



**VNF**

***Investigations géotechniques et géophysiques relatives  
aux fuites de la digue n°23***

**CASTELSARRASIN (82)**

## **RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE**

Mission G5

Dossier n°	Indice	Date	Rédigé par :	Vérifié par :
C.16.42058	0	28/11/2017	G. HOURY	G. DE CARVALHO

Le présent rapport et ses annexes constituent un tout indissociable

## **SOMMAIRE**

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
1.1. MISSIONS	3
1.2. RÉFÉRENTIELS	5
<b>2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE</b>	<b>6</b>
2.1. CONTEXTE SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE	6
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	12
2.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	12
2.4. RISQUES NATURELS	13
2.5. RISQUE MINIER	17
2.6. SISMICITÉ	18
2.7. BASE DE DONNÉES DES ANCIENS SITES INDUSTRIELS ET ACTIVITÉS DE SERVICE	18
<b>3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE</b>	<b>19</b>
3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE	19
3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE	21
3.3. ORGANISATION DES ANNEXES	22
<b>4. INVESTIGATIONS GEOPHYSIQUES</b>	<b>23</b>
4.1. RESULTATS	23
4.2. PROPOSITION D'IMPLANTATION DES SONDAGES	26
<b>5. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION MISSION G1-PGC ET G2-AVP</b>	<b>27</b>
5.1. LITHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES	27
5.2. HYDROGÉOLOGIE ET PERMEABILITE DES DIFFERENTES FORMATIONS	33
<b>6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES – MISSION G1/G2 AVP</b>	<b>35</b>
6.1. SYNTHÈSE GRAPHIQUE DES DONNÉES	35
6.2. ALÉAS	42
<b>7. PROPOSITION D'INTERPRÉTATION DE L'ORIGINE DES DESORDRES</b>	<b>43</b>
<b>8. PROPOSITIONS DE SOLUTIONS DE TRAITEMENT DE LA PATHOLOGIE OBSERVÉE</b>	<b>44</b>
<b>9. ETUDES COMPLÉMENTAIRES</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>51</b>



# **1. INTRODUCTION**

## **1.1. MISSIONS**

À la demande et pour le compte de **VNF**, l'agence **Régionale Midi-Pyrénées** du Bureau d'Etudes **HYDROGÉOTECHNIQUE SUD-OUEST** a procédé à l'exécution des sondages, essais et études géotechniques suite à l'apparition de fuites au niveau de la digue n°23 située sur la **commune de CASTELSARRASIN (82)**.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la norme 94.500 des missions type d'ingénierie géotechnique de l'AFNOR-USG (Novembre 2013), qui suivent les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet, à savoir :

- ÉTAPE 1 : étude géotechnique préalable (G1)
  - ES : Phase étude de site,
  - PGC : Phase principes généraux de construction,
- ÉTAPE 2 : étude géotechnique de conception (G2)
  - AVP : Phase avant projet,
  - PRO : Phase projet,
  - DCE / ACT
- ÉTAPE 3 : études géotechniques de réalisation
  - Étude et suivi géotechnique d'exécution (G3)
    - 1) Phase étude,
    - 2) Phase suivi.
  - Supervision géotechnique d'exécution (G4)
    - 3) Phase étude,
    - 4) Phase suivi.
- Étude d'éléments spécifiques géotechniques
  - **Diagnostic géotechnique (G5).**

Le diagnostic géotechnique conduit sur le terrain, ainsi que le présent rapport correspondent à une **mission G5** de l'Union Syndicale Géotechnique. Vous trouverez en annexe la classification, le contenu, et le schéma d'enchaînement de ces missions.

Ce diagnostic a été rédigé par **Grégory HOURY**, Ingénieur Géotechnicien, Master de Géologie de l'Aménagement vérifié par **Georges de CARVALHO**, Ingénieur Géotechnicien, Superviseur Sud-Ouest.

Les objectifs de ce diagnostic sont :

- L'appréhension des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques des sols au droit du site,
- La détermination des origines possibles des fuites observées,
- La proposition d'une ou plusieurs solutions de traitement.

Notre diagnostic s'arrête à la remise de ce rapport. Il devra être suivi d'une mission de type G2- Phase PRO et ACT, G4 et ponctuellement G5 à définir par la Maîtrise d'Oeuvre du projet. La mission G3 étant à la charge de l'entreprise adjudicataire des travaux.

Le caractère de cette étude est strictement de type géotechnique. Les aspects liés à la recherche de pollution éventuelle ou à la caractérisation des ouvrages enterrés et des incidences des vestiges et fouilles archéologiques sont exclus.



## 1.2. **RÉFÉRENTIELS**

La campagne de sondages, ainsi que notre étude suivent les normes et documents français et plus particulièrement :

- Eurocodes 1 – NF-EN-1991-1 (mars 2003),
- Eurocodes 7 – NF-EN-1997-1 (juin 2005) et NF-EN-1997-2 (septembre 2007),
- Eurocodes 8 – NF-EN-1998-5 (septembre 2005),
- Arrêtés du 22 octobre 2010 et du 19 juillet 2011 relatifs à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,
- Guide technique pour les remblais et les couches de forme (septembre 1992),
- Normes relatives aux essais in situ et essais en laboratoire,

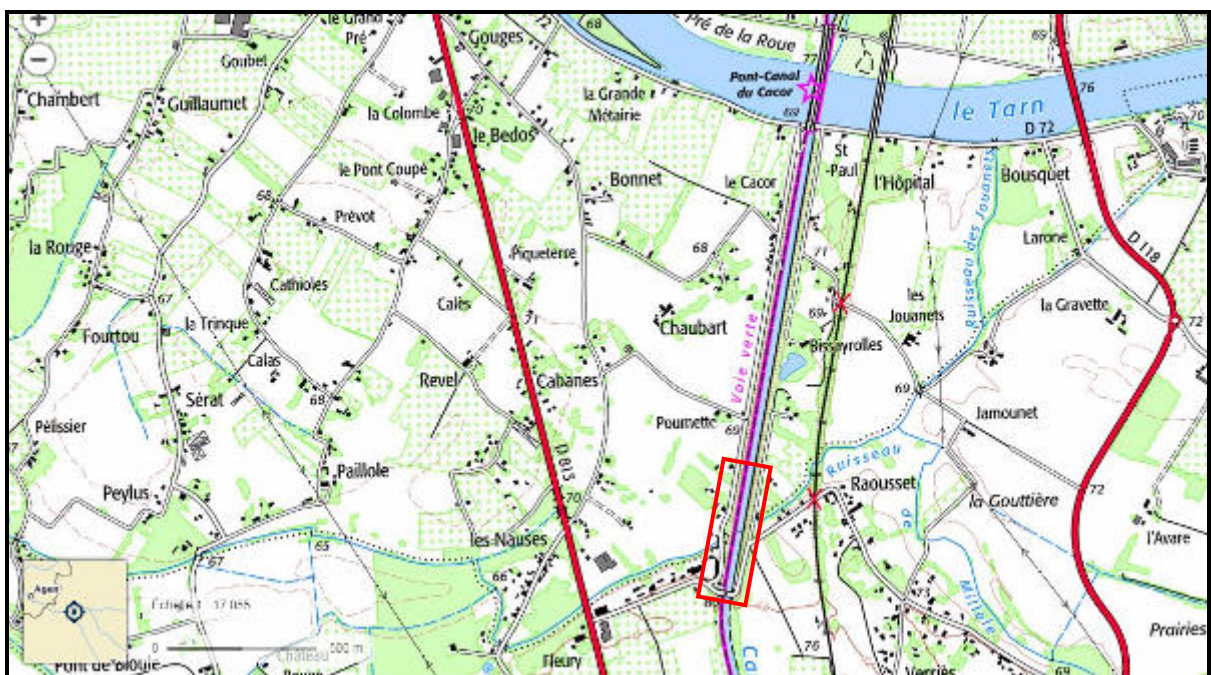
Les informations fournies par le maître d'ouvrage sont les suivantes :

- Profils en travers 1155 et 1163 au format « .pdf » réalisés au niveau de la digue n°23,
- Sondage au pénétromètre dynamique réalisé par Ginger Géotechnique en 2012 au droit de la zone d'étude,
- Quelques photos du revêtement bitumineux mis en œuvre en berge du canal.

## **2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE**

### **2.1. CONTEXTE SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE**

Le site correspond à une portion de la digue n°23 du canal des deux mers localisée sur la commune de CASTELSARRASIN (82), lieu-dit « Petit Bézy ».



D'un point de vue géomorphologique, la zone d'étude se trouve dans la plaine alluviale du Tarn et de la Garonne.

Au droit du site, le canal des deux mers est réalisé en remblai. Il est maintenu par deux digues en terres pouvant localement atteindre 7.00m de hauteur environ.

Le pied de digue est marqué par un fossé.

Celui-ci permet entre l'écluse et le ruisseau de Millale de canaliser des eaux en provenance d'un ouvrage de régulation situé au niveau de l'écluse. Celles-ci se rejettent dans le ruisseau qui franchit ensuite le canal par un ouvrage hydraulique.

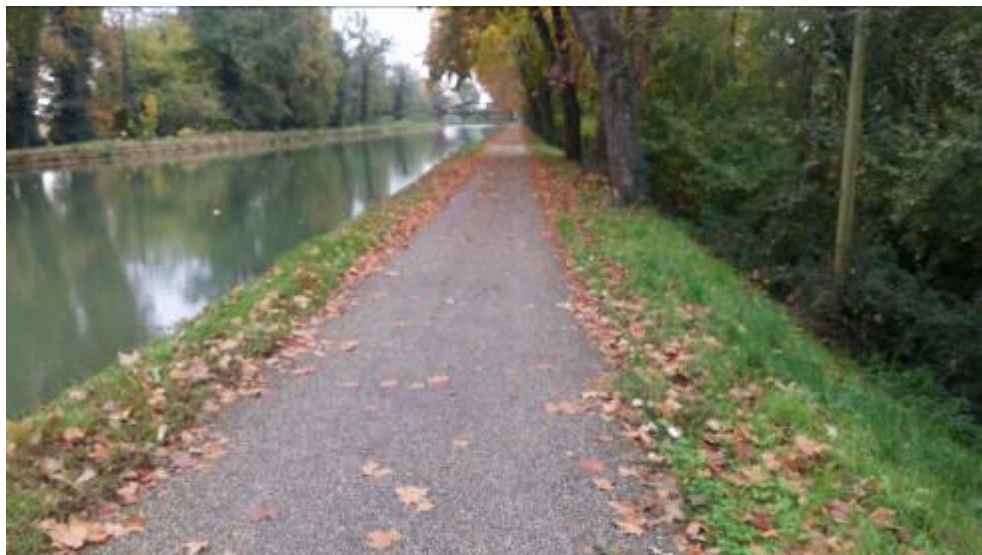
Au nord du ruisseau le fossé est globalement sec à l'exception des venues d'eau ponctuelles observées.

Le talus de l'écluse est recouvert de nombreux arbres de hautes venues.

On notera la présence d'arbres déracinés et de souches en décomposition.

Ponctuellement on note la présence de prêles caractéristiques de terrains très humides.

Les photographies ci-après illustrent le site.

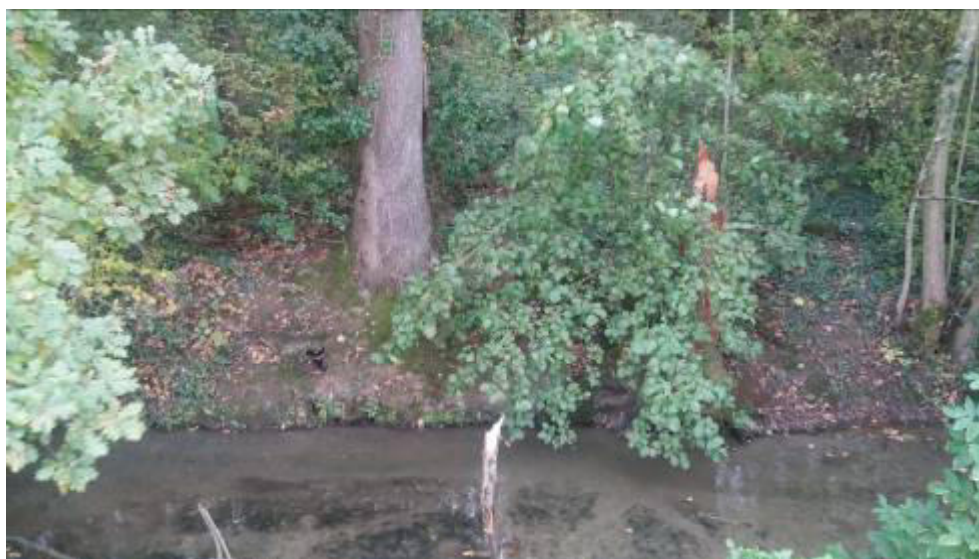


*Vue vers le Sud depuis le haut de la digue*





*Vue sur le fossé situé en pied de digue*



*Vue sur le ruisseau situé en pied de digue*

Des circulations d'eau ont été relevées ponctuellement par les services de VNF en janvier 2017.

Elles sont localisées en pied de digue.

Lors de notre intervention, la densité de végétation ne nous a pas permis de retrouver ces venues d'eau.

Les photographies ci-après illustrent ce phénomène.



*Venue d'eau ponctuelle identifiée par VNF en Janvier 2017*



*Venue d'eau ponctuelle identifiée par VNF en Janvier 2017*



Concernant l'étanchéité du canal, il existe un revêtement bitumineux mis en œuvre sur le talus de la digue du canal.

On note la présence de pieux et planches en bois à la base du revêtement qui semble avoir été mis en place pour stabiliser le pied du dispositif d'étanchéité.

Ces éléments sont très dégradés.



*Etat du revêtement bitumineux en Février 2017*

Concernant le revêtement bitumineux, on note de nombreuses fissures au niveau de la partie hors d'eau comme le montre la photo page suivante.

D'après les informations transmises par VNF, la partie immergée du revêtement ne montrait pas de désordres significatifs lors de la mise hors d'eau du canal en Février 2017. Attention toutefois, le revêtement bitumineux était recouvert de sédiments ce qui ne permettait pas une auscultation détaillée de celui-ci. La photo ci-dessus semble notamment montrer des écailles de glissements sans que l'on puisse conclure sur les matériaux concernés (sédiments uniquement ou revêtement bitumineux ?)

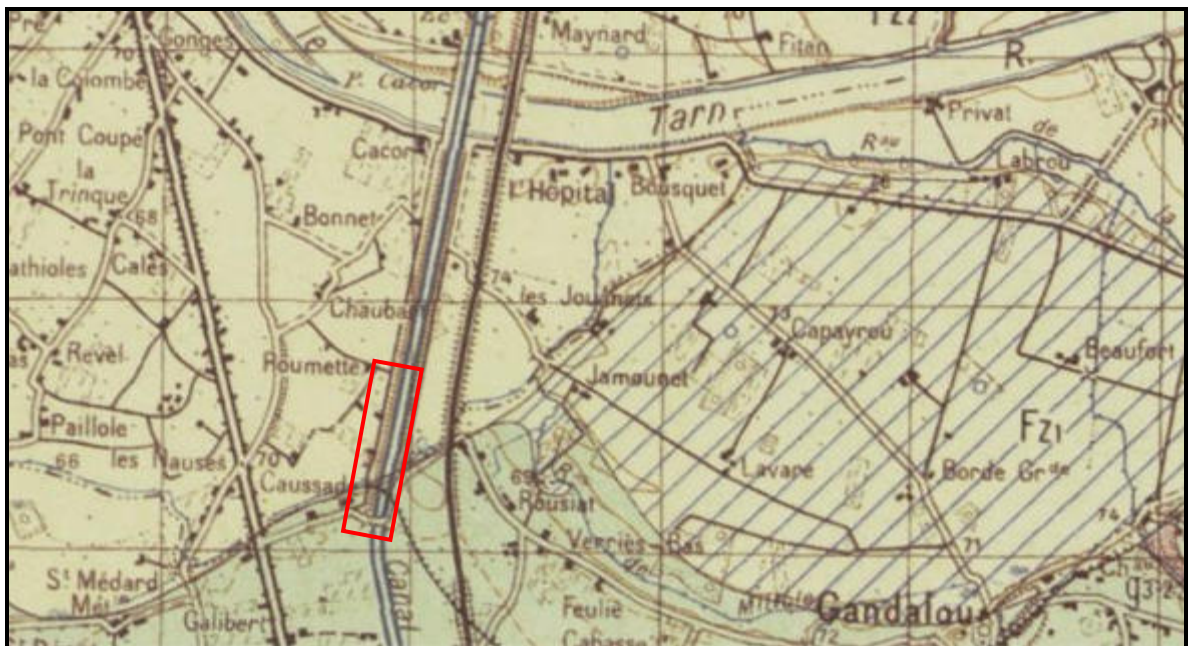


*Fissuration du revêtement bitumineux observée en Novembre 2017*

## 2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La carte géologique (éditions du BRGM) au 1/50 000<sup>ème</sup> de MOISSAC montre que la zone d'étude se situe au niveau des formations suivantes :

- formations notées Fz1, alluvions récente des basses plaines
- reposant sur les formations notées g3-2, substratum molassique Aquitanien/Stampien



Il faut également s'attendre à des matériaux de remblai en relation avec l'aménagement du canal des deux mers.

## 2.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Compte tenu du contexte sitologique et géologique, il est probable que des circulations d'eau puissent s'établir :

- dans les remblais sous la forme de circulations à la faveur de niveaux plus sablo graveleux,
- dans les formations alluviales sous la forme d'une nappe sujette à fluctuation,
- dans le substratum à la faveur de passages plus sableux et/ou à la faveur des inter-bancs.



## 2.4. RISQUES NATURELS

Selon le portail de prévention des risques majeurs du ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et des logements, les arrêtés de catastrophes naturelles pris sur la commune de CASTELSARRASIN sont les suivants :

Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
82PREF19990088	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 13

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
82PREF19850002	09/07/1985	09/07/1985	06/11/1985	28/11/1985
82PREF19880007	23/07/1988	23/07/1988	19/10/1988	03/11/1988
82PREF19930111	05/07/1993	06/07/1993	28/09/1993	10/10/1993
82PREF19940021	31/07/1994	31/07/1994	15/11/1994	24/11/1994
82PREF19960018	09/01/1996	10/01/1996	02/02/1996	14/02/1996
82PREF19970006	06/12/1996	10/12/1996	21/01/1997	05/02/1997
82PREF19990047	06/08/1999	06/08/1999	29/11/1999	04/12/1999
82PREF20000006	10/06/2000	11/06/2000	25/09/2000	07/10/2000
82PREF20060006	24/06/2005	24/06/2005	02/03/2006	11/03/2006
82PREF20060014	10/08/2005	10/08/2005	10/11/2006	23/11/2006
82PREF20060015	19/06/2006	20/06/2006	10/11/2006	23/11/2006
82PREF20070033	10/06/2007	10/06/2007	27/07/2007	01/08/2007
82PREF20150042	31/08/2015	31/08/2015	02/10/2015	08/10/2015

Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse : 3

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
82PREF19910004	01/05/1989	31/12/1990	12/08/1991	30/08/1991
82PREF19930013	01/01/1991	31/12/1991	25/01/1993	07/02/1993
82PREF19940020	01/01/1992	30/09/1993	15/11/1994	24/11/1994

Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols : 9

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
82PREF19990010	01/10/1993	30/06/1998	23/02/1999	10/03/1999
82PREF20010030	01/07/1998	30/09/2000	15/11/2001	01/12/2001
82PREF20040004	01/01/2002	31/12/2002	05/02/2004	26/02/2004
82PREF20040045	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
82PREF20080154	01/01/2007	31/03/2007	05/12/2008	10/12/2008
82PREF20090005	01/01/2008	31/03/2008	17/04/2009	22/04/2009
82PREF20100091	01/07/2009	30/09/2009	13/12/2010	13/01/2011
82PREF20130961	01/04/2011	30/06/2011	27/07/2012	02/08/2012
82PREF20131028	01/01/2012	31/12/2012	21/05/2013	25/05/2013

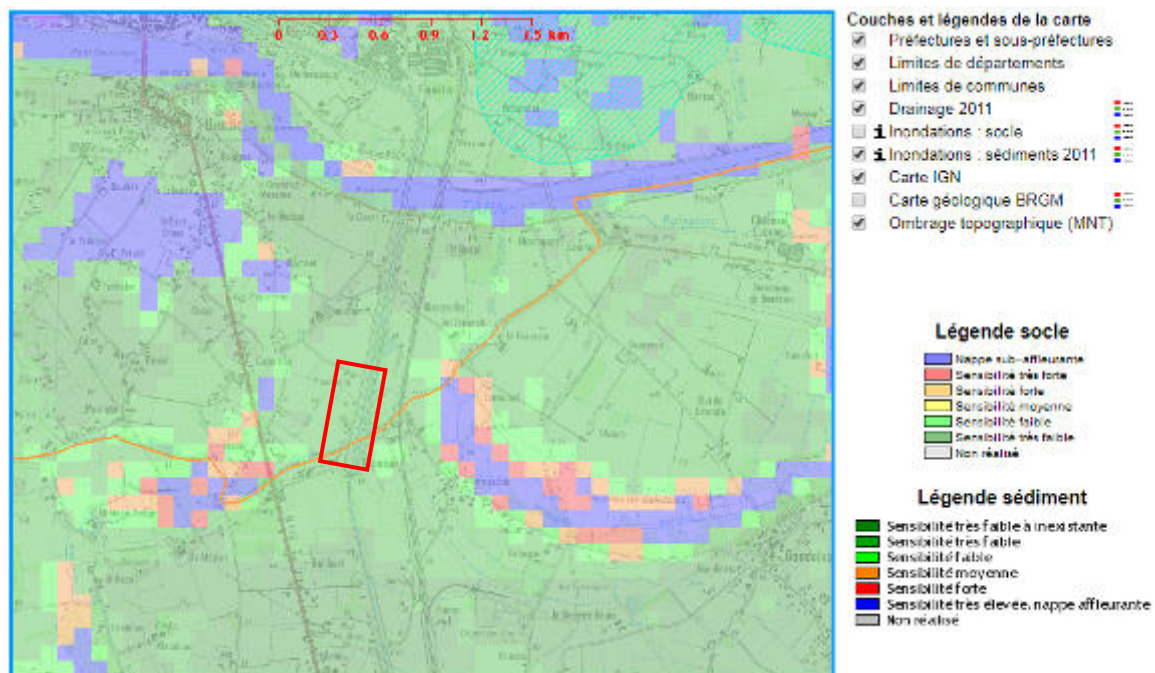
Tempête : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
82PREF19820034	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982

On note plusieurs arrêts de mouvement de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, ainsi que des arrêts d'inondations.

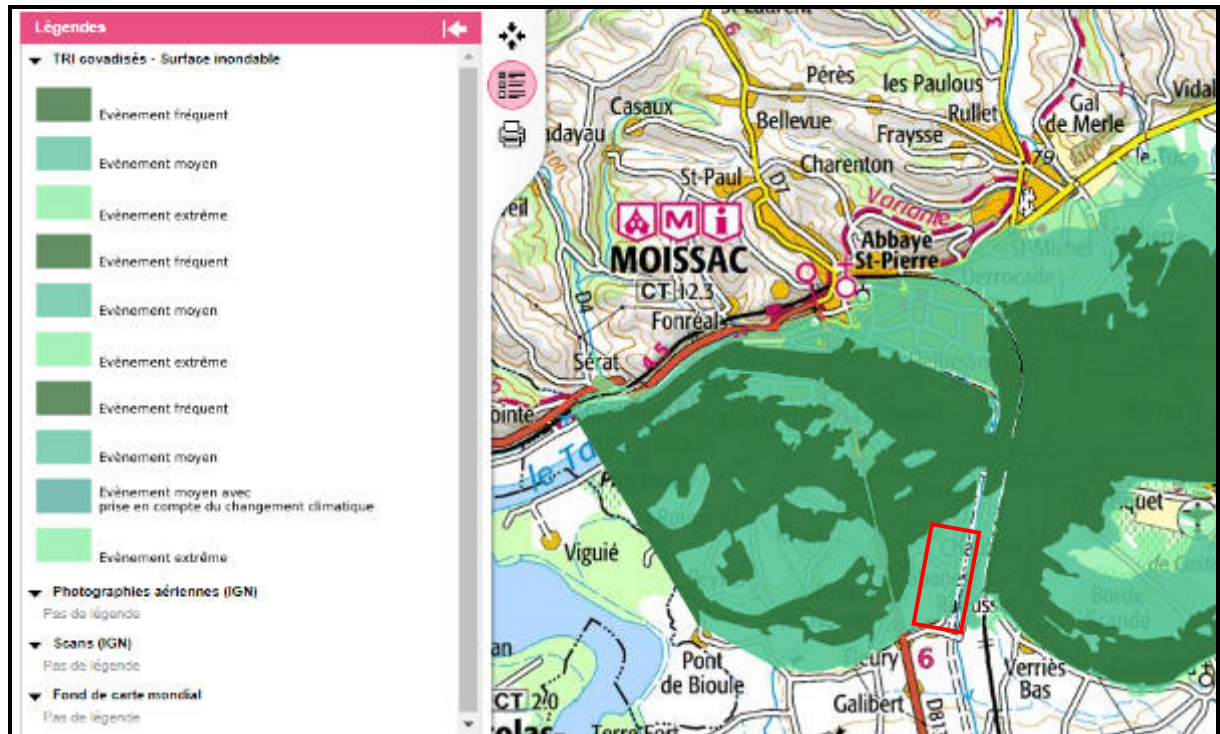
## 2.4.1. Aléa lié aux remontées de nappes

Le portail Internet ([www.inondationsnappes.fr](http://www.inondationsnappes.fr)) classe le site en limite de zone de **sensibilité faible à très faible**



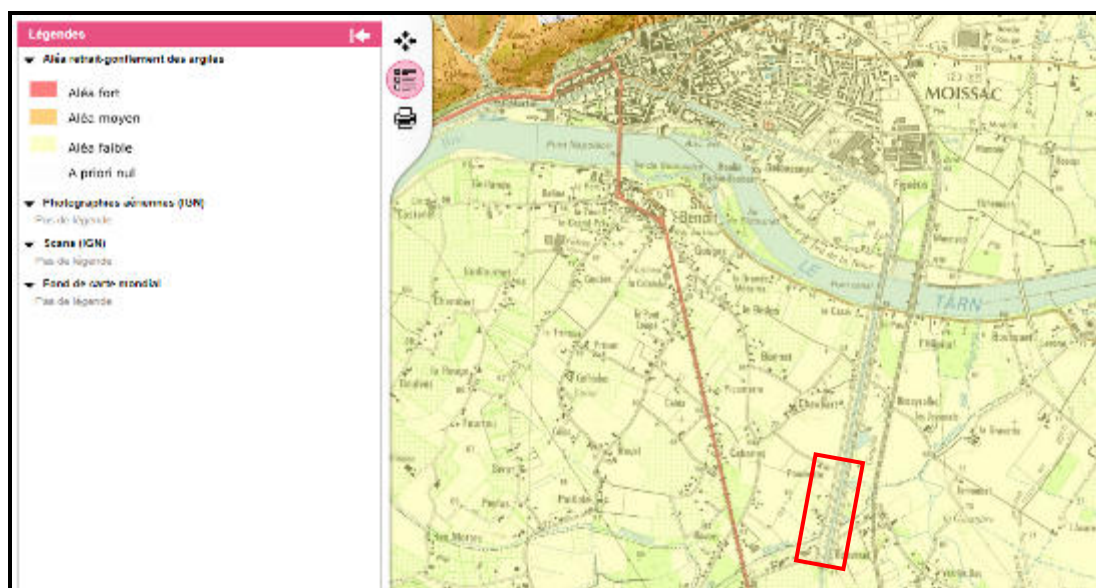
## 2.4.2. Risque inondation

La zone d'étude se trouve en zone inondable.



## 2.4.3. Les phénomènes de retrait / gonflement des sols argileux

La cartographie de l'aléa des sols argileux sensibles aux phénomènes de retrait / gonflement dont un extrait est présenté ci-après classe le site en zone d'aléa **faible**.





#### **2.4.4. Base de données des cavités souterraines**

Aucune cavité souterraine n'a été recensée par le BRGM au droit de la commune de CASTELSARRASIN ([www.bdcavite.net](http://www.bdcavite.net)).

#### **2.4.5. Risque de glissement de terrain**

Aucun glissement de terrain n'a été recensé par le BRGM au droit de la commune de CASTELSARRASIN ([www.bdmvt.net](http://www.bdmvt.net)).

#### **2.4.6. PPR, cartes ZERMOS**

La commune est soumise aux PPR suivants.

PPRN	Aléa	Prescrit le	Enquête le	Approuvé le	Révisé le	Annexé au PLU le	Deprescrit / annulé / abrogé le	Révisé
82DDT20040002 - PPRN Retrait-gonflement des argiles	Tassements différentiels							

PPRN	Aléa	Prescrit le	Enquête le	Approuvé le	Révisé le	Annexé au PLU le	Deprescrit / annulé / abrogé le	Révisé
82DDT19970002 - PPRI GARONNE amont Révision n° 1	Inondation	02/06/2000	26/06/2000	06/11/2000	27/03/2014			82DDT19970004
82DDT19970004 - PPRI bassin GARONNE amont	Inondation	09/06/1997	01/04/1999	19/07/1999				

### **2.5. RISQUE MINIER**

La zone d'étude ne se situe pas en zone de risque minier (fer/charbon/sel,...).

## **2.6. SISMICITÉ**

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets [no 2010-1254 du 22 octobre 2010](#) et [no 2010-1255 du 22 octobre 2010](#), ainsi que par l'[Arrêté du 22 octobre 2010](#)) :

- une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les bâtiments à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible),
- quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux bâtiments, et aux bâtiments anciens dans des conditions particulières.

**Les nouvelles règles de constructions parasismiques pour les bâtiments ainsi que le nouveau zonage sismique (qui modifient les articles 563-1 à 8 du Code de l'Environnement) sont entrées en vigueur. Ici, le site (<http://macommune.prim.net>) classe la zone étudiée en zone 1.**

## **2.7. BASE DE DONNÉES DES ANCIENS SITES INDUSTRIELS ET ACTIVITÉS DE SERVICE**

Aucun site n'est répertorié près de la zone d'étude sur la base de données BASIAS.

### **3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS**

#### **MIS EN ŒUVRE**

#### **3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE**

Nous avons mis en oeuvre les investigations suivantes :

##### **PROSPECTION GEOPHYSIQUE**

- **1 profil électrique** de longueur de 237.5 m (96 électrodes espacées de 2.50 m).a été réalisé (cf. annexe 1). La séquence utilisée sur site était de type Wenner-Schlumberger, dispositif permettant d'obtenir la meilleure information concernant les variations latérales et verticales de faciès.  
Chaque électrode a fait l'objet d'un repérage au DGPS.

##### **PROSPECTION GEOTECHNIQUE**

- **2 forages en carottage continu, notés SC1 et SC2**, au moyen d'une sondeuse HYDROFORE 750, en roto percussion et les caractéristiques suivantes :

sondage	profondeur en m	type de carottier			tubage provisoire 120/140mm
		battu Ø116mm	roto-percussion Ø116mm	rotation Ø116mm	
SC1	10.00	-	De 0m à 10.00m	-	-
SC2	10.00	-	-	-	-

Ces carottes ont ensuite été auscultées par un géologue géotechnicien avec :

- relevé de la lithologie,
- détermination du pourcentage de récupération,
- réalisation d'un reportage photographique.

- **Dans l’empreinte de ces forages, mise en œuvre de 2 essais de perméabilité** en injection à niveau variables aux profondeurs suivantes :

Sondages	SC1	SC2
Profondeur des essais (m)	2.00-3.00	4.00-5.00

- **l’équipement des carottages en piézomètre Ø30mm** présentant les caractéristiques suivantes :

Sondage	Partie pleine (bouchon d'argile + cimentation)	Partie crépinée industriellement (gravette filtre 2/4mm)	Mode de fermeture en tête	Mode de fermeture en pied
SC1	0 à 1m	1m à 10.00m	Bouche à clé	Bouchon collé
SC2	0 à 1m	1m à 10.00m	Bouche à clé	Bouchon collé

- **L’enregistrement des paramètres de forage** à l’avancement avec un appareil de type LUTZ. Cet appareil permet de mesurer :
- La vitesse instantanée d’avancement (VIA)
  - La pression de poussée
  - La pression d’injection du fluide de forage (PI)
  - Le couple de rotation (CR)
  - Les enregistrements sont ensuite traités par ordinateur et joints aux coupes de sondage.



- **8 essais au pénétromètre dynamique** notés PD1 à PD8 suivant la norme NF-EN-ISO-22476-2, conduits avec un train de mesure type B APAGEO.  
Ces sondages ont été descendus aux profondeurs suivantes :

Sondages	PD1	PD2	PD3	PD4
Profondeur des essais (m)	5.40	5.70	9.40	9.20
Motif arrêt	Refus	Refus	Refus	Refus

Sondages	PD5	PD6	PD7	PD8
Profondeur des essais (m)	6.40	3.90	6.80	5.80
Motif arrêt	Refus	Refus	Refus	Refus

### 3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE

Le plan d'implantation des sondages est fourni en annexe du rapport.

### **3.3. ORGANISATION DES ANNEXES**

Nos présentons en annexe à de rapport :

- en annexe 1 : le plan d'implantation des sondages,
- en annexe 2 : les résultats de la prospection géophysique par panneaux électriques,
- en annexe 3 : la coupe lithologique des sondages carottés et essais de perméabilité associés,
- en annexe 4 : les résultats des essais au pénétromètre dynamique
- en annexe 5 : la classification des missions géotechniques.

## **4. INVESTIGATIONS GEOPHYSIQUES**

### **4.1. RESULTATS**

Le rapport de prospection géophysique est présenté en annexe 2.

Les résultats sont présentés sous la forme d'une pseudo section de résistivités mesurées lorsque le canal était en eau.

Il est prévu de réaliser une deuxième campagne en 2018 lorsque le canal sera mis hors d'eau.

La pseudo section est reprise sur la planche graphique de la page suivante.

Le panneau électrique présente des résistivités calculées assez faibles (inférieure à 50  $\Omega.m$ ), notamment en fond de pseudosection. Cet ensemble conducteur est ponctué de zones plus résistantes (résistivités supérieure à 50  $\Omega.m$ ). On notera particulièrement deux secteurs résistants (résistivités supérieures à 120  $\Omega.m$ ) :

- Au Nord du profil, du PM15 au PM47, à 7m de profondeur au PM20 et 5m de profondeur au PM35. Cette zone résistante est la plus étendue du profil (30m de large et 8 à 9m d'épaisseur),
- Au Sud du profil, du PM177 au PM192, à 5m de profondeur. Ce secteur est le plus résistant du profil (résistivités supérieures à 200  $\Omega.m$ ).

D'autres secteurs ponctuels de résistivités intermédiaires (résistivités comprises entre 50 et 120  $\Omega.m$ ) sont présents dans les dix premiers mètres du PM50 au PM170.



Planche 1 : Plan d'implantation du panneau électrique PE1 à l'échelle 1/2000.

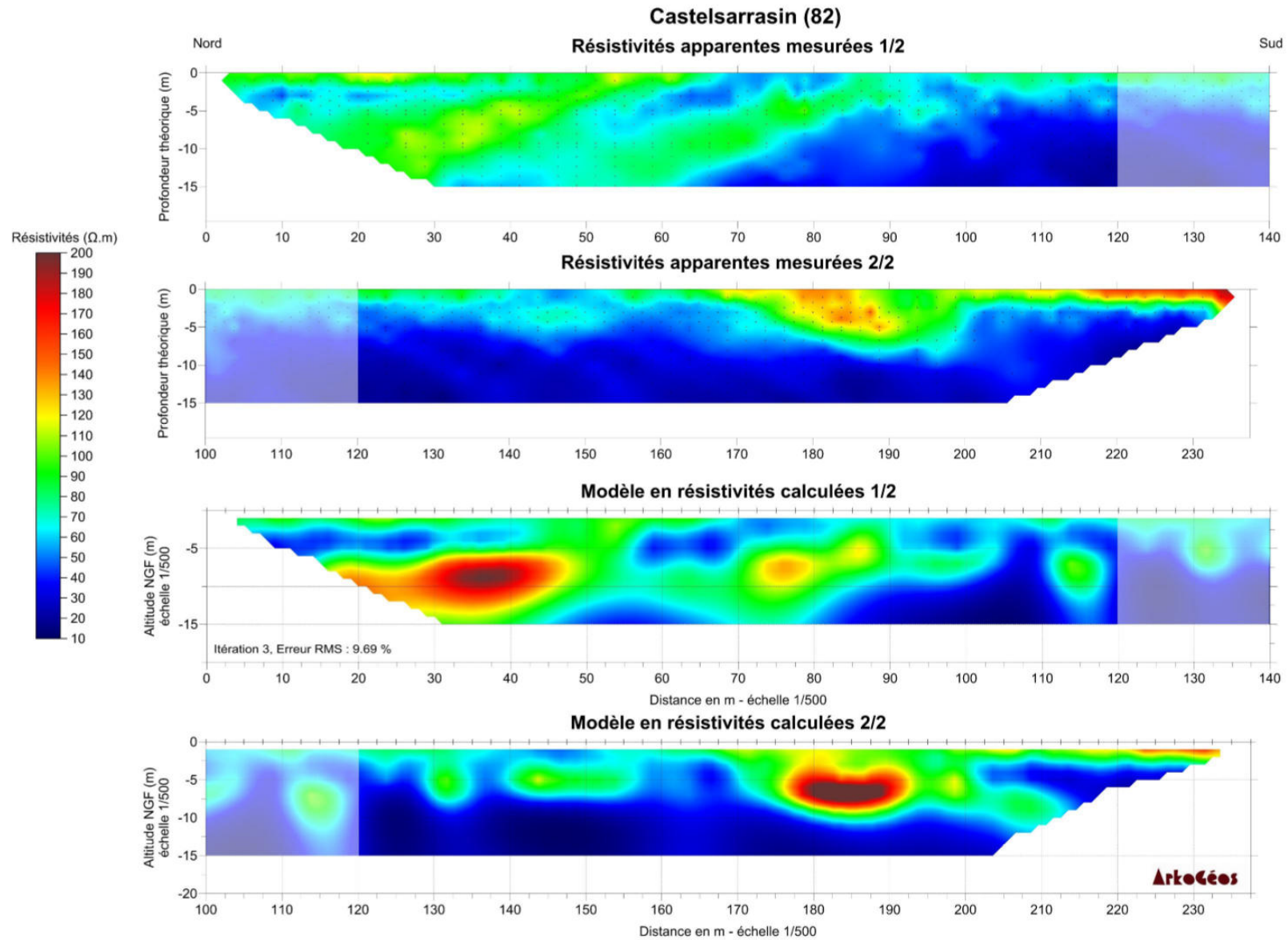


Planche 2 : Résultat du panneau électrique PE1 à l'échelle 1/500.

## **4.2. PROPOSITION D'IMPLANTATION DES SONDAGES**

Les différences de résistivité les plus importantes sont observées entre les PM 20 et 35 et entre les PM 177 et 192.

A ce stade nous avons retenu la réalisation :

- d'un sondage carotté (SC1) au droit d'une zone de forte résistivité (PM20 à PM35),
- d'un sondage carotté (SC2) au droit d'une zone de faible résistivité
- de répartir les pénétromètres dynamiques (PD1 à PD8) de manière régulière sur l'ensemble du panneau électrique.

## **5. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION**

### **MISSION G1-PGC et G2-AVP**

#### **5.1. LITHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES**

L'analyse des coupes lithologiques des différents sondages permet de schématiser la lithologie de la manière suivante :

- Présence d'une alternance d'argile limono sableuse gris vert beige à gris vert bleu +/- chargée avec localement quelques graviers et galets (D=30mm) (couche C1-1) et de graviers et galets à matrice sableuse +/- argileuse gris vert beige (D=40mm) (Couche C1-2) pouvant être attribuée aux remblais de constitution de la digue et probablement pour partie aux alluvions des basses plaines du Tarn et de la Garonne reconnue comme suit :

##### **Couche C1-1 :**

Sondage	SC1	SC1	SC1	SC1
Profondeur du toit (m)	0.00	0.25	0.85	1.30
Profondeur du mur (m)	0.15	0.55	1.00	2.90
Épaisseur (m)	0.15	0.30	0.15	1.60

Sondage	SC1	SC1	SC1
Profondeur du toit (m)	3.80	4.90	8.40
Profondeur du mur (m)	4.15	6.00	>10.0
Épaisseur (m)	0.35	1.10	1.60

Sondage	SC2	SC2
Profondeur du toit (m)	0.30	1.20
Profondeur du mur (m)	0.60	>10.0
Épaisseur (m)	0.30	>8.80

**Couche C1-2 :**

Sondage	SC1	SC1	SC1	SC1
Profondeur du toit (m)	0.15	0.55	1.00	2.90
Profondeur du mur (m)	0.25	0.85	1.30	3.80
Épaisseur (m)	0.10	0.30	0.30	0.90

Sondage	SC1	SC1
Profondeur du toit (m)	4.15	6.00
Profondeur du mur (m)	4.90	8.40
Épaisseur (m)	0.75	2.40

Sondage	SC2	SC2
Profondeur du toit (m)	0.00	0.60
Profondeur du mur (m)	0.30	1.20
Épaisseur (m)	0.30	0.60

**Remarque :**

Compte tenu de la topographie de la digue, une partie des matériaux rencontrés à la base des carottés doit vraisemblablement correspondre aux alluvions des basses plaines du Tarn et de la Garonne. La simple description lithologique ne permet pas cependant pas de les distinguer.



### Essais au pénétromètre dynamique :

L'analyse des essais au pénétromètre dynamique permet de différencier plusieurs marqueurs de compacité différents repris sur le profil géotechnique synthétique du chapitre 6.1.

- En tête, un marqueur de compacité globalement élevée à très élevée **(Marqueur M1)** sur des épaisseurs comprises entre 0.90m et 2.10m de profondeur avec :

- $5.5 < q_d \text{ (MPa)} < 44.3$

Seul le sondage PD6 présente une compacité plus faible en tête avec

- $2.00 < q_d \text{ (MPa)} < 25.6$

Le tableau ci-après reprend l'épaisseur du marqueur M1 au droit des différents sondages au pénétromètre dynamique :

Sondage	PD1	PD2	PD3	PD4
Profondeur du toit (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Profondeur du mur (m)	1.20	1.60	2.10	1.70
Épaisseur (m)	1.20	1.60	2.10	1.70

Sondage	PD5	PD6	PD7	PD8
Profondeur du toit (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Profondeur du mur (m)	1.20	1.00	1.00	0.90
Épaisseur (m)	1.20	1.60	2.10	1.70

### Résistivités mesurées :

Les résistivités mesurées au sein de ce marqueur sont de l'ordre de 50 à 110  $\Omega.m$  avec les valeurs les plus faibles localisés au droit des sondages PD4 à PD6.

- Puis, un marqueur de compacité globalement moyenne (**Marqueur M2**) sur des épaisseurs comprises entre 0.20m et 2.80m de profondeur avec :
- $1.5 < q_d \text{ (MPa)} < 12.9$

Le tableau ci-après reprend l'épaisseur du marqueur M2 au droit des différents sondages au pénétromètre dynamique :

Sondage	PD1	PD2	PD3	PD4
Profondeur du toit (m)	1.20	1.60	2.10	1.70
Profondeur du mur (m)	2.60	4.40	3.90	2.00
Épaisseur (m)	1.40	2.80	1.80	0.30

Sondage	PD5	PD6	PD7	PD8
Profondeur du toit (m)	1.20	-	1.00	0.90
Profondeur du mur (m)	1.70	-	1.80	1.10
Épaisseur (m)	0.50	-	0.80	0.20

#### Résistivités mesurées :

Les résistivités mesurées au sein de ce marqueur sont du même ordre de grandeur que le marqueur M1 (50 à 110  $\Omega.m$ ) toujours avec les valeurs les plus faibles localisés au droit des sondages PD4 à PD6 mais également PD3.

- Puis, un marqueur de compacité globalement très faible (**Marqueur M3**) sur des épaisseurs comprises entre 0.90m et 5.10m de profondeur avec :
- $0.1 < q_d \text{ (MPa)} < 3.2$

Le tableau ci-après reprend l'épaisseur du marqueur M3 au droit des différents sondages au pénétromètre dynamique :

Sondage	PD1	PD2	PD3	PD4
Profondeur du toit (m)	2.60	4.40	3.90	2.00
Profondeur du mur (m)	5.00	5.30	8.00	5.30
Épaisseur (m)	2.40	0.90	4.10	3.30

Sondage	PD5	PD6	PD7	PD8
Profondeur du toit (m)	1.70	1.00	1.80	1.10
Profondeur du mur (m)	5.50	3.60	5.70	5.20
Épaisseur (m)	3.80	2.60	3.90	4.10

A noter que le secteur PD4 à PD8 présente des compacités plus dégradés que le secteur PD1 à PD3 ou le marqueur M2 est plus développée.

#### Résistivités mesurées :

Les résistivités mesurées au sein de ce marqueur sont globalement plus faibles, de l'ordre de 20 à 90  $\Omega.m$ ). Une anomalie plus résistante est localisée au droit du sondage PD8 avec des valeurs supérieures à 90  $\Omega.m$ .

- Puis, un marqueur de compacité moyenne à très élevée où le refus a été obtenu au pénétromètre dynamique (**Marqueur M4**) sur des épaisseurs comprises entre 0.90m et 5.10m de profondeur avec :
- $0.1 < q_d \text{ (MPa)} < 3.2$

Le tableau ci-après reprend l'épaisseur du marqueur M3 au droit des différents sondages au pénétromètre dynamique :

Sondage	PD1	PD2	PD3	PD4
Profondeur du toit (m)	5.00	5.30	8.00	5.30
Profondeur du mur (m)	>5.40	>5.70	>9.40	>9.20
Épaisseur (m)	>0.40	>0.40	>1.40	>3.90

Sondage	PD5	PD6	PD7	PD8
Profondeur du toit (m)	5.50	3.60	5.70	5.20
Profondeur du mur (m)	>6.40	>3.90	>6.80	>5.80
Épaisseur (m)	>0.90	>0.30	>1.10	>0.60

#### Résistivités mesurées :

Les résistivités mesurées au sein de ce marqueur sont très hétérogènes comprises entre 10 et 200  $\Omega.m$ .

Les valeurs les plus faibles sont globalement localisées au niveau du tronçon PD1 à PD5 à l'exception d'une anomalie très résistante au droit du sondage PD2 entre 5.00 et 6.50m de profondeur.

## 5.2. HYDROGÉOLOGIE ET PERMEABILITE DES DIFFERENTES FORMATIONS

Lors de la réalisation des sondages au pénétromètre dynamique, nous avons systématiquement noté la présence d'humidité sur les tiges. Il vient :

Sondage	Profondeur (m)	Marqueur	Remarque
PD1	sec	sec	sec
PD2	5.00m	M3 – M4	1 Tige humide
PD3	sec	sec	sec
PD4	2.00m	M2/M3	7 Tiges entièrement mouillées – Forte arrivée d'eau
PD5	sec	sec	sec
PD6	sec	sec	Sec
PD7	3.70	M3/M4	3 Tiges humides
PD8	3.40	M3/M4	3 Tiges humides

Les sondages carottés ont été équipés en piézomètre crépiné de 1.00m à 10.00m de profondeur.

Il vient les niveaux d'eau suivants :

Sondage	Profondeur	Marqueur	Couche
SC1	6.30	M2/M3	C1-2
SC2	2.20	M4	C1-2

Il existe donc des circulations d'eau dans les remblais constitutifs de la digue et probablement les sols d'assise.

Nous avons réalisé deux essais de perméabilité lors de la réalisation des sondages carottés.

Il vient les observations suivantes :

➤ **Essai de perméabilité réalisé entre 2.00m et 3.00m de profondeur au droit de SC1 :**

$K \approx 1.6 \times 10^{-8}$  m/s soit une perméabilité très faible.

A noter que l'essai a été réalisé au sein des matériaux à dominante argilo limoneuse constituant la digue (Couche C1-1)

➤ **Essai de perméabilité réalisé entre 4.00m et 5.00m de profondeur :**

$K \approx 3.7 \times 10^{-8}$  m/s soit une perméabilité très faible.

A noter que l'essai a été réalisé au sein des matériaux à dominante argilo limoneuse constituant la digue (Couche C1-1)

Ces essais sont des valeurs ponctuelles. Il faut vraisemblablement s'attendre à des passages de perméabilité plus forte à la faveur des niveaux plus graveleux (Couche C1-2) et une perméabilité d'ensemble hétérogène lié à des circulations chenalisées à la faveur des phénomènes d'entraînement des particules.

Nous rappellerons également l'existence de phénomènes de renard hydraulique identifiés en pied de digue par les services de VNF en début d'année 2017.

## **6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS**

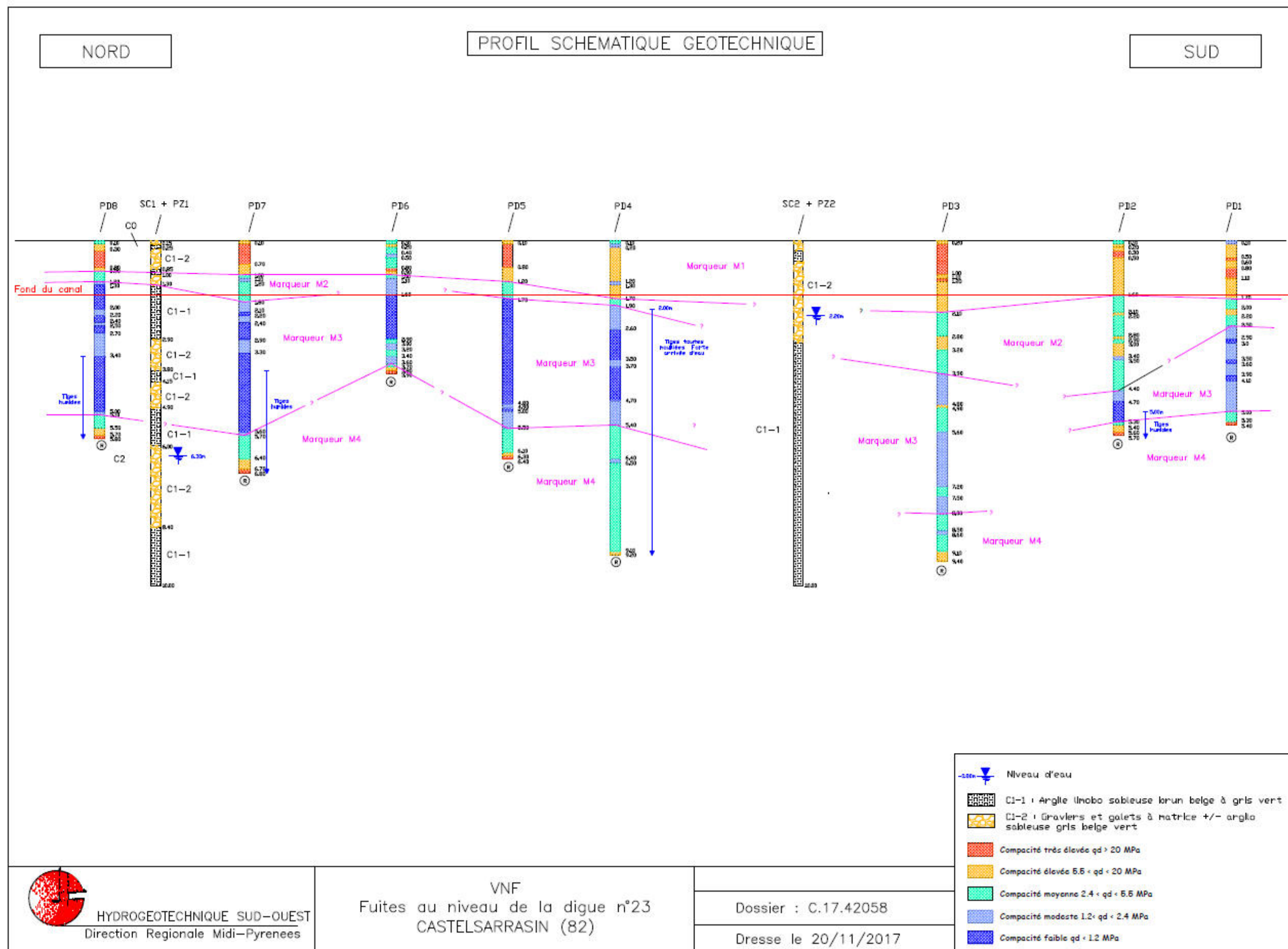
### **GÉOTECHNIQUES – MISSION G1/G2 AVP**

#### **6.1. SYNTHESE GRAPHIQUE DES DONNEES**

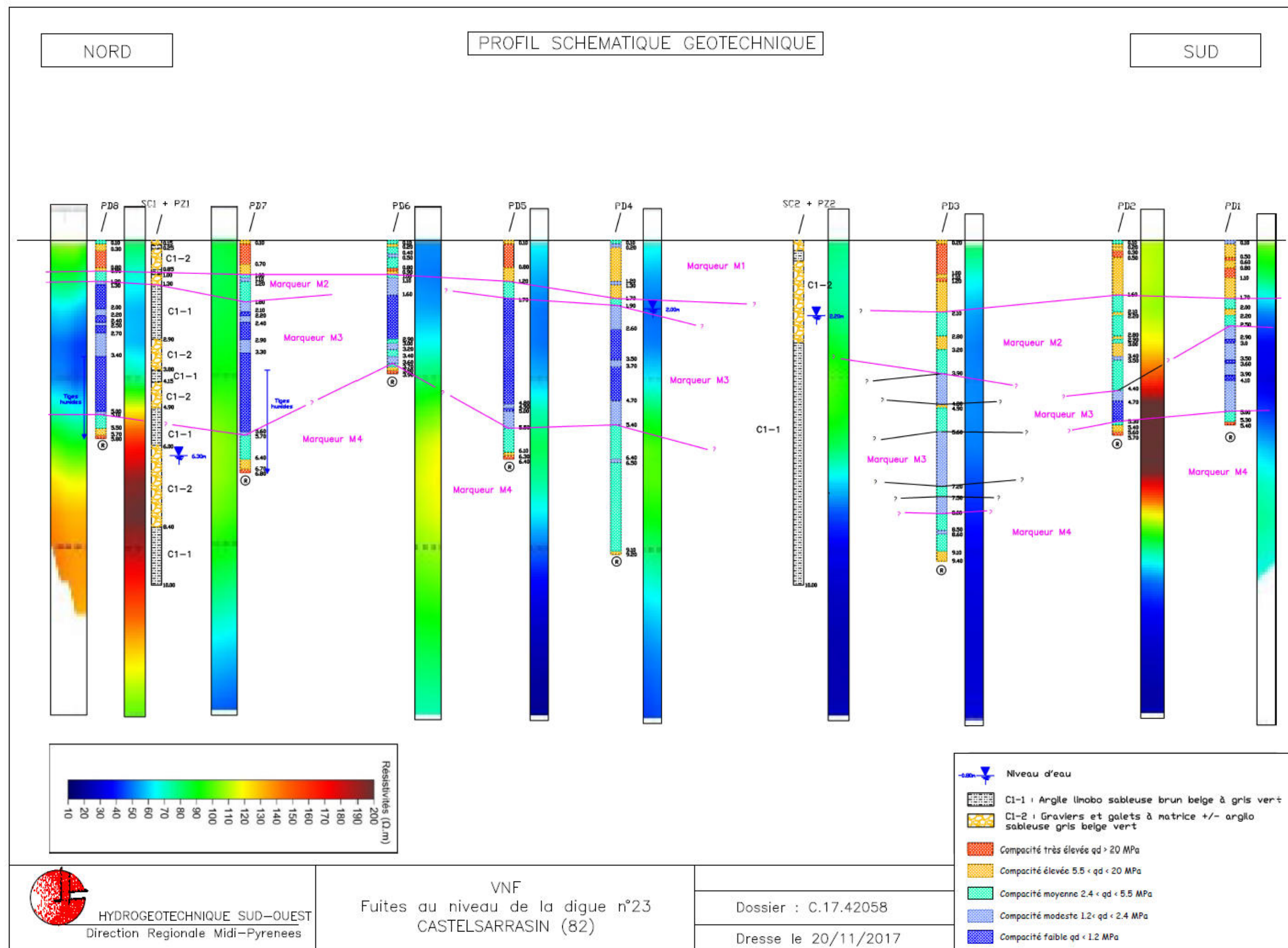
Les documents graphiques ci-après permettent de synthétiser l'ensemble des éléments décrit dans les paragraphes précédents.





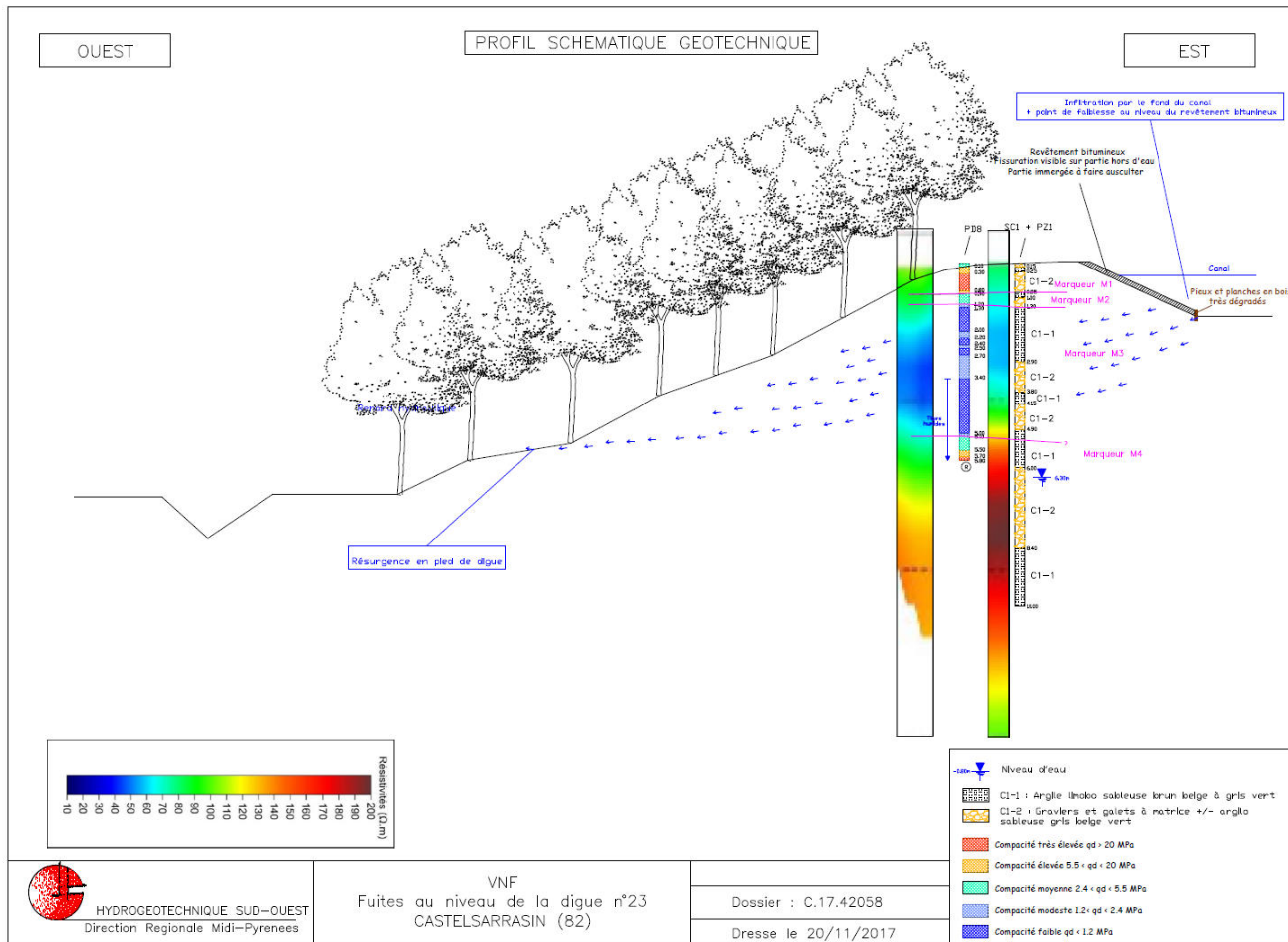












## **6.2. ALEAS**

Les aléas géotechniques sont en relation entre autres, avec :

### **6.2.1. La géologie**

- aléas liés aux variations de faciès des remblais de la digue (C1-1 et C1-2),
- aléas liés aux variations latérales de faciès au sein des alluvions et du substratum, pouvant entraîner l'apparition de lentilles de natures variables. Il est possible que des sols de nature localement différente de celle retrouvée en sondages apparaissent localement,

### **6.2.2. La nature des matériaux**

- sensibilité au remaniement mécanique à l'exécution,
- sensibilité des sols à l'eau et à l'affouillement,
- sensibilité des sols argileux aux variations hydriques,
- sensibilité de C1 aux phénomènes de renard hydraulique,
- hétérogénéité de blocométrie de C1.

### **6.2.3. L'hydrogéologie**

- présence de circulations d'eau dans les couches C1-1 et C1-2 de manière indifférenciée,
- aléas liés au caractère erratique et intermittent des circulations susceptibles d'affecter les couches C1-1 et C1-2 conditionnée par la lithologie mais également la présence de cheminements préférentiels (racines en décomposition, terriers,...)

### **6.2.4. L'environnement et l'historique du site**

- Présence de circulations d'eau ponctuelles au travers de la digue C1 mais potentiellement aussi dans les alluvions et le substratum,
- présence d'arbres de hautes venues sur l'ensemble du talus aval de la digue avec développement racinaire important,
- présence d'arbres arrachés et de souches en décomposition,
- présence de zones à végétation hydrophiles dans le talus (prêles).

## **7. PROPOSITION D'INTERPRETATION DE L'ORIGINE DES DESORDRES**

L'ensemble des investigations réalisées a permis de mettre en évidence un corps de digue constitué d'une alternance de matériaux à dominante argileuse (**couche C1-1**) et de passages plus graveleux (**Couche C1-2**) présentant des compacités globalement faibles avec un effet de croûte en tête (**marqueur M1**) indiquant des matériaux très sensibles aux variations hydriques. Les compacités faibles observées sont vraisemblablement à mettre en relation avec l'infiltration des eaux dans le corps de digue en provenance du canal provoquant une chute de la compacité par augmentation de l'état hydrique. Sur le long terme des phénomènes de renards hydrauliques se développent, favorisés par l'hétérogénéité du corps de digue (matériaux +/- argileux et/ou +/- sablo graveleux), la présence de cavités éventuelles (terriers de rongeurs, racines décomposées...) ainsi que la topographie du terrain en aval de la digue par rapport au niveau du canal.

L'analyse des marqueurs de compacité permet de différencier deux zones :

- une **zone A** localisée entre les sondages PD1 et PD3 où l'effet de croûte (**marqueur M1**) est le plus marquée avec une épaisseur de l'ordre de 1.60m à 2.10m. Le **marqueur M2** de compacité globalement moyenne est également plus développé que dans la zone B. L'infiltration des eaux dans le corps de digue semble donc être à un stade moins avancée que dans la zone B. Par ailleurs, l'épaisseur de l'effet de croûte, sensiblement égale voire supérieure à la profondeur du canal laisse penser que le revêtement bitumineux assure encore un rôle d'étanchéité.
- une **zone B** localisée entre les sondages SC2 et PD8 où l'effet de croûte (**marqueur M1**) est plus réduit avec une épaisseur de l'ordre de 1.00m et le **marqueur M2** de compacité globalement moyenne quasi inexistant. Dans ce secteur l'infiltration des eaux dans le corps de digue semble donc être à un stade plus avancée que dans la zone B. C'est d'ailleurs dans ce secteur que les renards hydrauliques ont été observés en pied de talus aval. A noter que l'épaisseur limitée de l'effet de croûte laisse craindre un défaut d'étanchéité du revêtement bitumineux. Nous suggérons de procéder à son auscultation lors de la prochaine période de chômage du canal.

## **8. PROPOSITIONS DE SOLUTIONS DE TRAITEMENT DE LA PATHOLOGIE OBSERVEE**

Les résurgences observées en pied de digue sont à mettre en relation avec les infiltrations d'eau en provenance du canal qui ont créés des zones de cheminements préférentiels dans les couches C1 constituant le corps de digue.

Ces infiltrations se font en grande partie par le fond du canal et au travers des digues également mais vraisemblablement en partie au niveau du revêtement bitumineux existant compte tenu des variations d'épaisseur de l'effet de croûte (Marqueur M1). Il conviendra de réaliser une inspection visuelle détaillée de celui-ci lors de la prochaine période de chômage du canal après nettoyage de la couche de sédiments fins. L'objectif étant de détecter d'éventuelles fissures comme celles-observées régulièrement sur la partie hors d'eau.

En effet, l'imprégnation racinaire et la présence de souches en putréfaction à fortement remanié les corps de digue dont l'état de dégradation conduit à des phénomènes de fuites de plus en plus importantes.

Dans tous les cas, les résurgences et les circulations d'eau peuvent à terme conduire à la ruine de la digue, il convient d'avoir une action sur la zone d'infiltration des eaux.

A ce stade, nous suggérons :

**Solution n°1 :** Mise en œuvre d'un Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane (DEG) mis en œuvre directement sur le fond du canal et ancré sur les berges. Le DEG pourra également recouvrir le revêtement bitumineux existant sous réserve de pouvoir supprimer les éléments en bois existants. Ces derniers contribuant manifestement à la stabilité du revêtement actuel, il faudra mettre en place un dispositif de substitution permettant de garantir la stabilité du revêtement existant (à définir par étude spécifique).

Dans le cas contraire, il faudra procéder à la démolition du revêtement existant préalablement à la mise en œuvre du DEG.



La géo membrane constituant le DEG est le plus souvent de type PEHD ou membrane bitumineuse. Les géotextiles sont placés directement au dessus et en dessous pour protéger la membrane des blessures que pourraient causer les matériaux au niveau du sol support.

La protection du dispositif peut être assurée soit par un béton armé coulé en place soit par des matelas gabions,

La mise en œuvre du nouveau dispositif sera réalisée lors d'une période de vidange du bief ce qui permettra de traiter l'intégralité de la largeur du canal. Si une vidange complète n'est pas possible, il faudra envisager la réalisation d'un batardeau en partie amont des travaux pour bloquer les arrivées d'eau sur le site.

Les photos ci-après illustrent ce type de solution de réparation à mettre en œuvre sur une couche de forme drainée pour évacuer les infiltrations parasites. L'étude de détail de cette solution est à réaliser au stade G2.



*Mise en œuvre de la géo membrane*



*Mise en œuvre du ferrailage*



*Mise en œuvre du béton de protection*

Il faudra également envisager de redensifier le corps de digue lorsque les fuites auront été traitées par la réalisation par exemple d'injection de coulis type jet grouting ou compactage statique horizontal (à étudier au stade G2 PRO).

Cette solution reste très complexe à mettre en œuvre. Des précautions doivent être prises :

- lors de la mise en œuvre de la géo membrane pour éviter les perforations.
  - Les éléments en bois contribuant à la stabilité du revêtement actuel devront être substitués par un matériau non putrescible. Dans le cas contraire, il faudra démolir l'ensemble du revêtement avant la mise en place du nouveau DEG,
  - Un lit de pose pourra s'avérer nécessaire en fonction de l'état du fond du canal qui devra être inspecté,
- lors du collage des différentes bandes. Cette opération doit être confiée à une entreprise ayant de solides références sur ce type de travaux,
- lors de la mise en œuvre du béton de protection qui doit présenter une viscosité adéquate afin de permettre une mise en œuvre sur le fond du canal et les talus afin d'éviter les fissures d'adaptation.

- **Solution n°2 :** mise en œuvre d'un rideau étanche depuis la crête de la digue (palplanches ou pari moulée).

Pour être efficace, l'écran étanche doit être descendu jusqu'à un niveau homogène imperméable afin d'éviter tout gradient hydraulique de contournements.

A ce stade, les investigations géotechniques réalisées jusqu'à 10m de profondeur n'ont pas permis de mettre en évidence cet horizon imperméable.

Dans ces conditions, il sera probablement donc difficile d'assurer une étanchéité complète de l'ouvrage mais cette solution peut être considérée comme un traitement d'urgence au droit des résurgences identifiées.

De plus, il va se poser le problème des difficultés de réalisation du rideau jusqu'à des profondeurs de 10mètres ou plus en présence de mitoyen à ne pas déstabiliser (revêtement bitumineux existant, ouvrage hydraulique sous le canal).

Il faudra donc être particulièrement vigilant en cas de mise en œuvre de palplanches.

Celles-ci seront uniquement mise en œuvre par fonçage pour ne pas déstabiliser les ouvrages mitoyens. A ce titre, nous suggérons la réalisation d'une campagne de sondage complémentaire au pénétromètre statique de manière à préciser les conditions de mise en œuvre des palplanches par fonçage.

Une autre solution peut être celle d'une paroi moulée réalisée à l'hydrofraise associée éventuellement à des injections afin de réduire la perméabilité d'ensemble du massif.

La fiche de l'écran étanche sera à justifier au regard hydraulique avec la difficulté d'un massif non homogène présentant des circulations de type chenalisées.

Pour fixer les idées, la fiche sous l'assise de la digue sera à minima descendu sous le fil d'eau du fossé situé en bordure de RD.

## **9. ETUDES COMPLEMENTAIRES**

Il est prévu la réalisation d'une campagne géophysique complémentaire lorsque le bief sera vidangé.

Il faudra prévoir :

- De réaliser le plan topographique et le cahier des profils en travers,
- Le recensement et report sur plan des réseaux,
- Une étude de type G2 PRO de la solution d'étanchéification retenue.

Notre mission se termine à la remise du présent rapport.

Nous restons à la disposition de **VNF** et de tous les intervenants pour tous renseignements complémentaires.

*Dressé par les Ingénieurs soussignés*

**Ingénieur**  
**en charge de l'opération**  
**Grégory HOURY**



**Superviseur**  
**en charge du contrôle interne**  
**Georges DE CARVALHO**



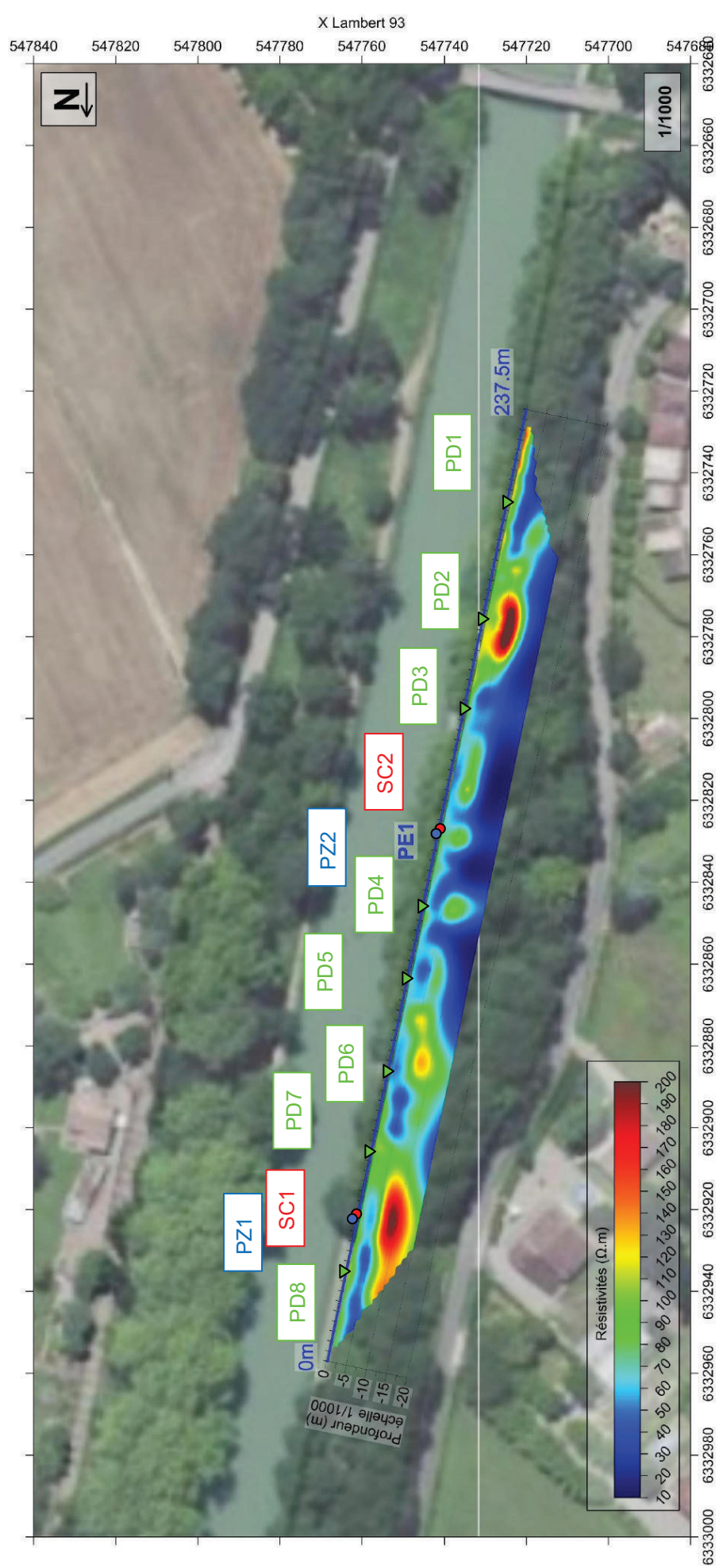
HYDROGEOTECHNIQUE Sud-Ouest  
Direction Régionale Languedoc - Roussillon  
Z.I. de Truilhas  
11590 SALLELES D'AUDE  
Tél. 04 68 40 81 35 - Fax 04 68 46 55 14  
Siret 502 058 944 00013 - APE 71.12B

# ***ANNEXES***

## **ANNEXE 1**

### **Plan d'implantation des sondages**





Annexe 4 : Visualisation du résultat du palmeau électrique PE1 sur photo aérienne, à l'échelle 1/1000.

DOSSIER C.17.42058

HYDROGEOTECHNIQUE SUD OUEST

VNF

CASTELSARRASIN (82)

Fuites sur la digue n°23,

ETUDE GEOTECHNIQUE

\*\*\*\*\*

IMPLANTATION DES SONDAGES

\*\*\*\*\*

●

Sondage carotté

▼

Pénétromètre dynamique

●

Piézomètre

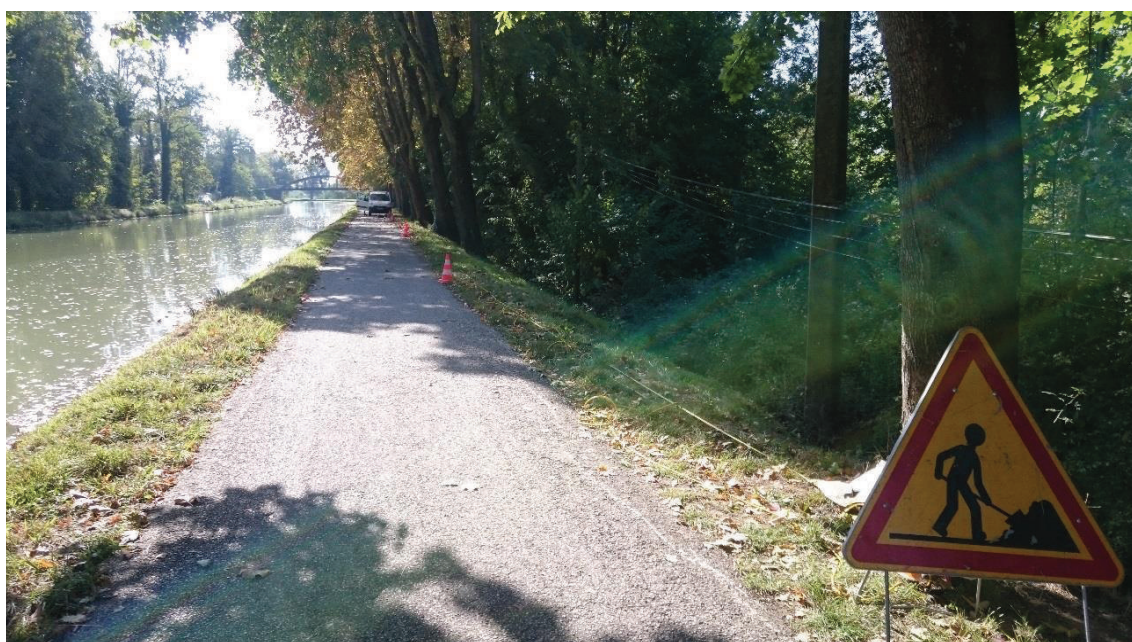
## **ANNEXE 2**

### **Résultats de la prospection géophysique**



## INVESTIGATION GEOPHYSIQUE PAR PANNEAU ELECTRIQUE

Commune de Castelsarrasin (82)



Client : Hydrogéotechnique SA  
6, allée de Sisteron, 31770 Colomiers

Réf. Client : Bon de commande n°42741

Réf. ArkoGéos : Offre 2017.260.01.A

### Compte rendu n° CR.2017.127.01.A

Versions		Établi par		Vérifié par		Validé par	
N°	Date	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
A	18/10/2017	P. FROISSARD		R. VINATIER		J. MENTION	

# SOMMAIRE

<b>1. Table des illustrations</b>	<b>3</b>
<b>2. Introduction</b>	<b>4</b>
2.1. Contenu de la mission .....	4
2.2. Personnel intervenant .....	4
2.3. Sécurité .....	4
2.4. Démarche qualité.....	4
<b>3. Situation géographique</b>	<b>5</b>
<b>4. Investigations géophysiques</b>	<b>6</b>
4.1. Méthodes électriques.....	6
4.1.1. Principe .....	6
4.1.2. Panneau électrique.....	8
4.1.3. Limites des méthodes électriques .....	9
<b>5. Résultats</b>	<b>10</b>
5.1. Généralités .....	10
5.2. Description.....	10
5.3. Conclusion .....	10
<b>PLANCHES</b>	<b>11</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>14</b>

## **1. Table des illustrations**

---

### **FIGURES**

Figure 1 : Extrait IGN de la zone d'investigation (Source : Géoportail) .....	5
Figure 2 : Potentiel généré par l'injection d'un courant électrique dans un demi-espace homogène et isotrope .....	6
Figure 3 : Schéma de l'implantation d'un quadripôle.....	6
Figure 4 : Principaux dispositifs quadripôles .....	7

### **PHOTOGRAPHIES**

Photographie 1 : Détail de l'équipement panneau électrique Syscal R1+, 48 électrodes .....	8
--	---

### **TABLEAUX**

Tableau 1 : Récapitulatif des profondeurs d'investigation théoriques par dispositif.....	7
--	---

### **PLANCHES**

Planche 1 : Plan d'implantation du panneau électrique PE1 à l'échelle 1/2000.....	12
Planche 2 : Résultat du panneau électrique PE1 à l'échelle 1/500. ....	13

### **ANNEXES**

Annexe 1 : Coordonnées GPS.....	15
Annexe 2 : Matériel utilisé .....	16
Annexe 3 : Détail des traitements effectués sur les panneaux électriques .....	17
Annexe 4 : Visualisation du résultat du panneau électrique PE1 sur photo aérienne, à l'échelle 1/1000. ....	18

## **2. Introduction**

---

### **2.1. Contenu de la mission**

A la demande et pour le compte de Hydrogéotechnique SA, ArkoGéos a réalisé une reconnaissance géophysique par méthode du panneau électrique, dans le cadre de l'étude d'un tronçon de la digue Ouest du canal latéral à la Garonne, située au Nord de la commune de Castelsarrasin (82).

Cette étude est menée en deux phases :

- La première phase consiste en la réalisation d'un profil de 237.5m (96 électrodes espacées de 2.5m), quand le niveau du canal est à son maximum.
- La seconde phase consiste en la réalisation du même profil électrique, une fois le canal vidé.

La comparaison des panneaux électriques réalisés lors des deux phases devrait vraisemblablement permettre de mettre en évidence des variations de résistivités dans les secteurs affectés par le changement d'état du canal (plein/vidé).

### **2.2. Personnel intervenant**

Les mesures géophysiques ont été réalisées 17/10/2017 par P. FROISSARD, ingénieur géophysicien et JM. BOLATY, technicien.

Le traitement des données a été pris en charge par P. FROISSARD.

Le présent rapport a été rédigé par P. FROISSARD, relu par R. VINATIER, Technicien supérieur en Géophysique, et validé par J. MENTION, gérant d'ArkoGéos.

### **2.3. Sécurité**

Le personnel était muni des EPI suivants :

- Chaussures de sécurité,
- Gilet haute visibilité jaune,

ArkoGéos possède la certification MASE SO-2015-038.

### **2.4. Démarche qualité**

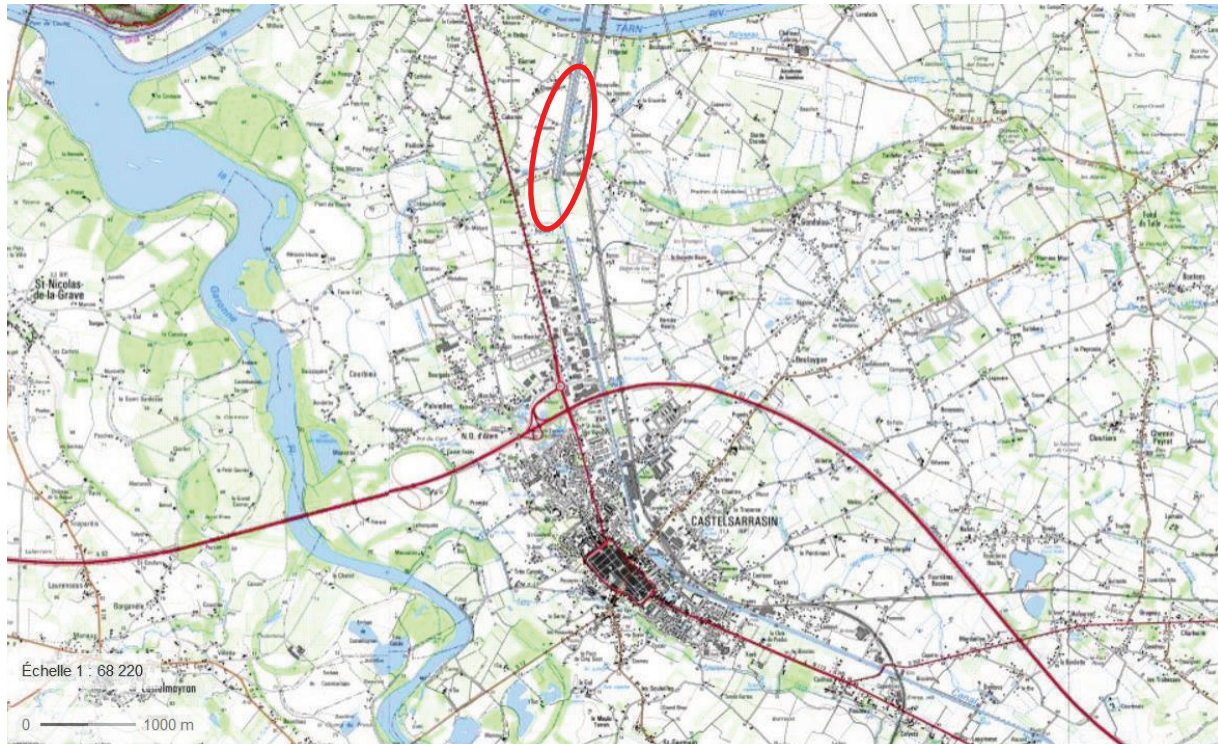
Le mode opératoire de la reconnaissance a été réalisé selon les recommandations du Code de Bonne Pratique de la Géophysique appliquée édité par l'AGAP (fiche ELE31 – système qualité - Recommandations fondées sur la norme européenne EN 29001, pour l'assurance de la qualité des prestations de services en géophysique). ArkoGéos est membre de l'AGAP depuis 2006.

ArkoGéos possède la certification OPQIBI en Géophysique 12 12 2501.



### 3. Situation géographique

La zone d'étude se situe au Nord de la commune de Castelsarrasin (82) et est cerclée en rouge sur l'extrait IGN ci-dessous (Cf. Figure 1).





## 4. Investigations géophysiques

### 4.1. Méthodes électriques

#### 4.1.1. Principe

La prospection électrique consiste à injecter dans le sol un courant électrique connu ( $I$ ,  $V$ ) par 2 électrodes A et B (souvent piquets inox ou cuivre) et de mesurer une différence de potentiel entre 2 autres électrodes M et N (cf. Figure 2).

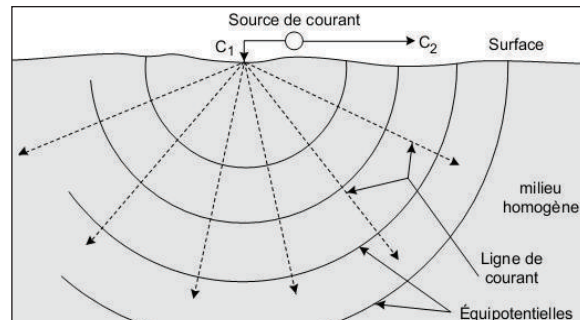


Figure 2 : Potentiel généré par l'injection d'un courant électrique dans un demi-espace homogène et isotrope

Les lignes d'équipotentiels se propagent en profondeur et suivant la loi d'Ohm appliquée à un quadripôle AMNB (cf. Figure 3), il est possible de calculer des résistivités apparentes pour des distances AB croissantes. Ces valeurs sont directement dépendantes d'un facteur géométrique lié à la configuration des électrodes sur le terrain.

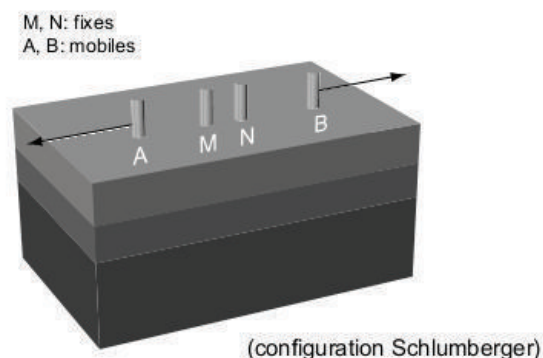


Figure 3 : Schéma de l'implantation d'un quadripôle

Un sondage électrique vertical utilisera l'écartement des électrodes AB croissant pour augmenter la profondeur d'investigation tout en gardant le centre du dispositif fixe. Le résultat est une courbe de résistivité apparente fonction de l'écartement AB.

Le traîné électrique utilisera un écartement AB constant mais le centre du dispositif est déplacé suivant un intervalle régulier. Le résultat donnera une courbe de résistivité apparente en fonction de la distance pour une profondeur donnée (fonction de l'écartement AB).

Le panneau électrique combine ces deux méthodes pour produire des sections en résistivités apparentes.

On peut réaliser les investigations suivant plusieurs configurations de quadripôles en faisant varier d'une part l'écartement entre dipôles d'injection et de mesure et l'orientation de ces dipôles (cf. Figure 4).

On peut encore réaliser des mesures sur des systèmes pôle-pôle en positionnant 2 électrodes à l'infini, ou pôle-dipôle en ne mettant qu'une électrode à l'infini.

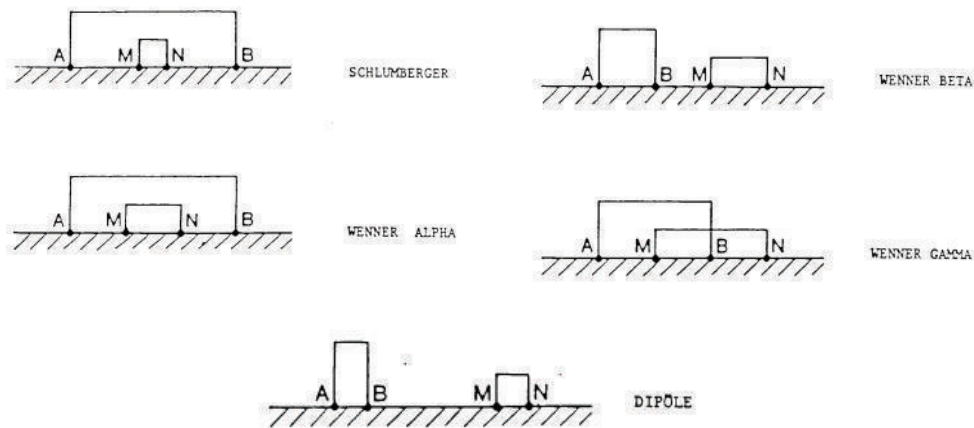


Figure 4 : Principaux dispositifs quadripôles

Chaque configuration a ses spécificités en termes de résolutions, profondeurs d'investigations et sensibilités (cf. Tableau 1).

Dispositifs couramment utilisés	Configuration des électrodes	Profondeur d'investigation pour une longueur de dispositif maximale L	
		Roy 1971	Baker 1989
Wenner $\alpha$	AMNB avec $AM=MN=NB$	0.11 L	0.17 L
Schlumberger	AMNB avec $MN \ll AB$	0.125 L	0.19 L
Dipôle-Dipôle	ABMN avec $AB=MN$	0.195 L	0.25 L
Pôle-Pôle	AM avec N et B $\infty$	0.35 L	
Pôle-Dipôle	AMN avec B $\infty$	0.25 L	

Tableau 1 : Récapitulatif des profondeurs d'investigation théoriques par dispositif

Le dispositif de mesure est choisi en fonction de la cible que l'on souhaite atteindre (nature, encaissant, profondeur, taille...).

#### 4.1.2. Panneau électrique

##### ➤ Chaîne de mesure

Le dispositif utilisé comprend (cf. Photographie 1) :

- Un résistivimètre à commutation d'électrodes intégré de marque IRIS Instrument, modèle Syscal R1+, alimenté par une batterie externe, avec système d'acquisition automatique multi-électrodes, correction automatique de la polarisation spontanée, accumulation automatique de mesures pour l'amélioration du rapport signal/bruit, affichage de messages d'erreur en cas de problèmes ;
- Les électrodes et câbles de mesure électrique.



*Photographie 1 : Détail de l'équipement panneau électrique Syscal R1+, 48 électrodes*

En pratique, on dispose sur le sol un réseau rectiligne d'électrodes régulièrement espacées et on mesure systématiquement l'ensemble des quadripôles possibles. Les électrodes, dont le nombre varie entre 12 et 128 le plus souvent, présentent un espacement régulier compris entre 1 et 5 m voire plus si besoin.

Le réseau d'électrodes est piloté par un système de mesure, via un ordinateur, qui fait varier automatiquement la géométrie d'un quadripôle selon une séquence construite en fonction de la profondeur d'investigation.

##### ➤ Méthodologie

Afin de répondre à l'énoncé, 1 profil électrique d'une longueur de 237.5 m (96 électrodes espacées de 2.5 m).a été réalisé (cf. Planche 1 et Planche 2).

La séquence utilisée sur site était de type Dipôle-Dipôle, dispositif permettant d'obtenir la meilleure information concernant les variations latérales et verticales de faciès. Cette séquence a été générée avec un espacement inter-électrode programmé de 2.5 m : cela a permis d'atteindre une profondeur d'investigation maximale d'environ 15 m.

Chaque électrode a fait l'objet d'un repérage au DGPS.

##### ➤ Principes d'interprétation

Une fois l'acquisition réalisée, les données sont transférées sur un PC.

Le traitement des données est effectué avec le logiciel RES2DINV de H. LOKE. Ce logiciel permet d'inverser les données pour obtenir un panneau de résistivité « vraie » calculé. Par itérations successives, le logiciel crée un modèle dont la réponse électrique doit se rapprocher le plus possible de la réponse obtenue sur site.

Le résidu d'inversion (RMS, indice de la fiabilité des mesures), est l'extrait de la corrélation entre le modèle obtenu par inversion et la pseudo-section de mesures brutes.

On notera que si le programme d'inversion permet d'approcher les résistivités vraies, les profondeurs restent toujours des estimations, eu égard aux équivalences électriques.

## ➤ Présentation des résultats

Chaque dispositif est représenté par deux pseudosections. La première figure la pseudosection en résistivités apparentes mesurées, la seconde celle des résistivités calculées issues du modèle mathématique (i.e. produit de l'inversion).

La gamme de résistivités a été choisie de telle sorte qu'elle puisse faire apparaître des contrastes suffisants sur chaque dispositif tout en gardant une unicité pour l'ensemble de la prospection électrique.

### 4.1.3. Limites des méthodes électriques

Concernant le terrain, les principales limites sont :

- les obstacles à l'implantation du dispositif (limites de parcelles, obstacles naturels...);
- le terrain interdisant un bon contact électrique entre les électrodes et le sol (roche affleurante, dalles béton, sable...);
- les structures enfouies (câbles, canalisations...);
- les très faibles résistivités limitant la pénétration des ondes dans le sol.

Concernant l'interprétation, il faut noter que :

- Le procédé d'inversion est sujet au **phénomène de suppression**. Avec la profondeur, certaines couches trop minces ou présentant un trop faible contraste de résistivité ne sont pas résolues par le procédé d'inversion. Par conséquent, la cible doit avoir un contraste électrique certain avec l'encaissant et une taille suffisante pour être discriminée.
- Le procédé d'inversion est sujet au **phénomène d'équivalence**. Lorsqu'un horizon de faible épaisseur est coincé entre deux horizons présentant une résistivité supérieure, ou inférieure, alors le procédé d'inversion peine à résoudre l'épaisseur de l'horizon. Par conséquent :
  - Si le programme d'inversion permet d'approcher les résistivités vraies, les profondeurs restent toujours des estimations, eu égard aux équivalences électriques.
  - L'emprise du halo anomalique est presque toujours plus importante que l'objet l'engendrant et ce phénomène est d'autant plus conséquent que l'objet est situé en profondeur.
- Une topographie très abrupte génère des artéfacts de calcul ; le logiciel ne pouvant intégrer le cheminement des équipotentielles.

## 5. Résultats

---

### 5.1. Généralités

Les descriptions ci-dessous utiliseront l'abréviation PM pour Point Métrique indiquant la distance horizontale sur la pseudosection.

### 5.2. Description

Le panneau électrique PE1 est implanté le long de la berge Ouest du canal et est orienté Nord/Sud. La gamme de résistivité utilisée est linéaire et s'échelonne de 10 à 200  $\Omega.m$  (Cf. Planche 1, Planche 2 et Annexe 4).

Le panneau électrique présente des résistivités calculées assez faibles (inférieure à 50  $\Omega.m$ ), notamment en fond de pseudosection. Cet ensemble conducteur est ponctué de zones plus résistantes (résistivités supérieures à 50  $\Omega.m$ ). On notera particulièrement deux secteurs résistants (résistivités supérieures à 120  $\Omega.m$ ) :

- Au Nord du profil, du PM15 au PM47, à 7m de profondeur au PM20 et 5m de profondeur au PM35. Cette zone résistante est la plus étendue du profil (30m de large et 8 à 9m d'épaisseur),
- Au Sud du profil, du PM177 au PM192, à 5m de profondeur. Ce secteur est le plus résistant du profil (résistivités supérieures à 200  $\Omega.m$ ).

D'autres secteurs ponctuels de résistivités intermédiaires (résistivités comprises entre 50 et 120  $\Omega.m$ ) sont présents dans les dix premiers mètres du PM50 au PM170.

### 5.3. Conclusion

Les mesures réalisées pour cette phase 1 (avec le niveau d'eau du canal à son maximum), permettent d'établir le profil de référence qui devra être comparé/soustrait au futur panneau électrique qui sera réalisé en phase 2 (avec le niveau d'eau du canal au minimum).

La comparaison des panneaux électriques réalisés lors des deux phases devrait vraisemblablement permettre de mettre en évidence des zones/secteurs affectés par le changement d'état du canal (plein/vide).

## **PLANCHES**

---

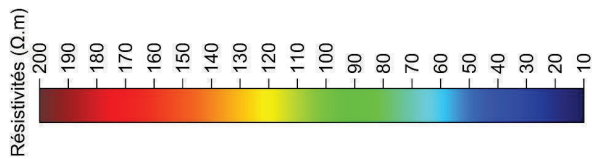
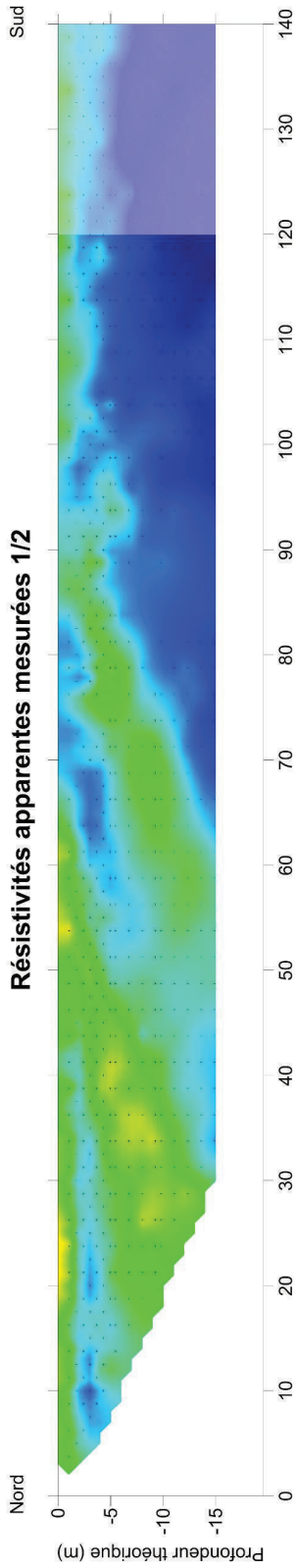




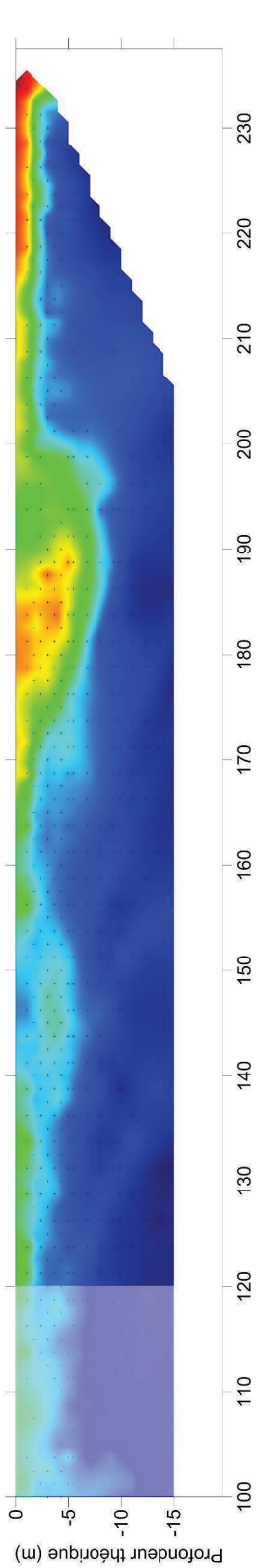
Planche 1 : Plan d'implantation du panneau électrique PE1 à l'échelle 1/2000.



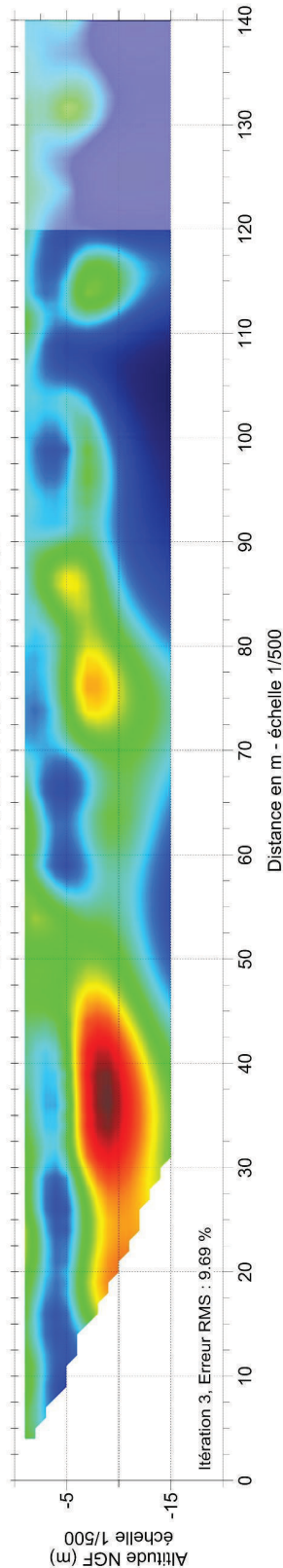
Castelsarrasin (82)  
Résistivités apparentes mesurées 1/2



Résistivités apparentes mesurées 2/2



Modèle en résistivités calculées 1/2



Modèle en résistivités calculées 2/2

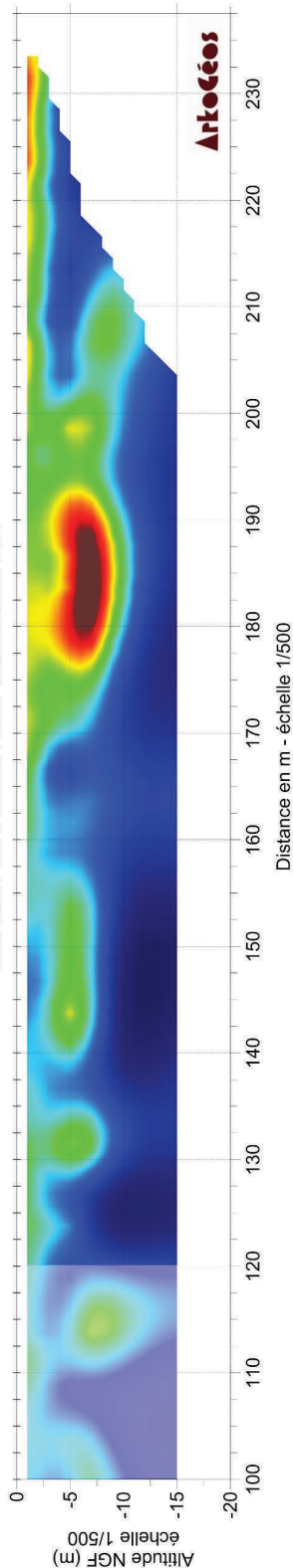


Planche 2 : Résultat du panneau électrique PE1 à l'échelle 1/500.

## **ANNEXES**

---

*Annexe 1 : Coordonnées GPS*

ATTRIBUT	X Lambert 93	Y Lambert 93
PE1 0m	547768.180	6332956.875
PE1 237.5m	547720.078	6332724.217

## Annexe 2 : Matériel utilisé

Lors de l'intervention géophysique, ArkoGéos a utilisé du matériel spécifique et de précision dont les références sont fournies ci-dessous :

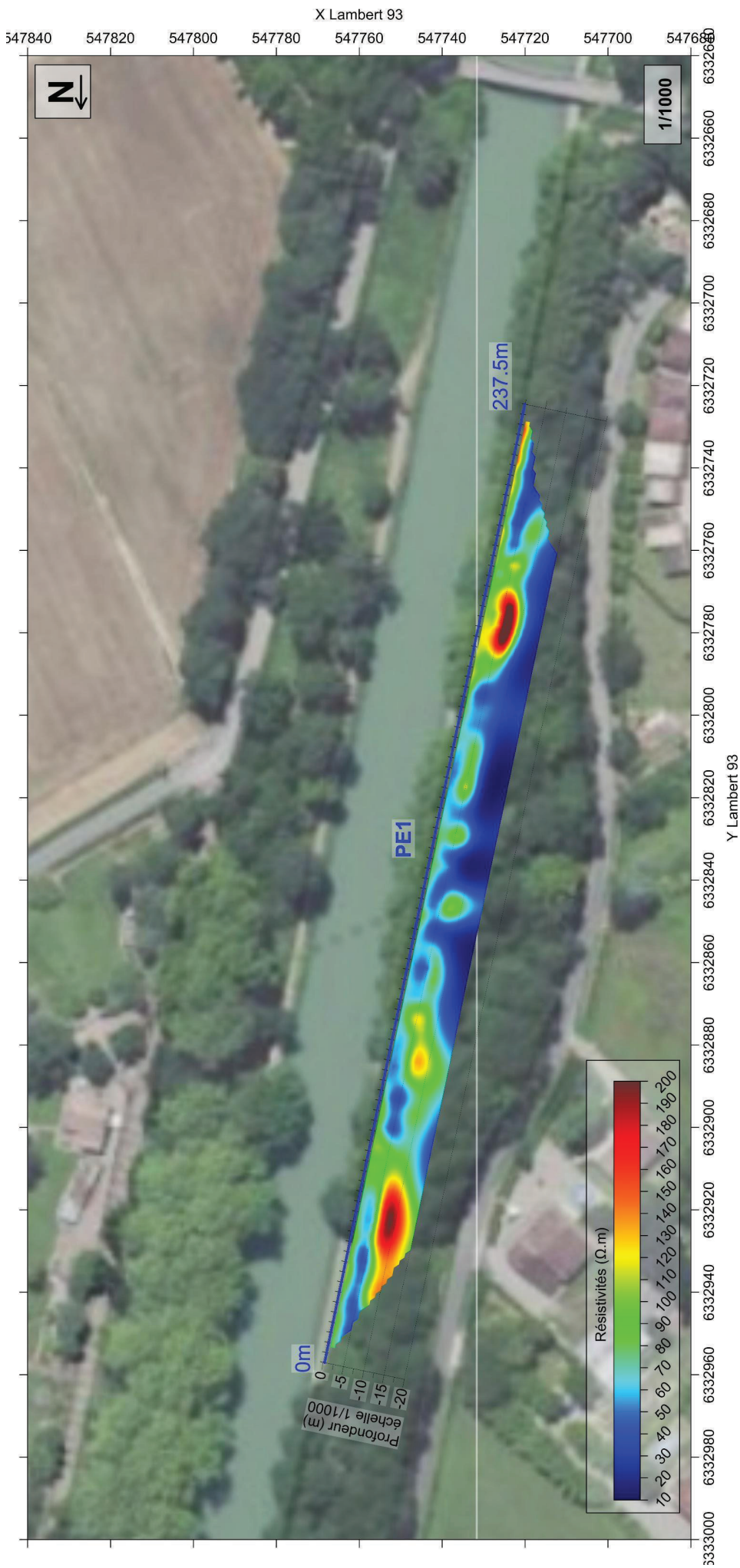
APPAREIL DE MESURE	MARQUE / MODELE	NUMERO DE SERIE
Résistivimètre	Iris Instruments / Syscal R1+ 48 électrodes	S/N : 300
DGPS	Trimble / GEO XH 2008	S/N : 4908400059
GPS	Garmin GPSMap62 Cs	S/N : 21F299064

Le calibrage de ces appareils est effectué a minima annuellement.

### *Annexe 3 : Détail des traitements effectués sur les panneaux électriques*

Initial damping factor (0.01 to 1.00) : 0.1500  
 Minimum damping factor (0.001 to 0.75) : 0.0300  
 Line search option (0=Never, 1=Sometimes, 2=Always) : 2  
 Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20) : 5.0000  
 Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100) : 0.5000  
 Number of iterations (1 to 30) : 7  
 Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0) : 1.0000  
 Model for increase in thickness of layers(0=default 10, 1=default 25, 2=user defined) : 2  
 Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4) : 4  
 Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity (0=model changes only,1=directly on model) : 1  
 Reduce number of topographical datum points? (0=No,1=Yes. Recommend leave at 0) : 0  
 Carry out topography modeling? (0=No,1=Yes) : 1  
 Type of topography trend removal (0=Average,1=Least-squares,2=End to end) : 0  
 Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed) : 1  
 Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0) : 1.2000  
 Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM, 3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel) : 4  
 Robust data constrain? (0=No, 1=Yes) : 0  
 Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1) : 0.0500  
 Robust model constrain? (0=No, 1=Yes) : 0  
 Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0) : 0.0050  
 Allow number of model parameters to exceed datum points? (0=No, 1=Yes) : 0  
 Use extended model? (0=No, 1=Yes) : 0  
 Reduce effect of side blocks? (0=No, 1=Slight, 2=Severe, 3=Very Severe) : 0  
 Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest) : 0  
 Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes) : 1  
 Time-lapse inversion constrain (0=None,1=Least-squares,2=Smooth,3=Robust) : 0  
 Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential) : 0  
 Thickness of first layer (0.25 to 1.0) : 0.5000  
 Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25) : 1.1000  
 USE FINITE ELEMENT METHOD (YES=1,NO=0) : 1  
 WIDTH OF BLOCKS (1=NORMAL WIDTH, 2=DOUBLE, 3=TRIPLE, 4=QUADRAPLE, 5=QUINTIPLE) : 1  
 MAKE SURE BLOCKS HAVE THE SAME WIDTH (YES=1,NO=0) : 1  
 RMS CONVERGENCE LIMIT (IN PERCENT) : 0.050  
 USE LOGARITHM OF APPARENT RESISTIVITY (0=USE LOG OF APPARENT RESISTIVITY, 1=USE RESISTANCE VALUES, 2=USE APPARENT RESISTIVITY) : 0  
 TYPE OF IP INVERSION METHOD (0=CONCURRENT,1=SEQUENTIAL) : 0  
 PROCEED AUTOMATICALLY FOR SEQUENTIAL METHOD (1=YES,0=NO) : 0  
 IP DAMPING FACTOR (0.01 to 1.0) : 0.100  
 USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0) : 0  
 CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02) : 0.00010  
 TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halfsize) : 0  
 LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes) : 0  
 Upper limit factor (10-50) : 50.000  
 Lower limit factor (0.02 to 0.1) : 0.020  
 Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration) : 0  
 Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells) : 1.00  
 Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used) : 0  
 Type of optimisation method (0=Gauss-Newton,2=Incomplete GN) : 0  
 Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05) : 0.005  
 Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes) : 0  
 Use reference model in inversion (0=No,1=Yes) : 1  
 Damping factor for reference model (0.0 to 0.3) : 0.01000  
 Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes) : 1  
 Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes) : 1  
 Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0) : 5.00000  
 Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements) : 1  
 Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0) : 1.000  
 Reduce model variations near borehole (0=No, 1=Yes) : 0  
 Factor to control the degree variations near the boreholes are reduced (2 to 100) : 5.0  
 Factor to control variation of borehole damping factor with distance (0.5 to 5.0) : 1.0  
 Floating electrodes survey inversion method (0=use fixed water layer, 1=Incorporate water layer into the model) : 1  
 Resistivity variation within water layer (0=allow resistivity to vary freely,1=minimise variation) : 1  
 Use sparse inversion method for very long survey lines (0=No, 1=Yes) : 0  
 Optimize Jacobian matrix calculation (0=No, 1=Yes) : 0  
 Automatically switch electrodes for negative geometric factor (0=No, 1=Yes) : 1  
 Force resistance value to be consistant with the geometric factor (0=No, 1=Yes) : 0  
 Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes) : 0





Annexe 4 : Visualisation du résultat du panneau électrique PE1 sur photo aérienne, à l'échelle 1/1000.


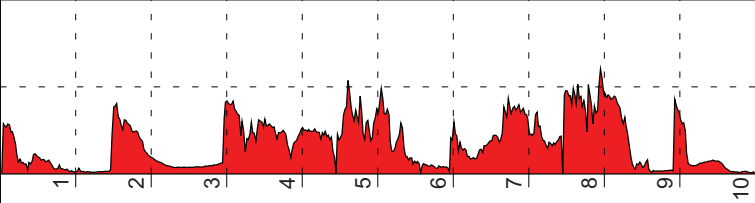
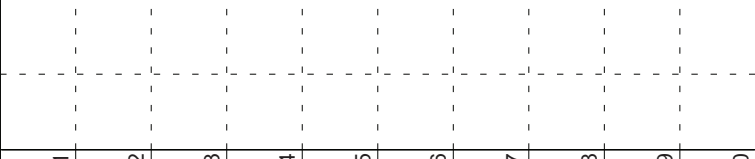
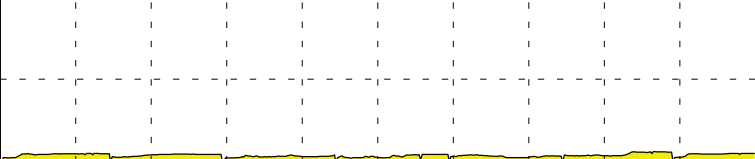
## **ANNEXE 3**

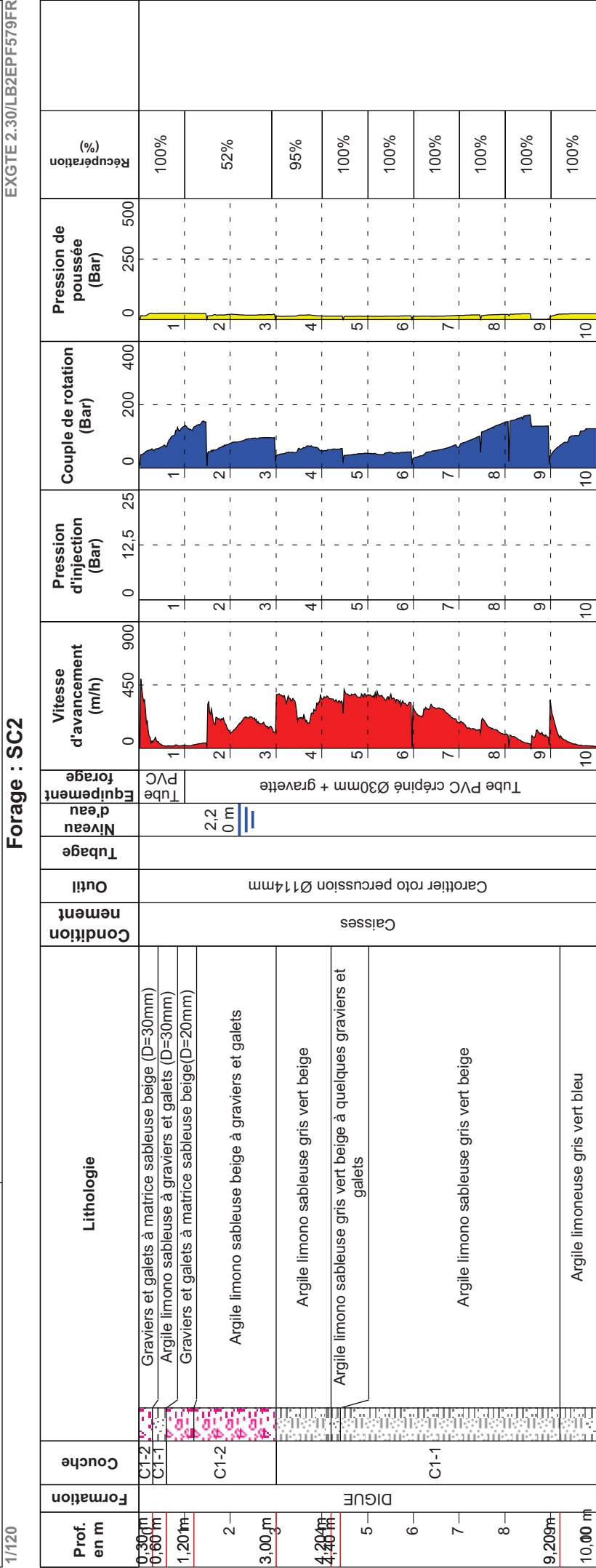
### **Résultats des sondages carottés**





HYDROGEOTECHNIQUE

1/100		Forage : SC1										EXGTE 2.30/LB2EPF579FR	
Prof. en m	Formation	Couche	Lithologie	Conditionnement	Outil	Tubage	Niveau d'eau	Equipement forage	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression d'injection (Bar)	Couple de rotation (Bar)	Pression de poussée (Bar)	Récupération (%)
0,15 m	DIGUE	C1-2	Argile sableuse brun beige à graviers et galets (D=20mm)	Caisses	Carottier roto percussion Ø14mm		 6,30 m	Tube PVC crépiné Ø30mm + gravette					90%
0,55 m		C1-1	Graviers et galets à matrice sableuse brune (D=30mm)						1	1	1		90%
0,85 m		C1-2	Argile sableuse brun beige à graviers et galets (D=40mm)						2	2	2		61%
1,30 m		C1-2	Graviers et galets à matrice argilo sableuse beige (D=20mm)						3	3	3		45%
2,90 m		C1-1	Graviers et galets à matrice sableuse beige (D=30mm)						4	4	4		90%
3,80 m		C1-1	Argile limono sableuse brun beige						5	5	5		100%
4,15 m		C1-2	Graviers et galets à matrice sablo argileuse beige (D=50mm)						6	6	6		90%
4,90 m		C1-1	Argile limono sableuse beige à quelques graviers (D=10mm)						7	7	7		71%
6,00 m		C1-2	Graviers et galets à matrice argilo sableuse gris beige vert						8	8	8		90%
7,40 m		C1-1	Graviers et galets à matrice sableuse gris vert beige						9	9	9		100%
8,40 m		C1-1	Argile sableuse à graviers et galets (D)30mm										
8,80 m			Argile limono sableuse gris beige vert										
9,60 m			Argile limono sableuse gris beige vert à graviers et galets (D=30mm)										
10,00 m			Argile limono-sableuse gris-vert beige brun						10	10	10		





## CASTELSARRASIN (82)

Fuites sur la digue n°23 - VNF





## CASTELSARRASIN (82)

Fuites sur la digue n°23 - VNF

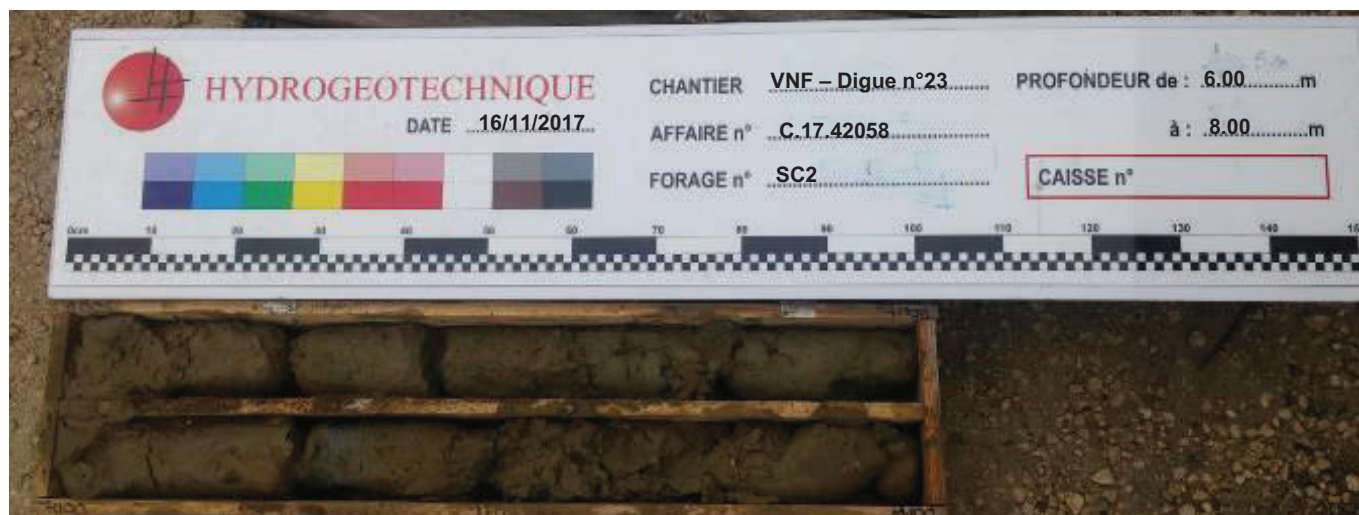






## CASTELSARRASIN (82)

Fuites sur la digue n°23 - VNF





## CASTELSARRASIN (82)

Fuites sur la digue n°23 - VNF



**CHANTIER :**

Fuites sur la digue n°23 - VNF

**C.17.42058**

**DATE :**

15/11/2017

**SONDAGE**

SC1

**he (profondeur essai en m):**

2,00-3,00

**Nature du sol :**

Argile limono sableuse

**hw (profondeur de la nappe en m):**

< 5 m

**dimensions de la cavité :**

L (longueur en m):

1,00

B (diamètre en m):

0,114

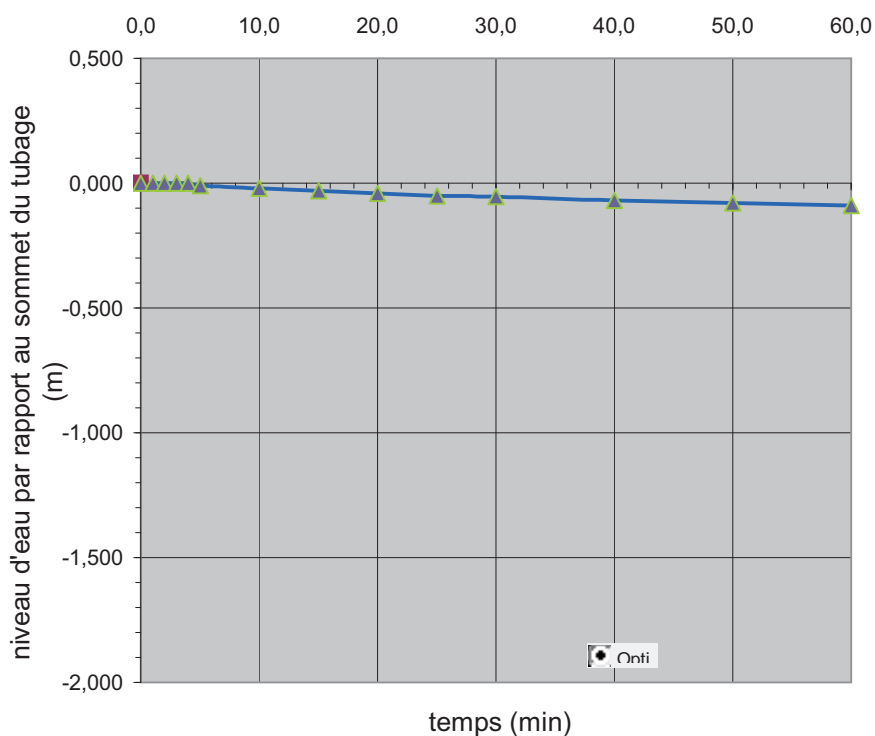
**ht (hauteur tubage hors sol en m):**

0,30

**D (diamètre du tubage en m) :**

0,120

**Abaissement du niveau d'eau en fonction du temps  
(essai à niveau variable)**



**Détermination de la perméabilité :**

*à niveau variable*

*à niveau variable*

B (m)

0,114

0,114

H (charge constante dans le forage en m)

—

—

Q (débit constant injecté en m3/s)

—

—

S ( section tubage en m² )

0,011310

0,011310

m (coefficient de forme) : cliquer ici

62,23

62,23

h1 (charge dans le forage à l'inst. t1 en m)

2,80

2,80

h2 (charge dans le forage à l'inst. t2 en m)

2,71

2,71

instant t1 (s)

240

240,00

instant t2 (s)

3600

3600,00

k (m/s) = 1,6E-08

1,6E-08



**CHANTIER :**

Fuites sur la digue n°23 - VNF

**C.17.42058**

**DATE :**

16/11/2017

**SONDAGE**

SC2

**he (profondeur essai en m):**

4,00-5,00

**Nature du sol :**

Argile limono sableuse

**hw (profondeur de la nappe en m):**

2,20m

**dimensions de la cavité :**

L (longueur en m):

1,00

B (diamètre en m):

0,114

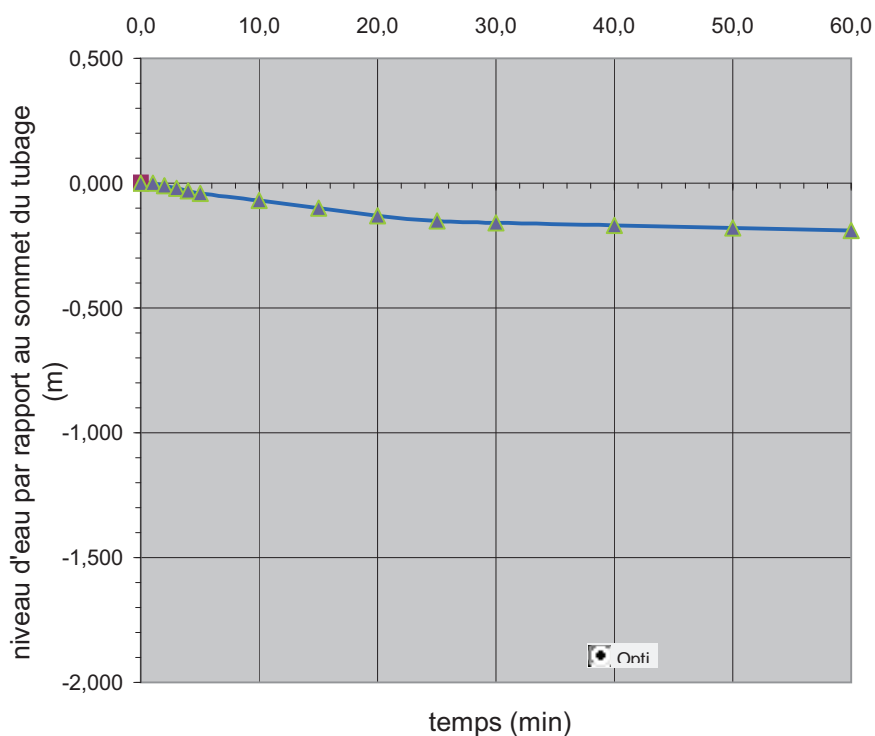
**ht (hauteur tubage hors sol en m):**

0,20

**D (diamètre du tubage en m) :**

0,120

**Abaissement du niveau d'eau en fonction du temps  
(essai à niveau variable)**



**Détermination de la perméabilité :**

*à niveau variable*

*à niveau variable*

B (m)

0,114

0,114

H (charge constante dans le forage en m)

—

—

Q (débit constant injecté en m3/s)

—

—

S ( section tubage en m² )

0,011310

0,011310

m (coefficient de forme) : cliquer ici

62,23

62,23

h1 (charge dans le forage à l'inst. t1 en m)

4,70

4,57

h2 (charge dans le forage à l'inst. t2 en m)

4,57

4,51

instant t1 (s)

0

1200,00

instant t2 (s)

1200

3600,00

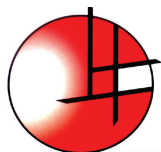
k (m/s) =

3,7E-08

8,8E-09

## **ANNEXE 4**

### **Résultats des essais au pénétromètre dynamique**


**HYDRO-GEOTECHNIQUE**

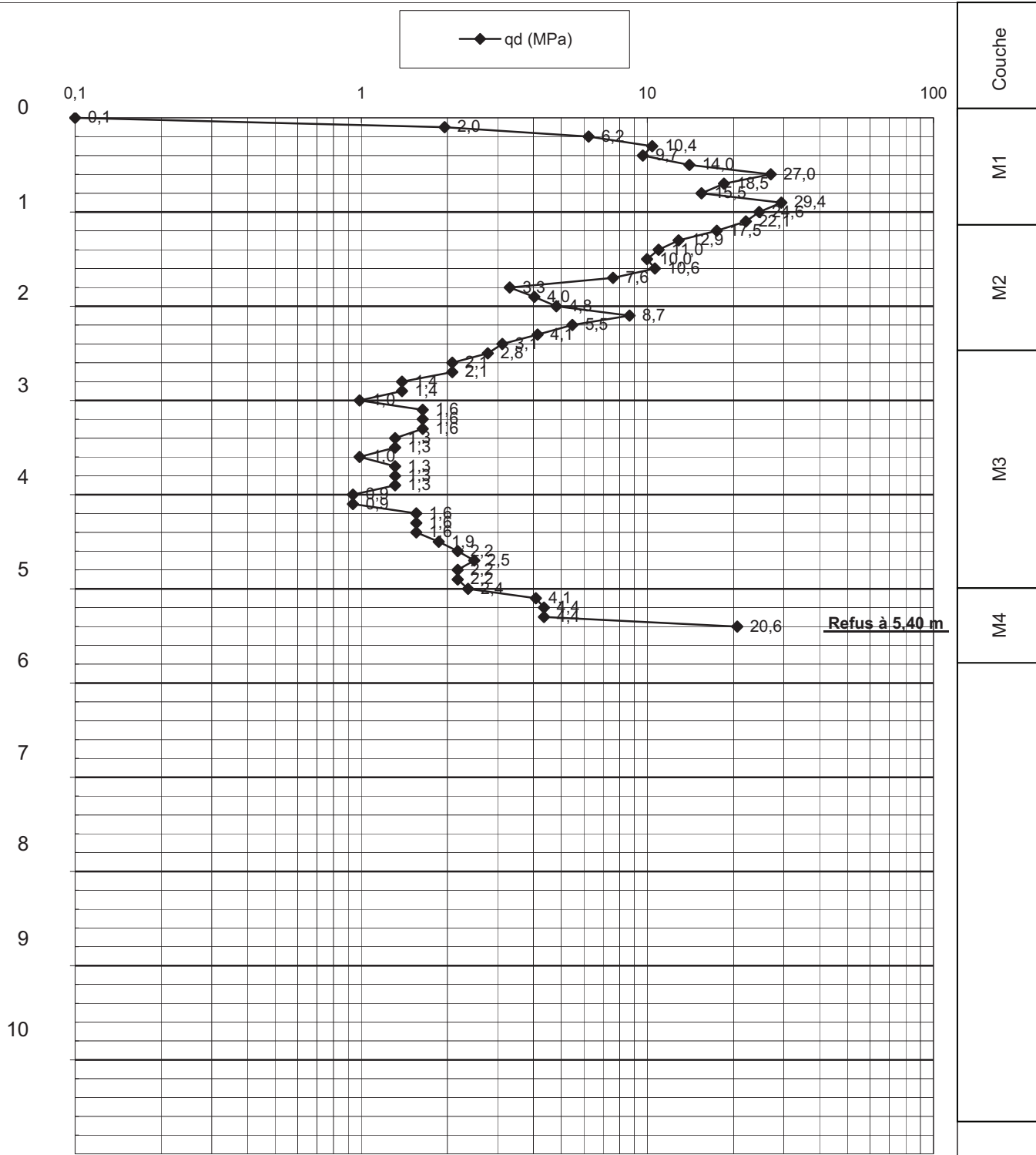
 LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
 DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

**ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE**

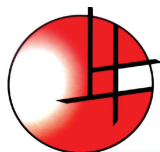
Client **VNF**  
 Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**  
 Dossier C.17.42058  
 Date 15 novembre 2017

**Sondage PD1**

qd = résistance de pointe en MPa  
 Formule de Redtenbacher



Eau : pas notoire lors de la foration



# HYDRO-GEOTECHNIQUE

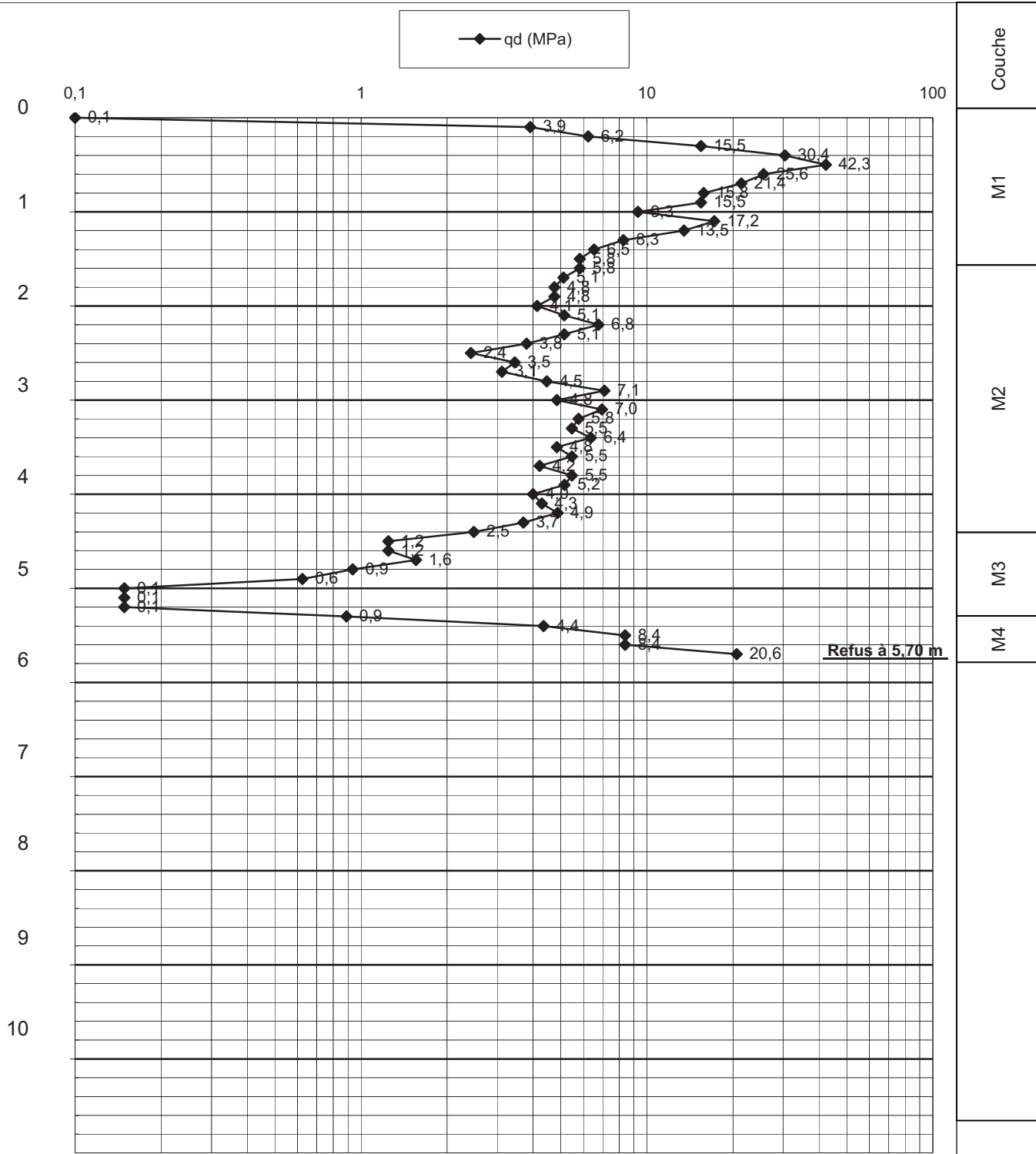
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

## ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

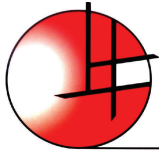
Client **VNF**  
Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**  
Dossier C.17.42058  
Date 15 novembre 2017

### Sondage **PD2**

qd= résistance de pointe en MPa  
Formule de Redtenbacher



Eau : pas notoire lors de la foration



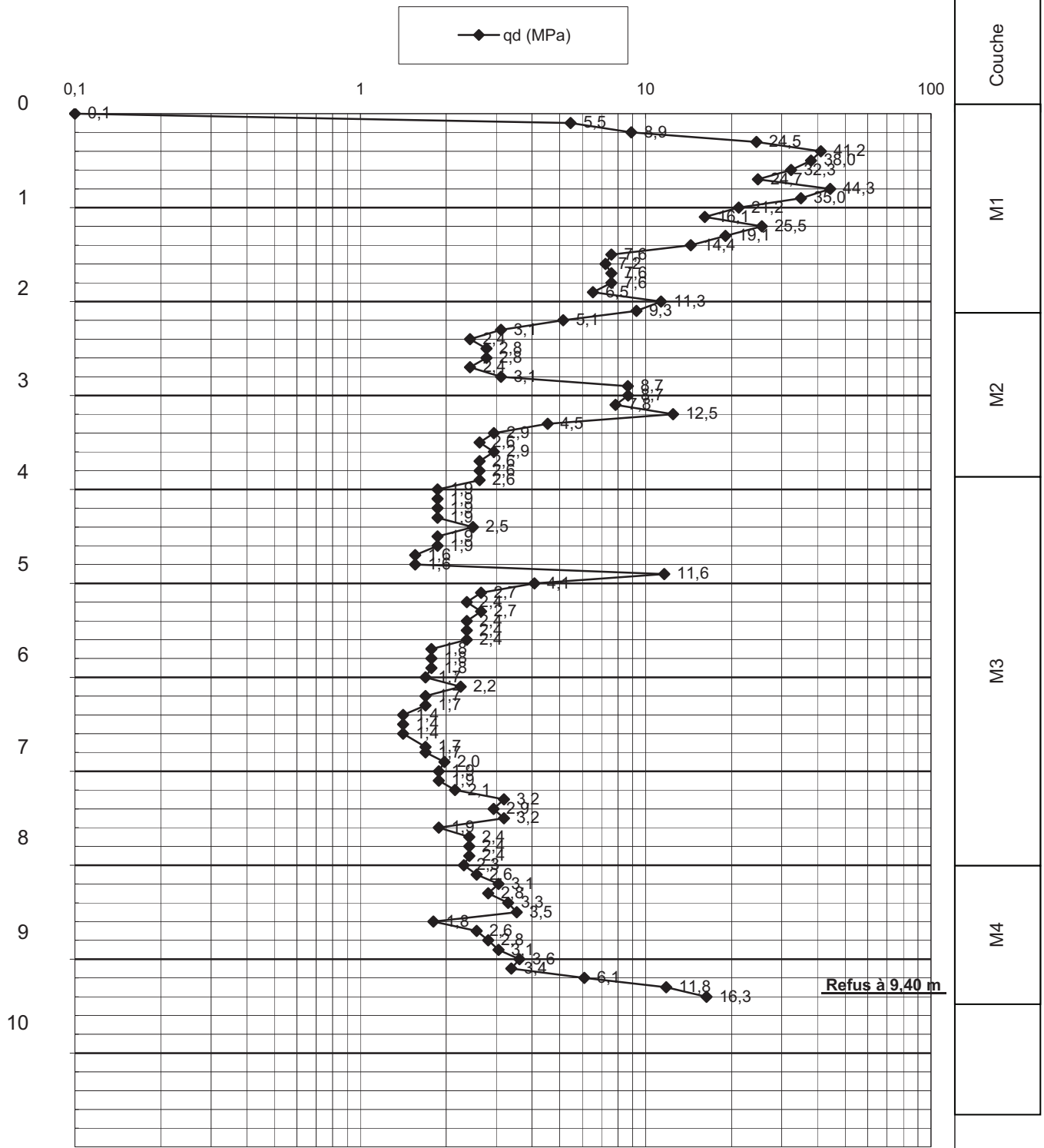
**HYDRO-GEOTECHNIQUE**  
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

## ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

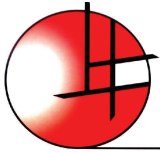
Client **VNF**  
Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**  
Dossier C.17.42058  
Date 15 novembre 2017

Sondage **PD3**

qd= résistance de pointe en MPa  
Formule de Redtenbacher



Eau : pas notoire lors de la foration



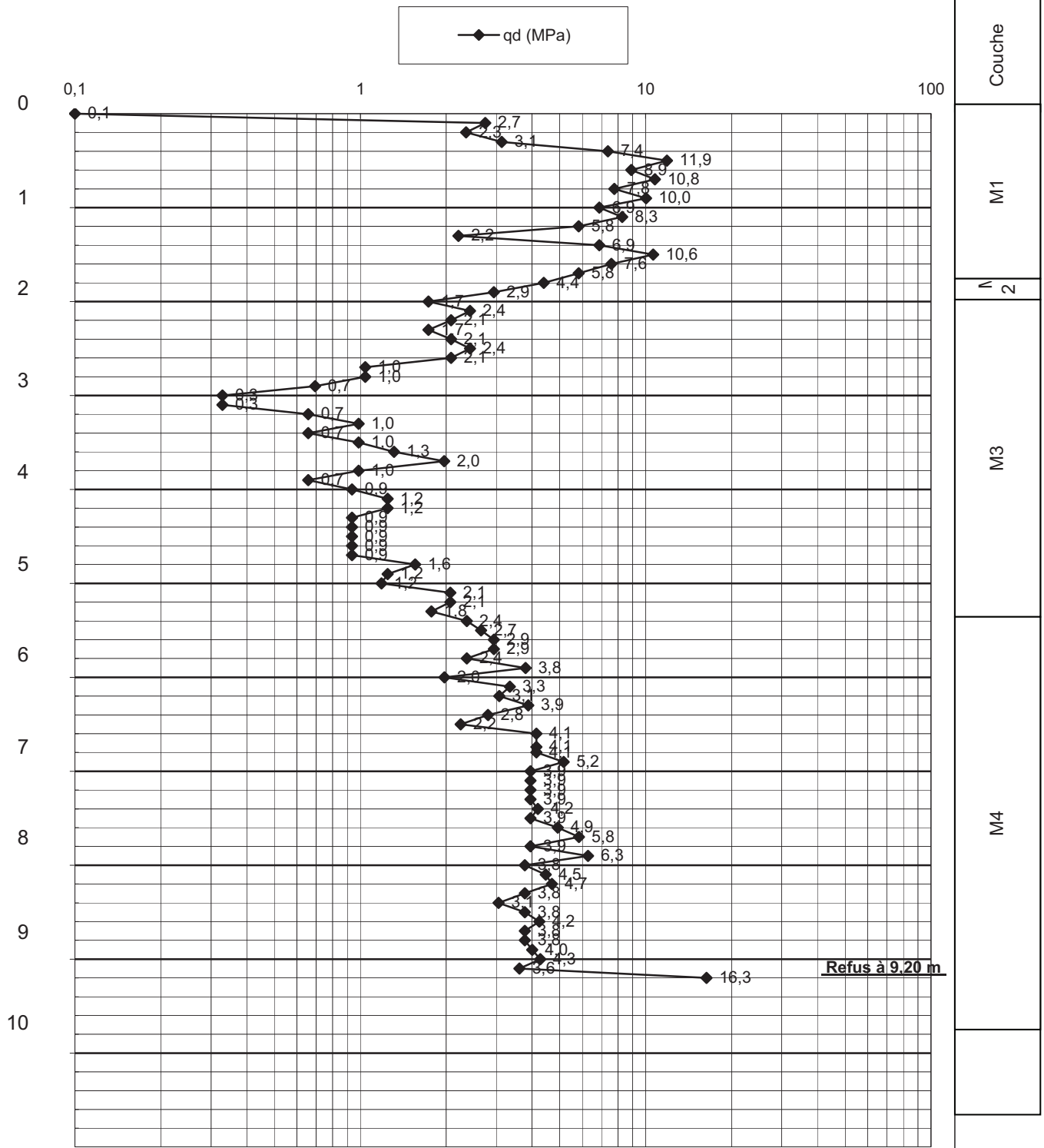
**HYDRO-GEOTECHNIQUE**  
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

## ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Client **VNF**  
Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**  
Dossier C.17.42058  
Date 15 novembre 2017

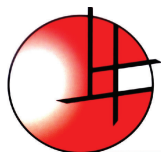
Sondage **PD4**

qd = résistance de pointe en MPa  
Formule de Redtenbacher



Eau : pas notoire lors de la foration




**HYDRO-GEOTECHNIQUE**

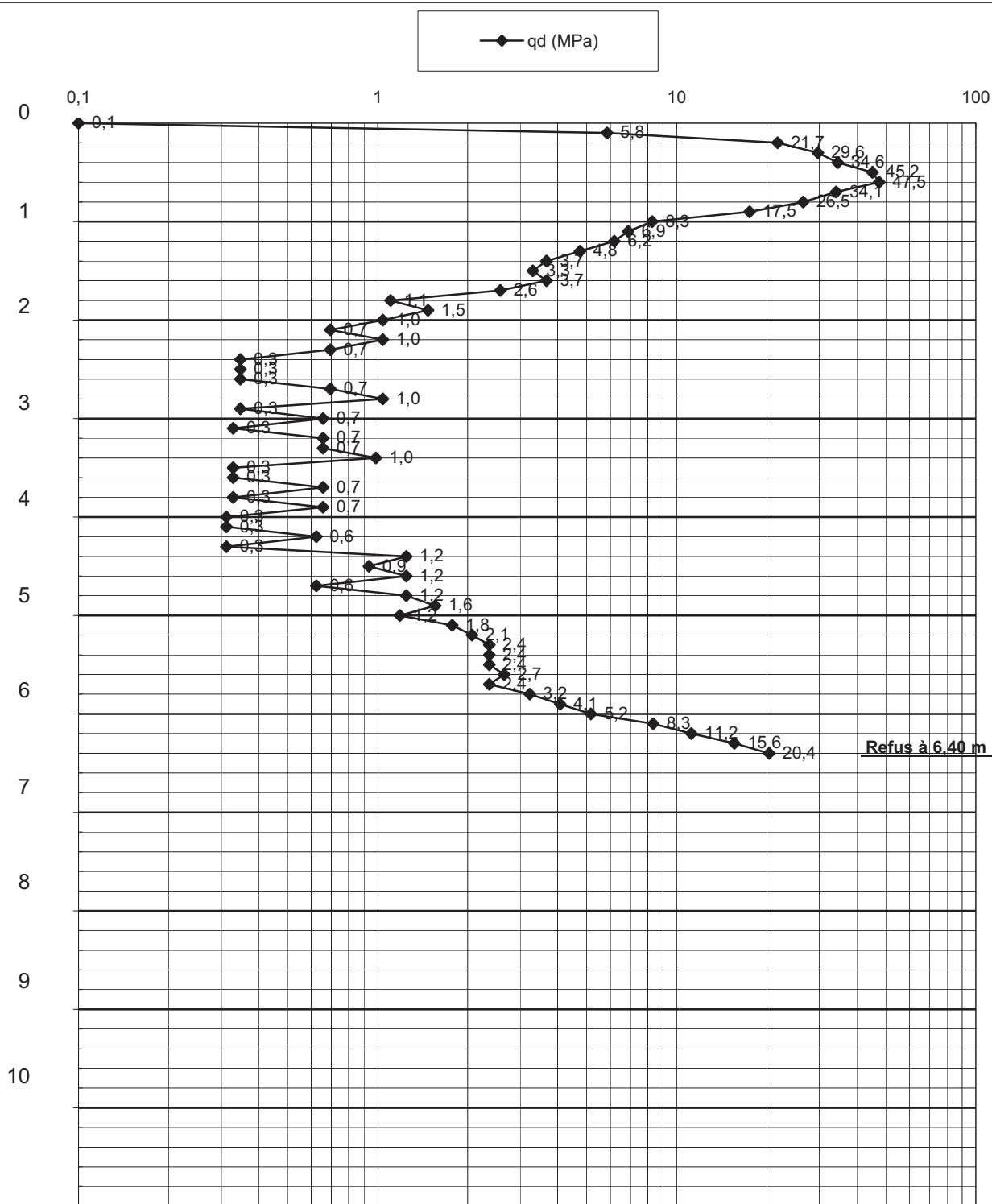
 LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
 DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

**ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE**

Client **VNF**  
 Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**  
 Dossier C.17.42058  
 Date 17 novembre 2017

**Sondage PD5**

qd = résistance de pointe en MPa  
 Formule de Redtenbacher



Couche

M1

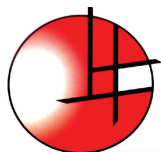
M2

M3

M4

Refus à 6.40 m

Eau : pas notoire lors de la foration



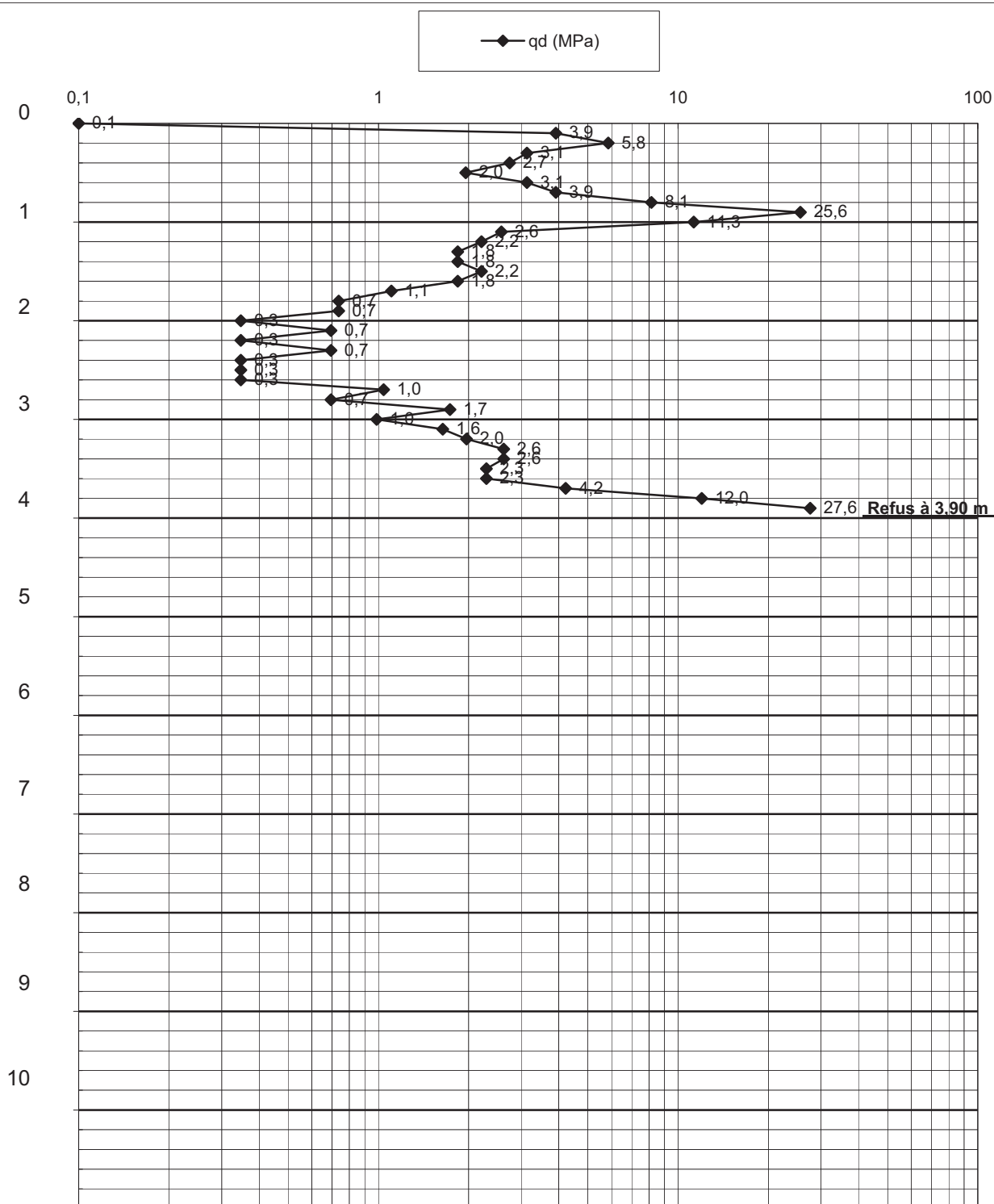
**HYDRO-GEOTECHNIQUE**  
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

## ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

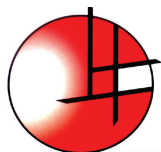
Client **VNF**  
Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**  
Dossier C.17.42058  
Date 17 novembre 2017

Sondage **PD6**

qd= résistance de pointe en MPa  
Formule de Redtenbacher



Eau : pas notoire lors de la foration


**HYDRO-GEOTECHNIQUE**

 LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
 DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

**ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE**

 Client **VNF**

 Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**

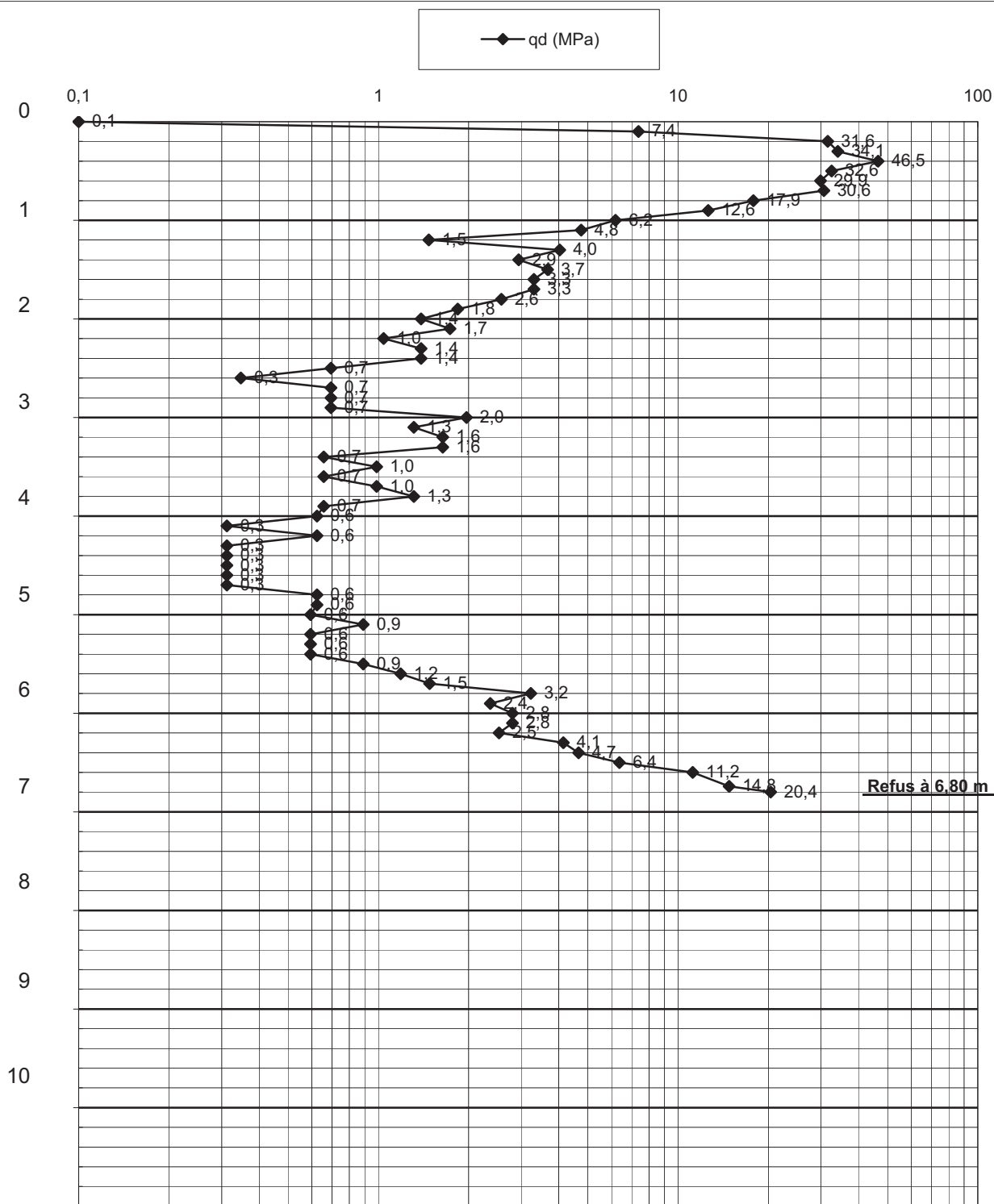
Dossier C.17.42058

Date 17 novembre 2017

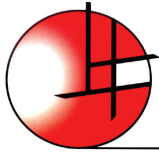
 Sondage **PD7**

qd = résistance de pointe en MPa

Formule de Redtenbacher



Eau : pas notoire lors de la foration

**HYDRO-GEOTECHNIQUE**LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE  
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT**ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE**Client **VNF**Chantier **Fuites sur la digue n°23 - CASTELSARASIN (82)**

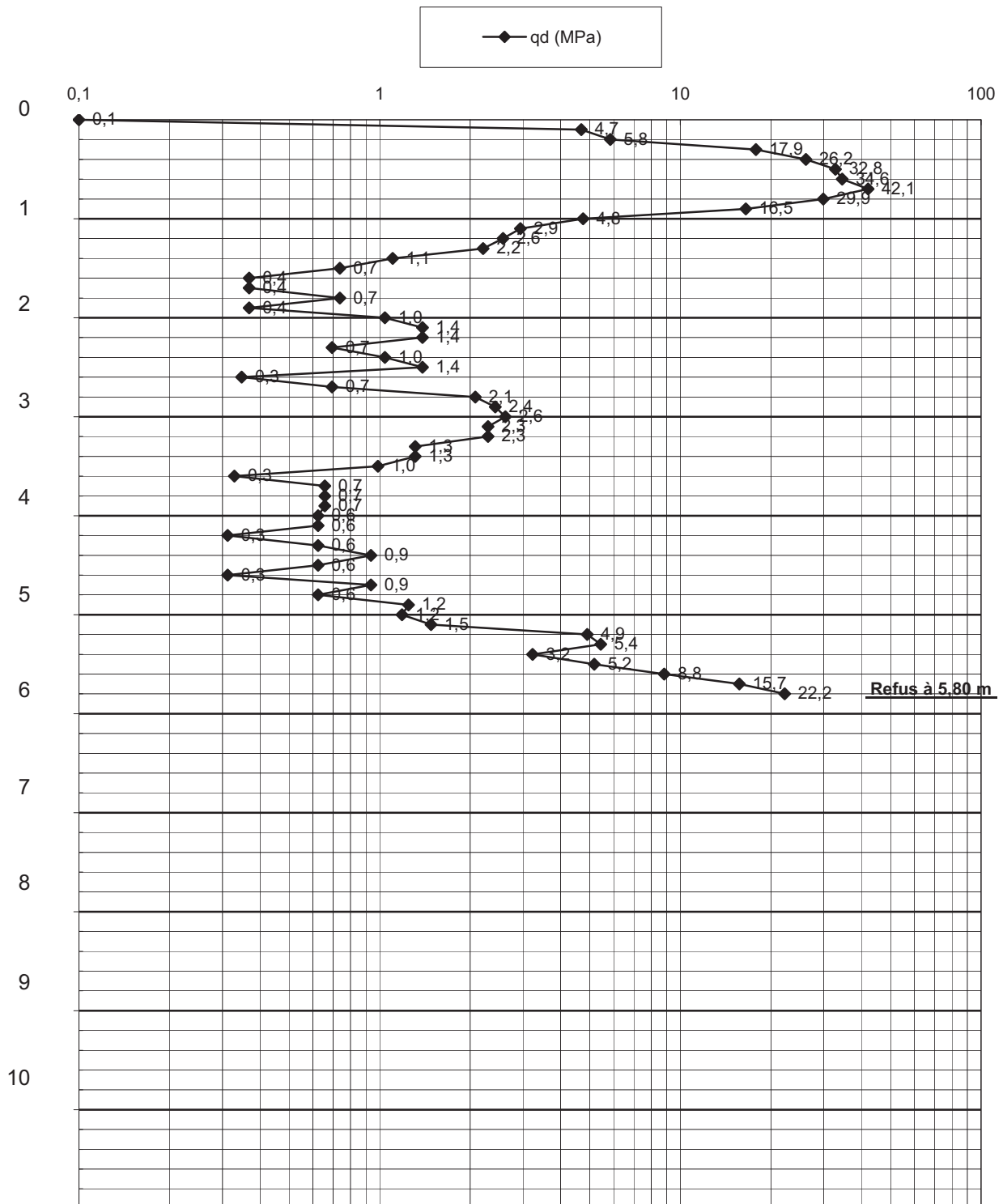
Dossier C.17.42058

Date 17 novembre 2017

**Sondage PD8**

qd= résistance de pointe en MPa

Formule de Redtenbacher



Couche

M1

M2

M3

M4

Eau : pas notoire lors de la foration

## **ANNEXE 5**

### **Missions géotechniques**

## CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPES D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

(Extraite de la norme NFP 94-500 - Novembre 2013)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques.

Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique.

Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

### ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire.

Elle comprend deux phases :

#### Phase Etude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

#### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

### ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

#### Phase Avant-Projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin 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 en prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

#### Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

#### Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Etablir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.



### **ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)**

#### **Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3)**

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT.

Elle comprend deux phases interactives :

##### Phase Etude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Elaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

##### Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Etude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Etablir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

#### **Supervision géotechnique d'exécution (G4)**

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

#### **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. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

## SCHEMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS GÉOTECHNIQUES (Extrait de la norme NFP 94-500 - Novembre 2013)

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
<b>Etape 1 :</b>  <b>étude géotechnique préalable (G1)</b>		Etude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Etude préliminaire, esquisses, APS	Etude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
<b>Etape 2 :</b>  <b>étude géotechnique de conception (G2)</b>	APD/AVP	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Avant Projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Etude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
<b>Etape 3 :</b>  <b>études géotechniques de réalisation (G3/G4)</b>		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Etude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Etude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
<b>A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant</b>	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié