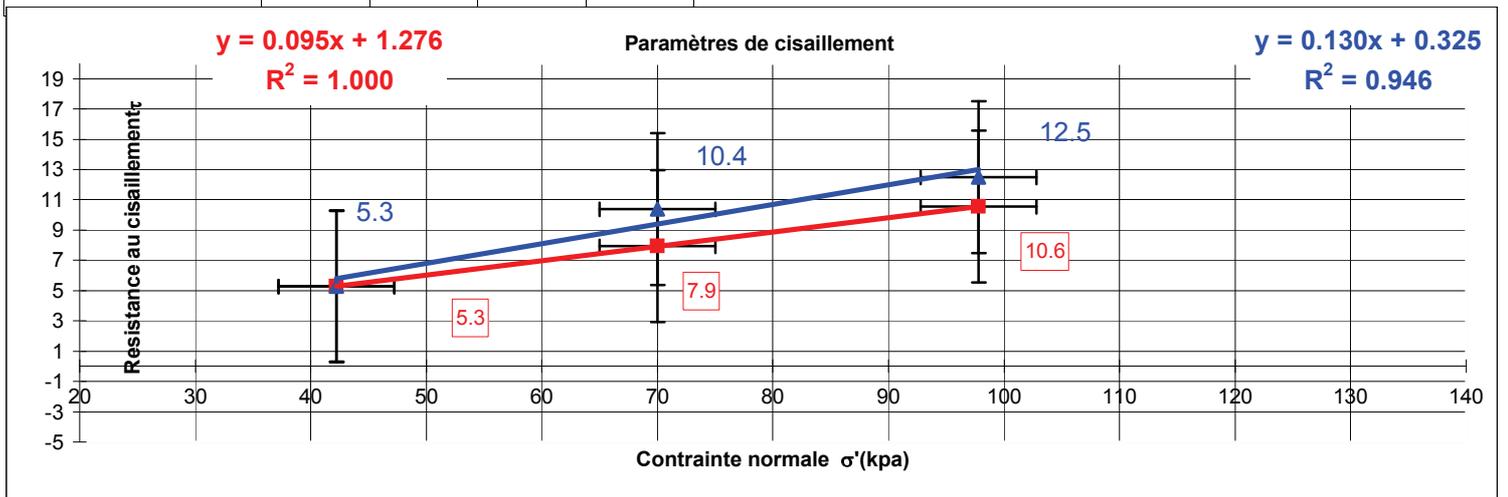
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 60% | 61% | 59% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 5.3 | 7.9 | 10.6 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 2.4 | 3.6 | 3.0 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 5.3 | 10.4 | 12.5 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ :(degré) |
|-------------------|----------|-----------------|
| AU PIC | 1 | 5 |
| Etat Final | 0 | 7 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé)

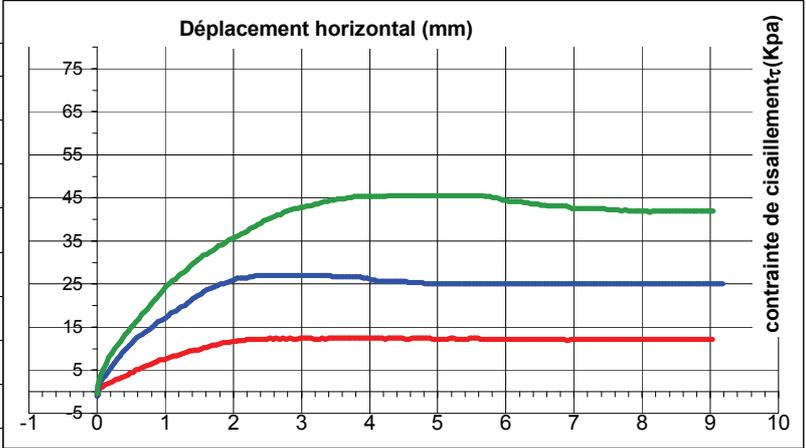
| | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: SC2 | U0(Kpa): 0 |
| | profondeur (m): 3 | date essai: 5-sept-12 |
| | σ'_{v0} (Kpa): 47 | N° dossier: O3318 |

Nature terrain: Sable moyen à grossier marron-foncé-grisâtre à divers graviers, hétérogène

Essai reconstitué, écrété à 5mm

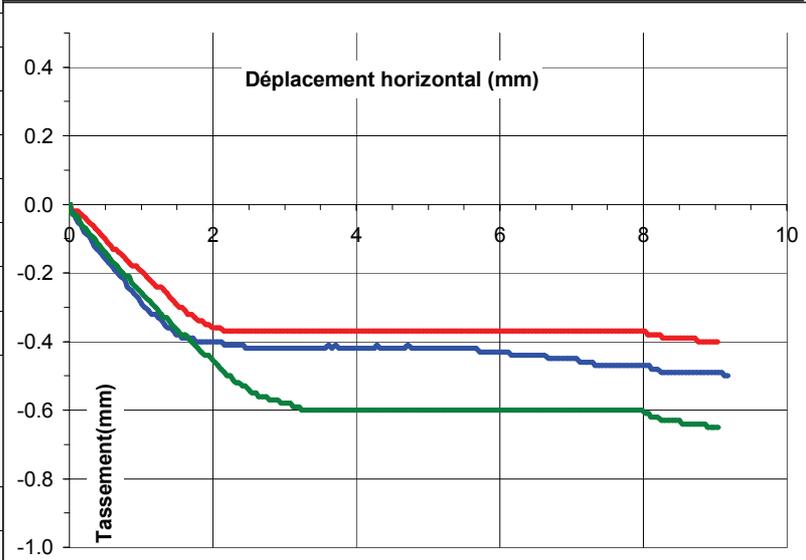
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 17% | 17% | 16% | |
| γ_h (KN/m ³): | 15.69 | 15.52 | 15.39 | |
| γ_d (KN/m ³): | 13.39 | 13.23 | 13.26 | |
| γ_s (KN/m ³): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 46% | 45% | 42% | |
| e= | 1.02 | 1.04 | 1.04 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 56.1 | 83.9 | 111.7 | |



Après consolidation

| | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 23.5 | 21.5 | 20.5 |
| γ_d (KN/m ³): | 17.756 | 17.471 | 17.462 |
| t100(min) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Vitesse(mm/min): | 0.05 | 0.05 | 0.05 |



Après cisaillement

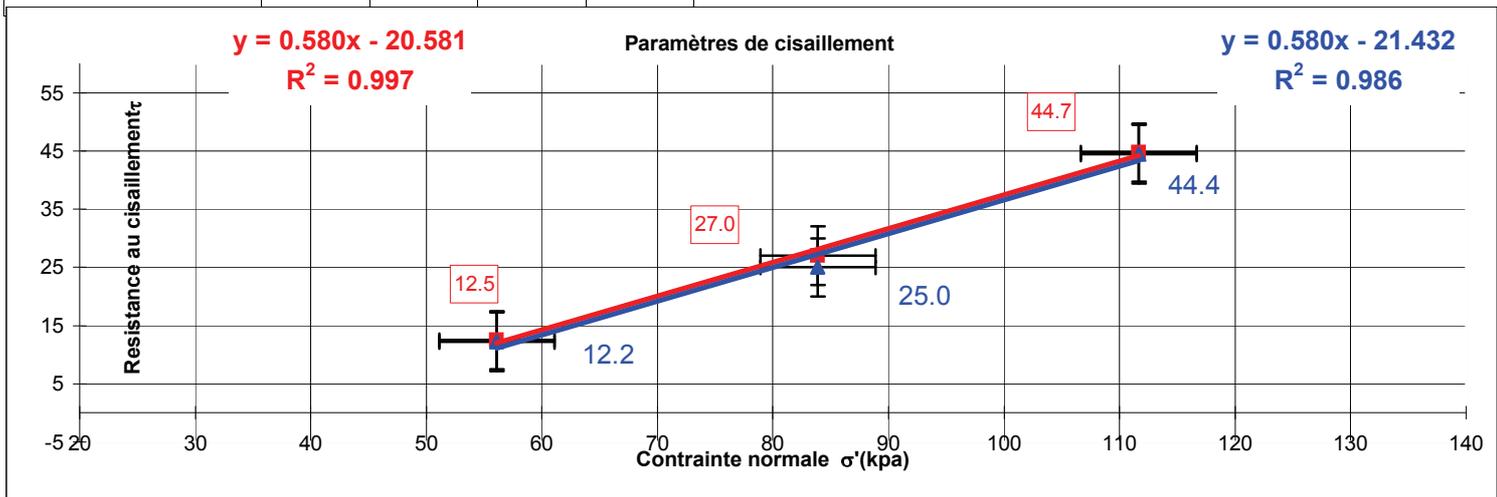
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 33% | 32% | 32% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|------|------|------|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 12.5 | 27.0 | 44.7 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 2.5 | 2.3 | 3.5 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 12.2 | 25.0 | 44.4 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ' :(degré) |
|-------------------|----------|------------------|
| AU PIC | 0 | 30 |
| Etat Final | 0 | 30 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé)

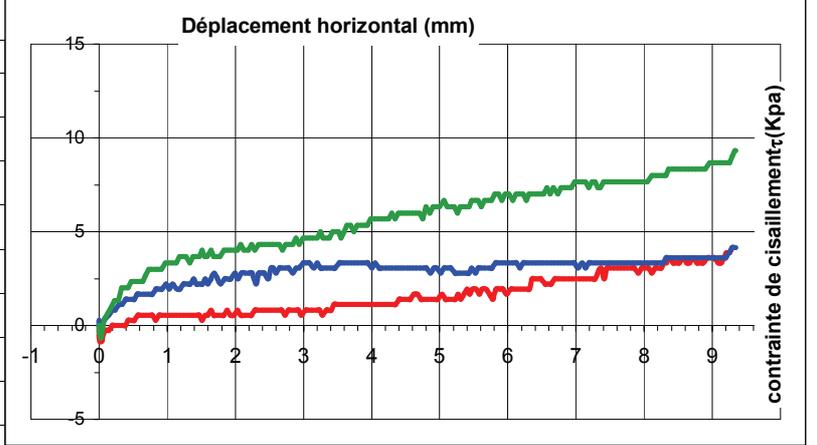
| | | |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: SC3 | U0(Kpa): 0 |
| | profondeur (m): 1.5 | date essai: 6-sept-12 |
| | σ'_{v0} (Kpa): 23 | N° dossier: O3318 |

Nature terrain: Argile silteuse rouge brique-ocre(aspect latéritique)très molle,gorgée d'eau,très compressible

échantillon pâteux,vaseux

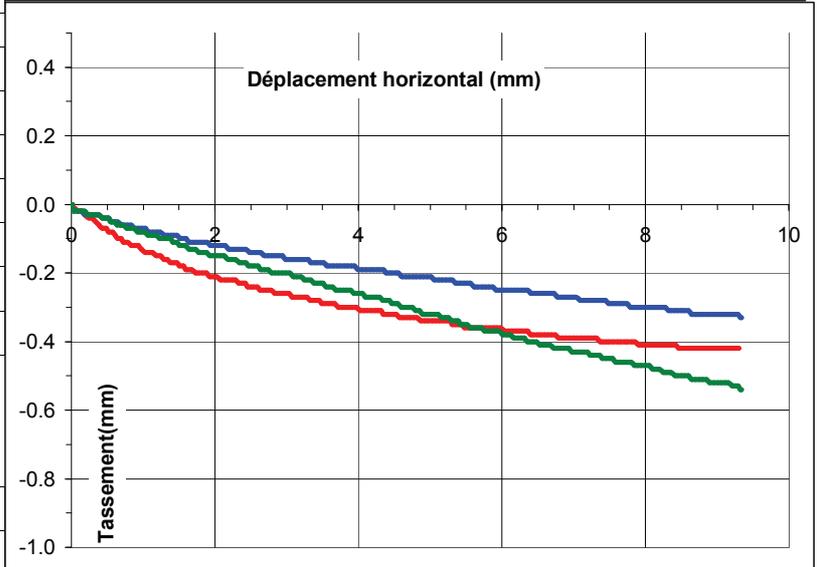
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 89% | 88% | 89% | |
| γ_h (KN/m3): | 15.67 | 15.20 | 15.91 | |
| γ_d (KN/m3): | 8.30 | 8.07 | 8.42 | |
| γ_s (KN/m3): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 100% | 100% | |
| e= | 2.25 | 2.34 | 2.21 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 42.2 | 70.0 | 97.8 | |



Après consolidation

| | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 20 | 19 | 18.5 |
| γ_d (KN/m3): | 15.518 | 14.608 | 15.024 |
| t100(min) | 3 | 3 | 3 |
| Vitesse(mm/min): | 0.04 | 0.04 | 0.04 |



Après cisaillement

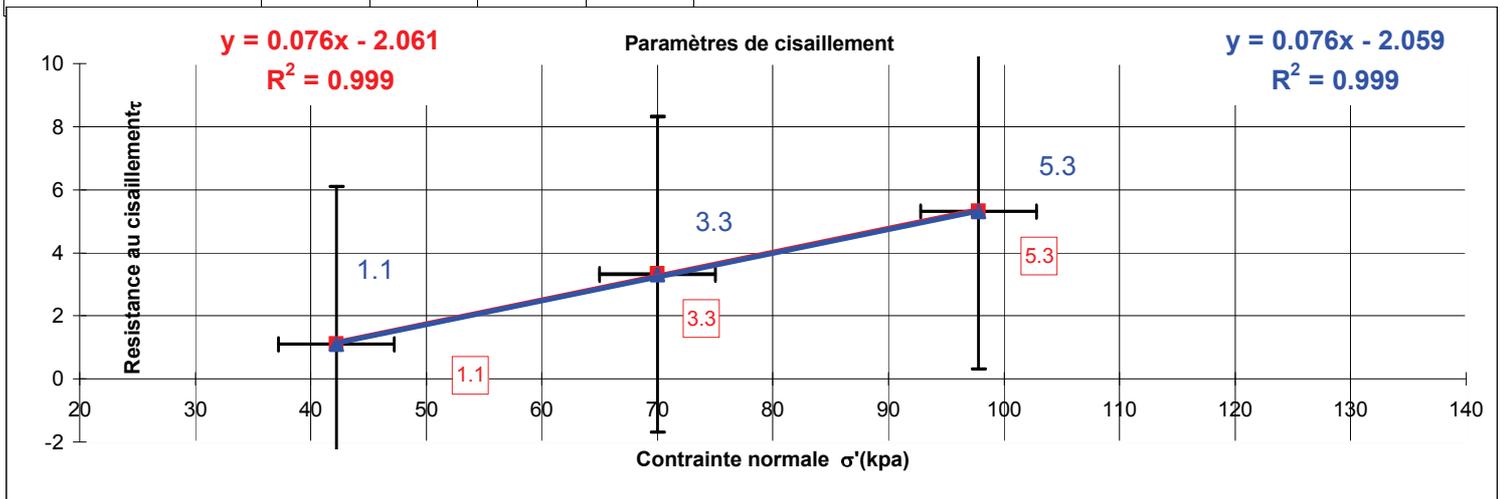
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 87% | 81% | 78% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 1.1 | 3.3 | 5.3 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 3.5 | 3.0 | 3.6 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 1.1 | 3.3 | 5.3 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ :(degré) |
|-------------------|----------|-----------------|
| AU PIC | 0 | 4 |
| Etat Final | 0 | 4 |



CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE - CISAILLEMENT DIRECT REALISE CONFORMEMENT A LA NORME NF P 94-071-1

CD(consolidé drainé)

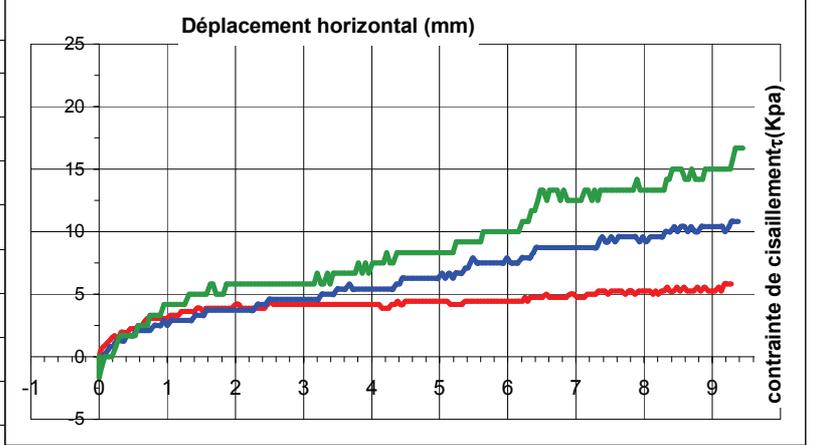
| | | |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Site: Saint Laurent Le Minier(30) | Sondage n°: SC3 | U0(Kpa): 0 |
| | profondeur (m): 2.7 | date essai: 7-sept-12 |
| | σ'_{v0} (Kpa): 46 | N° dossier: O3318 |

Nature terrain: Argile silteuse rouge brique-ocre(aspect latéritique)très molle,gorgée d'eau,très compressible

échantillon pâteux,vaseux,rare inclusions sableuses

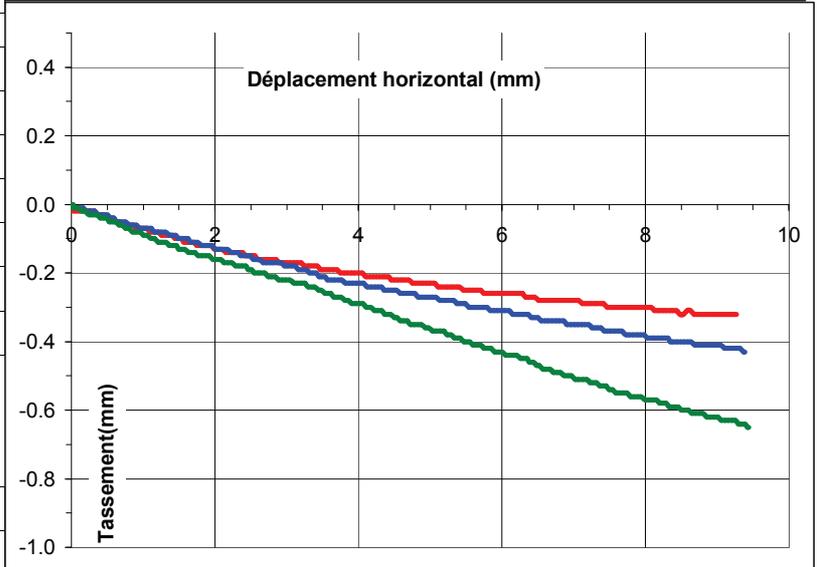
Caractéristiques des éprouvettes

| Valeurs initiales | A | B | C | D |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|---|
| H ₀ (mm): | 24 | 24 | 24 | |
| L ₀ (mm): | 60 | 60 | 60 | |
| w(%): | 66% | 79% | 92% | |
| γ_h (KN/m3): | 17.25 | 16.73 | 16.62 | |
| γ_d (KN/m3): | 10.36 | 9.35 | 8.65 | |
| γ_s (KN/m3): | 27.00 | 27.00 | 27.00 | |
| Sr(%): | 100% | 100% | 100% | |
| e= | 1.61 | 1.89 | 2.12 | |
| ontrainte normale σ (KPA)= | 56.1 | 83.9 | 111.7 | |



Après consolidation

| | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|
| H(mm): | 19.5 | 19 | 18 |
| γ_d (KN/m3): | 16.699 | 15.844 | 15.255 |
| t100(min) | 3 | 3 | 3 |
| Vitesse(mm/min): | 0.04 | 0.04 | 0.04 |



Après cisaillement

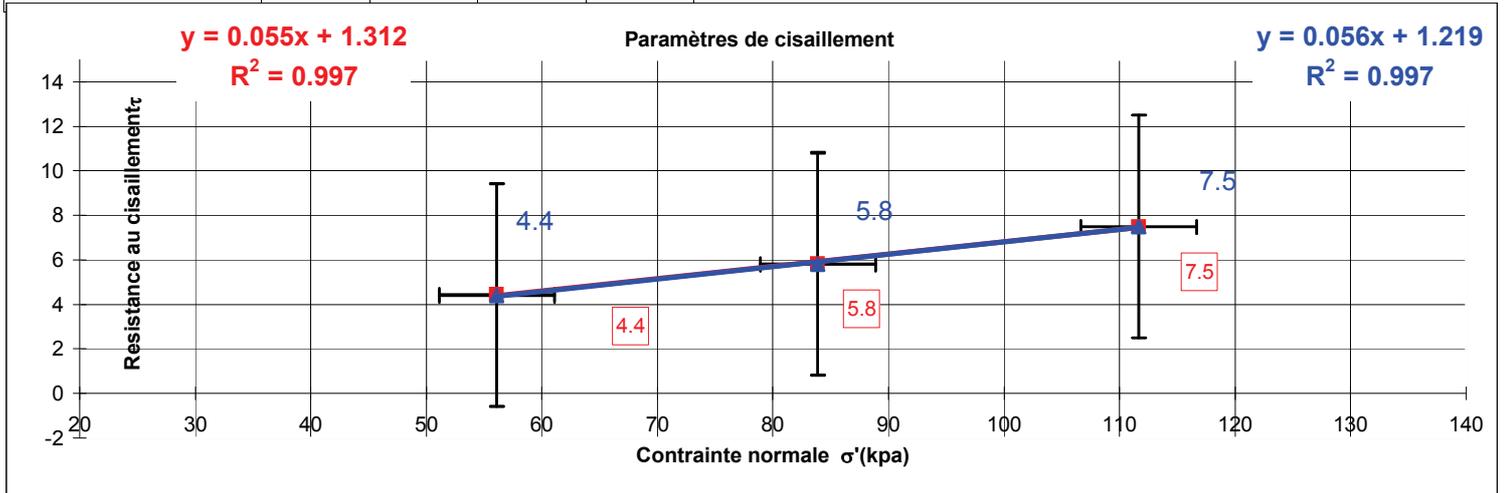
| | | | |
|-------|-----|-----|-----|
| w(%): | 61% | 70% | 76% |
|-------|-----|-----|-----|

Paramètres de resistance au cisaillement

| | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|
| $\tau_{f,p}$ (Kpa): | 4.4 | 5.8 | 7.5 |
| $\delta l_{f,p}$ (mm): | 2.5 | 3.7 | 3.8 |
| $\tau_{f,f}$ (Kpa): | 4.4 | 5.8 | 7.5 |
| $\delta l_{f,f}$ (mm): | 6 | 6 | 6 |

Résultats

| | C'(Kpa): | Φ :(degré) |
|-------------------|----------|-----------------|
| AU PIC | 0 | 7 |
| Etat Final | 0 | 7 |



ANNEXE 9
ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL

Teneur en sulfate et pH sol

Résultats d'analyse

Analyse physique

| | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-----|------------------------|------------------------|------------------------|
| N° d'échantillon | | | 12-082720-01 | 12-082720-02 | 12-082720-03 |
| Désignation d'échantillon | | | SC1 (0.00-1.00) | SC1 (3.00-4.00) | SC2 (1.00-2.00) |
| Paramètre | Unité | LQ | | | |
| Matière sèche | % mass MB | 0,1 | 79,5 | 80,8 | 62,6 |

| | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-----|------------------------|------------------------|------------------------|
| N° d'échantillon | | | 12-082720-04 | 12-082720-05 | 12-082720-06 |
| Désignation d'échantillon | | | SC2 (2.00-3.00) | SC3 (1.00-2.00) | SC3 (2.00-2.80) |
| Paramètre | Unité | LQ | | | |
| Matière sèche | % mass MB | 0,1 | 87,6 | 75,4 | 67,6 |

Paramètres globaux / Indices

| | | | | | |
|----------------------------------|------------|----|------------------------|------------------------|------------------------|
| N° d'échantillon | | | 12-082720-01 | 12-082720-02 | 12-082720-03 |
| Désignation d'échantillon | | | SC1 (0.00-1.00) | SC1 (3.00-4.00) | SC2 (1.00-2.00) |
| Paramètre | Unité | LQ | | | |
| Degré d'acidité | ml/kg MS-A | | 7 | 2 | 7 |
| Sulfates (SO4) | mg/kg MS-A | | 210 | 2300 | 5500 |

| | | | | | |
|----------------------------------|------------|----|------------------------|------------------------|------------------------|
| N° d'échantillon | | | 12-082720-04 | 12-082720-05 | 12-082720-06 |
| Désignation d'échantillon | | | SC2 (2.00-3.00) | SC3 (1.00-2.00) | SC3 (2.00-2.80) |
| Paramètre | Unité | LQ | | | |
| Degré d'acidité | ml/kg MS-A | | <2 | 19 | 20 |
| Sulfates (SO4) | mg/kg MS-A | | 460 | 2400 | 2600 |