

RN12-BELLE-ISLE-EN-TERRE

Mur de soutènement Armco culée Est

Diagnostic géotechnique

Février 2019



Direction Interdépartementale des Routes de l'Ouest



RN12-BELLE ISLE EN TERRE

Mur de soutènement Armco culée Est

Diagnostic géotechnique

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0.1	26/02/19	
1	28/02/19	Après relecture interne

Affaire suivie par

Olivier MALASSINGNE - Département Laboratoire de Saint-Brieuc – Direction
Tél. : 02 96 75 93 71 / Fax : 02 96 75 93 10
Courriel : olivier.malassingne@cerema.fr
Site de Saint-Brieuc : Cerema Ouest – 5 rue Jules Vallès – 22015 SAINT BRIEUC cedex

Références

n° d'affaire : C17OI0101

Maître d'Ouvrage : DIR Ouest-

Rapport	Nom
Établi par	Olivier MALASSINGNE
Contrôlé par	Catherine CHAULIAGUET
Validé par	Raphaël BÉNOT
Validé par	Régis SOENEN

Résumé de l'étude :

Sommaire

1 IDENTIFICATION ET RÉALISATION DE L'ÉTUDE.....	4
2 CONTEXTE GÉNÉRAL, GÉOTECHNIQUE ET SYNTHÈSE.....	4
2.1 Contextes géologique, morphologique et anthropique du lieu.....	4
2.2 Contexte hydrologique.....	5
2.3 Contexte sismique.....	5
3 INTERVENTION SUR LE TERRAIN.....	5
3.1 Sondages pressiométriques.....	5
3.2 Coupe des sondages pressiométriques.....	6
3.3 Résultats du sondage pressiométrique.....	6
3.4 Résultats des forages horizontaux.....	6
3.5 Classe de sol.....	7
3.6 Aspect hydrogéologique.....	7
4 - ELEMENTS DE FONDATIONS.....	7
4.1 Justification de la fondation vis-à-vis du poinçonnement.....	7
4.2 Justification de la fondation vis-à-vis des déformations (Tassements).....	9
5 - RECOMMANDATIONS.....	9
6 - CONCLUSION.....	10

Annexes

- 1 ♦ Plan de situation et schéma d'implantation des sondages
- 2 ♦ Coupes des sondages pressiométriques et des forages horizontaux

1 IDENTIFICATION ET RÉALISATION DE L'ÉTUDE

À la demande du pôle de gestion des ouvrages d'art de la Direction Interdépartementale des Routes de l'Ouest, le groupe Risques Naturels et Littoraux du Département Laboratoire de Saint-Brieuc a réalisé les 5 et 6 septembre 2018 une reconnaissance des sols au niveau du mur de soutènement métallique de la culée Est du viaduc du Leguer à Belle-Isle-en-Terre RN12. Ce diagnostic entre dans le cadre de l'avant projet de réparation de ce mur, conformément au programme de l'affaire n°C17OI0101.

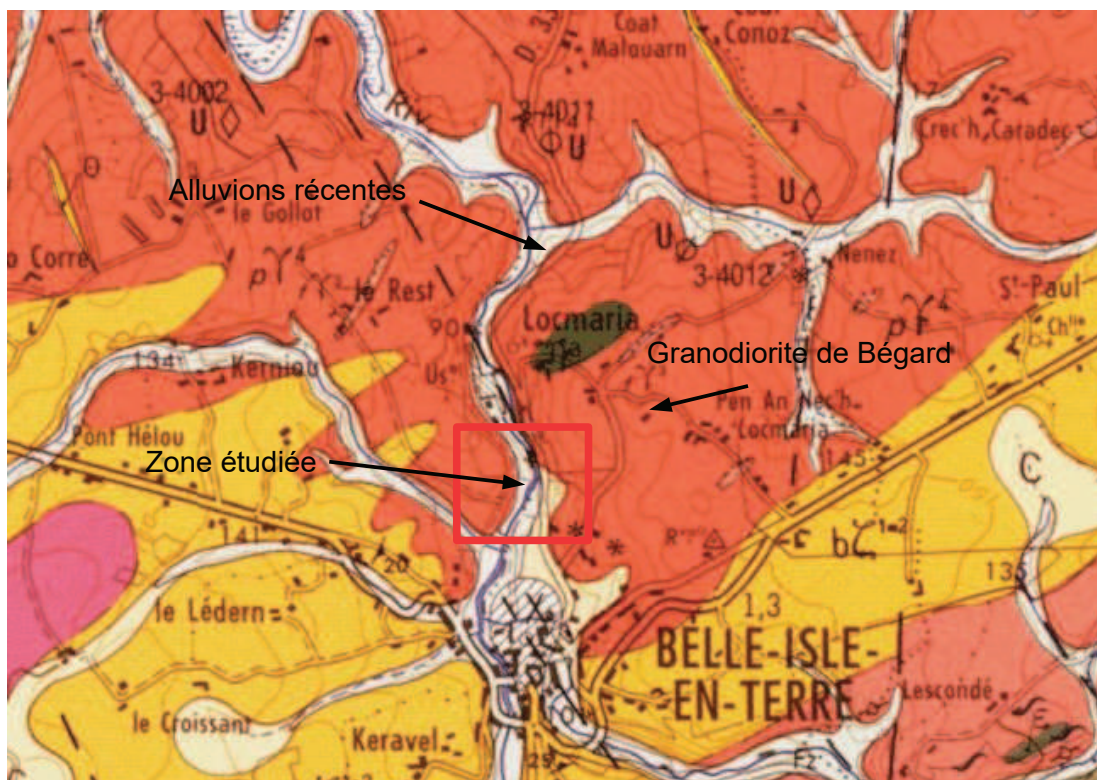
➡ ***l'objet de ce dossier est de présenter les résultats des sondages et essais réalisés et d'en tirer les principales recommandations concernant la géométrie de l'ouvrage et des possibles futures fondations.***

Il s'agit d'une mission de type G5, diagnostic Géotechnique, au sens de la norme NF P 94-500 de classification et spécifications des missions d'ingénierie géotechnique de novembre 2013.

2 CONTEXTE GÉNÉRAL, GÉOTECHNIQUE ET SYNTHÈSE

2.1 Contextes géologique, morphologique et anthropique du lieu

D'après la carte géologique au 1/50 000^e (Feuille de BELLE-ISLE-EN-TERRE), la formation rencontrée au droit du projet est la granodiorite de Bégard.



Carte 1 : extrait de la carte géologique du secteur (source : Géoportail)

Cette formation est recouverte localement de matériaux de remblais mis en œuvre pour la RN12,

la RD33, ainsi que par des colluvions de pentes au niveau du talweg nord et des alluvions récentes au niveau du Léguer.

Lors de la création du viaduc du Léguer pour la RN12, un mur de soutènement métallique, procédé ARMCO par caissons, a été réalisé au niveau de la RD33 afin de préserver une maison d'habitation ainsi que la route départementale. Cet ouvrage construit à la fin des années 1970 présente une lacune importante de l'ordre de 1 m³ au sud, au niveau de sa jonction avec le sol naturel. Une source importante à cet endroit a corrodé les panneaux métalliques et entraîné les remblais en arène sableuse.

Un talweg, parallèle au remblai d'accès du viaduc, a été en partie masqué par la création de ce mur de soutènement. Le ruisseau passe donc sous le mur, au nord, ainsi que sous la RD33.

2.2 Contexte hydrologique

Le site est localisé à l'ouest du fleuve Léguer qui est franchi par la RN 12 en viaduc à cet endroit. Il est aussi bordé au nord par un ruisseau en parti busé sous le mur et la RD33 qui se jette dans ce fleuve. Une source s'écoule aussi à travers le mur métallique.

2.3 Contexte sismique

Nous rappelons enfin que le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010, portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, place l'ensemble du département des Côtes d'Armor en zone 2, de **sismicité faible**.

3 Intervention sur le terrain

3.1 Sondages pressiométriques

Au niveau d'un éventuel futur soutènement, localisé sur le plan de situation et aux emplacements repérés sur le plan d'implantation en **annexe 1**, il a été effectué en septembre 2018 deux sondages pressiométriques, notés SP1 et SP1B, à l'aide de la sondeuse Sédidrill 250 et 2 forages horizontaux au travers des panneaux 9 et 12, à 1 m de hauteur environ.

Le sondage SP1, réalisé au niveau du portail d'accès à la maison, ayant rencontré un refus prématuré à 1,6 m de profondeur sur le rocher, il a été doublé par un second sondage, le SP1B. Ce dernier a rencontré un refus prématuré à si faible profondeur, qu'il n'a pas été possible de réaliser des essais pressiométriques.

Les sondages pressiométriques ou horizontaux n'ont pas été nivelés, ni relevé au GPS.

Les sondages pressiométriques ont été effectués à la tarière hélicoïdale (Ø 63 mm), permettant de descendre dans le sol une sonde pressiométrique Ménard. L'essai pressiométrique est un essai qui permet de déterminer in situ le degré de compressibilité du sol qui est caractérisé par son **module pressiométrique (E_m)** et sa **pression limite (p_l)**.

L'**annexe 2** présente les résultats de la coupe des sondages sur lesquelles sont reportés les renseignements suivants :

- nature et niveau des différentes couches de terrain traversées,

- venues d'eau constatées à l'exécution du forage,
- paramètres techniques de forage (mode, outil, tubage, équipement),
- valeurs des caractéristiques pressiométriques, E_M : module, p_i^* : pression limite nette, p_f : pression de fluage, reportées aux cotes des essais.

3.2 Coupe des sondages pressiométriques

Les sondages SP1 et SP1B ont mis en évidence :

Des remblais sur 0,5 m (SP1B) à 0,75 m (SP1) d'épaisseur,

De l'arène granitique à rocher altéré sur 0,6 m d'épaisseur au droit du sondage SP1B à de **l'arène granitique ou matériaux remaniés** sur une épaisseur de 0,65 m au droit du sondage SP1,

Du rocher altéré, à partir de 1,1 m de profondeur au droit du sondage SP1B et 1,4 m de profondeur au droit de SP1, sur lequel le refus est observé.

3.3 Résultats du sondage pressiométrique

Les résultats des essais pressiométriques réalisés dans le sondage SP1 (cf. **annexe 2**) sont résumés dans le tableau suivant :

Type de sol	Profondeur base (m)	E_M (MPa)	p_i^* (MPa)
Arène granitique ou matériau remanié	1,4	7,3	0,59
Rocher altéré	au-delà	50*	3*

Tableau 1 : caractéristiques mécaniques des sols à retenir pour les calculs

* caractéristiques estimées

Ces résultats ont permis de dresser une coupe géomécanique basée sur des caractéristiques estimées pour celles du rocher altéré.

La cote du rocher altéré s'abaisse sans doute à mesure que l'on se rapproche de l'ouvrage hydraulique passant sous le mur de soutènement, au niveau des premiers panneaux.

3.4 Résultats des forages horizontaux

Deux sondages horizontaux ont été réalisés au travers du mur de soutènement métallique afin de vérifier l'épaisseur des caissons et d'observer la présence de remblais en arrière de ces derniers.

Le forage horizontal FH1 a été effectué au droit du panneau n°12, à proximité de la lacune. Il a rencontré des remblais d'arènes granitiques compacts puis décomprimés, avant d'observer la tôle arrière du caisson à 3,2 m en arrière de la première tôle. Au-delà de l'arène granitique est à nouveau observée puis vers 5,2 m de longueur de forage, l'avance par saccade du train de tige laisse supposer la rencontre du rocher altéré.

Le forage horizontal FH2 a été effectué au droit du panneau n°9. Il a rencontré des remblais d'arène granitique plus ou moins compacts jusqu'à une course de 4,4 m de forage. La tôle arrière du caisson n'a pas été observée. De 4,4 m à 8,2 m de longueur de forage, l'arène granitique devient compacte. Puis l'avance par saccade du train de tige laisse supposer la rencontre du rocher altéré à partir de 8,2 m en arrière de la première tôle.

Les remblais de remplissage des caissons métalliques, ainsi que les remblais d'accès au viaduc sont constitués d'arènes granitiques, identiques au sol naturel. Cela explique la difficulté voire l'impossibilité de distinguer ces 2 types de matériaux dans les coupes de sondages.

3.5 Classe de sol

Le sol rencontré au droit des sondages est un sol de Classe A (Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant) au sens de la norme NF EN 1998-1 (Eurocode 8).

3.6 Aspect hydrogéologique

Les forages se sont révélés secs lors de notre intervention.

4 - ELEMENTS DE FONDATIONS

Une des solutions envisagées pour conforter le mur existant est la création d'un nouveau mur, en T renversé, au-devant des caissons métalliques. Cet ouvrage haut de 8 m environ, pourrait présenter une semelle de l'ordre de 5 m de large. En l'absence de données plus précises, il a été considéré une semelle filante de 5 m de large sur environ 25 m de long.

Au vu des caractéristiques mécaniques des matériaux rencontrés au droit des sondages, nous pouvons envisager de fonder superficiellement le mur de soutènement sur semelles descendues, vers 1 m de profondeur par rapport au terrain actuel dans l'arène granitique à rocher altéré.

L'ouvrage est dimensionné selon la norme NF EN 1997 (Eurocode 7) et la norme d'application nationale NF P 94-261 pour les fondations superficielles de juin 2013.

4.1 Justification de la fondation vis-à-vis du poinçonnement

On vérifiera

$$V_d - R_0 < R_{v;d}$$

avec

- V_d : valeur de calcul de la charge verticale (résultante des actions) à la base de la fondation :
- R_0 : poids du sol compris entre le niveau fini après travaux et la base de la fondation, occupant la surface de la fondation en l'absence de celle-ci :

$$R_0 = Aq_0 = G_{0;k}$$

- q_0 = contrainte totale verticale après travaux

- $R_{V,d} = R_{V,k} / \gamma_{R,V}$
- $R_{V,k} = A' q_{net} / \gamma_{R,d}$

- $R_{V,d}$: la valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation
- $R_{V,k}$: la valeur caractéristique de la résistance nette du terrain sous la fondation
- A' : la surface effective de la base la semelle, tenant compte de l'excentricité des charges
- q_{net} : la contrainte associée à la résistance nette

Calcul de la contrainte q_{net}

À partir des résultats des essais pressiométriques, nous pouvons définir la contrainte q_{net} de la semelle en appliquant les règles de la norme NF P 94-261.

$$q_{net} = k_p \cdot p_{le}^* \cdot i_\delta \cdot i_\beta$$

La signification des notations est la suivante:

- p_{le}^* (MPa) : la pression limite équivalente à prendre en compte au niveau de la semelle,
- i_δ : le coefficient minorateur de portance tenant compte de l'inclinaison des charges
- i_β : le coefficient minorateur de portance tenant compte de la géométrie du sol de fondation
- k_p : le facteur de portance pour la méthode pressiométrique. Celui-ci est fonction de la nature du sol, de la profondeur de l'encastrement relatif D_e/B et du rapport B/L de la fondation.
- B et L (m) : la largeur et la longueur de la semelle de fondation,

Il a été considéré des charges verticales s'appliquant sur les semelles ($i_\delta = 1$), ce qui sera sans doute à adapter compte tenu de l'ouvrage (mur de soutènement avec poussées latérales)

La réduction liée à la proximité d'un talus n'a pas lieu d'être dans le cas présent (Le coefficient minorateur i_β est considéré égal à 1).

Calcul de la hauteur d'encastrement

- entre 0,0 m et 1,0 m, $D_e = 0,2$ m au droit du SP 1,

Calcul du Facteur de portance pressiométrique

- à 1,0 m de profondeur/TN actuel, au droit du SP1 :

Pour une semelle filante :

$k_{p;B/L=0} = k_{p0} + (a + b \cdot D_e/B) (1 - e^{-c \cdot D_e/B})$ avec $k_{p0} = 0,8$, $a = 0,2$, $b = 0,2$ et $c = 0,3$ (roches altérées)

$$k_p = 0,82$$

Le tableau ci-après résume les caractéristiques de portance des sols sous des semelles filantes de 5 mètres de large descendues, dans l'arène granitique à rocher altéré, à une profondeur D par rapport au terrain naturel.

Sondage	D (m)	p_{le}^* (MPa)	D_e (m)	k_p	q_{net} (MPa)
SP 1	1,00	2,97	0,20	0,82	2,45

Tableau 2 : contrainte de calcul admissible sous les semelles

Des **contraintes admissibles de 2,45 MPa** sont calculées au droit du sondage pour des semelles filantes de 5 mètres de large descendues dans l'arène granitique à rocher altéré, à partir de 1,0 m de profondeur par rapport au terrain naturel actuel.

L'ensemble des calculs devront être repris une fois les descentes de charges de l'ouvrage connues.

4.2 Justification de la fondation vis-à-vis des déformations (Tassements)

Compte tenu des caractéristiques mécaniques des matériaux rencontrés et de la configuration du projet, les tassements finaux, estimés au droit du sondage SP1 seront négligeables, sous des semelles filantes de 5 mètres de large descendues dans l'arène granitique à rocher altéré **sous une contrainte moyenne effective de 500 kPa**.

L'ensemble des calculs devront être repris une fois connues les descentes de charges de l'ouvrage.

5 - RECOMMANDATIONS

Compte tenu de la variété des possibilités permettant de conforter l'ouvrage existant, il est délicat d'émettre des recommandations sans connaître le principe confortatif retenu.

Les contraintes rencontrées sont donc rappelées ci-après :

- le rocher a été rencontré à faible profondeur au droit des sondages pressiométriques, ce qui rend délicat l'emploi de soutènement provisoire de type palplanches par exemple.
- un ouvrage hydraulique est situé au niveau des premiers panneaux, les principes confortatifs devront prendre en compte sa présence.

6 - CONCLUSION

Dans le cadre du confortement du mur de soutènement métallique de la culée Est du viaduc du Léguer RN12 à Belle-Isle-en-Terre, deux sondages pressiométriques et deux forages horizontaux ont été réalisés.

Les sondages pressiométriques ont mis en évidence, sous des remblais, de l'arène granitique, surmontant le rocher altéré rencontré à une profondeur variant de 1,1 m à 1,4 m. après avoir traversé les caissons métalliques et observé la tôle arrière à 3,2 m de longueur, le rocher altéré a été rencontré après une course de 5,2 m au droit du forage horizontal FH1 et 8,2 m au droit du forage FH2.

Au vu des caractéristiques mécaniques des matériaux rencontrés au droit du sondage pressiométrique SP1, nous pouvons envisager de fonder superficiellement un mur de soutènement sur semelles descendues vers 1,0 m de profondeur par rapport au terrain naturel dans l'arène granitique à rocher altéré.

Compte tenu des caractéristiques mécaniques des matériaux rencontrés et de la configuration du projet, les tassements finaux, estimés au droit du sondage SP1 seront négligeables, sous des semelles filantes de 5 mètres de large descendues dans l'arène granitique à rocher altéré **sous une contrainte moyenne effective de 500 kPa.**

L'ensemble des calculs devront être repris une fois le niveau de fondation et les descentes de charges de l'ouvrage connus.

Le Chargé des Études
Olivier MALASSINGNE

Le Contrôle Extérieur Qualité
Catherine CHAULIAGUET

Le Chef du Groupe Risques Naturels et Littoraux
Raphaël BÉNOT

Le Directeur
du Département Laboratoire de Saint-Brieuc
Régis SOENEN

Annexe 1

Plan de situation et schéma d'implantation des sondages

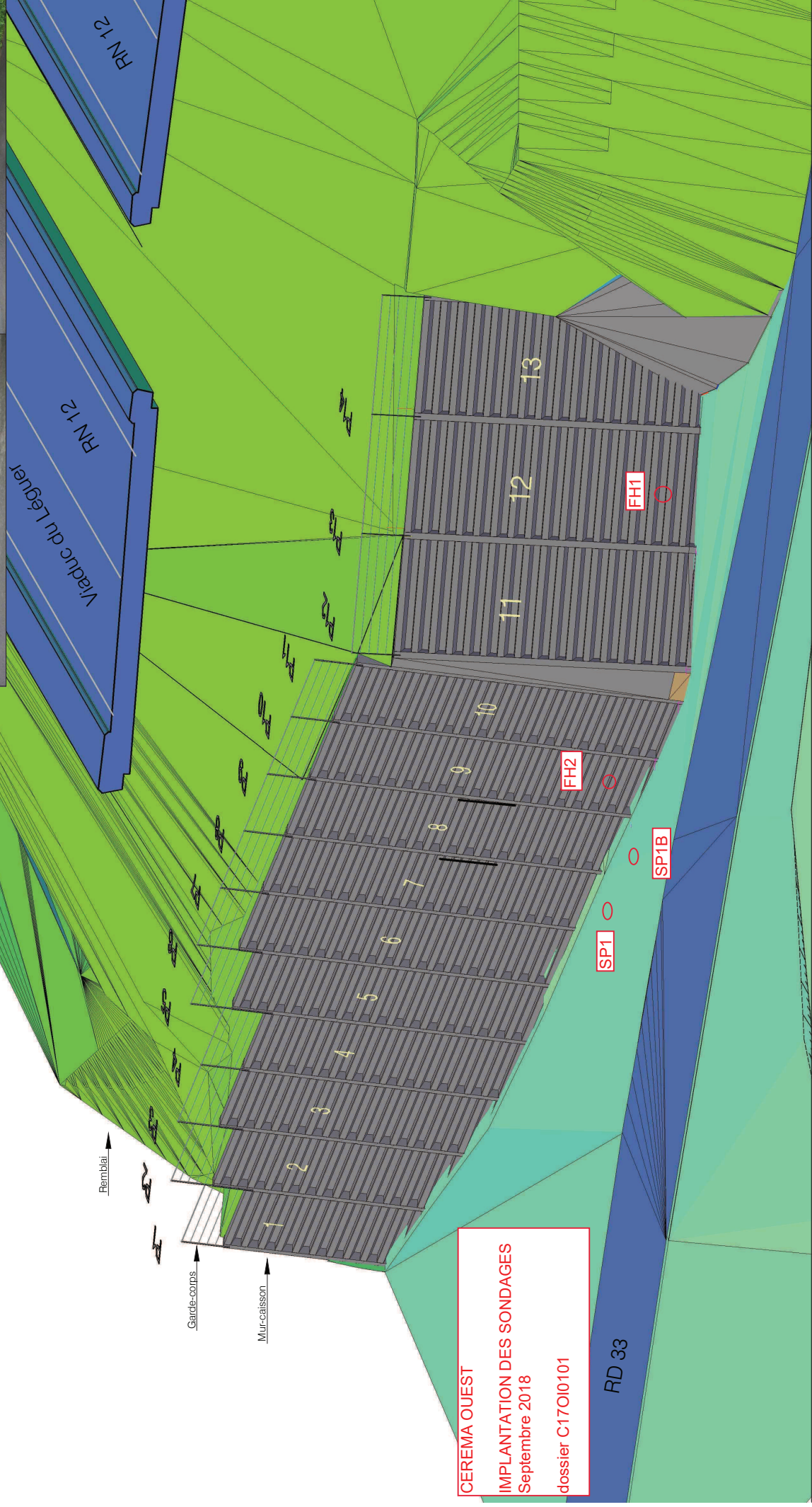
Plan de situation des sondages



Belle Isle en Terre
RN12 - RD33

Mur - caisson
ARMCO

Face S-O



Annexe 2

Coupes des sondages pressiométriques et des forages horizontaux

RN12, mur de Belle Isle en Terre

Date : 06/09/2018 z : Profondeur : 0,00 - 1,60 m
Machine :
Remarque : Arrêt sur refus

1/50

Forage : SP1

EXGTE 3.20/LB2EPF580FR

Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Em (MPa)		Pf (MPa)		PI* (MPa)		E/PI*	Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)			
				0	100	0	30	0	30	0	50	0	50	100	0	10	20	0	25	50
0	Remblais		Tarière Ø 63 mm																	
0,45																				
0,75	Passage de quartz (Remblai)																			
1	Arène granitique ou matériau remanié			1	7,3	0,31	1	0,59	12,3	1										
1,40																				
1,60	Rocher altéré - Refus																			

RN12, mur de Belle Isle en Terre

Date : 06/09/2018

z :

Profondeur : 0,00 - 1,11 m

Machine :

Remarque : Arrêt sur refus

1/50

Forage : SP1B

EXGTE 3.20/LB2EPF580FR

Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Em (MPa)	Pf (MPa)	PI* (MPa)	E/PI*	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Couple de rotation (bar)
0				0	0	0	0	0	0	0
0,50	Remblais		Tarière Ø63 mm							
1,11	Arène granitique à rocher altéré									
	Refus			1	1			1		

RN12, mur de Belle Isle en Terre

Date : 05/09/2018

Z :

Profondeur : 0,00 - 5,60 m

Machine :

Remarque :

Forage : FH1
EXGTE 3.20/LB2EPF580FR

1/50

Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)		
				0	50	100	0	10	20	0	25	50
0,01	Tôle											
0,70	Remblai d'arène décomprimé											
1,30	Remblai d'arène décomprimé plus compact (Blocs ?)			1								
3,20	Remblai d'arène décomprimé			2								
3,20	Deuxième tôle ?			3								
4	Arène granitique			4								
5,20	Avance du forage par saccades, rocher altéré ?			5								
5,60												

RN12, mur de Belle Isle en Terre

Date : 05/09/2018

Z :

Profondeur : 0,00 - 8,70 m

Machine :

Remarque :

1/50

Forage : FH2
EXGTE 3.20/LB2EPF580FR

Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)		
				0	50	100	0	10	20	0	25	50
0,01	Tôle											
0												
1	Remblai d'arène granitique peu compact			1								
1,50												
2				2								
3	Remblai puis arène granitique plus ou moins compacte			3								
4				4								
4,40												
5				5								
6				6								
7	Arène compacte			7								
8				8								
8,20												
8,70	Avance du forage par saccades, rocher altéré ?											



Cerema Ouest

MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 NANTES Cedex 02

Tel : 02 40 12 83 01 – mel : DTerOuest@cerema.fr

www.cerema.fr