

# ÉTUDE DE DANGERS DES DIGUES DE LA LOIRE DE CLASSE B ET C

## ***3 – Données géotechniques***

*Juin 2017*





UNE EXPERTISE QUI FAIT LA DIFFÉRENCE

**Mars 2015**

**Dossier RCF2.E.093**

**Pièce 2**



## Étude de danger des digues domaniales de classe B et C de la Loire

**Val de Saint Hilaire Fontaine (58)**

**Étude de diagnostic géotechnique (G5)**



**Direction Régionale Centre Est**

**Agence de Dijon**

24 rue René Char 21000 Dijon

Téléphone : 03 80 78 76 60

Télécopie : 03 80 78 76 61



**Direction Départementale des Territoires de la Nièvre**  
**Étude de danger des digues domaniales de classe B et C de la Loire**  
**Val de Saint Hilaire Fontaine (58)**  
**RAPPORT – Étude de diagnostic géotechnique (G5)**

Dossier : RCF2.E.093

Contrat : RDI2.C.0344

Indice	Date	Chef de projet	Visa	Vérfié par	Visa	Contenu	Observations
Provisoire	09/03/2015	A. LETESSIER		D.GAY		148 pages dont 10 annexes	
A	09/06/2015	A. LETESSIER		D.GAY		136 pages dont 10 annexes	Ajout des coordonnées et cotes NGF

*A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.*



## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....</b>	<b>5</b>
1.1 Données générales.....	5
1.2 Documents communiqués.....	5
1.3 Mission GINGER CEBTP .....	5
<b>2. DESCRIPTION DE LA DIGUE ET DE SON CONTEXTE.....</b>	<b>7</b>
2.1 Plans de situation.....	7
2.1.1 Extrait de carte IGN.....	7
2.1.1 Images aériennes.....	8
2.2 Description de la digue .....	9
2.3 Description du site .....	12
2.3.1 Contexte géologique .....	12
2.3.2 Contexte hydrogéologique.....	13
<b>3. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES.....</b>	<b>14</b>
3.1 Préambule .....	14
3.2 Implantation .....	14
3.3 Prospection géophysique.....	18
3.3.1 Profils électromagnétiques.....	18
3.3.2 Profils électriques.....	20
3.4 Sondages et essais géotechniques in situ.....	22
3.4.1 Sondages et essais in situ .....	22
3.4.2 Essais de perméabilité in situ.....	24
3.5 Essais en laboratoire.....	24
<b>4. SYNTHESE DES INVESTIGATIONS BIBLIOGRAPHIQUES ET IN SITU.....</b>	<b>26</b>
4.1 Analyse et synthèse des profils électromagnétiques .....	26
4.2 Analyse et synthèse des profils électriques .....	29
4.1 Analyse et synthèse géotechnique.....	32
4.1.1 Description lithologique.....	32
4.1.2 Caractéristiques géomécaniques.....	34
4.1.3 Caractéristiques physiques des sols.....	34
4.2 Approche hydrogéologique.....	36
4.2.1 Niveaux d'eau.....	36



4.2.1	Perméabilité in situ .....	36
<b>5.</b>	<b>TABLEAUX RECAPITULATIFS .....</b>	<b>37</b>
5.1	Corps de digue .....	37
5.2	Niveau d'assise peu perméable .....	38
5.3	Niveau d'alluvions perméables .....	40
<b>6.</b>	<b>OBSERVATIONS MAJEURES .....</b>	<b>42</b>
ANNEXE 1 :	Notes générales sur les missions géotechniques	
ANNEXE 2 :	Plan d'implantation des sondages et essais	
ANNEXE 3 :	Mesures électromagnétiques (EM31)	
ANNEXE 4 :	Dispositif électrique multiélectrodes (panneaux de résistivité)	
ANNEXE 5 :	Sondages carottés	
ANNEXE 6 :	Sondages pressiométriques	
ANNEXE 7 :	Sondages à la tarière hélicoïdale	
ANNEXE 8 :	Essais de pénétration statique	
ANNEXE 9 :	Essais d'infiltration	
ANNEXE 10 :	Procès verbaux des essais en laboratoire	

## 1. CONTEXTE DE L'ETUDE

### 1.1 Données générales

Nom de l'opération :	Étude de danger des digues domaniales de classe B et C de la Loire
Val étudié :	Val de Saint Hilaire Fontaine
Digues étudiées :	Levée de Tharreau – Levée de Charrin
Communes :	Saint Hilaire Fontaine et Charrin
Code postal :	58 300
Bureau d'études :	BRL Ingénierie
Client :	Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

### 1.2 Documents communiqués

Les documents qui nous ont été communiqués et ont été utilisés dans le cadre de ce rapport sont les suivants :

- Plans et nomenclatures des différentes zones d'étude,
- Localisation des levées sur fond Google earth,
- Profils transversaux en MNT au format informatique.

### 1.3 Mission GINGER CEBTP

La mission de GINGER CEBTP est conforme au contrat n° RDI2.C.0344.

Il s'agit d'une mission de diagnostic géotechnique et géophysique (G5) selon la norme AFNOR NF P 94-500 de novembre 2013 sur les missions d'ingénierie géotechnique dont les objectifs sont les suivants :

- Permettre, un découpage en tronçons homogènes, afin de définir pour chaque tronçon homogène les quatre modèles suivants :
  - le modèle géométrique : définition de la géométrie des matériaux de la digue et de sa fondation, en y distinguant les différents matériaux constituant l'ouvrage ;
  - le modèle géologique : le profil géologique de la fondation de la digue ;
  - le modèle géotechnique : les caractéristiques mécaniques in situ de la digue et de sa fondation ;
  - le modèle hydraulique : la perméabilité de la digue et de sa fondation ;

- Identifier les éventuelles zones de faiblesses en termes de stabilité ou d'étanchéité ;
- Fournir une synthèse des résultats des investigations sous forme de tableaux.

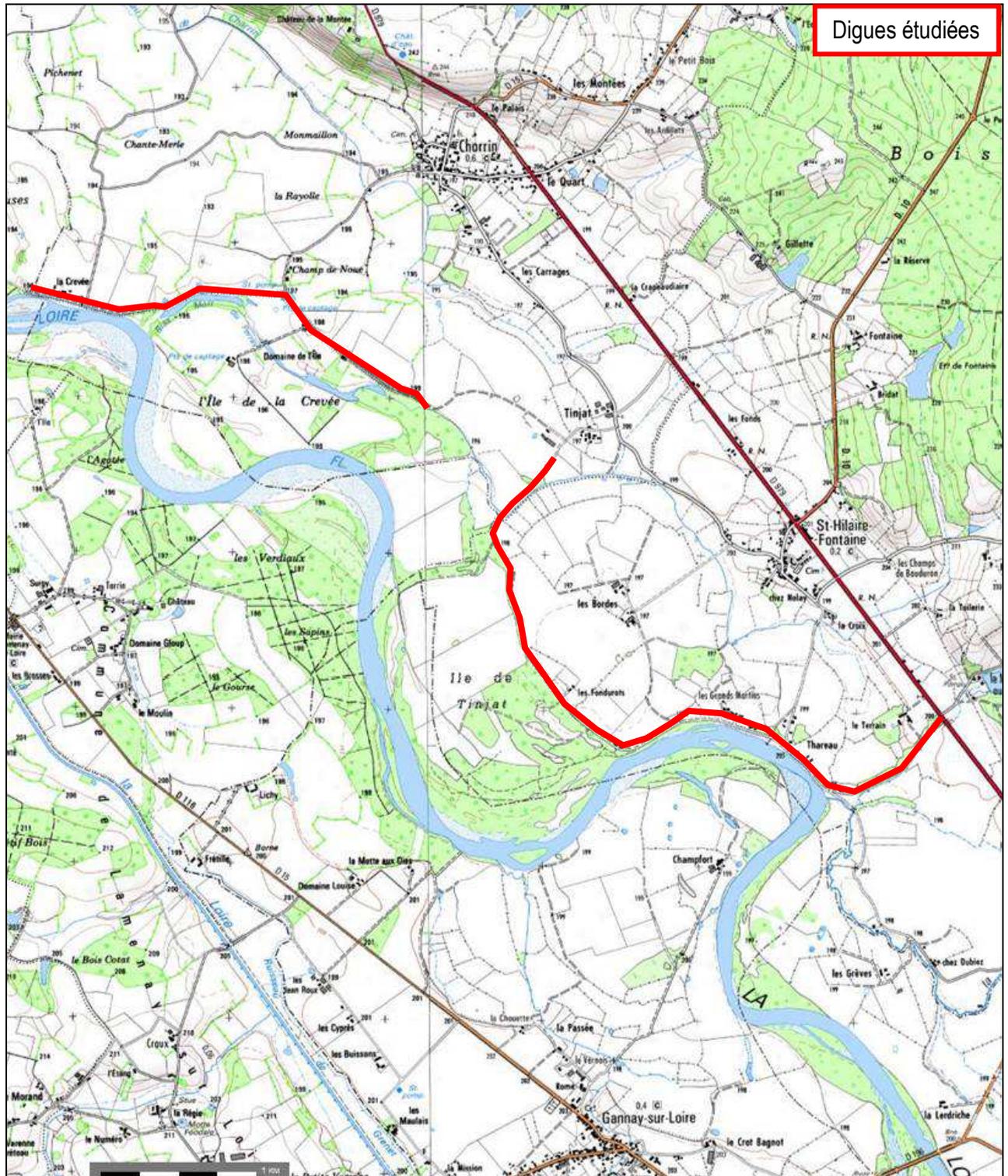
Il convient de rappeler que les aspects non exhaustifs suivants ne font pas partie de la mission :

- la reconnaissance de cavités ;
- l'évolution dans le temps de l'hydrogéologie locale ;
- les études de pollutions ;
- la reconnaissance des anomalies géotechniques situées en dehors de l'emprise des investigations.

## 2. DESCRIPTION DE LA DIGUE ET DE SON CONTEXTE

### 2.1 Plans de situation

#### 2.1.1 Extrait de carte IGN



Source : [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr)

### 2.1.1 Images aériennes



Source : Google earth

## 2.2 Description de la digue

L'ouvrage étudié se situe en rive droite de la Loire sur les territoires communaux de CHARRIN et SAINT HILAIRE FONTAINE (58) et est caractérisé par deux digues distinctes et non jointives (espacées de 850 m, portion sur laquelle il n'existe pas de digue) :

### ➤ La levée de Thareau

Cette digue, située à l'Est, a été aménagée principalement en retrait de la berge, mais on notera le contact vif de la Loire sur un linéaire d'environ 1400 m au niveau de l'extérieur d'un méandre.

Sa hauteur est d'environ 1 à 4 m et sa largeur en crête d'environ 2 à 3 m. Sa longueur est d'environ 4600 m.

Cette digue est carrossable (structure de chaussée légère) de la Route départementale n° 979 au hameau des grands Martins.

Nous notons la présence d'une végétation abondante sur les talus et il a été observé localement des terriers (notamment en aval).

Il est également à mentionner la présence ponctuelle de fossés en eau.

Cette digue protège les hameaux de Thareau et des grands Martins ainsi que quelques habitations isolées. Il existe d'ailleurs des ouvrages encastés dans la digue.

En dehors de ces zones d'habitations, les terrains de part et d'autre de la digue sont principalement des prés, des champs et des bois.





➤ **La levée de Charrin**

Cette digue, située à l'Ouest, a été aménagée principalement en retrait de la berge, mais on notera le contact avec la Loire sur un



linéaire d'environ 500 m au niveau de l'extérieur d'un méandre.

Sa hauteur est d'environ 1 à 3 m et sa largeur en crête d'environ 2 à 3 m. Sa longueur est d'environ 2600 m.

Cette digue est carrossable (structure de chaussée légère ou chemin stabilisé à son extrémité Est) pour permettre l'accès aux quelques habitations isolées.

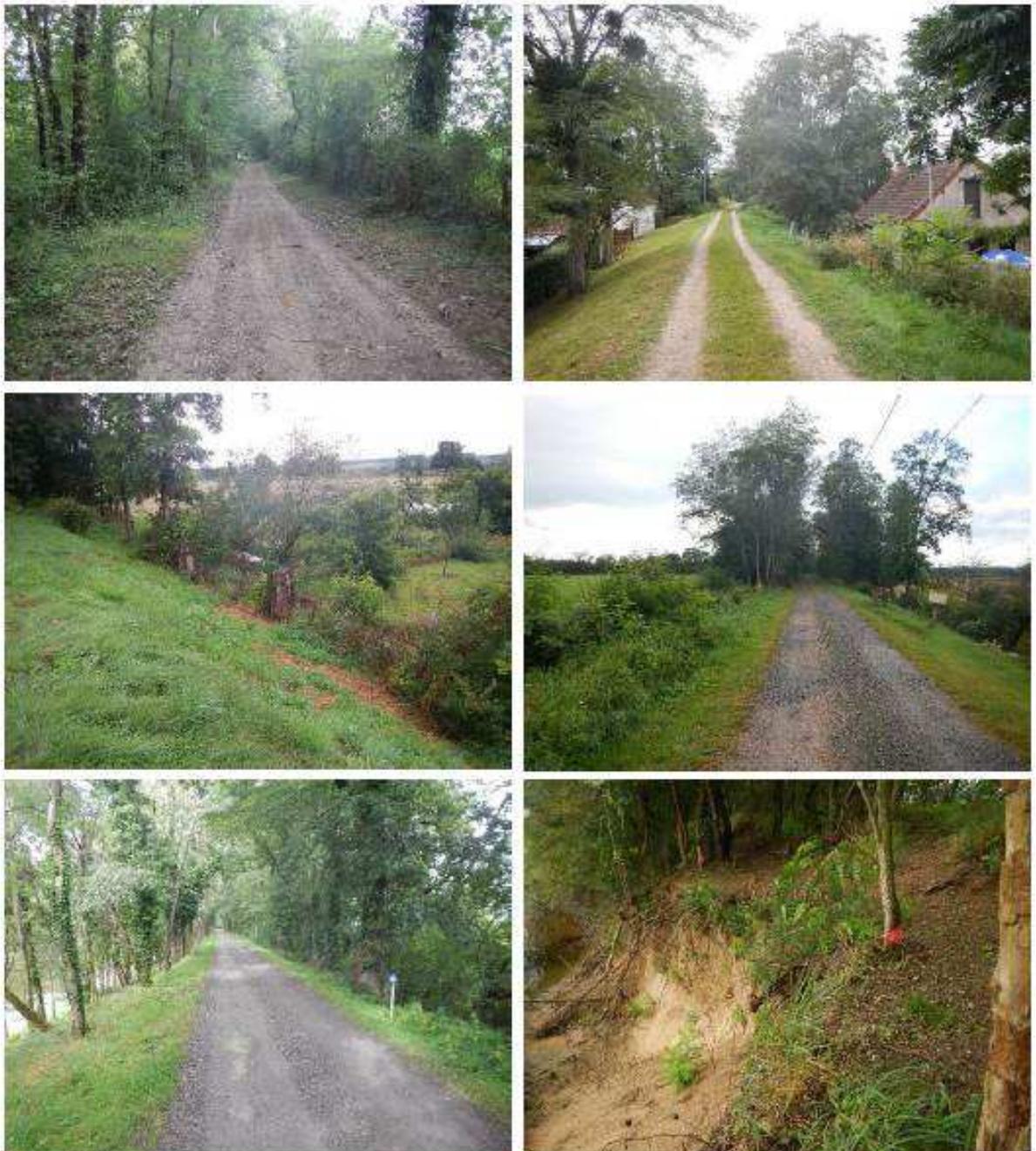


Cette digue protège des habitations isolées dont certaines sont encastrées dans la digue mais il existe aussi des ouvrages côté Loire.

En dehors de ces zones d'habitations, les terrains de part et d'autre de la digue sont principalement des prés, des champs et des bois.

Nous notons la présence d'une végétation abondante sur les talus et il a été observé localement des terriers.

Il est également à mentionner la présence ponctuelle de dépression remplies d'eau (dont certaines sont probablement associées à d'anciennes brèches) et des instabilités au niveau des talus (notamment au niveau du contact avec le lit vif de la Loire).



## 2.3 Description du site

### 2.3.1 Contexte géologique

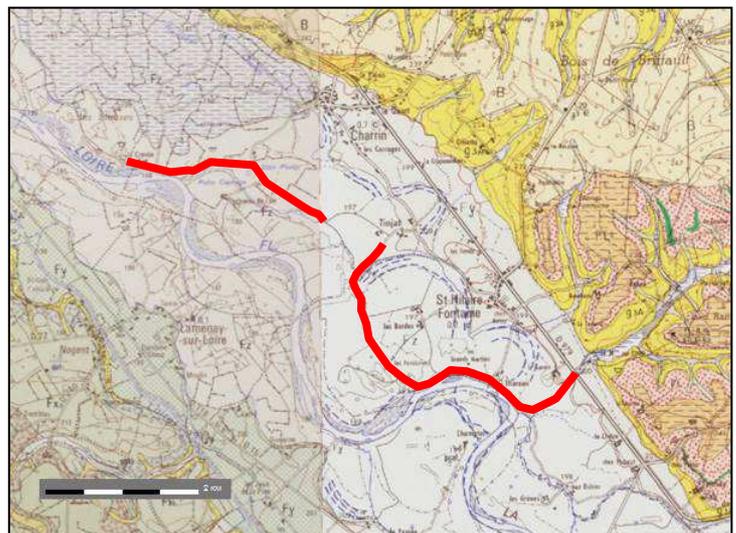
Au cours du quaternaire, l'encaissement progressif du réseau hydrographique est à l'origine du dépôt de terrasses étagées et de la plaine alluviale. Le modelé du relief actuel, lié en majeure partie à l'action des mécanismes alluviaux, résulte également des divers processus de dégradation périglaciaire (colluvionnement, solifluxion).

La nature des alluvions de la Loire et de l'Allier dépend directement des formations géologiques encaissantes.

- formations alluviales modernes et dépôts quaternaires associés : argiles, limons, sables, graviers, galets (roches cristallines, métamorphiques, volcaniques, quartz, silex),
- formations alluviales modernes et dépôts quaternaires associés des vallées secondaires : limons argileux, sables et graviers quartzo-feldspathiques, localement marnes et calcaires altérés et remaniés.

Les formations naturelles susceptibles d'être rencontrées au droit et à proximité du site étudié sont succinctement décrites ci-dessous, sur la base des informations mentionnées dans les cartes géologiques de DORNE et BOURBON LANCY au 1 / 50 000 et des observations faites sur place:

- une couche de terre végétale,
- des remblais de constitution de la digue, potentiellement prélevés dans les terrains environnants et donc de même nature que le terrain naturel,
- une formation alluvionnaire récente du lit majeur de la Loire, à dominante sablo-graveleuse,
- un substratum meuble de l'Oligo-Miocène (argiles localement sableuses, marnes localement calcaires).



	Sables, graviers, galets à éléments de roches cristallines, métamorphiques, volcaniques, de quartz et de silex
	Limons, sables et graviers quartzo-feldspathiques, galets
	Sables et graviers (matériaux d'origine granitique)
	Argiles. Limon argileux
	Galets
	Sables limoneux
	Sables et galets remaniés pour l'essentiel des formations du Bourbonnais
	Colluvions diverses : argiles, sables, graviers, galets
	Limons dérivés pour l'essentiel des matériaux du substratum
	Colluvions essentiellement argileuses
	Formations du Bourbonnais : argiles dominantes (Plio-quaternaire)
	Formations du Bourbonnais : sables grossiers quartzo-feldspathiques (Plio-quaternaire)
	Formations du Bourbonnais : niveaux argileux ou sileux (Plio-quaternaire)
	Argiles vertes, localement sableuses (Oligo-miocène)
	Marnes vertes, localement calcaires, argiles vertes (Oligo-miocène)
	Réseau hydrographique

Source : [www.infoterre.brgm.fr](http://www.infoterre.brgm.fr)

### 2.3.2 Contexte hydrogéologique

D'après notre expérience locale, les formations alluvionnaires sont réputées être le siège d'un aquifère lié à la Loire.

Le toit de l'aquifère fluctue avec le niveau du fleuve.

Par ailleurs des circulations erratiques ne sont pas exclues au sein des formations superficielles en période de nappe basse.

### 3. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

#### 3.1 Préambule

Les moyens de reconnaissance et d'essais ont été définis par BRL Ingénierie et GINGER CEBTP en accord avec la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre.

La plupart des investigations in-situ prévues a pu être réalisée.

En raison de la nature des difficultés d'accès, les sondages et essais suivants n'ont pu être réalisés. En accord avec BRL Ingénierie, les adaptations suivantes ont été réalisées :

- Le sondage SHF-SC7-PDCV (autorisation d'accès sur terrain privé non obtenue) prévu en pied de digue a été décalé en crête et prolongé afin d'atteindre la cote prévue initialement, il a donc été renommé SHF-ST7-CRE,
- L'essai au pénétromètre statique SHF-CPT4-CRE (accès non carrossable car trop boueux du fait des conditions météorologiques) a été remplacé par le sondage pressiométrique SHF-SP4-CRE,
- L'essai au pénétromètre statique SHF-CPT3-CRE (accès non carrossable car trop boueux du fait des conditions météorologiques) a été remplacé par le sondage pressiométrique SHF-SP5-CRE.

#### 3.2 Implantation

L'implantation des sondages et essais in situ figure sur le plan d'implantation joint en annexe 2.

Elle a été définie par BRL Ingénierie et GINGER CEBTP en accord avec la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre puis réalisée par GINGER CEBTP en fonction de la configuration du site, des réseaux, et des possibilités d'accès.







L'altitude des têtes de sondages correspond au niveau du terrain au moment des investigations, dénommé ci-après TA (terrain actuel).

Les altitudes des têtes de sondages ont été estimées d'après le Modèle Numérique de Terrain suite à leur repérage planimétrique au GPS par un technicien.

Les coordonnées géographiques et cotes (repère NGF<sub>69</sub>) des têtes de sondages et extrémités du profil électrique sont les suivantes :

Sondage	Latitude	Longitude	Altitude
SHF-SC1-CRE	N 46° 45' 10.5"	E 3° 38' 7.7"	201.2 m NGF
SHF-SC2-CRE	N 46° 45' 56.6"	E 3° 36' 11.0"	198.8 m NGF
SHF-SC3-CRE	N 46° 46' 31.4"	E 3° 35' 41.6"	196.8 m NGF
SHF-ST1-CRE	N 46° 45' 8.3"	E 3° 37' 46.5"	201.1 m NGF
SHF-ST2-CRE	N 46° 45' 23.1"	E 3° 37' 12.3"	200.3 m NGF
SHF-ST3-PDCV	N 46° 45' 21.8"	E 3° 37' 1.1"	197.1 m NGF
SHF-ST4-CRE	N 46° 45' 28.0"	E 3° 36' 27.0"	199.6 m NGF
SHF-ST5-CRE	N 46° 46' 11.1"	E 3° 36' 19.6"	197.4 m NGF
SHF-ST6-CRE	N 46° 46' 39.2"	E 3° 35' 23.6"	198.2 m NGF
SHF-ST7-CRE	N 46° 46' 45.4"	E 3° 35' 13.7"	198.2 m NGF
SHF-SP1-CRE	N 46° 45' 19.2"	E 3° 37' 29.9"	200.5 m NGF
SHF-SP2-CRE	N 46° 45' 36.0"	E 3° 36' 19.0"	199.6 m NGF
SHF-SP3-CRE	N 46° 46' 53.0"	E 3° 34' 59.6"	198.6 m NGF
SHF-SP4-CRE	N 46° 46' 29.2"	E 3° 35' 48.4"	197.0 m NGF
SHF-SP5-CRE	N 46° 45' 46.7"	E 3° 36' 14.2"	199.3 m NGF
SHF-CPT2-CRE	N 46° 45' 16.5"	E 3° 36' 50.1"	200.0 m NGF
SHF-CPT5-CRE	N 46° 46' 53.0"	E 3° 34' 39.1"	197.8 m NGF
SHF-CPT6-CRE	N 46° 46' 49.6"	E 3° 34' 8.1"	198.0 m NGF

### 3.3 Prospection géophysique

#### 3.3.1 Profils électromagnétiques

De façon générale, la prospection électromagnétique à émetteur proche contrôlé a pour but, par une mesure de la résistivité du sous-sol pour une profondeur d'investigation fixée, de reconnaître les hétérogénéités d'une zone d'étude.

La reconnaissance par méthode EM31 a concerné les tronçons de digues dont le linéaire et l'implantation ont été définis par le bureau BRL ingénierie.

Dans le cadre du diagnostic de digues, la méthode électromagnétique doit avoir pour but de reconnaître la nature des matériaux constitutifs du corps de digue, de préciser son homogénéité et de localiser d'éventuelles anomalies de résistivité pouvant correspondre à des zones de faiblesse, à des infiltrations d'eau, et ponctuellement à des galeries (par exemple : renards hydrauliques).

Matériel de mesure mis en œuvre :

- Enregistreur électromagnétique de marque GEONICS, de type EM31D (Référence CEBTP GPH07242),
- GPS non différentiel puce SIRF-3,
- Ordinateur – logiciel EM31XP (GEONICS)

#### Travaux réalisés

La procédure de mesure décrite ci-après a été élaborée en concertation avec le bureau BRL ingénierie.

Les mesures géophysiques ont été réalisées selon le référentiel AGAP, fiche n°92.1 EMA 21 du code de bonne pratique édité par l'Association pour la qualité en Géophysique Appliquée.

Il a été réalisé, pour chaque section, 1 profil en crête de digue et 1 en pied de digue pour un total de 9440 mètres sur la levée de Thareau et 5994 mètres sur la levée de Charrin. L'espacement entre les points de mesures est d'au maximum 5 mètres.

Voie d'eau	Levée	Mesures	Longueur mesurée
Loire	Thareau	Corps de digue	4 686 ml
Loire	Thareau	Environnement	4 753 ml
Loire	Charrin	Corps de digue	3 013 ml
Loire	Charrin	Environnement	2 980 ml

On distingue 2 modes de mesures avec un EM31, le mode Vertical et Horizontal. Ils permettent d'obtenir des mesures représentant respectivement les tranches de sol d'épaisseur 6 mètres et 3 mètres (Voir annexe fiche méthode EM).

Ces deux modes sont utilisés de façon combinée pour obtenir des mesures représentative du corps de digue ainsi que des mesures représentative de l'environnement géologique autour de la digue.

Pour chaque profil, les coordonnées GPS des points de départ et d'arrivée ont été relevées dans le système de quadrillage métrique selon les coordonnées Mercator Transverse Universel (UTM) fuseau 31 rapportés au système géodésique mondial WGS84.

De plus chaque point de mesure est associé à une coordonnée GPS (coordonnées UTM).

Pour chaque point de mesure ont été relevées :

- En tête de digue - noté HC dans les tableaux annexes :
  - la valeur de la résistivité du sous-sol représentative de la tranche 0/3m du sous-sol en crête de digue,
  - la valeur de la composante en phase du champ électromagnétique, représentative de la tranche 0/3m du sous-sol en crête de digue.
- En pied de digue (coté val ou coté Loire en fonction de l'accessibilité) - notés respectivement HPT et HPL dans les tableaux annexes :
  - la valeur de la résistivité du sous-sol représentative de la tranche 0/3m du sous-sol en pied de digue,
  - la valeur de la composante en phase du champ électromagnétique, représentative de la tranche 0/3m du sous-sol en pied de digue.
- Si le pied inaccessible - noté VC dans les tableaux annexes :
  - la valeur de la résistivité du sous-sol représentative de la tranche 0/6m du sous-sol en crête de digue,
  - la valeur de la composante en phase du champ électromagnétique, représentative de la tranche 0/6m du sous-sol en crête de digue.

NB : lorsque la hauteur de digue ne dépasse pas 5 m, la mesure de la résistivité apparente sur la tranche 0/6 m est alors représentative de l'ensemble corps de digue + sol support. Cette mesure significativement influencée par le soubassement de la digue, elle est donc indicative de la nature lithologique du terrain naturel.

Le traitement des données a consisté en :

- un lissage des courbes de mesure par moyenne glissante sur 10 pts permettant de délimiter les événements de moyenne ampleur (constitution de la digue, reprises de la structure, variations de faciès...);

- l'établissement d'un profil dit « résiduel » permettant de mettre en évidence les variations de résistivité ponctuelles (inférieures à 5 m d'extension) ou peu étendues, susceptibles d'être attribuées à des zones de faiblesse, à des infiltrations d'eau, et ponctuellement à des galeries (renards hydrauliques). A été considérée comme anomalie toute variation ponctuelle de résistivité supérieure ou égale à un seuil de prise en compte de la résiduelle ;
- l'établissement d'un profil dit « de Phase » permettant de mettre en évidence les perturbations du champ dans l'environnement proche de l'appareil de mesure (ponts, palplanches, réseaux, écluses, voies ferrées, lignes électriques, habitations...).

Les résultats de ces essais sont présentés en annexe 3, où l'on trouvera en particulier les renseignements décrits ci-après :

➤ **Profils électromagnétiques :**

- principe de la méthode électromagnétique légère EM31
- profils

### **3.3.2 Profils électriques**

De façon générale, la prospection électrique a pour but de reconnaître le sous-sol d'une zone d'étude en termes de couches (horizons, unités lithologiques...) caractérisées par leur résistivité (en Ohm.m) et leur épaisseur.

Dans le cadre de cette étude, la méthode électrique avait pour but de reconnaître la géométrie du corps de digue existant et du sol-support ainsi que les éventuelles hétérogénéités (variations de faciès, anomalies, discontinuités...) qui affectent ces différentes unités lithologiques. La prospection géophysique vise également l'évaluation de la résistivité des matériaux constitutifs de la digue et du substratum.

Matériel de mesure mis en œuvre :

- Résistivimètre de marque ABEM, de type Terrameter SAS4000 (Référence CEBTP GPH07244),
- Système multi électrodes de marque ABEM, de type Lund ES10-64 (Référence CEBTP GPH07245),
- 2 flûtes de 62 m, 64 électrodes inox & connexions,
- GPS non différentiel de marque GARMIN, de type GPSmap 62S.

### **Travaux réalisés**

Les mesures géophysiques ont été réalisées selon le référentiel AGAP, fiche n°92.1 ELE 31 du code de bonne pratique édité par l'Association pour la qualité en Géophysique Appliquée.

Il a été réalisé, sur les digues du val de Saint Hilaire Fontaine, 10 profils longitudinaux (notés PL) ainsi que 3 profils transversaux (notés PT), selon la configuration de base suivante :

Profil	Levée	Distance inter-électrodes	Nombre d'électrodes	Longueur	Configuration	Profondeur théorique
SHF-PL01 SHF-PL02 SHF-PL03 SHF-PL04 SHF-PL05 SHF-PT01 SHF-PT02	Thareau	2 m	32	62 m	Wenner Schlumberger	Max 12 m
SHF-cha-PL01 SHF-cha-PL02 SHF-cha-PL03 SHF-cha-PL04 SHF-cha-PL05 SHF-cha-PT01	Charrin	2 m	32	62 m	Wenner Schlumberger	Max 12 m

Pour chaque panneau électrique ont été relevées les coordonnées GPS des points de départ et d'arrivée, ainsi que la crête de digue pour les profils transversaux, dans le système de coordonnées métriques UTM (Universal Transverse Mercator) rapportées au système géodésique mondial WGS.

Les données obtenues lors de la prospection électrique ont été traitées et dépouillées à l'aide du logiciel 2D de modélisation par inversion RES2DINV, version 3.4 de Décembre 2001, produit par la société GEOTOMO Software puis mises en forme à l'aide du logiciel SURFER 12, produit par la société GOLDEN Software. La topographie, fournie par BRL, a été prise en compte dans le processus de calcul.

Le traitement des données a consisté en :

- une élimination des mesures jugées aberrantes (moins de 5% de l'ensemble des mesures) et vraisemblablement liées à des éléments perturbateurs (réseaux, murets, routes et chemins...),
- sous RES2DINV, un calcul par inversion mathématique des mesures intégrant un lissage des données et la déformation induite par la topographie (forte topographie sur les profils transversaux),
- sous SURFER 12, une représentation 2D des profils, obtenue par « krigeage ».

Les résultats de ces essais sont présentés en annexe 4, où l'on trouvera en particulier les renseignements décrits ci-après :

➤ **Profils électriques :**

- principe de la méthode électrique multi-électrodes
- synthèse de la prospection géophysique
- sections mesurées, calculées et modélisées

### 3.4 Sondages et essais géotechniques in situ

#### 3.4.1 Sondages et essais in situ

Les investigations suivantes ont été réalisées :

Type de sondage	Quantité	Dénomination*	Profondeur
<b>Sondage carotté</b>	3	SHF-SC1-CRE SHF-SC2-CRE SHF-SC3-CRE	10.0 m/TA 10.0 m/TA 10.0 m/TA
<b>Sondage semi-destructif à la tarière hélicoïdale</b> continue avec enregistrement des paramètres en continu et prélèvement de l'intégralité des cuttings	7	SHF-ST1-CRE SHF-ST2-CRE SHF-ST3-PDCV SHF-ST4-CRE SHF-ST5-CRE SHF-ST6-CRE SHF-ST7-CRE	4.1 m/TA 4.1 m/TA 4.2 m/TA 8.0 m/TA 8.1 m/TA 4.0 m/TA 6.0 m/TA
<b>Sondage destructif</b> avec enregistrement des paramètres en continu et exécution d' <b>essais pressiométriques</b> selon la norme NF P 94-110-1 avec un pas moyen métrique	5	SHF-SP1-CRE SHF-SP2-CRE SHF-SP3-CRE SHF-SP4-CRE SHF-SP5-CRE	6.0 m/TA 6.5 m/TA 6.2 m/TA 10.0 m/TA 6.1 m/TA
<b>Essai au pénétromètre statique</b> de 180 kN selon la norme NF P 94-113	3	SHF-CPT2-CRE SHF-CPT5-CRE SHF-CPT6-CRE	8.7** m/TA 4.9** m/TA 5.1** m/TA

\* la dénomination des sondages a été définie de la façon suivante :

Val	Type de sondage	Ordre	Localisation
SHF : Saint Hilaire Fontaine	SC : Sondage carotté SP : Sondage pressiométrique ST : Sondage à la tarière CPT : Essai au pénétromètre statique	Numéro du sondage	CRE : en crête de digue PDCV : en pied de digue côté val PDCL : en pied de digue côté Loire

\*\* arrêt prématuré à cause du refus de l'outil

La profondeur des sondages est conforme à celle définie au préalable.

Les coupes des sondages et pénétrogrammes sont présentées en annexes 5 à 8, où l'on trouvera en particulier les renseignements décrits ci-après :

➤ **Sondages carottés :**

- coupe détaillée des sols
- photographie des carottes

- diagraphies des paramètres de forage enregistrés
  - vitesse d'avancement instantanée : VIA (m/h)
  - pression sur l'outil : PO (bar)
- **Sondages semi-destructifs à la tarière continue :**
  - coupe des sols
  - formations géologiques correspondantes
  - diagraphies des paramètres de forage enregistrés
    - vitesse d'avancement instantanée : VIA (m/h)
    - pression sur l'outil : PO (bar)
    - couple de rotation : PR (bar)
- **Sondages pressiométriques :**
  - Coupe approximative des sols
  - formations géologiques correspondantes
  - diagraphies des paramètres de forage enregistrés
    - vitesse d'avancement instantanée : VIA (m/h)
    - pression sur l'outil : PO (bar)
    - couple de rotation : PR (bar)
  - résultats des essais pressiométriques
    - module de Ménard :  $E_M$  (MPa)
    - pression limite :  $p_l$  (MPa)
    - pression de fluage :  $p_f$  (MPa)
    - rapport  $E_M/p_l$
- **Essais au pénétromètre stato-dynamique de 180 kN :**
  - résistance statique sur la pointe de 50 cm<sup>2</sup> :  $q_c$  (MPa)
  - frottement latéral sur manchon :  $f_s$  (kPa)
  - rapport de frottement :  $R_f$  (%)

Les résultats précédents sont reportés sur les diagrammes en fonction de la profondeur.

*Nota : les feuilles de sondages peuvent également contenir des informations complémentaires dont les niveaux d'eau éventuels, les incidents de forage, ...*

*Par ailleurs, les forages carotté et pressiométriques de cette campagne d'investigation étant réalisés à l'eau ou à l'air, les niveaux d'eau naturels ne sont pas toujours identifiables ou peuvent être biaisés en raison de leur interférence avec les fluides de forage injectés.*

### 3.4.2 Essais de perméabilité in situ

Les essais suivants ont été réalisés :

Type d'essai de perméabilité in situ	Nombre	Sondage de référence	Profondeur de l'essai
Essai d'injection à charge variable Lefranc ou Nasberg selon la norme NF P94-132	12	SHF-SC1-CRE	1.5 m/TA
		SHF-SC1-CRE	10.0 m/TA
		SHF-SC2-CRE	1.5 m/TA
		SHF-SC2-CRE	6.0 m/TA
		SHF-SC3-CRE	1.5 m/TA
		SHF-SC3-CRE	4.5 m/TA
		SHF-ST1-CRE	4.0 m/TA
		SHF-ST2-CRE	4.0 m/TA
		SHF-ST3-PDCV	1.3 m/TA
		SHF-ST4-CRE	3.4 m/TA
		SHF-ST5-CRE	1.5 m/TA
		SHF-ST6-CRE	3.3 m/TA

Les résultats de ces essais sont présentés en annexe 9, où l'on trouvera en particulier les renseignements décrits ci-après :

- **Essais d'infiltration :**
  - nature des sols
  - infiltration mesurée
  - perméabilité des sols

### 3.5 Essais en laboratoire

Les essais d'identification suivants ont été réalisés :

Type d'essai	Nombre	Norme
Teneur en eau pondérale W	12	NF P 94-050
Analyse granulométrique par tamisage	12	NF P 94-056
Valeur au bleu du sol (VBs)	12	NF P 94-068

Ces essais ont permis de classer les sols selon le GTR (norme NF P 11-300).

Les essais mécaniques suivants ont été réalisés :

Type d'essai	Nombre	Norme
Cisaillement direct consolidé lent (CD) à la boîte de Casagrande	1	NF P 94-071-1
Essai triaxial consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle (CU + u)	3	NF P 94-074

Les résultats de ces essais sont présentés en annexe 10, où l'on trouvera en particulier les renseignements décrits ci-après :

➤ **Essais d'identification des sols :**

- notations relatives aux essais en laboratoire
- résultats des essais décrits ci-avant
- classe du matériau selon le GTR (norme NF P11-300)

*Nota : les prélèvements d'échantillons sont la propriété du Client. Ils seront conservés pendant 3 mois à compter de l'envoi du rapport. S'il le souhaite, le Client pourra donc soit récupérer ses prélèvements, soit demander à ce qu'ils soient conservés. A défaut de demande expresse, les prélèvements seront mis au rebus.*

## 4. SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS BIBLIOGRAPHIQUES ET IN SITU

### 4.1 Analyse et synthèse des profils électromagnétiques

#### Résultats de la reconnaissance

Les documents présentés en annexe 3 sont les suivants :

- Principe de la méthode électromagnétique.
- Synthèse des profils électromagnétiques.

#### Synthèse de la prospection

Sur l'ensemble des profils réalisés, la reconnaissance par méthode électromagnétique permet de caractériser les matériaux constitutifs des corps de digue investigués en termes de résistivité apparente.

#### **Environnement métallique**

L'environnement est considéré comme métallique (palplanches, renforcements, ...) lorsque la résistivité mesurée est inférieure à 8 Ohm.m et lorsque la composante magnétique est supérieure à 5 ppt.

Lorsque seule la composante magnétique est supérieure à 5 ppt, on considère qu'il y a perturbation du champ électromagnétique, sans en déterminer son origine, et la mesure de résistivité n'est alors pas prise en compte.

#### **Classe des matériaux de la digue (lithologie)**

Le pas moyen d'échantillonnage (écart entre deux points de mesure de résistivité) pour l'ensemble de la reconnaissance est de 5 m.

Une valeur de résistivité moyenne établie sur 10 échantillons (mesures de résistivité) peut donc être considérée comme représentative d'une unité de digue de 50 m de longueur.

C'est cette valeur moyenne qui a été utilisée afin d'établir trois classes de matériaux constituant l'ouvrage :

Une section de 50 m de longueur dont la résistivité moyenne est supérieure à 100 Ohm.m sera considérée comme constituée de matériaux sablo-graveleux.

Une section de 50 m de longueur dont la résistivité moyenne est comprise entre 50 et 100 Ohm.m sera considérée comme constituée de matériaux mixtes.

Une section de 50 m de longueur dont la résistivité moyenne est inférieure à 50 Ohm.m sera considérée comme constituée de matériaux argileux.

Classe matériaux digue	Résistivité
Domaine sablo-graveleux	Supérieure à 100 ohm.m
Domaine mixte	Comprise entre 50 et 100 ohm.m
Domaine argileux	Inférieure à 50 ohm.m

### Détermination des anomalies de type 01 et 02

Parmi ce classement des matériaux de la digue, 2 types d'anomalies sont définissables :

- Anomalies de type 01 : Les variations de résistivités affectant plusieurs unités de digue (50m) au sein d'un ensemble considéré comme homogène. Ce type d'anomalie est attribué aux grandes variations de résistivités, changement de lithologie constituant de grandes unités du corps de digue.
- Anomalies de type 02 : Les variations de résistivité affectant principalement une unité de digue. Ce type d'anomalie est attribué à une modification ponctuelle et brusque du matériau constituant le corps de digue.

### Détermination des anomalies résiduelles (type 03)

La résistivité résiduelle est la différence entre la résistivité brute mesurée et la résistivité moyenne décrite précédemment. Elle a été établie afin de faire ressortir les événements ponctuels et de haute fréquence non liés à la lithologie. Ces événements sont considérés comme anomalies de type 3 (la composante magnétique doit être inférieure à 5 ppt pour qu'une anomalie soit définie comme résiduelle et non comme une anomalie due à un environnement métallique).

Pour ces anomalies de type 03, différents seuils ont été fixés en fonction des contrastes de résistivité (amplitude de l'anomalie). Ces différents seuils ont été déterminés en concertation avec le bureau d'étude BRL, chargé du diagnostic global.

Si la résistivité résiduelle est comprise entre 5 et 8 Ohm.m, on considère qu'il s'agit d'une anomalie de faible amplitude.

Si la résistivité résiduelle est comprise entre 8 et 10 Ohm.m, on considère qu'il s'agit d'une anomalie de moyenne amplitude.

Si la résistivité résiduelle est supérieure à 10 Ohm.m, on considère qu'il s'agit d'une anomalie de forte amplitude.

Anomalie de type 3	Résistivité résiduelle
Anomalie de forte amplitude	Supérieure à 10 ohm.m
Anomalie de moyenne amplitude	Comprise entre 8 et 10 ohm.m
Anomalie de faible amplitude	Comprise entre 8 et 5 ohm.m

Ces anomalies de type 3 sont attribuées a des défauts intrinsèques au corps de digue (sans rapport avec la lithologie). Elles peuvent correspondre à :

- des zones de faiblesses,

- des zones de lessivage par circulation d'eau,
- des galeries ponctuelles (renards hydrauliques),
- de fortes variations de résistivité au sein d'une même classe de matériaux (en domaine résistant).

Leur position est précisée par l'indication de la distance de l'anomalie par rapport au début du profil (en mètres) :

121.2

Les profils de résistivité résiduels sont présentés en échelle semi-log.

Les variations ne sont donc pas linéaires. La procédure conditionnelle de calcul accentue l'apparition d'anomalies de type 3 dans les domaines résistants (sableux).

La procédure a été adaptée de façon à mettre en évidence les anomalies en domaine conducteur sans saturer les anomalies en domaine résistants.

## CONCLUSION

La prospection électromagnétique réalisée permet de reconnaître le sous-sol de la zone d'étude en termes de résistivité apparente et donc de préciser l'homogénéité générale de l'ouvrage. Elle permet également de relever des anomalies ponctuelles qui devront faire l'objet d'un traitement et d'une surveillance particulière.

Dans le cas présent, nous retiendrons que :

- les matériaux constitutifs de la levée de Thareau sont à dominante sablo-graveleuse, avec :
  - ponctuellement une matrice argilo-limoneuse sur environ 30 ml autour du PK 860, 150 ml autour du PK 1500,
  - une matrice argilo-limoneuse sur environ 430 ml entre les PK 4090 et 4520,
- Le sol de fondation de la levée de Thareau est à dominante sablo-graveleuse, avec :
  - ponctuellement une matrice argilo-limoneuse (environ 50 ml autour du PK 80, 140 ml autour du PK 1500, 120 ml autour du PK 2150, des lentilles de 20 à 30 ml entre les PK 2350 et 3600),
  - une matrice argilo-limoneuse sur environ 720 ml entre les PK 3840 et 4560.
- les matériaux constitutifs de la levée de Charrin sont à dominante sablo-graveleuse, avec :
  - ponctuellement une matrice argilo-limoneuse sur environ 110 ml autour du PK 6100, 70 ml autour du PK 7100, 20 ml autour du PK 7180,
  - ponctuellement des passages argilo-limoneux sur environ 30 ml autour du PK 6110, 20 ml au niveau du PK 7110,
- Le sol de fondation de la levée de Charrin est à dominante sablo-graveleuse, avec :
  - ponctuellement une matrice argilo-limoneuse sur environ 170 ml autour du PK 6080, 70 ml autour du PK 7100, 40 ml autour du PK 7110,
  - ponctuellement des passages argilo-limoneux sur environ 40 ml autour du PK 6100, 30 ml au niveau du PK 7100.

## 4.2 Analyse et synthèse des profils électriques

### Résultats de la reconnaissance

Les documents présentés en annexe 4 ont les suivants :

- Principe de la méthode électrique multi-électrodes.
- Synthèse de la prospection géophysique :
  - Implantation & nomenclature,
  - Profils géoélectriques.
- Pour chaque profil : section mesurée, calculée et modélisée.

### Synthèse de la prospection

Les résistivités obtenues sur les sections modélisées montrent de bons contrastes et une gamme relativement étendue. Elles s'échelonnent globalement entre 5 Ohm.m et 4000 Ohm.m, avec des écarts importants selon les profils.

Les coupes géoélectriques obtenues permettent de préciser la géométrie du corps de digue et du substratum, ainsi que de définir précisément la nature électrique des différentes unités lithologiques rencontrées.

4 familles géoélectriques principales sont définissables:

- 1 : Horizons de résistivité très faible et globalement comprise entre 5 & 50 Ohm.m, attribués :
  - à des matériaux à dominante argileuse, silteuse et/ou limoneuse. Selon les profils, ces unités lithologiques peuvent correspondre au corps de digue ou à des alluvions de la Loire,
  - à la présence ponctuelle de réseaux ou d'ouvrages anthropiques électriquement conducteurs,
  - au substratum profond.
- 2 : Horizons de résistivité faible à moyenne et globalement comprise entre 50 & 200 Ohm.m, pouvant être assimilés selon les cas :
  - au corps de digue à dominante argilo-limono –sableuse,
  - à des alluvions fluviales de la Loire à dominante argilo-limono-sableuse.
- 3 : Horizons de résistivité moyenne à élevée, globalement comprise entre 200 & 1000 Ohm.m, et pouvant être attribués soit :
  - au corps de digue à dominante sablo-graveleuse,
  - à des alluvions fluviales de la Loire à dominante sablo-graveleuse,
  - au substratum profond.
- 4 : Horizons de résistivité élevée, globalement comprise entre 1000 & 4000 Ohm.m, correspondant vraisemblablement, et selon les cas :



- au corps de digue constitué de matériaux sablo-graveleux au sens strict,
- à des alluvions fluviales de la Loire constituées de matériaux sablo-graveleux au sens strict.
- au substratum profond,
- à des éléments anthropiques électriquement résistants, de surface & subsurface (routes, chemins, remblais, ouvrages bétonnés...).

### Commentaires

- Les interfaces marquées sont liées à d'importants gradients de résistivité. Elles déterminent donc les transitions supposées entre les différents horizons constitutifs du corps de digue et du substratum.
- Les profils géoélectriques présentés en annexe sont des modèles calculés par inversion mathématique des mesures. Les épaisseurs fournies et les limites supposées entre les différents horizons sont donc théoriques.
- Les passages entre les diverses formations géologiques présentant à priori des propriétés de résistivité électrique contrastées (argile et sable par exemple) sont marqués par des gradients et non par des transitions brutales. Cela s'explique à la fois par la mesure géophysique et par le processus d'inversion du signal, qui concourent à lisser les interfaces contrastées.
- Sur les profils transversaux, la prise en compte de la forte topographie des talus de la digue dans le processus d'inversion peut impliquer un lissage de la couche supérieure du corps de digue et peut induire quelques artefacts de calcul dans le processus d'inversion (notamment en fond et bords de panneaux).
- Des anomalies géoélectriques conductrices ou résistives (discontinuités, hétérogénéités avec des variations assez brutales de la résistivité) sont parfois mises en évidence au sein du corps de digue et/ou du terrain naturel. Ces anomalies peuvent correspondre à :
  - des changements rapides de faciès au sein d'un même horizon,
  - la présence d'éléments anthropiques en subsurface (réseaux, traversées de chemins, proximité de maisons d'habitation, ...).
- La présence de la nappe de la Loire à faible profondeur peut avoir une influence sur les mesures réalisées dans le terrain naturel. En effet, l'eau douce (dont la résistivité est estimée entre 50 & 150 Ohm.m) présente dans les formations à dominante sablo-graveleuses aura tendance à faire baisser la résistivité mesurée et inversement pour les formations à dominante argilo-limoneuse.
- Les gammes de résistivité définies par la prospection électrique ne sont pas directement comparables à celle définies lors de la précédente étude EM31. En effet, alors que la résistivité mesurée par méthode électromagnétique est une résistivité dite « apparente » (moyenne pondérée sur une tranche de sol donnée), la résistivité des panneaux électriques est une résistivité dite « vraie » car calculée mathématiquement par inversion des mesures à partir de la résistivité apparente.

## CONCLUSION

Dans le cadre du diagnostic des digues du val de Digoïn, la prospection géophysique réalisée permet de fournir une vision spatiale de la digue existante et du substratum, au droit de la section de résistivité obtenue. Elle permet de préciser la morphologie et la qualité géoélectrique des différentes formations du secteur investigué.

Elle met également en évidence les variations latérales et verticales de faciès ainsi que les hétérogénéités (anomalies) affectant le corps de digue et le terrain naturel.

Les résultats sont synthétisés ci-après :

- Au niveau du profil SHF-PL01, les matériaux constitutifs de la levée de Thareau sont à dominante sablo-graveleuse et le sol de fondation de la levée à dominante argilo-limoneuse, la transition entre les deux étant a priori progressive avec des sols dit mixtes (sablo-graveleux à matrice argilo-limoneuse devenant argilo-limoneux),
- Au niveau du profil SHF-PL02, les matériaux constitutifs de la levée de Thareau sont mixtes (sables et graviers avec une matrice argilo-limoneuse plus ou moins abondante, voire des poches de sols argilo-limoneux) et le sol de fondation de la levée à dominante sablo-graveleuse, la transition entre les deux étant a priori progressive,
- Au niveau du profil SHF-PT01 situé perpendiculairement à la digue de Thareau, on note que côté Loire, les sols sont à dominante sablo-graveleuse sans fines alors que côté Val, ils sont plus mixtes avec une matrice argilo-limoneuse plus ou moins abondante ; des lentilles à dominante argilo-limoneuse sont présentes dans le sol de fondation, les terrains étant ensuite mixtes à sablo-graveleux,
- Au niveau du profil SHF-PL03, les matériaux constitutifs de la levée de Thareau sont à dominante sablo-graveleuse et le sol de fondation de même nature mais avec une matrice argilo-limoneuse devant plus abondante en profondeur,
- Au niveau du profil SHF-PL04, les matériaux constitutifs de la levée de Thareau sont à dominante sablo-graveleuse et le sol de fondation de la levée à dominante argilo-limoneuse, la transition entre les deux étant a priori progressive avec des sols dit mixtes,
- Au niveau du profil SHF-PL05, les matériaux constitutifs de la levée de Thareau ainsi que ceux du sol de fondation sont à dominante sablo-graveleuse avec une matrice argilo-limoneuse sur une vingtaine de mètres, puis on note un passage d'une dizaine de mètres à dominante argilo-limoneuse, et enfin des sols sablo-graveleux sur une trentaine de mètres ; en profondeur, les sols ont tendance à avoir une dominante argilo-limoneuse,
- Au niveau du profil SHF-PT02 situé perpendiculairement à la digue de Thareau, on note que côté Loire, les sols sont à dominante sablo-graveleuse avec une matrice argilo-limoneuse plus abondante que côté Val,
- Au niveau des profils SHF-cha-PL01 et SHF-cha-PL02, les matériaux constitutifs de la levée de Charrin sont à dominante argilo-limoneuse avec une épaisseur croissante vers l'Ouest et le sol de

fondation de la levée à dominante sablo-graveleuse, la transition entre les deux étant a priori progressive avec des sols dit mixtes,

- Au niveau du profil SHF-cha-PT01 situé perpendiculairement à la digue de Charrin, on note que les matériaux constitutifs de la digue et les sols de fondation sont à dominante sablo-graveleuse,
- Au niveau du profil SHF-cha-PL03, les matériaux constitutifs de la levée de Charrin sont à dominante argilo-limoneuse avec une épaisseur croissante vers l'Ouest et le sol de fondation de la levée à dominante sablo-graveleuse sur environ 30 mètres, puis argilo-limoneux à mixtes vers l'Ouest,
- Au niveau du profil SHF-cha-PL04, les matériaux constitutifs de la levée de Charrin sont à dominante sablo-graveleuse et le sol de fondation de la levée à dominante argilo-limoneuse puis à sablo-graveleuse en profondeur,
- Au niveau du profil SHF-cha-PL05, les matériaux constitutifs de la levée de Charrin sont à dominante sablo-graveleuse et le sol de fondation de la levée sablo-graveleuse sans fine.

Le détail des résultats obtenus est présenté en annexe.

## **4.1 Analyse et synthèse géotechnique**

### **4.1.1 Description lithologique**

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser les coupes géotechniques schématiques suivantes (hors les horizons de couverture tels que la terre végétale et les structures de surface telles que les voiries ou chemin stabilisés avec une grave).

#### **Remarques :**

- la profondeur des formations est donnée par rapport au terrain tel qu'il était au moment de la reconnaissance ;
- nous rappelons qu'il n'est pas toujours évident de distinguer les variations horizontales et/ou verticales éventuelles, inhérentes aux changements de faciès, compte tenu de la surface investiguée par rapport à celle concernée par le projet ; de ce fait, les caractéristiques indiquées précédemment ont un caractère représentatif mais non absolu ;
- l'épaisseur des remblais peut fortement varier ;
- les différentes formations naturelles rencontrées, de part leur nature alluvionnaire, peuvent présenter d'importantes variations verticales et horizontales de faciès et contenir des passages argileux plus ou moins importants (poches ponctuelles à horizon plus large) ;
- les graves ont été exploitées dans le secteur, notamment pour l'édification de cette digue, mais également pour d'autres ouvrages : des zones de mitage de plus faibles dimensions ne sont pas exclues : des surépaisseurs ponctuelles de remblais peuvent donc correspondre à d'anciennes zones d'emprunt, officielles et répertoriées ou non.

Le tableau ci-dessous synthétise la lithologie rencontrée au droit de chaque sondage, les profondeurs étant en mètres et les sondages dans l'ordre de l'amont vers l'aval :

Levée	THAREAU											
	Tronçon homogène	T1	T2		T3	T4		T5	T6		T7	
	Formations	SHF-SC1-CRE	SHF-ST1-CRE	SHF-SP1-CRE	SHF-ST2-CRE	SHF-ST3-PDCV	SHF-CPT2-CRE	SHF-ST4-CRE	SHF-SP2-CRE	SHF-SP5-CRE	SHF-SC2-CRE	SHF-ST5-CRE
1a - Argile limoneuse	-	-	-	-	-	0.9 – 1.8 <sup>(e)</sup> m	-	-	-	-	-	-
1b - Limon ou argile sableux	-	-	0.5 – 6.0* m	-	0.0 – 1.7 m 2.7 – 4.2* m	0.0 – 0.9 <sup>(e)</sup> m	0.0 – 3.6 m	3.5 – 4.3 m 5.5 – 6.5* m	-	0.0 – 4.5 m	-	-
2a - Sables plus ou moins limoneux à argileux	2.0 – 4.4 m	-	-	2.8 – 4.1* m	1.7 – 2.7 m	1.8 – 8.7 <sup>(e)**</sup> m	-	0.0 – 3.5 m 1.0 4.3 – 5.5 m	0.0 – 1.6 m	4.5 – 5.0 m	-	-
2b - Sables et graviers limoneux	0.1 – 2.0 m 4.4 – 8.0 m	0.3 – 4.0* m	-	0.2 – 2.6 m	-	-	-	-	-	-	-	-
3a - Sables	-	-	-	-	-	-	6.0 – 8.0* m	-	1.6 – 6.1* m	5.0 – 6.0 m	-	-
3b - Sables et graviers	-	-	-	-	-	-	3.6 – 6.0 m	-	-	6.0 – 7.0 m	-	-
3c - Sables, graviers et galets	8.0 – 10.0* m	-	-	2.6 – 2.8 m	-	-	-	-	-	7.0 – 10.0* m	0.3 – 8.1* m	-

Levée	CHARRIN							
	Tronçon homogène	T1		T2	T3	T4		
	Formations	SHF-SP4-CRE	SHF-SC3-CRE	SHF-ST6-CRE	SHF-ST7-CRE	SHF-SP3-CRE	SHF-CPT5-CRE	SHF-CPT6-CRE
1a - Argile limoneuse	-	-	-	-	-	-	-	-
1b - Limon ou argile sableux	0.0 – 2.3 m	0.0 – 2.4 m	-	-	0.9 – 3.8 m 4.4 – 5.4 m	-	-	-
2a - Sables plus ou moins limoneux à argileux	-	-	-	-	3.8 – 4.4 m	0.0 – 3.5 <sup>(e)</sup> m 4.3 – 4.9 <sup>(e)**</sup> m	0.0 – 4.3 <sup>(e)</sup> m	-
2b - Sables et graviers limoneux	-	-	0.0 – 2.0 m	-	0.3 – 0.9 m	-	-	-
3a - Sables	-	2.4 – 8.0 m	-	0.0 – 4.0 m	5.4 – 6.2* m	3.5 – 4.3 <sup>(e)</sup> m	4.3 – 5.1 <sup>(e)**</sup> m	-
3b - Sables et graviers	2.3 – 5.5 m	-	2.0 – 4.0* m	4.0 – 6.0* m	-	-	-	-
3c - Sables, graviers et galets	5.5 – 10.0* m	8.0 – 10.0** m	-	-	-	-	-	-

\* Arrêt du sondage

\*\* Refus de l'outil

<sup>(e)</sup> Nature et profondeur extrapolées à partir des essais au pénétromètre statique

- Formation absente ou non reconnue

#### 4.1.2 Caractéristiques géomécaniques

Le tableau ci-dessous donne la synthèse géomécanique des différentes formations :

Formation	Coefficient de rhéologie du sol $\alpha$	Pression limite PI	Module de Ménard $E_M$	Résistance de pointe $q_c$	Frottement sur les tiges $f_s$
1b - Limon argileux et sableux (digue)	1/2	0.4 à 0.5 MPa	4 à 5 MPa	3 à 5 MPa	50 à 150 kPa
1b - Limon argileux et sableux (terrain naturel)	1/2	0.5 à 1.0 MPa	4 à 16 MPa	6 à 10 MPa	150 à 300 kPa
1b - Argile sableuse (digue)	2/3	1.1 à 1.4 MPa	8 à 16 MPa	-	-
1a - Argile (terrain naturel)	2/3	-	-	2 MPa	250 à 300
1a - Argile limoneuse (terrain naturel)	2/3	-	-	2 à 3 MPa	50 à 100 kPa
2a - Sables limoneux ou argileux (digue)	1/3	0.5 à 0.6 MPa	6 à 7 MPa	5 à 8 MPa	50 à 100 kPa
2a - Sables limoneux ou argileux (terrain naturel)	1/3	0.8 à 1.3 MPa	9 à 12 MPa	5 à 10 MPa	50 à 100 kPa
2b - Sables et graviers limoneux ou argileux (terrain naturel)	1/3	0.5 à 0.7 MPa	2 à 5 MPa	-	-
3a - Sables	1/3	0.6 à 1.6 MPa	5 à 13 MPa	10 à 20 MPa	50 à 150 kPa
3c - Sables, graviers et galets	1/4	2.9 à 3.9 MPa	15 à 21 MPa	> 50 MPa (refus)	-

#### 4.1.3 Caractéristiques physiques des sols

Les procès verbaux des essais en laboratoire sont insérés en annexe 9, les résultats de ces essais sont synthétisés ci-après.

Dans le tableau ci-dessous sont reportés les résultats des essais d'identification :

Sondage	Formation	Profondeur	Teneur en eau W	Valeur au Bleu du sol VBs	Analyse granulométrique								Classe GTR
					Argiles et limons	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers	Graviers	Graves moyennes	Graves	Dmax	
					Passant à 80 $\mu$ m	Passant à 200 $\mu$ m	Passant à 500 $\mu$ m	Passant à 2 mm	Passant à 5 mm	Passant à 20 mm	Passant à 50 mm		
SHF-ST1-CRE	2a - Sables très limoneux et légèrement graveleux	2.0-3.0 m	8.9 %	1.02	35 %	44 %	54 %	78 %	90 %	99 %	100 %	31.5 mm	A <sub>1</sub>
SHF-ST2-CRE	2b - Sables et graviers légèrement limoneux	1.0-2.0 m	5.8 %	0.21	8 %	13 %	34 %	78 %	91 %	100 %	100 %	20 mm	B <sub>2</sub>

Sondage	Formation	Profondeur	Teneur en eau W	Valeur au Bleu du sol VBs	Analyse granulométrique								Classe GTR
					Argiles et limons	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers	Graviers	Graves moyennes	Graves	Dmax	
					Passant à 80 µm	Passant à 200 µm	Passant à 500 µm	Passant à 2 mm	Passant à 5 mm	Passant à 20 mm	Passant à 50 mm		
SHF-ST4-CRE	1a - Limon sableux	1.1-2.0 m	13.2 %	1.35	57 %	67 %	78 %	93 %	98 %	100 %	100 %	20 mm	A <sub>1</sub>
SHF-ST4-CRE	1b - Limon sableux et légèrement graveleux	2.2-3.0 m	6.7 %	1.21	51 %	60 %	71 %	85 %	94 %	100 %	100 %	20 mm	A <sub>1</sub>
SHF-ST5-CRE	3c - Sables, graviers et graves	2.0-4.0 m	6.7 %	0.07	2 %	3 %	11 %	40 %	68 %	100 %	100 %	31.5 mm	D <sub>2</sub>
SHF-ST6-CRE	2b - Sables et graviers limoneux	0.0-2.0 m	12.9 %	0.61	19 %	27 %	67 %	88 %	95 %	100 %	100 %	20 mm	B <sub>5</sub>
SHF-SC1-CRE	2a - Sables fins à moyens très limoneux	3.4-3.7 m	21.8 %	1.78	37 %	70 %	96 %	100 %	100 %	100 %	100 %	2 mm	A <sub>1</sub>
SHF-SC1-CRE	2b - Sables et graviers légèrement limoneux	4.4-5.0 m	14.6 %	0.39	11 %	16 %	42 %	78 %	89 %	98 %	100 %	31.5 mm	B <sub>2</sub>
SHF-SC2-CRE	1b - Limon sableux	1.6-2.0 m	17.0 %	1.60	77 %	86 %	97 %	100 %	100 %	100 %	100 %	2 mm	A <sub>1</sub>
SHF-SC2-CRE	1b - Limon argileux et sableux	3.0-3.4 m	14.9 %	2.50	83 %	93 %	97 %	100 %	100 %	100 %	100 %	1 mm	A <sub>1</sub>
SHF-SC2-CRE	1b - Limon argileux et sableux	3.6-4.0 m	19.3 %	2.60	86 %	90 %	94 %	99 %	100 %	100 %	100 %	5 mm	A <sub>2</sub>
SHF-SC3-CRE	1b - Argile sableuse	1.6-1.7 m	18.9 %	5.50	90 %	92 %	93 %	98 %	100 %	100 %	100 %	5 mm	A <sub>2</sub>

Dans le tableau ci-dessous sont reportés les résultats des essais mécaniques à long terme :

Sondage	Formation	Profondeur	Teneur en eau W	Masse volumique humide $\rho_h$	Masse volumique sèche $\rho_d$	Cohésion C'	Angle de frottement $\phi'$
SHF-SC1-CRE	2a - Sables fins à moyens très limoneux	3.4-3.7 m	21.0 %	2.0 t/m <sup>3</sup>	1.6 t/m <sup>3</sup>	4 kPa	32 °
SHF-SC2-CRE	1b - Limon sableux	1.6-2.0 m	19.5 %	1.9 t/m <sup>3</sup>	1.6 t/m <sup>3</sup>	18 kPa	27 °
SHF-SC2-CRE	1b - Limon argileux et sableux	3.6-4.0 m	23.0 %	2.0 t/m <sup>3</sup>	1.6 t/m <sup>3</sup>	23 kPa	26 °
SHF-SC3-CRE	1b - Argile sableuse	1.2-1.6 m	19.0 %	2.0 t/m <sup>3</sup>	1.6 t/m <sup>3</sup>	20 kPa	37 °

## 4.2 Approche hydrogéologique

### 4.2.1 Niveaux d'eau

Des arrivées d'eau ont été identifiées aux profondeurs suivantes dans les sondages lors des investigations.

Sondages	SHF-SC1-CRE	SHF-SP4-CRE	SHF-SC3-CRE	SHF-ST7-CRE	SHF-SP3-CRE	SHF-SP1-CRE	SHF-ST3-PDCV	SHF-SP2-CRE	SHF-SP5-CRE	SHF-SC2-CRE	SHF-ST5-CRE
Profondeur	6.0 m	2.7 m	7.0 m	5.0 m	4.6 m	5.0 m	1.4 m	4.4 m	4.2 m	5.5 m	3.5 m

Toutefois, nous rappelons que :

- les forages destructifs et carottés ayant été réalisés à l'eau, il est possible que les niveaux d'eau réels n'aient pas été reconnus,
- les essais de pénétration statique permettent rarement de déceler ou de localiser les niveaux d'eau dans le sol étant donné le frottement des tiges lors de leur pénétration dans les formations.

Dans ce contexte, il existe une nappe liée à la Loire et baignant les terrains alluvionnaires sablo-graveleux, le niveau de cette nappe pouvant fortement fluctuer.

Des circulations d'eau sont également possibles au travers de la digue et au sein des terrains de surface ainsi que ponctuellement des poches de stagnation au toit des horizons moins perméables.

### 4.2.1 Perméabilité in situ

Afin d'estimer la perméabilité des terrains en place, des essais d'infiltration de type Lefranc ou Nasberg en injection à charge variable ont été réalisés. Les PV de ces essais sont présentés en annexe 8, les résultats de ces essais synthétisés sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Nature du sol	Sondage	Profondeur	Coefficient de perméabilité K
2a - Sables argileux	SHF-SC1-CRE	1.5 m/TA	$1.10^{-7}$ m/s
2b - Sables et graviers argileux	SHF-SC1-CRE	10.0 m/TA	$3.10^{-5}$ m/s
1b - Limon sableux	SHF-SC2-CRE	1.5 m/TA	$2.10^{-6}$ m/s
3b - Sables et graviers	SHF-SC2-CRE	7.5 m/TA	$4.10^{-6}$ m/s
2a - Sables argileux	SHF-SC3-CRE	1.5 m/TA	$1.10^{-7}$ m/s
2a - Sables argileux	SHF-SC3-CRE	4.5 m/TA	$6.10^{-6}$ m/s
2a - Sables argileux	SHF-ST1-CRE	4.0 m/TA	$8.10^{-6}$ m/s
2a - Sables argileux	SHF-ST2-CRE	4.0 m/TA	$6.10^{-6}$ m/s
2a - Sables argileux	SHF-ST3-PDCV	1.3 m/TA	$4.10^{-6}$ m/s
1b - Limons sableux et graveleux	SHF-ST4-CRE	3.8 m/TA	$3.10^{-6}$ m/s
3c - Sables, graviers et graves	SHF-ST5-CRE	1.5 m/TA	$2.10^{-6}$ m/s
3c - Sables, graviers et graves	SHF-ST6-CRE	1.5 m/TA	$3.10^{-6}$ m/s

Remarques :

- les essais de type Nasberg ont tendance à sous-estimer la perméabilité des sols lorsque leur coefficient de perméabilité « k » est inférieur à  $10^{-3}$  m/s en raison d'un colmatage inéluctable de la cavité par l'injection d'eau ;
- nous rappelons qu'il s'agit d'essais ponctuels mesurant la perméabilité sur une surface très limitée par rapport au terrain étudié. Des variations latérales ne sont donc pas exclues.

## 5. TABLEAUX RECAPITULATIFS

### 5.1 Corps de digue

Sondages et essais	Caractéristique tronçon homogène				Caractéristiques du corps de Digue							
	Tronçon	Début	Fin	Linéaire	Lithologie	$\gamma_h$	Cote de la base	Niveau d'eau éventuel	Epaisseur	Perméabilité	C'	$\phi'$
SHF-PL01 SHF-SC1-CRE	THAREAU T1	PK 0	PK 830	830 ml	2a - Sables argileux et légèrement graveleux	19 kN/m <sup>3</sup>	199.0 m NGF	-	2.0 m	1x10 <sup>-7</sup> m/s	5	30
SHF-PL02 SHF-PT01 SHF-ST1-CRE SHF-SP1-CRE	THAREAU T2	PK 830	PK 1620	790 ml	2b - Sables et graviers limoneux	19 kN/m <sup>3</sup>	199.0 m NGF	-	1.5 m	3x10 <sup>-6</sup> m/s	5	30
SHF-ST2-CRE	THAREAU T3	PK 1620	PK 2070	450 ml	2b - Sables et graviers légèrement limoneux	19 kN/m <sup>3</sup>	198.0 m NGF	-	2.5 m	3x10 <sup>-6</sup> m/s	5	30
SHF-PL03 SHF-CPT2-CRE	THAREAU T4	PK 2070	PK 2520	450 ml	1b - Limon sableux	19 kN/m <sup>3</sup>	199.0 m NGF	-	1.0 m	5x10 <sup>-6</sup> m/s	15	25
SHF-ST4-CRE	THAREAU T5	PK 2520	PK 3260	740 ml	1b - Limon argileux et sableux	19 kN/m <sup>3</sup>	197.5 m NGF	-	2.0 m	3x10 <sup>-6</sup> m/s	15	25
SHF-SP2-CRE SHF-SP5-CRE	THAREAU T6	PK 3260	PK 3810	550 ml	2a - Sable limoneux	19 kN/m <sup>3</sup>	198.0 m NGF	-	1.5 m	5x10 <sup>-6</sup> m/s	5	30
SHF-PL04 SHF-PL05 SHF-PT02 SHF-SC2-CRE SHF-ST5-CRE	THAREAU T7	PK 3810	PK 4690	880 ml	1b - Limon sableux	19 kN/m <sup>3</sup>	195.0 m NGF	-	3.0 m	1x10 <sup>-6</sup> m/s	18 kPa	27°

Sondages et essais	Caractéristique tronçon homogène				Caractéristiques du corps de Digue							
	Tronçon	Début	Fin	Linéaire	Lithologie	$\gamma_h$	Cote de la base	Niveau d'eau éventuel	Epaisseur	Perméabilité	C'	$\phi'$
SHF-cha-PL01 SHF-cha-PL02 SHF-SC3-CRE SHF-SP4-CRE	CHARRIN T1	PK 5380	PK 6440	1060 ml	1b - Argile sableuse	19 kN/m <sup>3</sup>	195.5 m NGF	-	2.5 m	1x10 <sup>-7</sup> m/s	37 kPa	20 °
SHF-cha-PT01 SHF-ST6-CRE SHF-ST7-CRE	CHARRIN T2	PK 6440	PK 7050	610 ml	2a - Sables plus ou moins limoneux	19 kN/m <sup>3</sup>	196.0 m NGF	-	2.0 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	30 °
SHF-cha-PL03 SHF-SP3-CRE	CHARRIN T3	PK 7050	PK 7600	550 ml	2a - Sables limoneux et légèrement graveleux	19 kN/m <sup>3</sup>	197.5 m NGF	-	1.0 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	30 °
SHF-cha-PL04 SHF-cha-PL05 SHF-CPT5-CRE SHF-CPT6-CRE	CHARRIN T4	PK 7600	PK 8830	1230 ml	2a - Sable plus ou moins limoneux	19 kN/m <sup>3</sup>	196.5 m NGF	-	1.5 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	35 °

## 5.2 Niveau d'assise peu perméable

Sondages et essais	Caractéristique tronçon homogène				Caractéristiques du niveau d'assise peu perméable							
	Tronçon	Début	Fin	Linéaire	Lithologie	$\gamma_h$	Cote de la base	Niveau d'eau éventuel	Epaisseur	Perméabilité	C'	$\phi'$
SHF-PL01 SHF- SC1-CRE	THAREAU T1	PK 0	PK 830	830 ml	-							
SHF-PL02 SHF-PT01 SHF-ST1-CRE SHF-SP1-CRE	THAREAU T2	PK 830	PK 1620	790 ml	1b - Limon argileux et sableux à sables très limoneux	19 kN/m <sup>3</sup>	198.5 m NGF	-	5.5 m	6x10 <sup>-6</sup> m/s	10 kPa	25 °

Sondages et essais	Caractéristique tronçon homogène				Caractéristiques du niveau d'assise peu perméable							
	Tronçon	Début	Fin	Linéaire	Lithologie	$\gamma_h$	Cote de la base	Niveau d'eau éventuel	Epaisseur	Perméabilité	C'	$\phi'$
SHF-ST2-CRE	THAREAU T3	PK 1620	PK 2070	450 ml	-							
SHF-PL03 SHF-ST3-PDCV SHF-CPT2-CRE	THAREAU T4	PK 2070	PK 2520	450 ml	1a - Limon argileux	19 kN/m <sup>3</sup>	198.0 m NGF	-	1.0 m	1x10 <sup>-8</sup> m/s	25 kPa	20 °
SHF-ST4-CRE	THAREAU T5	PK 2520	PK 3260	740 ml	-							
SHF-SP2-CRE SHF-SP5-CRE	THAREAU T6	PK 3260	PK 3810	550 ml	-							
SHF-PL04 SHF-PL05 SHF-PT02 SHF-SC2-CRE SHF-ST5-CRE	THAREAU T7	PK 3810	PK 4690	880 ml	1b - Limon sableux à argile sableuse	20 kN/m <sup>3</sup>	193.5 m NGF	-	1.5 m	1x10 <sup>-7</sup> m/s	23 kPa	26 °
SHF-cha-PL01 SHF-cha-PL02 SHF-SC3-CRE SHF-SP4-CRE	CHARRIN T1	PK 5380	PK 6440	1060 ml	-							
SHF-cha-PT01 SHF-ST6-CRE SHF-ST7-CRE	CHARRIN T2	PK 6440	PK 7050	610 ml	-							
SHF-cha-PL03 SHF-SP3-CRE	CHARRIN T3	PK 7050	PK 7600	550 ml	1b - Limon sableux	20 kN/m <sup>3</sup>	194.5 m NGF	-	3.0 m	1x10 <sup>-7</sup> m/s	20 kPa	25 °
SHF-cha-PL04 SHF-cha-PL05 SHF-CPT5-CRE SHF-CPT6-CRE	CHARRIN T4	PK 7600	PK 8830	1230 ml	-							

### 5.3 Niveau d'alluvions perméables

Sondages et essais	Caractéristique tronçon homogène				Caractéristiques du niveau d'alluvions perméables							
	Tronçon	Début	Fin	Linéaire	Lithologie	$\gamma_h$	Cote de la base	Niveau d'eau éventuel	Epaisseur	Perméabilité	C'	$\phi'$
SHF-PL01 SHF-SC1-CRE	THAREAU T1	PK 0	PK 830	830 ml	2a - Sables limoneux à argileux	20 kN/m <sup>3</sup>	196.5 m NGF	6 m	2.5 m	1x10 <sup>-7</sup> m/s	4 kPa	32 °
					2a - Sables et graviers légèrement limoneux	20 kN/m <sup>3</sup>	193.0 m NGF		3.5 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	2 kPa	35 °
					3c - Sables, graviers et galets	20 kN/m <sup>3</sup>	191.0 m NGF		2.0 m	3x10 <sup>-5</sup> m/s	0 kPa	35 °
SHF-PL02 SHF-PT01 SHF-ST1-CRE SHF-SP1-CRE	THAREAU T2	PK 830	PK 1620	790 ml	-							
SHF-ST2-CRE	THAREAU T3	PK 1620	PK 2070	450 ml	2a - Sables argileux	20 kN/m <sup>3</sup>	196.5 m NGF	-	≥ 1.5 m	6x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	30 °
SHF-PL03 SHF-ST3-PDCV SHF-CPT2-CRE	THAREAU T4	PK 2070	PK 2520	450 ml	1b - Argile sableuse à sable argileux	20 kN/m <sup>3</sup>	191.5 m NGF	1.4 m	≥ 2.5 m	4x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	30 °
SHF-ST4-CRE	THAREAU T5	PK 2520	PK 3260	740 ml	1b - Limon sableux et graveleux	20 kN/m <sup>3</sup>	196.0 m NGF	-	≥ 1.5 m	3x10 <sup>-6</sup> m/s	10 kPa	25 °
					3b - Sables et graviers	20 kN/m <sup>3</sup>	191.5 m NGF	-	≥ 4.5 m	x10 <sup>-6</sup> m/s	0 kPa	35 °
SHF-SP2-CRE SHF-SP5-CRE	THAREAU T6	PK 3260	PK 3810	550 ml	2a - Sables à passages limoneux	20 kN/m <sup>3</sup>	193.0 m NGF	4.2 m	≥ 5.0 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	0 kPa	35 °
SHF-PL04 SHF-PL05 SHF-PT02 SHF-SC2-CRE SHF-ST5-CRE	THAREAU T7	PK 3810	PK 4690	880 ml	2a - Sables légèrement limoneux	20 kN/m <sup>3</sup>	193.0 m NGF	-	≥ 0.5 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	2 kPa	35 °
					3b - Sables plus ou moins graveleux	20 kN/m <sup>3</sup>	188.0 m NGF	5.5 m	≥ 5.0 m	2x10 <sup>-6</sup> m/s	0 kPa	30 °

Sondages et essais	Caractéristique tronçon homogène				Caractéristiques du niveau d'alluvions perméables							
	Tronçon	Début	Fin	Linéaire	Lithologie	$\gamma_h$	Cote de la base	Niveau d'eau éventuel	Epaisseur	Perméabilité	C'	$\phi'$
SHF-cha-PL01 SHF-cha-PL02 SHF-SC3-CRE SHF-SP4-CRE	CHARRIN T1	PK 5380	PK 6440	1060 ml	3a - Sables	20 kN/m <sup>3</sup>	189.0 m NGF	7.0 m	≥ 5.5 m	6x10 <sup>-6</sup> m/s	0 kPa	30 °
					3c - Sables, graviers et galets	21 kN/m <sup>3</sup>	187.0 m NGF	-	≥ 4.5 m	1 x10 <sup>-6</sup> m/s	0 kPa	40 °
SHF-cha-PT01 SHF-ST6-CRE SHF-ST7-CRE	CHARRIN T2	PK 6440	PK 7050	610 ml	3b - Sables et graviers	20 kN/m <sup>3</sup>	192.0 m NGF	5.0 m	≥ 4.0 m	3x10 <sup>-6</sup> m/s	0 kPa	35 °
SHF-cha-PL03 SHF-SP3-CRE	CHARRIN T3	PK 7050	PK 7600	550 ml	2a - Sables limoneux à limon sableux	20 kN/m <sup>3</sup>	188.5 m NGF	4.6 m	≥ 2.5 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	25 °
SHF-cha-PL04 SHF-cha-PL05 SHF-CPT5-CRE SHF-CPT6-CRE	CHARRIN T4	PK 7600	PK 8830	1230 ml	2a - Sables plus ou moins limoneux à limon sableux	20 kN/m <sup>3</sup>	188.0 m NGF	-	≥ 8.5 m	5 x10 <sup>-6</sup> m/s	5 kPa	35 °

## 6. OBSERVATIONS MAJEURES

---

Les conclusions du présent rapport ne sont valables que sous réserve des conditions générales des missions géotechniques de l'Union Syndicale Géotechnique fournies en annexe 1 (norme NF P94-500 de novembre 2013).

Nous rappelons que cette étude a été menée dans le cadre d'un diagnostic géotechnique (G5) et que, conformément à la norme NF P94-500 de novembre 2013, en cas de travaux, une étude de projet (G2) doit être envisagée (collaboration avec l'équipe de conception) pour :

- permettre l'optimisation du projet avec, notamment, prise en compte des interactions sol / structure ;
- vérifier la bonne transcription de toutes les préconisations dans les pièces techniques du marché.

GINGER CEBTP peut prendre en charge la maîtrise d'œuvre dans le domaine de la géotechnique, au stade du projet.

## **ANNEXE 1 : NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES**

Classification des missions types d'ingénierie géotechnique

Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique

#### 4.2.4 Tableaux synthétiques

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

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
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisses, APS	Étude 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
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude 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	Étude 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	Étude 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		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (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)	Étude 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	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi 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
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	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

**Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique**

<p>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.</p>
<p><b>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Étude de Site (ES)</u></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.</li> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.</li> </ul> <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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).</li> </ul>
<p><b>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Avant-projet (AVP)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à 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.</li> </ul> <p><u>Phase Projet (PHO)</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase DCE / ACT</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Établir 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 particuliers, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).</li> <li>— 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.</li> </ul>

**Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)**

<p><b>ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)</b></p> <p><b>ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Étude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Étudier 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).</li> <li>— Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.</li> </ul> <p><u>Phase Suivi</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.</li> <li>— 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).</li> <li>— Établir 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)</li> </ul> <p><b>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Supervision de l'étude d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase Supervision du suivi d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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).</li> <li>— donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.</li> </ul> <p><b>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)</b></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Étudier 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.</li> <li>— 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).</li> </ul>
---

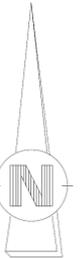
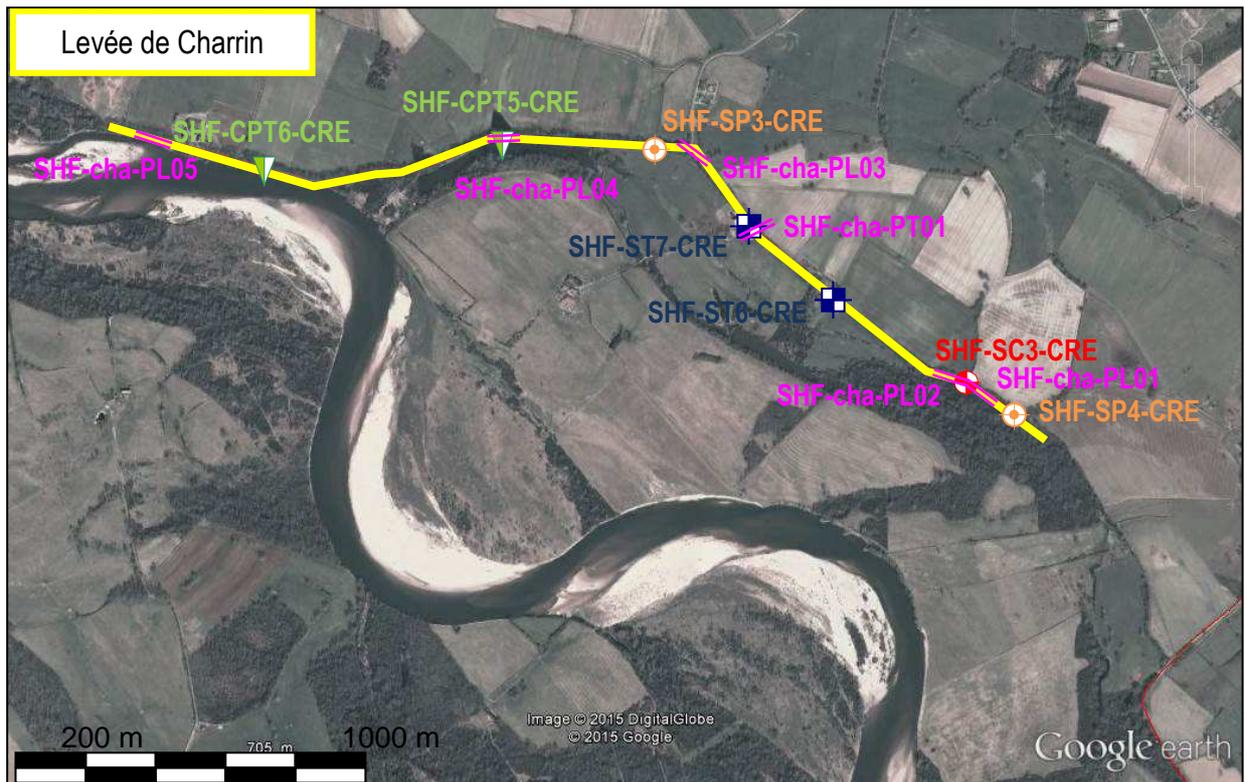
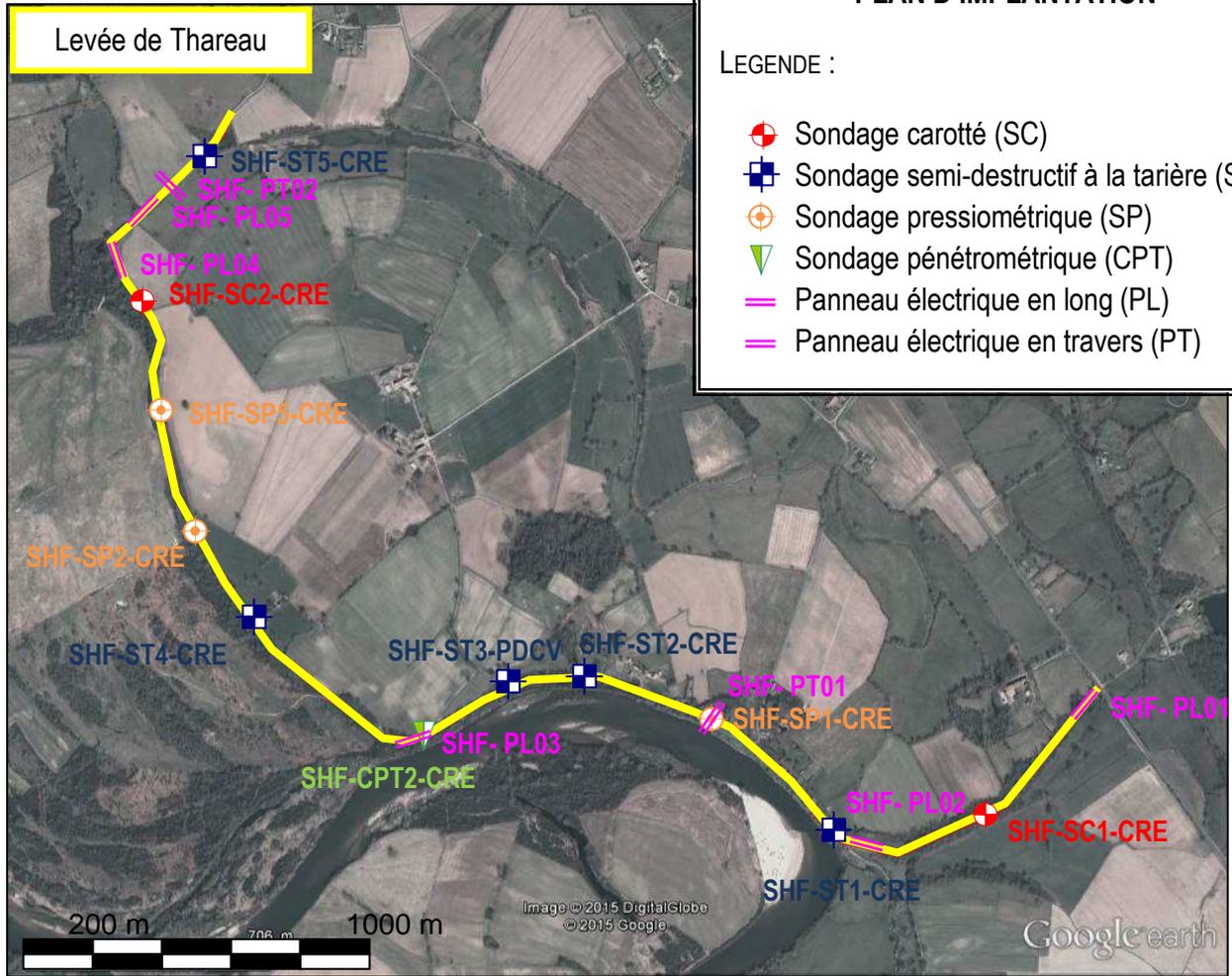
## ***ANNEXE 2 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES ET ESSAIS***



### PLAN D'IMPLANTATION

LEGENDE :

-  Sondage carotté (SC)
-  Sondage semi-destructif à la tarière (ST)
-  Sondage pressiométrique (SP)
-  Sondage pénétrométrique (CPT)
-  Panneau électrique en long (PL)
-  Panneau électrique en travers (PT)



## **ANNEXE 3 : MESURES ELECTROMAGNETIQUES (EM31)**

Principe de la méthode électromagnétique

Tableaux

Profils

PRINCIPE DE LA METHODE  
ELECTROMAGNETIQUE LEGERE A EMETTEUR PROCHE CONTROLE  
(EM)

### Fondements théoriques

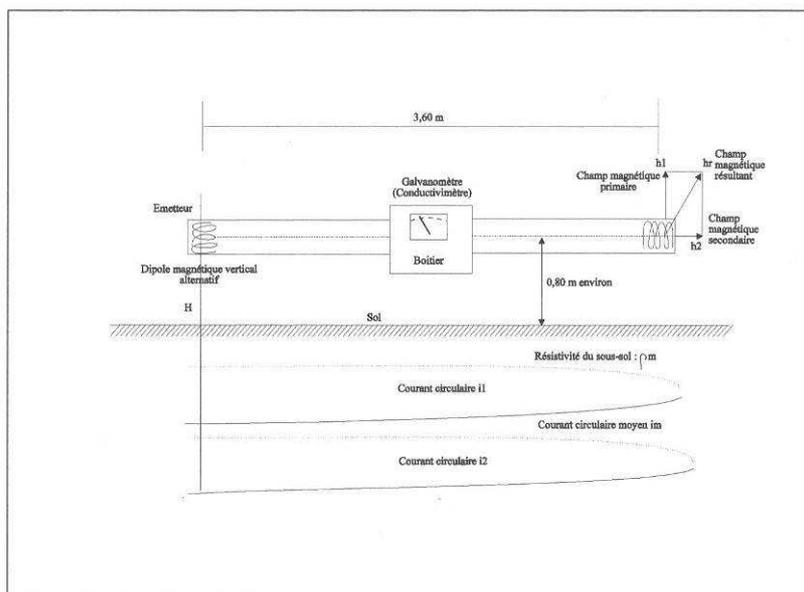
Les variations d'un champ magnétique provoqué (champ magnétique primaire  $H_p$ ) par un courant alternatif dans la bobine d'un émetteur à une fréquence donnée induisent des faibles courants dans le sol. Ces courants créent un champ magnétique secondaire  $H_s$ , mesuré à l'aide d'un récepteur situé à une certaine distance de l'émetteur.

On montre que la conductivité apparente (mS/m) : 
$$Ca = \frac{4}{2\pi f m_0 S^2} \left( \frac{H_s}{H_p} \right)$$

- Avec  $m_0$  : la perméabilité électromagnétique du milieu,
- $n$  : facteur dépendant des caractéristiques de l'appareil,
- $S$  : la distance entre l'émetteur et le récepteur,
- $f$  : fréquence de l'émetteur (pour l'EM31: 9,8 kHz).

### Appareillage

Pour l'appareil EM par construction, les paramètres définis dans la formule ci-dessus sont constants ou présentent des variations négligeables. Dès lors, cet appareil permet de réaliser la lecture directe de la conductivité d'une tranche de terrain donnée, exprimée en milliSiemens par mètre et donc d'en déduire immédiatement la résistivité en ohm-mètre.



Les courants induits en sous-sol n'affectent les terrains qu'à proximité immédiate de l'appareil (quelques mètres), le champ secondaire mesuré correspondant à la réponse de ce faisceau de courant induit. Par principe on admet que la mesure réalisée en un point donné correspond à la conductivité du sous-sol en ce point.

Par construction, la précision de lecture est de +/- 0,2 mSiemens/mètres.

Toute variation de résistivité du sol est liée à sa nature géologique ou à son état mécanique (altération, fracturation). Ainsi, des argiles ou remblais argileux seront caractérisés par des valeurs de résistivités faibles, de l'ordre de quelques dizaines d'ohms-mètres et les grès, calcaires ou les marno-calcaires par des résistivités de plusieurs centaines d'ohms-mètres, lorsqu'ils sont massifs.

La maille de mesure devra donc être fixée en fonction du problème posé (recherche de cibles enterrées telles que fûts métalliques, réseaux, déchets : maille de quelques mètres / recherche géologique : maille de quelques dizaines de mètres).

Suivant le cas, on réalise, à partir d'un maillage ou d'un profil, une mesure de résistivité tous les 2,50 m, 5 m, 10

m ou 20 m, de façon à établir une carte des résistivités apparentes du terrain superficiel. La dimension réduite de l'appareillage et l'absence d'électrodes au sol permettent, par comparaison avec les méthodes électriques traditionnelles :

- une focalisation nettement plus importante des mesures de résistivités apparentes,
- une mise en œuvre extrêmement rapide et donc un coût réduit.

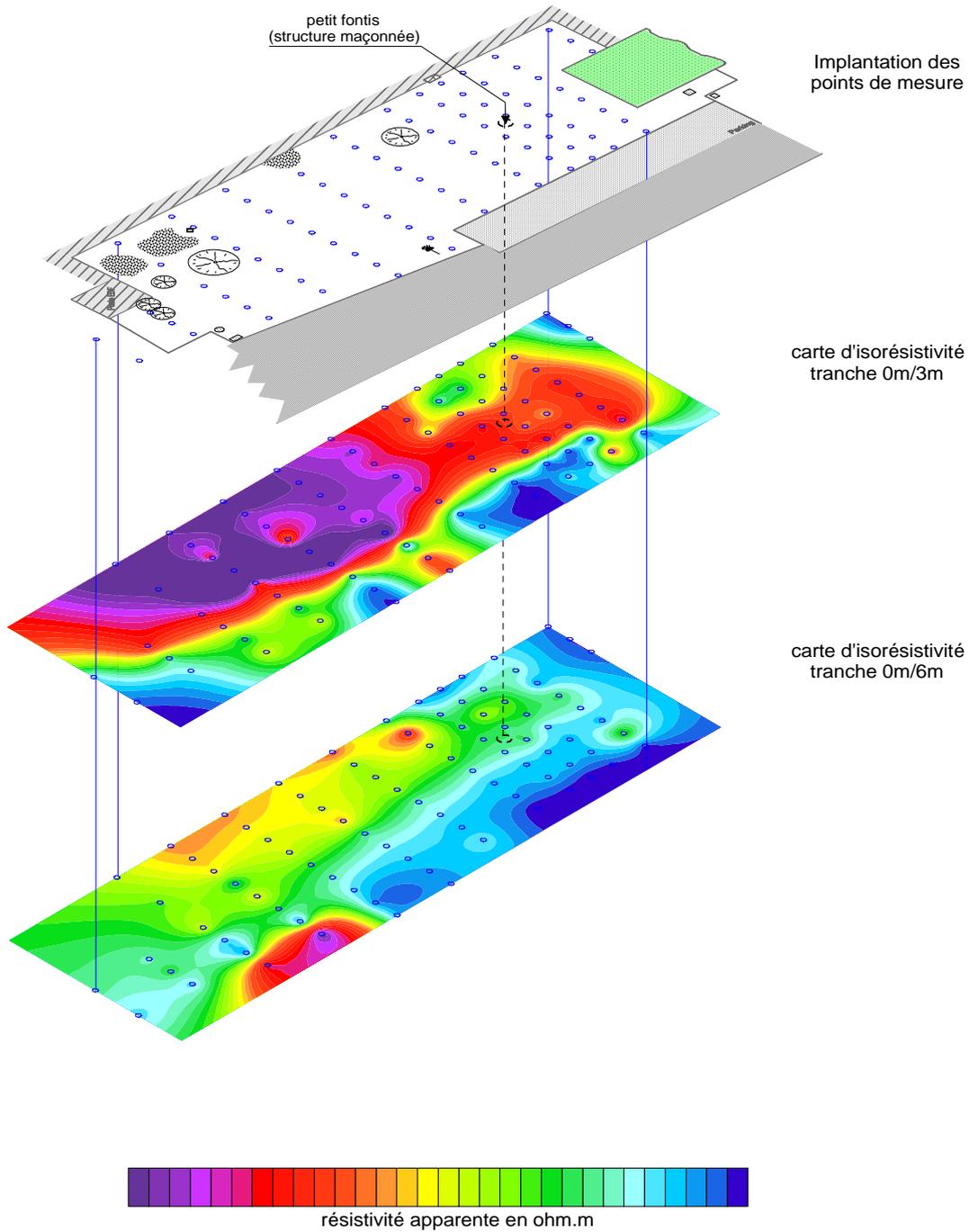
Ainsi, toute anomalie conductrice sera repérée et pourra traduire une surépaisseur de terrains argileux (ou sableux). Ces profils de résistivité sont essentiellement destinés à orienter l'implantation de reconnaissances mécaniques.

Les résultats sont stockés sous la forme de fichiers permettant un dépouillement des mesures et leur traduction sous forme graphique entièrement automatique, ce qui réduit d'autant le coût d'une prospection systématique.



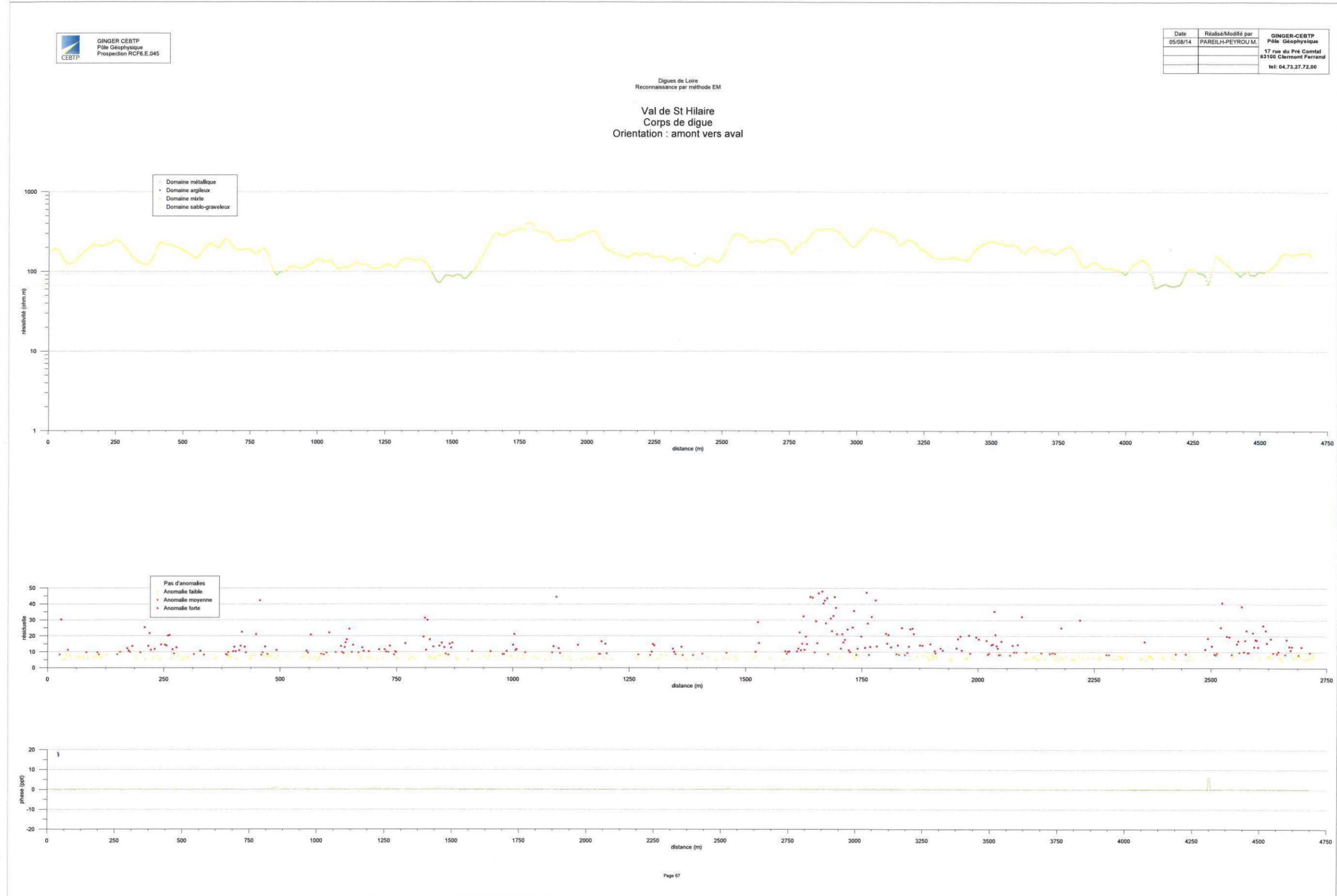


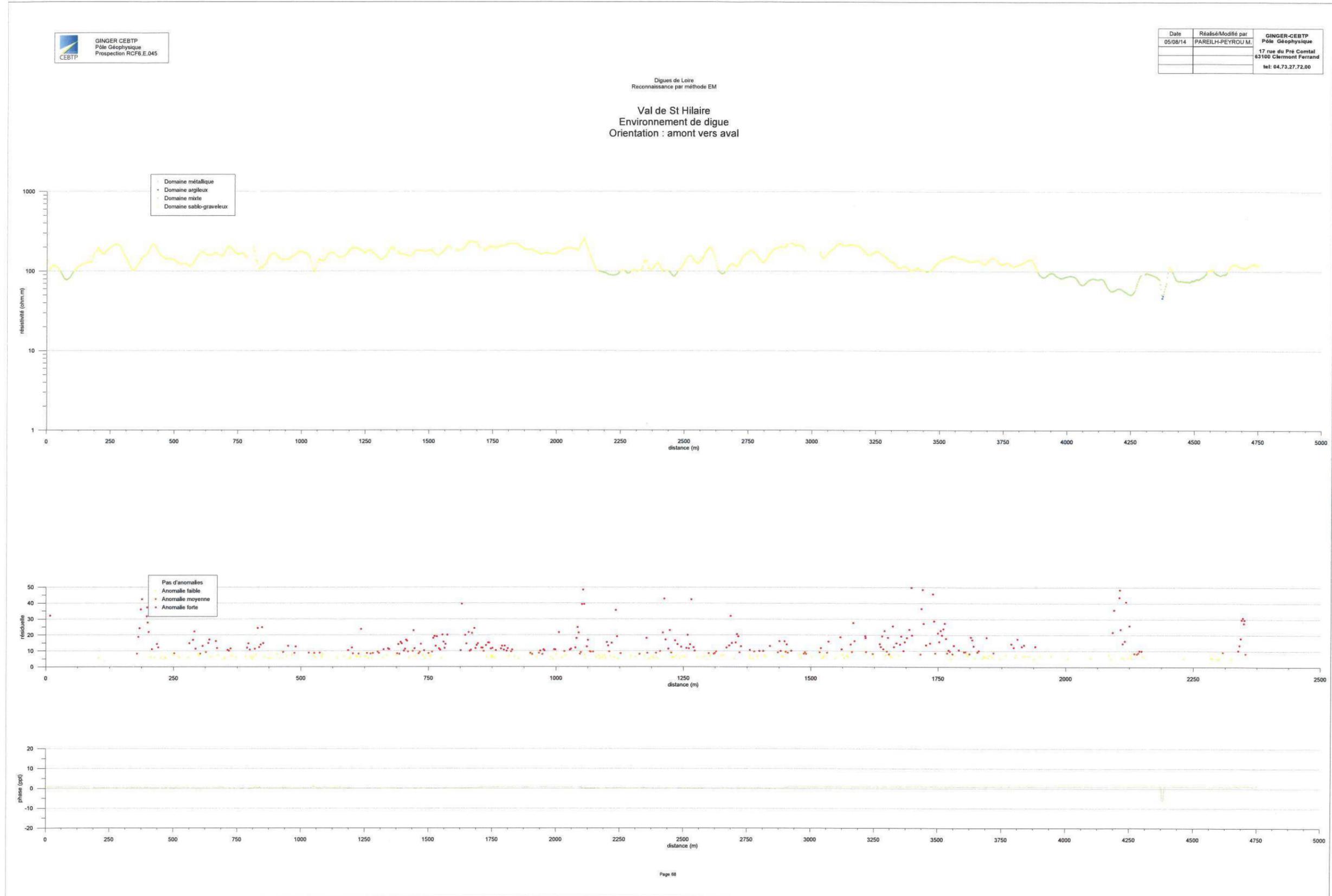
### Exemple de reconnaissance par méthode EM (EM31)



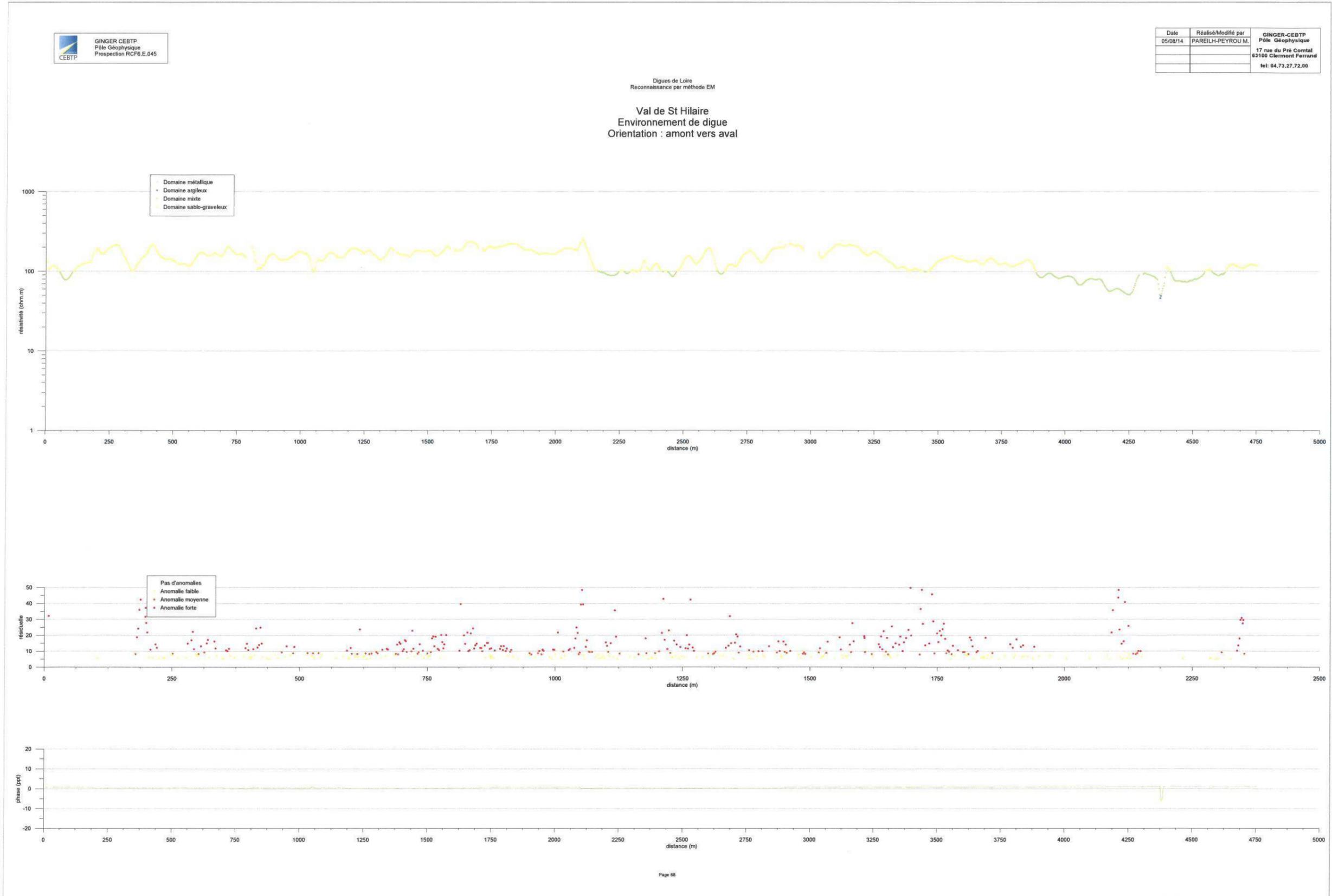
### Valeurs usuelles de la résistivité des matériaux

Eau douce	20 à 60 ohm.m
Eau de mer	0.18 à 0.24 ohm.m
Argiles, vases	0.5 à 30 ohm.m
Marnes	5 à 50 ohm.m
Craie, Calcaires marneux	80 à 300 ohm.m
Calcaires	300 à 5000 ohm.m
Grès	500 à 4000 ohm.m
Sables secs	1000 à 10000 ohm.m
Schistes	50 à 500 ohm.m
Granites	3000 à 10000 ohm.m
basaltes	800 à 10000 ohm.m









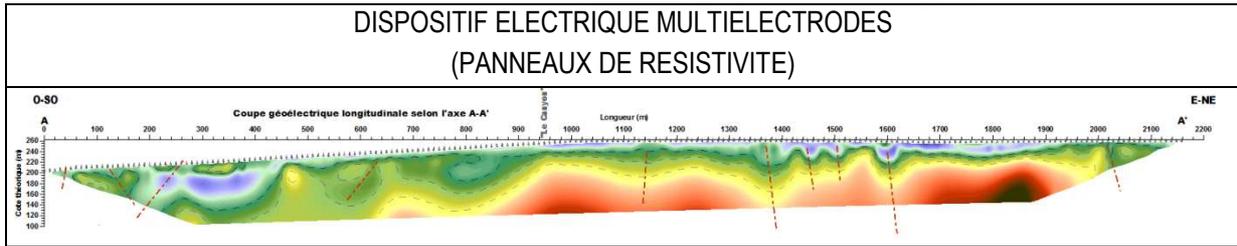
## ***ANNEXE 4 : DISPOSITIF ELECTRIQUE MULTIELECTRODES (PANNEAUX DE RESISTIVITE)***

Principe de la méthode électrique multi-électrodes

Synthèse de la prospection géophysique

Coordonnées GPS

Sections mesurées, calculées & modélisées



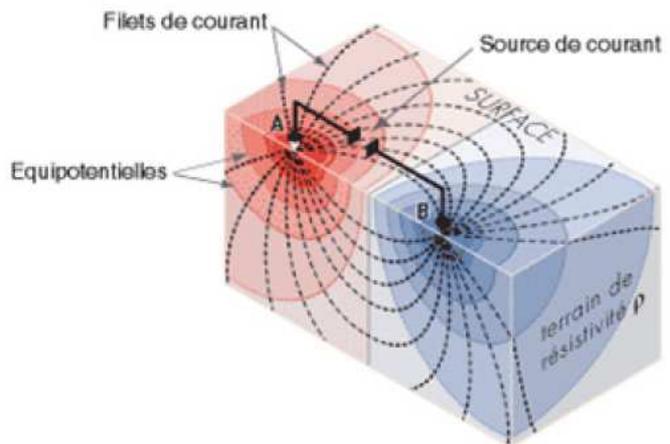
### Notion de résistivité apparente

Cette méthode consiste à mesurer, à la verticale d'une série d'électrodes MN, la résistivité apparente pour différentes positions d'électrodes d'injection AB.

Un courant électrique est créé en sous-sol à l'aide d'une source de courant I (batterie par exemple) et de deux électrodes A et B, dites d'injection, placées en surface.

Le courant injecté pénètre dans le sol par l'électrode A et en sort par l'électrode B. La répartition des lignes de courant se fait alors en volume.

Il est donc possible de repérer les discontinuités du sous-sol (à la fois les variations latérales de résistivité et les variations en profondeur) en fonction de la distribution des résistivités apparentes.



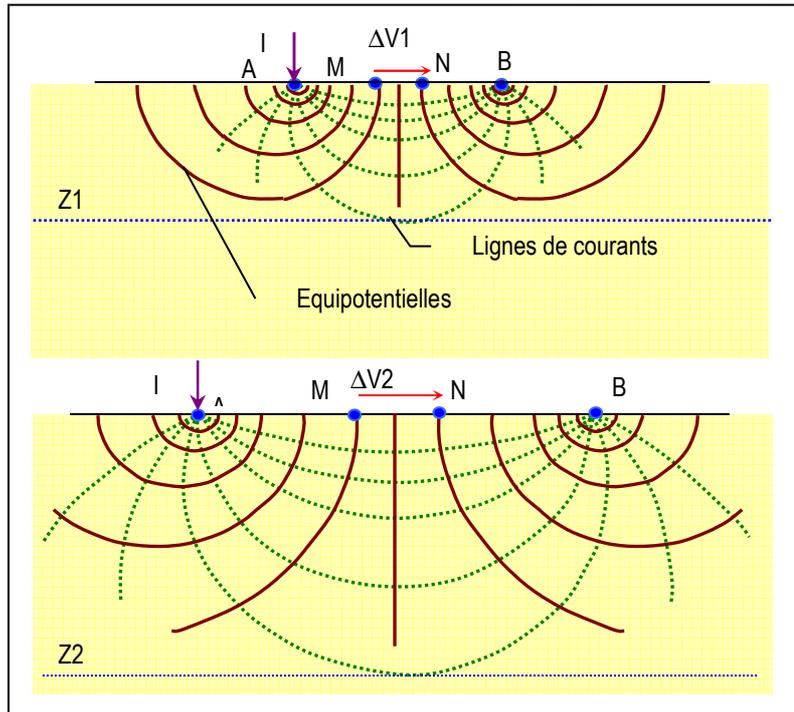
*Distribution du courant créé par deux électrodes dans un terrain homogène et isotrope.*

La différence de potentiel entre deux électrodes M et N (dites électrodes de réception) est mesurée.

La résistivité déduite de cette mesure dépend de la géométrie du dispositif de mesure :  $\rho = K \frac{\Delta V}{I}$ . Cette formule fait intervenir le facteur géométrique K caractérisant la géométrie du montage.

La résistivité apparente mesurée n'est pas la résistivité vraie du sous sol, c'est une résistivité prenant en compte l'ensemble des terrains traversés par les équipotentielles utilisées pour la mesure.

La relation entre la résistivité apparente et la résistivité vraie est complexe. Le calcul de la résistivité vraie à partir de la résistivité apparente nécessite l'utilisation d'un programme d'inversion de données.

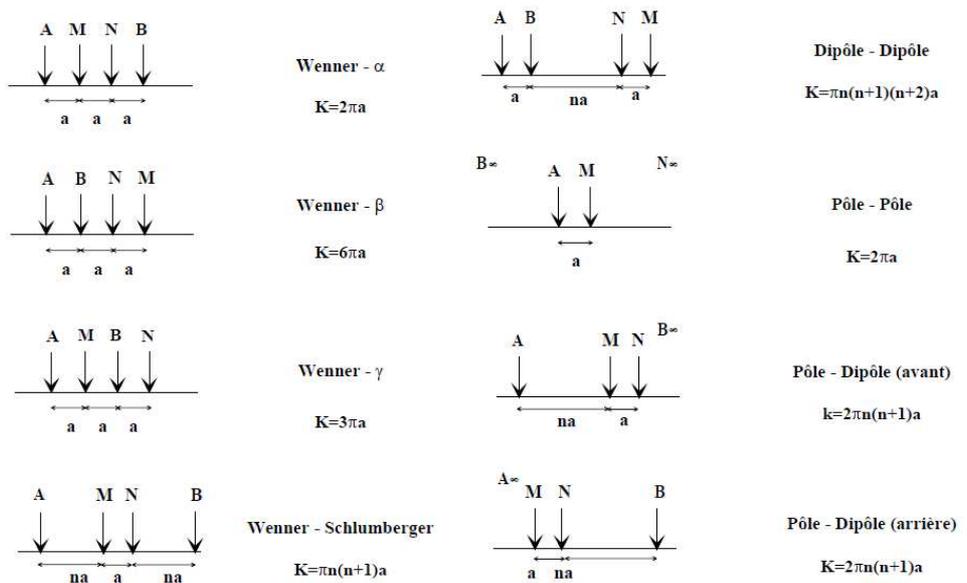


Profondeur d'investigation en fonction de l'écartement des électrodes

### Mise en œuvre

Le dispositif multi-électrodes permet de mesurer à la fois des variations latérales de résistivité et des variations en profondeur tout en conservant un dispositif de mesure fixe. Ceci permet d'avoir des informations relativement complètes sur les propriétés électriques du sous-sol tout en évitant les « à-coups de prises ».

Il existe plusieurs types de dispositifs de mesure (Wenner, Schlumberger, Pole-pole...) selon la position des électrodes les uns par rapport aux autres. Certains de ces montages sont plus ou moins maniables : Le montage pôle-pôle par exemple est difficile à mettre en place pour de grands écarts entre les électrodes.



Exemples de quadripôles et facteur géométrique correspondant.

Le dispositif est choisi en fonction de la sensibilité du montage aux changements verticaux et horizontaux de résistivité, de la profondeur d'investigation souhaitée et de la problématique posée.

La prospection électrique multi-électrodes (PE) est une méthode non destructive, non intrusive et sans impact environnemental. La mise en place des électrodes est possible dans la plupart des cas rencontrés (milieu naturel, aquatique, urbain...).

### Appareillage

L'appareillage se compose d'un système d'acquisition des mesures, d'un système d'injection de courant et de contrôle des électrodes et de plusieurs flûtes de 32 électrodes chacune.

La longueur d'un dispositif (unité de base) peut varier alors, pour un profil donné, entre 16 et 315 mètres.

Il est également possible de mesurer un linéaire en continu en utilisant la technique du roll-along (translation dans une direction du dispositif de mesure).



Flûte électrique 155 m – 32 électrodes

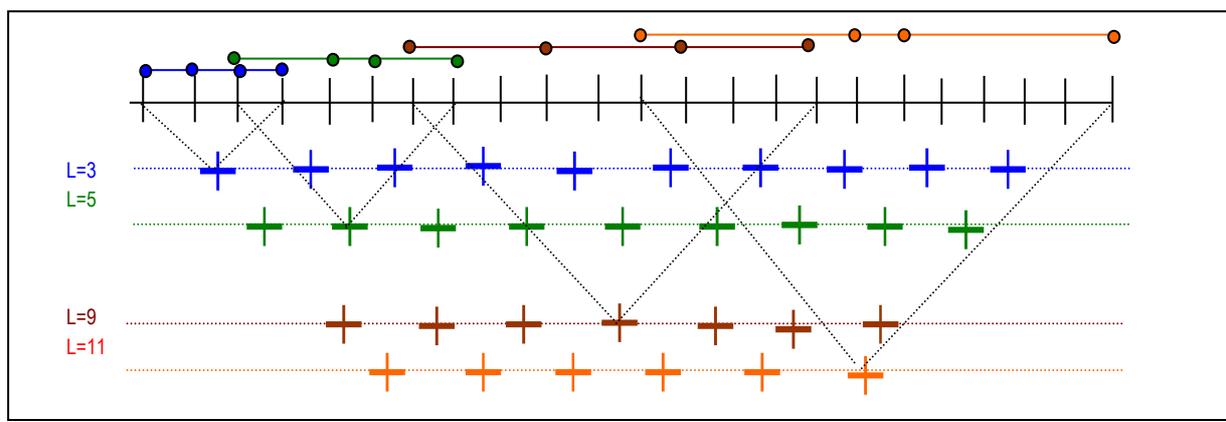


## Mesures

Une fois l'ensemble des électrodes planté, les mesures s'effectuent selon un protocole défini antérieurement et enregistré dans le système de contrôle des électrodes.

Pour chaque mesure, le système de contrôle choisit 4 électrodes (A, B, M et N) parmi celles mises en place. En déplaçant ce dispositif et en faisant varier la géométrie (longueur totale du montage), le système de contrôle parcourt l'ensemble du profil et atteint différentes profondeurs.

La profondeur d'investigation est déterminée par la longueur totale du dispositif et le protocole de mesures utilisé.



Influence de la longueur du dispositif sur la profondeur d'investigation, établissement d'une pseudo-section.  
Dispositif Wenner-Schlumberger

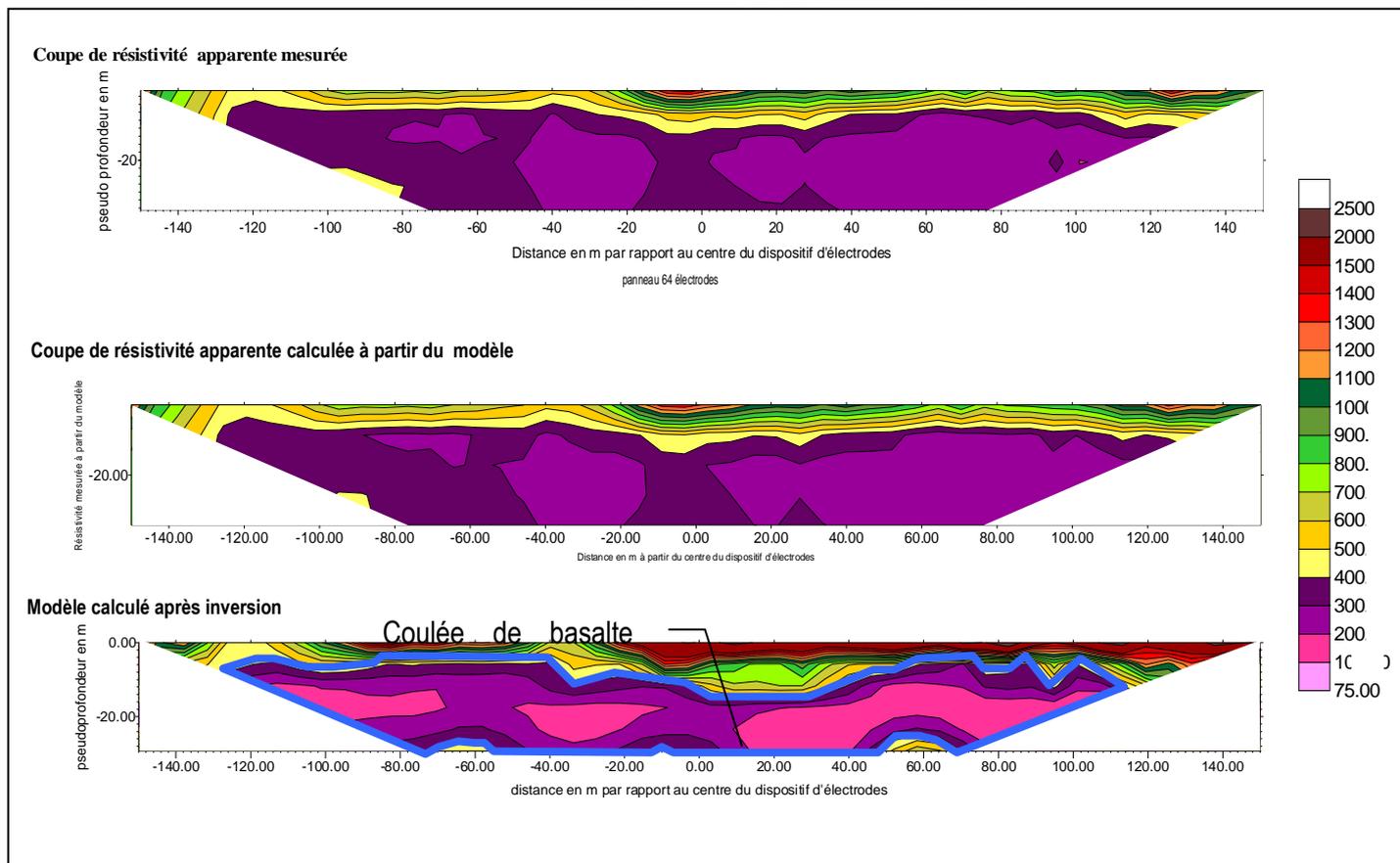
## Résultats obtenus

Les données du problème sont fournies par les mesures de résistivité apparente sur un site hétérogène.

Le but de l'interprétation est alors de caractériser chacune des couches existant en sous-sol par une résistivité vraie, c'est à dire de définir un modèle multicouche ayant des caractéristiques électriques s'approchant au mieux de la réalité.

Pour ce faire, un calcul mathématique matriciel complexe est réalisé à l'aide notamment d'un logiciel d'inversion des données (Res2DInv).

Une coupe géoélectrique 2D permettant de déterminer la géométrie du sous-sol et la nature électrique des différents horizons recoupés est finalement obtenue. Lorsque plusieurs panneaux sont réalisés selon un maillage précis et en contexte favorable, il est possible de procéder à une modélisation 3D.

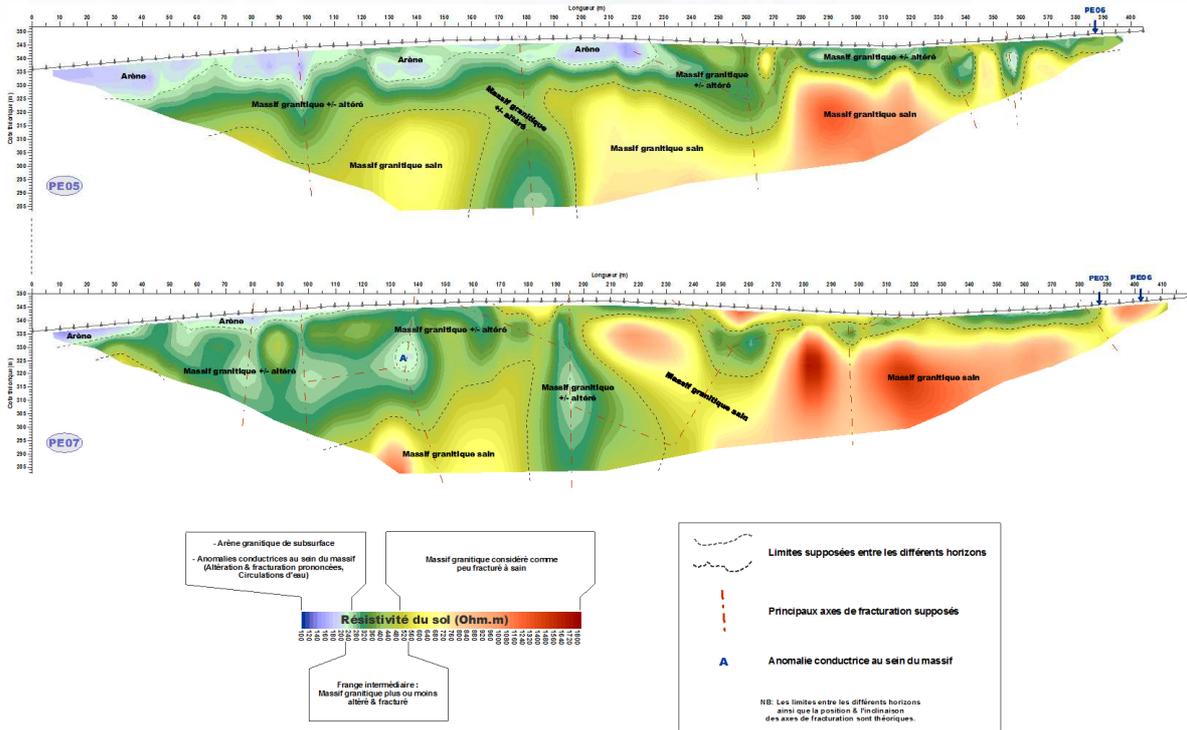


Exemple de résultat obtenu par la méthode des panneaux électriques, détermination d'une coulée de basalte altérée (Heume-l'Eglise 63)  
Panneau électrique 64 électrodes - 315 m – configuration Wenner-Schlumberger.

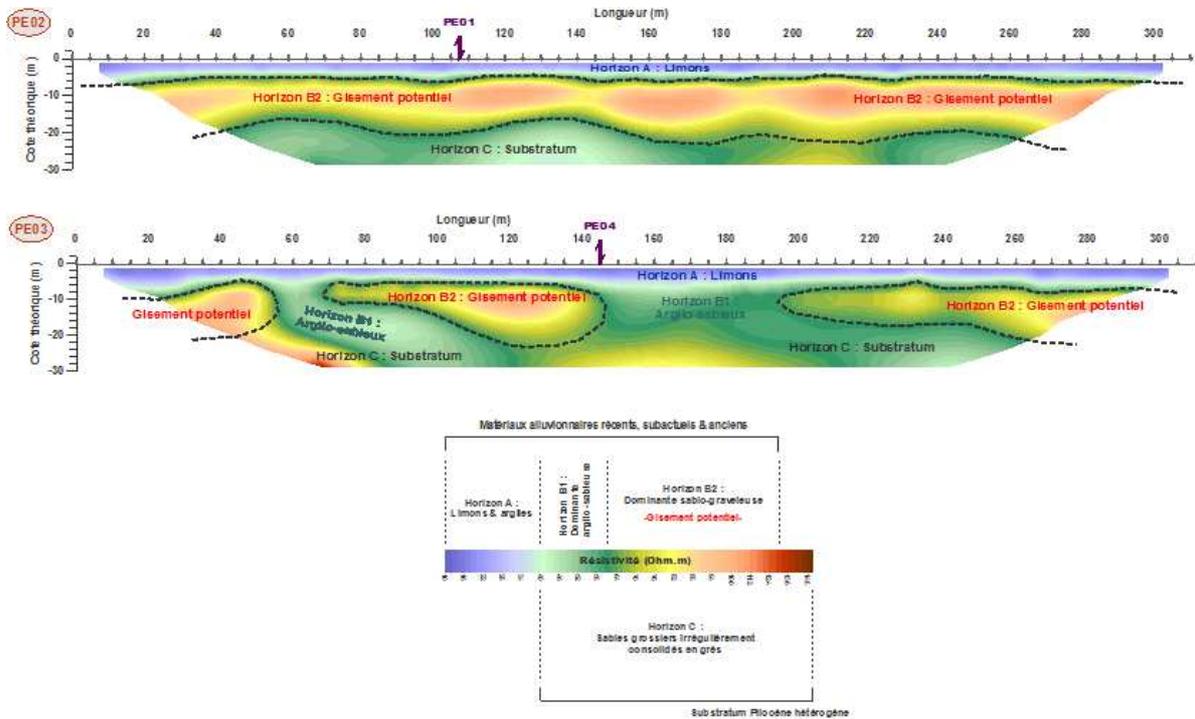
La ressemblance entre le profil des résistivités mesurées et le profil des résistivités calculées à partir du modèle permet de supposer le modèle valide.

Il est cependant nécessaire de garder à l'esprit pour la plupart des problèmes devant être inversés, il n'y a pas unicité de la solution.

L'interprétation des résultats demande également une bonne connaissance du contexte géologique (dans le cas d'une détermination de faciès par exemple). Cette recherche d'informations (carte géologique, logs de forages, relevé d'affleurement...) permet en général de confirmer la validité du modèle.



Exemple de prospection par panneaux électriques – Mise en évidence de la qualité d'un massif de granite rose & de la fracturation associée – Carrière à Vendennes-lès-Charolles(71).



Exemple de prospection par panneaux électriques – Mise en évidence d'un gisement alluvionnaire sablo-graveleux – Projet de Carrière – Anse (69).



## Applications

Cette méthode, principalement qualitative, permet de mettre en évidence les déformations du champ électrique produites par des hétérogénéités quelconques.

Elle est principalement utilisée pour les problématiques suivantes :

- Détermination de faciès, d'horizons géologiques, d'hétérogénéités (failles, ...),
- Recherche de gisements (carrière, domaine minier, alluvionnaire, ...),
- Hydrogéologie, recherche de fluides,
- Caractérisation, diagnostic de digues,
- Recherche de cavités naturelles (karst) ou anthropiques, ...

## Valeurs usuelles de la résistivité des matériaux

Eau douce	10 à 1000 ohm.m
Eau salée	0.1 à 1 ohm.m
Argiles, vases	0.5 à 50 ohm.m
Marnes	5 à 100 ohm.m
Craie, Calcaires marneux	80 à 500 ohm.m
Calcaires	300 à 5000 ohm.m
Grès	500 à 4000 ohm.m
Sables secs	1000 à 10000 ohm.m
Schistes	50 à 1000 ohm.m
Granites	500 à 10000 ohm.m
basaltes	800 à 10000 ohm.m



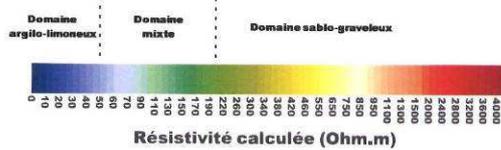
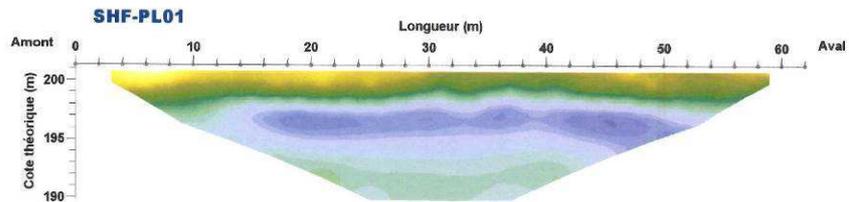
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF6.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Digues de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
- Implantation & nomenclature PL01 -  
- Profil géoélectrique PL01 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PL01	3	548818.23	5178251.68	31	UTMWGS84
	4	548781.66	5178203.48	31	UTMWGS84



Date	Realise/modifie par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Février 2016	HOUTTEVILLE T.	11 rue Louis Pasteur 63000 Clermont Ferrand tel: 04.73.37.33.00

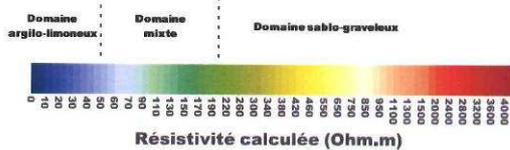
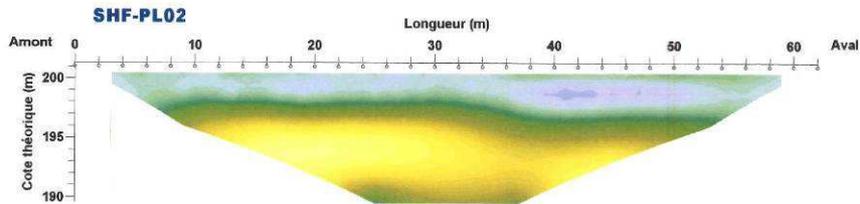
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF6.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Digues de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
**- Implantation & nomenclature PL02 -**  
**- Profil géoélectrique PL02 -**



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PL02	5	548229.16	5177795.18	31	UTMWGS84
	6	548164.23	5177807.20	31	UTMWGS84



Date	Realise/modifie par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Février 2015	HOUTTEVILLE T.	11 rue Louis Rivier 43350 Charreirey Parcé tel:04.70.07.77.00

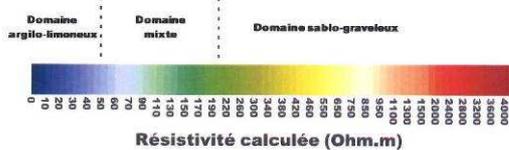
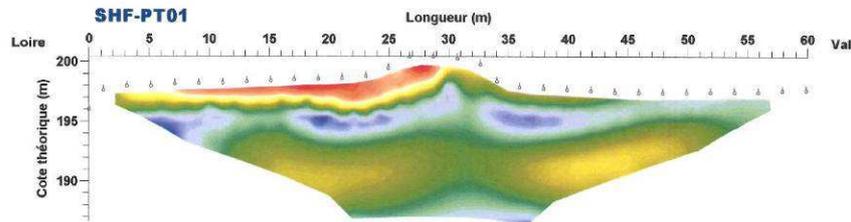
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF6.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Dignes de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
- Implantation & nomenclature PT01 -  
- Profil géoélectrique PT01 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PT01	7	547714.17	5178142.25	31	UTMWGS84
	8	547731.43	5178167.20	31	UTMWGS84
	9	547748.36	5178193.18	31	UTMWGS84

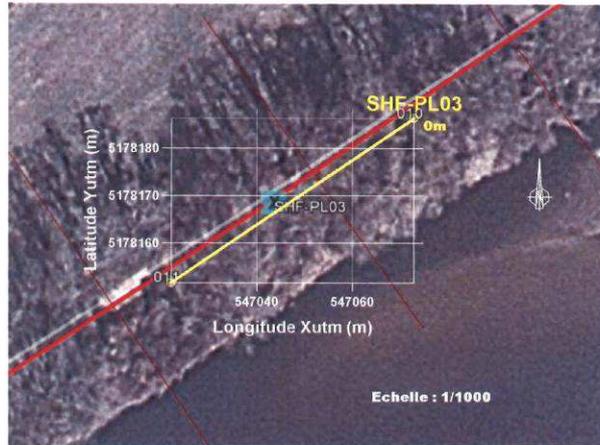


Date	Réalise/modifie par :	GINGER/CEBTP - Pôle Géophysique
Février 2016	HOUTTEVILLE, T.	11 rue Louis Ronger 63000 Clermont Ferrand Tél: 04.23.23.73.06

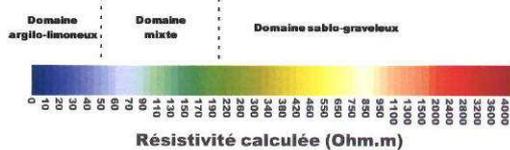
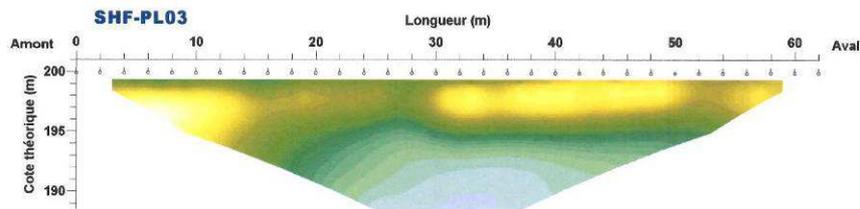
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF6.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Digos de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
**- Implantation & nomenclature PL03 -**  
**- Profil géoélectrique PL03 -**



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PL03	10	547072.88	5178186.29	31	UTMWGS84
	11	547022.13	5178151.56	31	UTMWGS84



Date	Realise/modifie par :	GINGER CEBTP Pôle Géophysique
Février 2016	HOUTTEVILLE T.	11 rue Louis Pasteur 42000 Clermont Ferrand tel:04.77.27.72.00

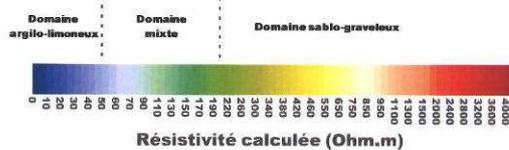
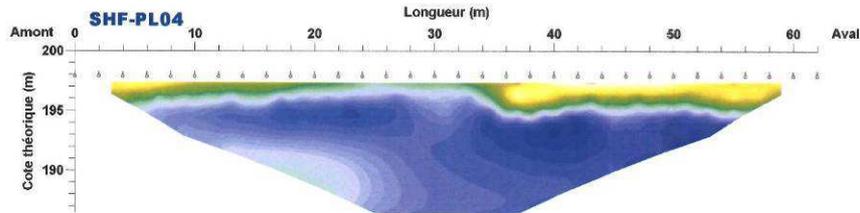
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF6.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Dignes de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
- Implantation & nomenclature PL04 -  
- Profil géoélectrique PL04 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PL04	12	545981.17	5179420.17	31	UTMWGS84
	13	545980.34	5179482.25	31	UTMWGS84



Date	Realise/modifie par :	GINGER CEBTP Pôle Géophysique
Février 2015	HOUTTEVILLE T.	11 rue Louis Ronger 63000 Clermont Ferrand Tel: 04.73.23.72.00

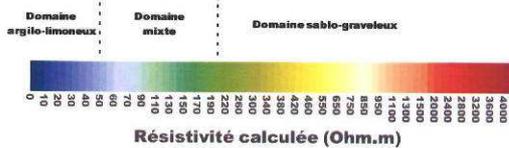
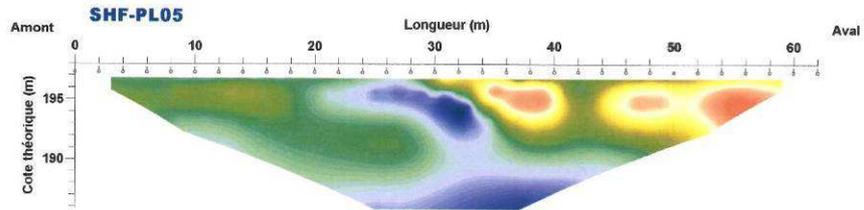
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF2.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Digos de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
**- Implantation & nomenclature PL05 -**  
**- Profil géoélectrique PL05 -**



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PL05	14	546024.03	5179559.15	31	UTMWGS84
	15	546060.15	5179608.77	31	UTMWGS84



Date	Réalise/modifie par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Février 2015	HOUTTEVILLE T.	11 rue Louis Rayer, 63005 Clermont Ferrand tel:04.73.37.72.00

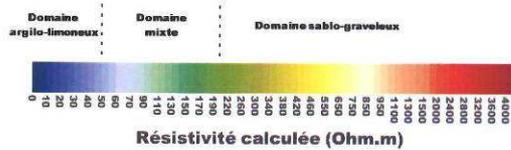
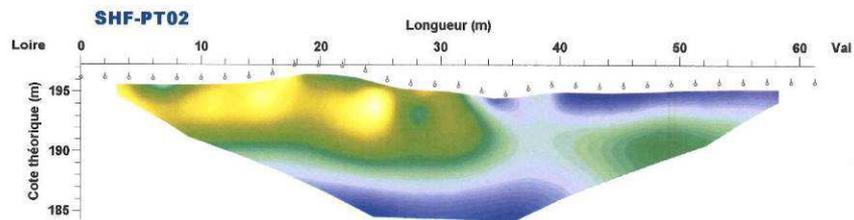
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection RCF6.E.045-SHF

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Dignes de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

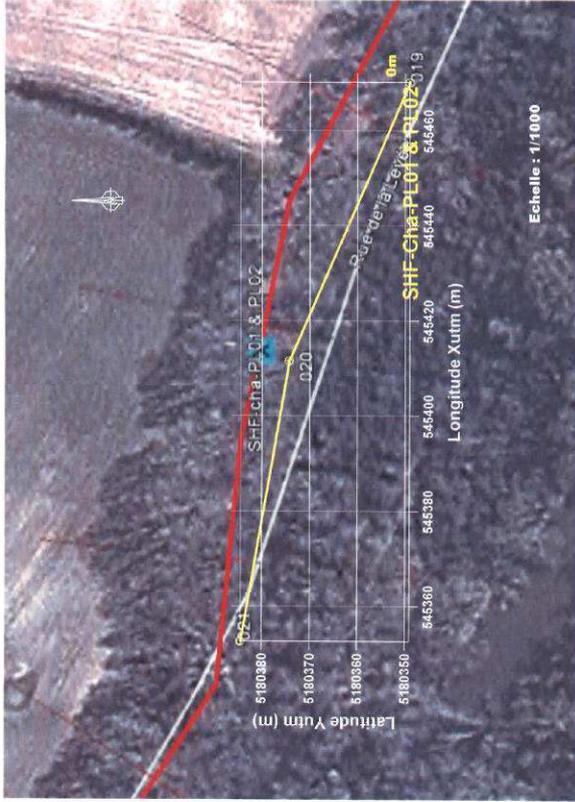
**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE**  
- Implantation & nomenclature PT02 -  
- Profil géoélectrique PT02 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-PT02	16	546134.68	5179697.24	31	UTMWGS84
	17	546146.79	5179681.11	31	UTMWGS84
	18	546170.85	5179650.85	31	UTMWGS84



Date	Realise/modifie par :	GINGER CEBTP Pôle Géophysique
Février 2016	HOUTTEVILLE T.	11, rue Louis Pasteur 63000 Clermont Ferrand Tel: 04 73 27 72 00

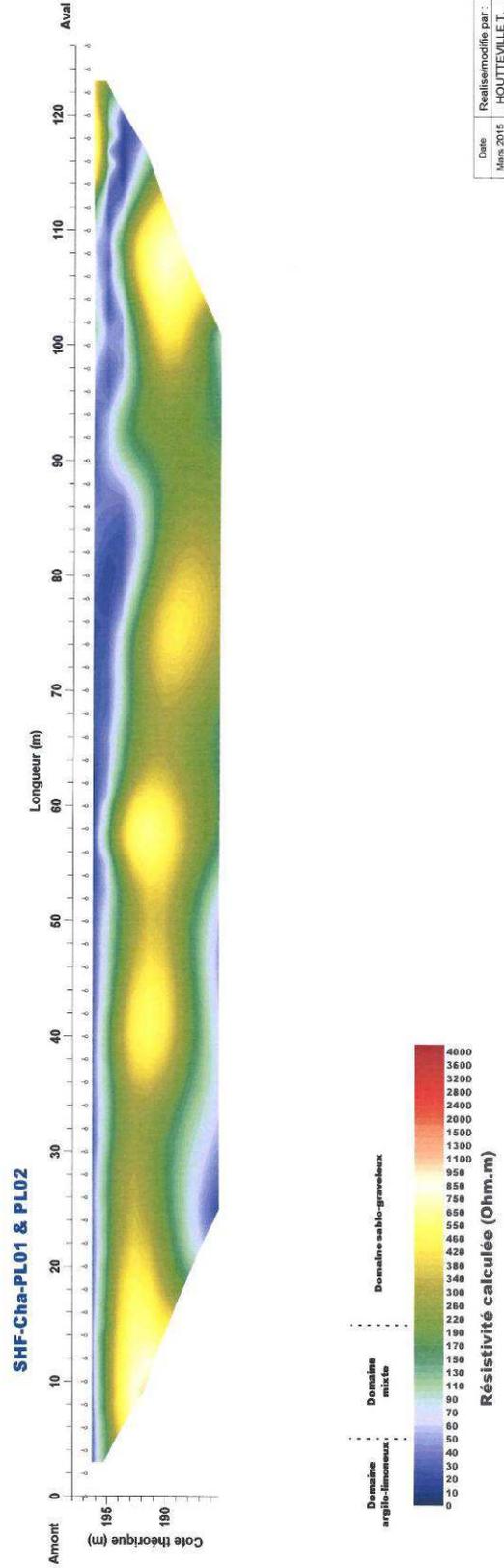


GINGER CEBTP  
 Pôle géophysique  
 RCFE.E.045-SHF-Cha

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
 - Digues de la Loire -  
 - Dpt de la Nièvre (58)

VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE - CHARRIN  
 - Implantation & nomenclature PL01 & PL02 -  
 - Profil géoélectrique PL01 & PL02-

PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-Cha-PL01 & PL02	19	545470.17	5180349.05	31	UTMWGS84
	20	545411.58	5180374.28	31	UTMWGS84
	21	545352.64	5180384.39	31	UTMWGS84



Date : Mars 2015  
 Révisé/modifié par : HOUTTEVILLE T.  
 Révisé/modifié par :  
 Adresse :  
 Tél : 04 73 57 79 98



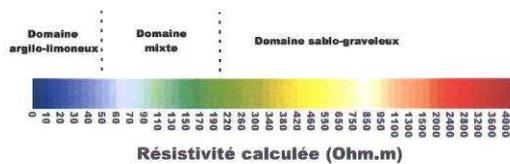
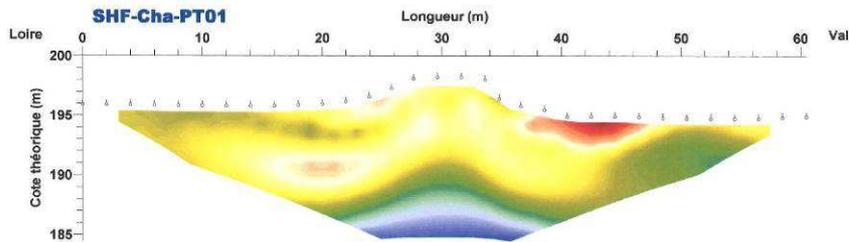
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection  
RCF6.E.045-SHF-Cha

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Dignes de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE - CHARRIN  
- Implantation & nomenclature PT01 -  
- Profil géoélectrique PT01 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-Cha-PT01	24	544827.23	5180749.16	31	UTMWGS84
	25	544850.24	5180769.21	31	UTMWGS84
	26	544873.31	5180789.23	31	UTMWGS84

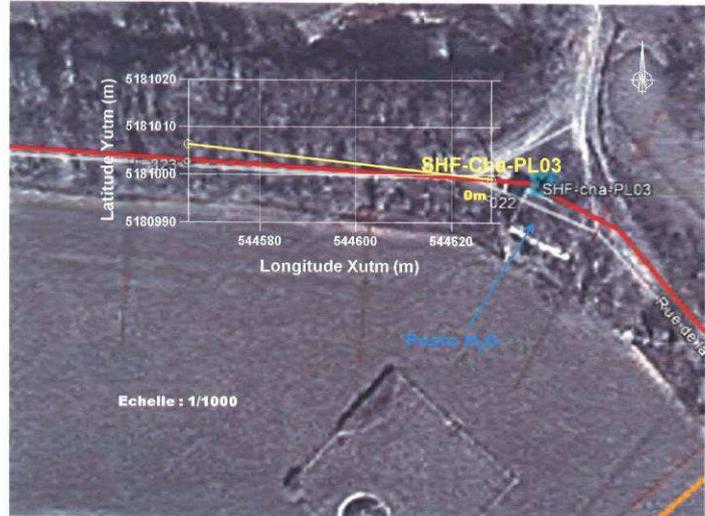


Date	Realise/modifie par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Mars 2015	HOUTTEVILLE T.	15 rue Louis Pasteur 53000 Cléon-France tel: 04.73.27.73.00

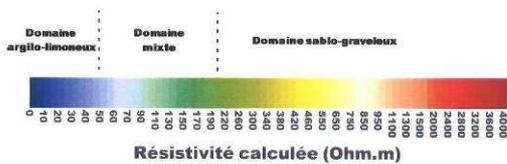
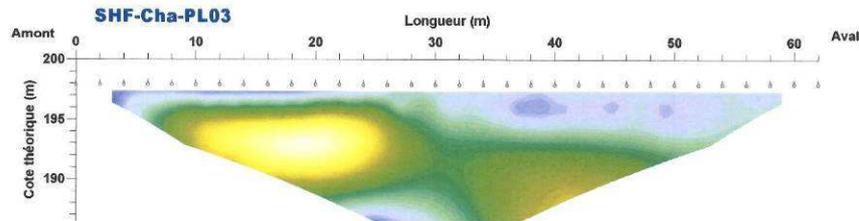
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection  
RCF2.E.045-SHF-Cha

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Dignes de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE - CHARRIN**  
- Implantation & nomenclature PL03 -  
- Profil géoélectrique PL03 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-Cha-PL03	22	544628.34	5180999.05	31	UTMWGS84
	23	544565.00	5181006.25	31	UTMWGS84



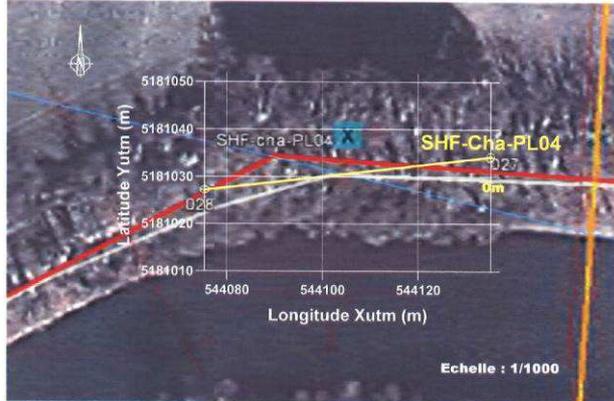
Date	Realise/modifie par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Mars 2016	HOUTTEVILLET.	11 rue Louis Rosta 63000 Clermont Ferrand tel:04.73.37.7202



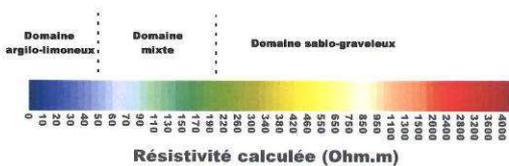
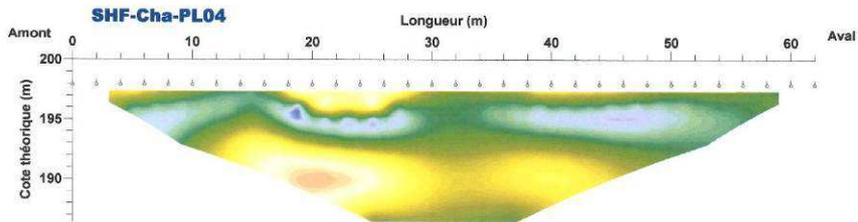
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection  
RCF2.E.045-SHF-Cha

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Digues de la Loire -  
- Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE - CHARRIN**  
- Implantation & nomenclature PL04 -  
- Profil géoélectrique PL04 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-Cha-PL04	27	544135.19	5181034.16	31	UTMWGS84
	28	544075.34	5181027.23	31	UTMWGS84

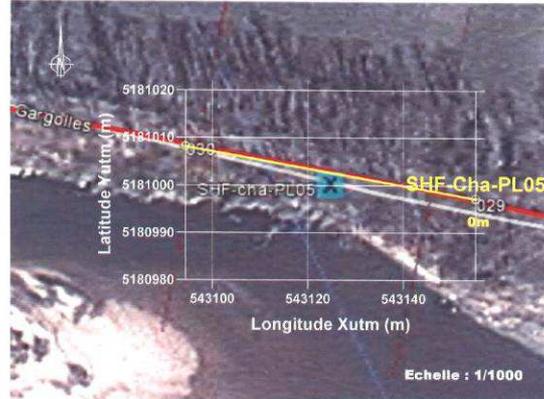


Date	Realise/modifie par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Mars 2016	HOUTTEVILLE T.	11 rue Louis Braille 81000 Clermont Ferrand tel. 04.73.27.72.98

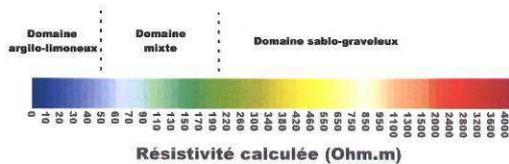
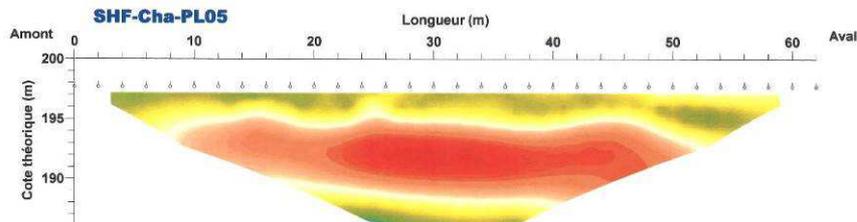
GINGER CEBTP  
Pôle Géophysique  
Prospection  
RCF6.E.045-SHF-Cha

- PANNEAUX ELECTRIQUES -  
- Digues de la Loire -  
Dpt de la Nièvre (58)

**VAL DE SAINT-HILAIRE-FONTAINE - CHARRIN**  
- Implantation & nomenclature PL05 -  
- Profil géoélectrique PL05 -



PE	Pt GPS	Xutm (m)	Yutm (m)	Fuseau	Système
SHF-Cha-PL05	29	543155.13	5180997.22	31	UTMWGS84
	30	543094.42	5181008.25	31	UTMWGS84



Date	Realise/modific par :	GINGER-CEBTP - Pôle Géophysique
Mars 2015	HOUTTEVILLE T.	11 rue Léon Rogier 63000 Clermont Ferrand tel: 04.73.37.72.00

## **ANNEXE 5 : SONDAGES CAROTTES**

Coupe détaillée des sols

Paramètres de forage

Photographies des caisses à carotte

**SONDAGE CAROTTE SHF-SC1-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

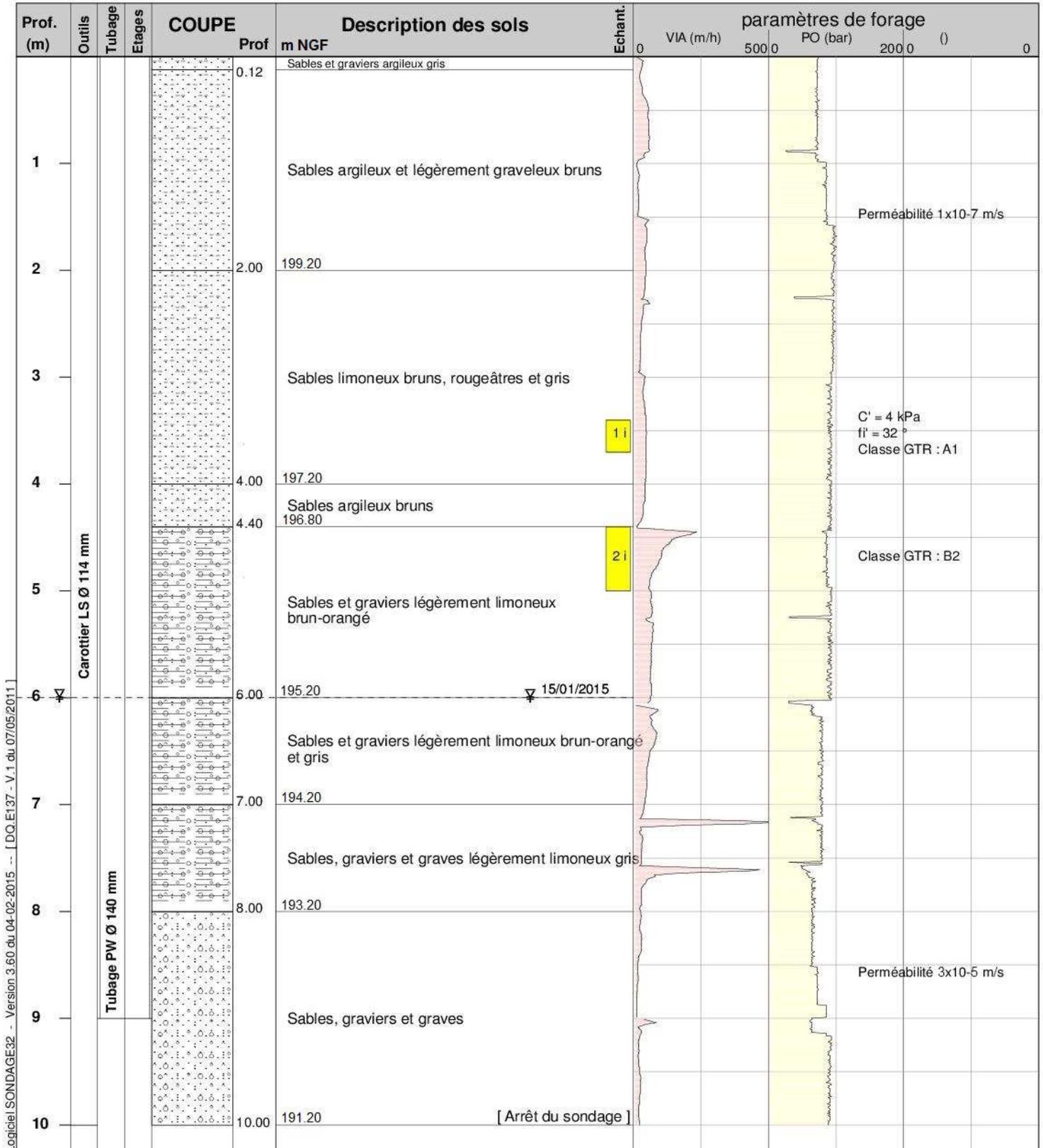
Localisation :

N46°45'10.5" - E3°38'7.7" - Z : 201.2 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 15/01/2015



Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Niveau d'eau à 6.0 m.  
niveau relevé le 15/01/2015



Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine (digues de Thareau et Charin)

Dossier : RD12.E.050

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

### Sondage carotté SHF-SC1-CRE



**SONDAGE CAROTTE SHF-SC2-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

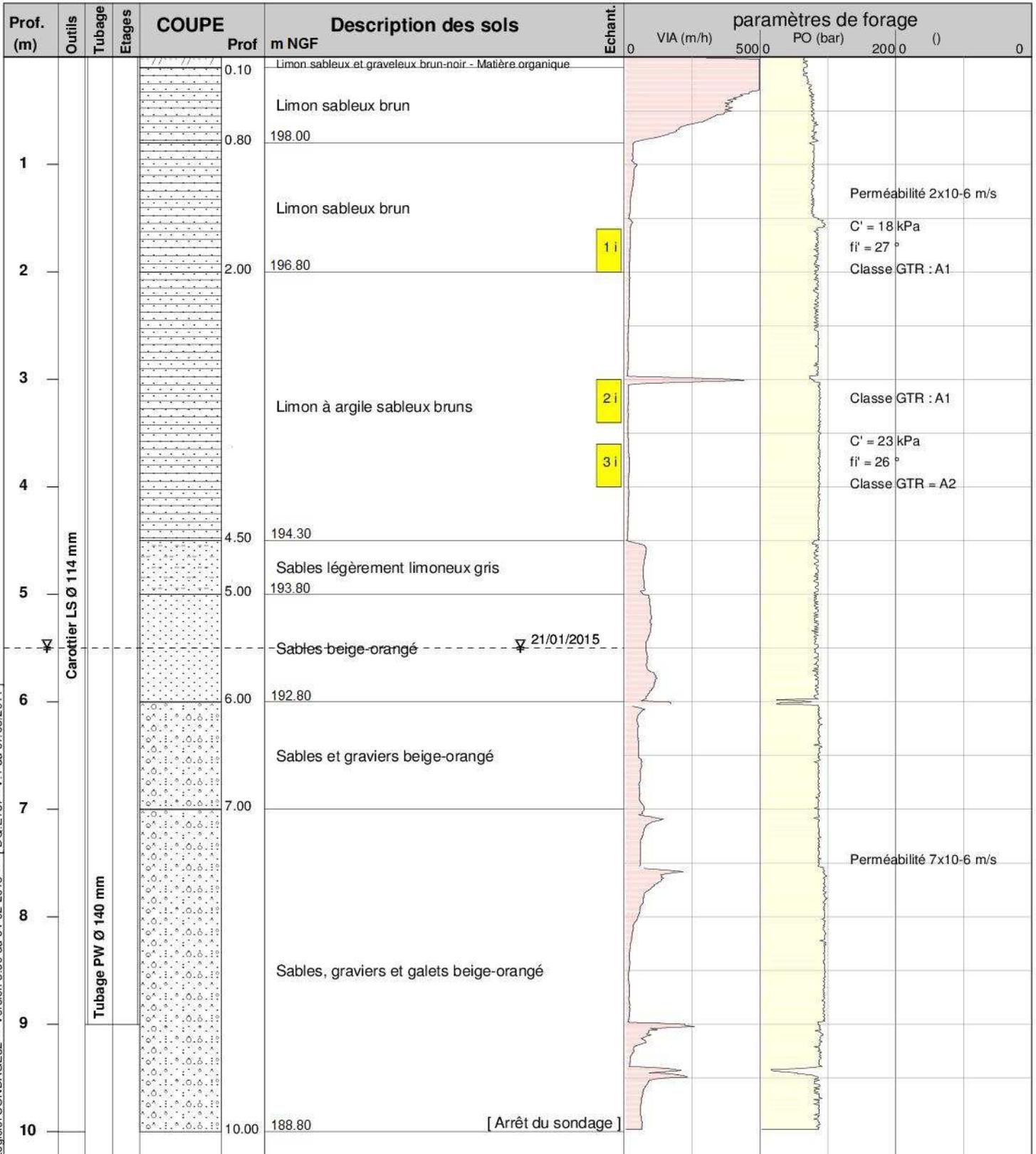
Localisation :

N46°45'56.6" - E3°36'11.0" - Z : 198.8 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 21/01/2015



Logiciel SONDAGE32 - Version 3.60 du 04-02-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 07/05/2011 ]

Carottier LS Ø 114 mm

Tubage PW Ø 140 mm

Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Niveau d'eau à 5.5 m.  
niveau relevé le 21/01/2015

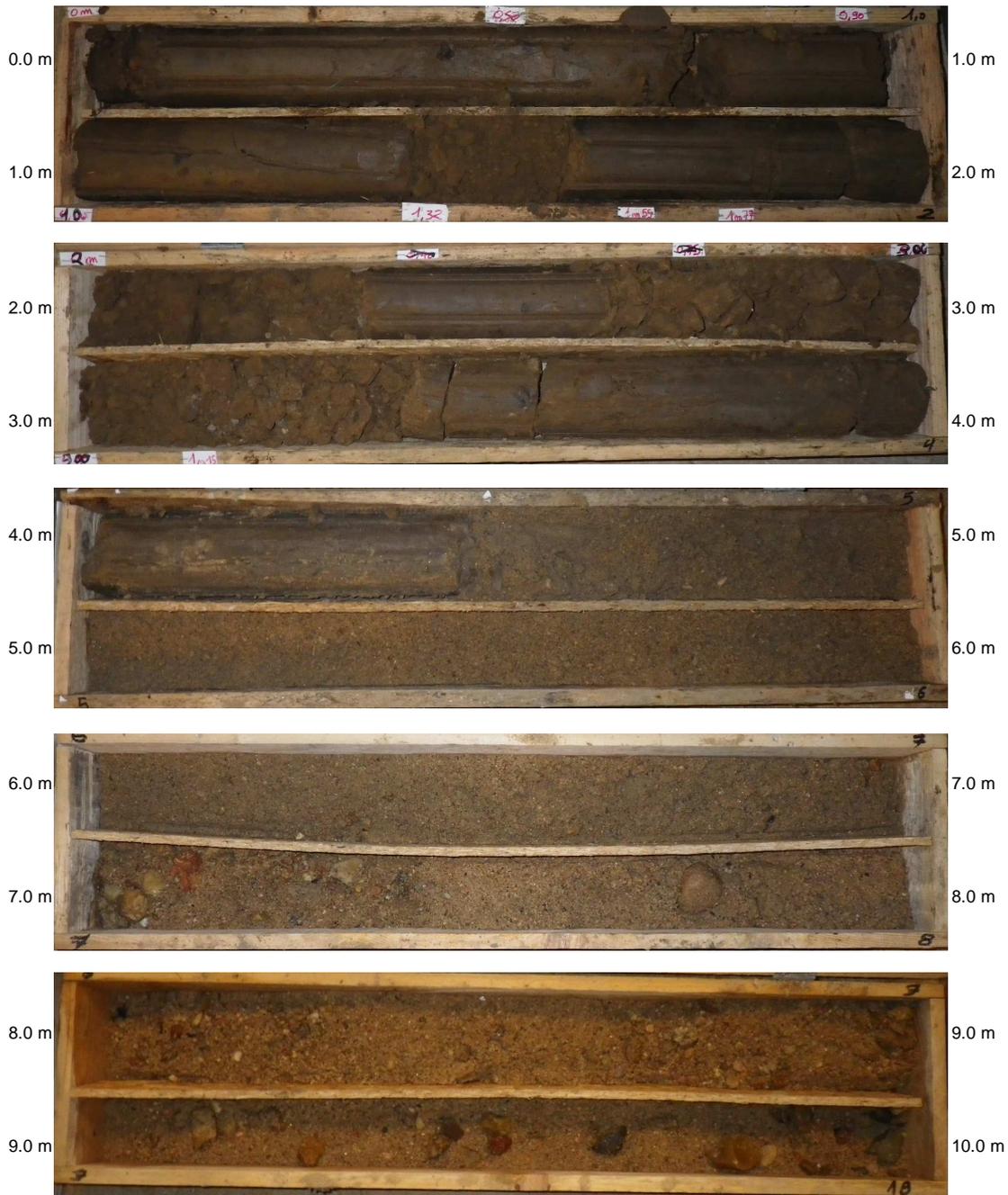


Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine (digues de Thareau et Charin)

Dossier : RD12.E.050

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

### Sondage carotté SHF-SC2-CRE



**SONDAGE CAROTTE SHF-SC3-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

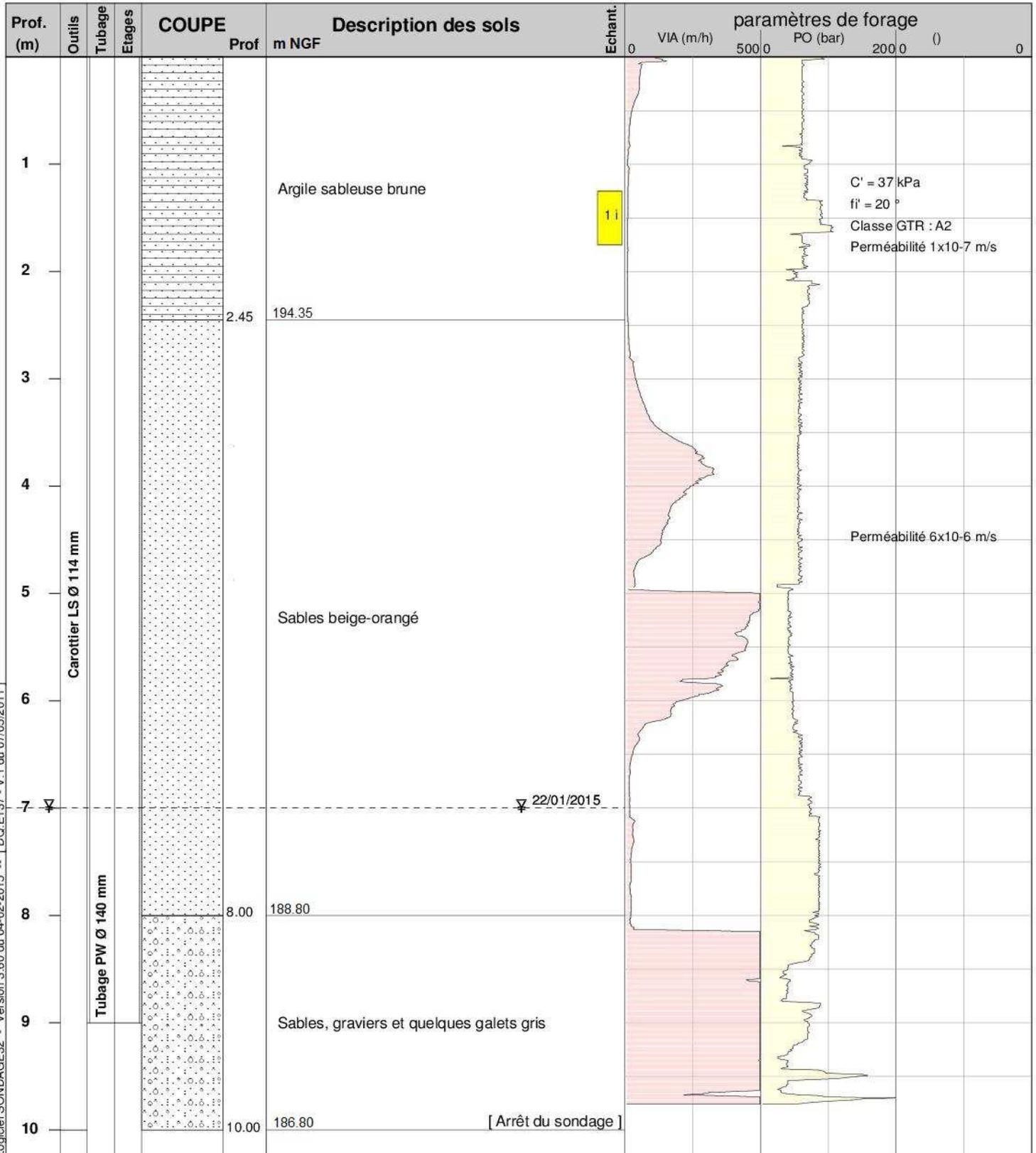
Dossier : RCF2.E.093

Localisation :

N46°46'31.4" - E3°35'41.6" - Z : 196.8 m NGF

Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 22/01/2015



Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Niveau d'eau à 7.0 m.  
niveau relevé le 22/01/2015



Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine (digues de Thareau et Charin)

Dossier : RCF2.E.093

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

### Sondage carotté SHF-SC3-CRE



## **ANNEXE 6 : SONDAGES PRESSIOMETRIQUES**

Coupe approximative des sols

Paramètres de forage

Diagrammes pressiométriques

## SONDAGE PRESSIOMETRIQUE SHF-SP1-CRE

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Loire

Dossier : RCF2.E.093

Localisation :

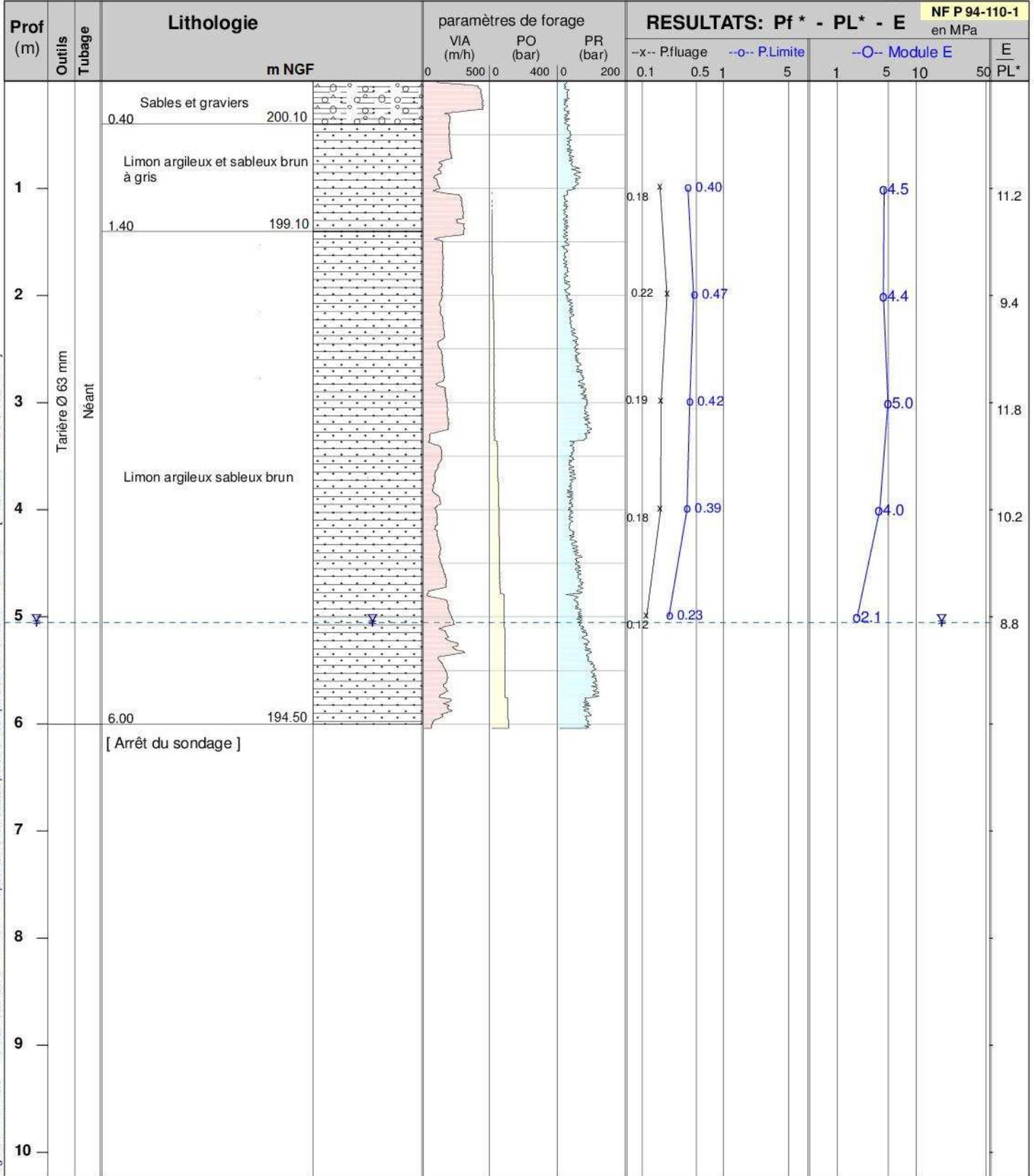
N46°45'19.2" - E3°37'29.9" - Z : 200.5 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

Sondeuse: Socomafor 50

date de fin de sondage: 13/01/2015



Observations : /

Nappe: niveau d'eau à 5.05 m.  
(à la date d'exécution du forage)

**SONDAGE PRESSIOMETRIQUE SHF-SP2-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Loire

Dossier : RCF2.E.093

Localisation :

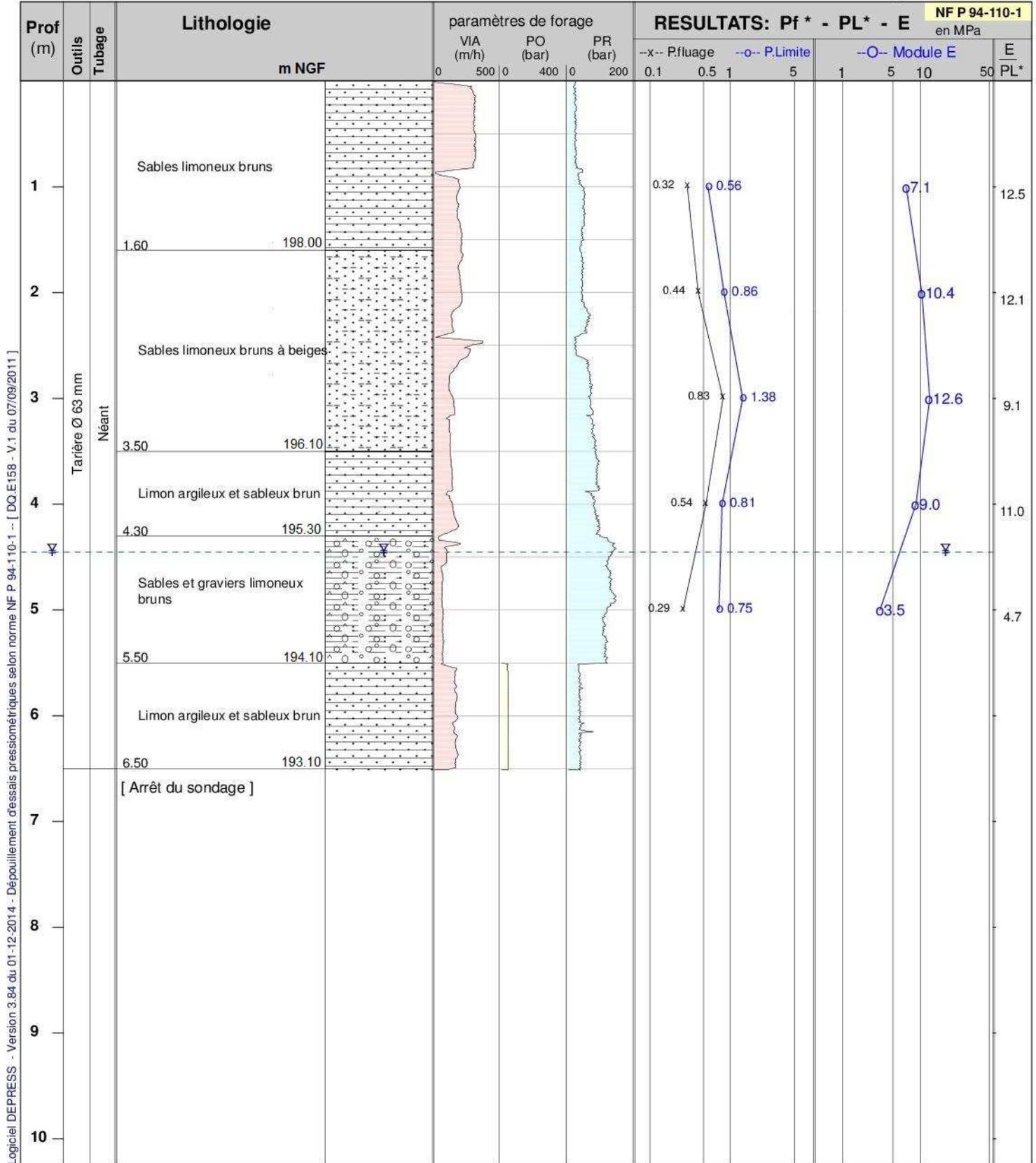
N46°45'36.0" - E3°36'19.0" - Z : 199.6 m NGF



Ech. Prof: 1/50°

Sondeuse: Socomafor 50

date de fin de sondage: 12/01/2015



Logiciel DEPRESS - Version 3.84 du 01-12-2014 - Dépouillement d'essais pressiométriques selon norme NF P 94-110-1 - [ DO.E158 - V.1 du 07/09/2011 ]

Observations : /

Nappe: niveau d'eau à 4.45 m.  
(à la date d'exécution du forage)

## SONDAGE PRESSIOMETRIQUE SHF-SP3-CRE

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Loire

Dossier : RCF2.E.093

Localisation :

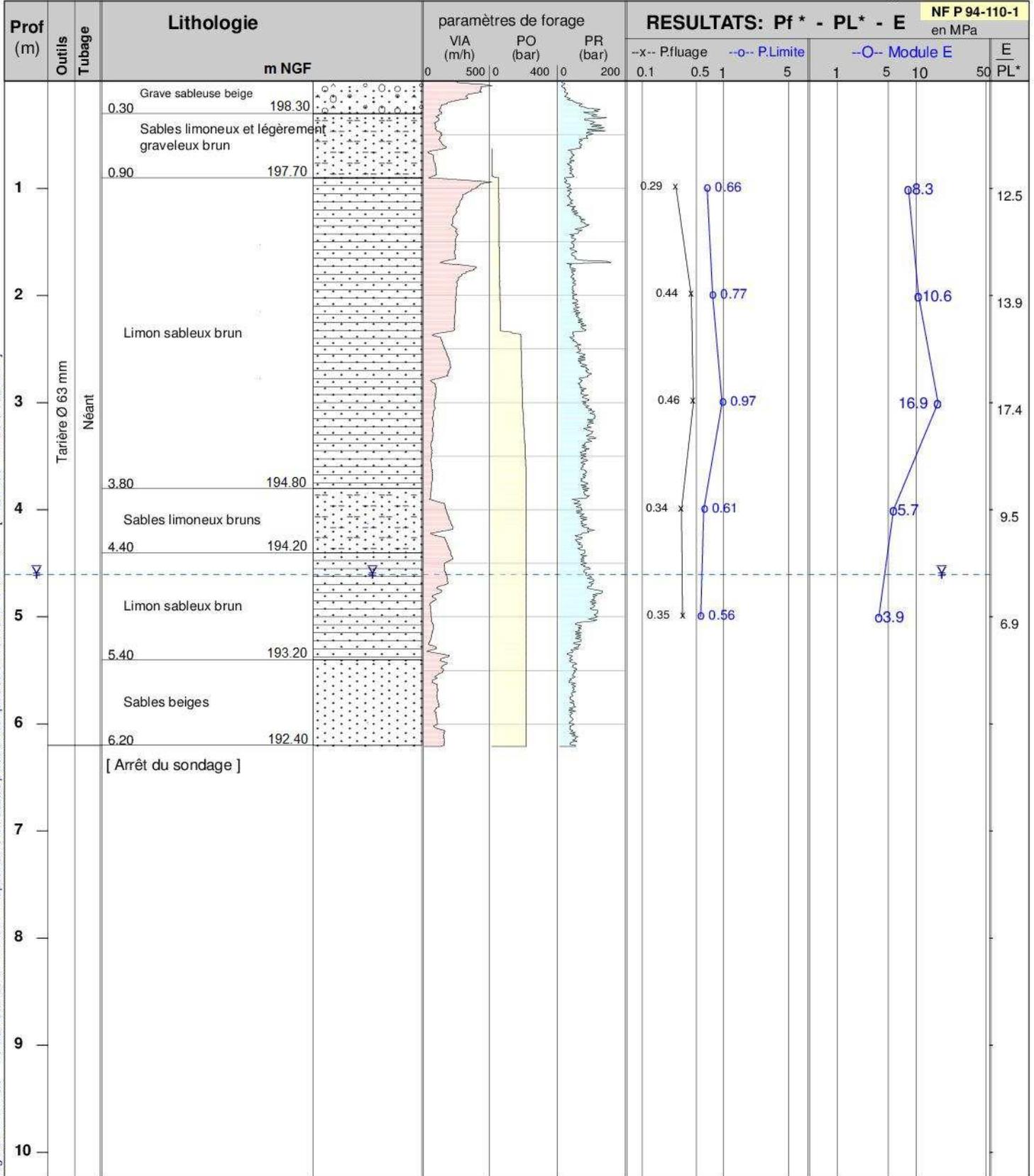
N4646'52.1" - E3°34'59.6" - Z : 198.6 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

Sondeuse: Socomafor 50

date de fin de sondage: 15/01/2015



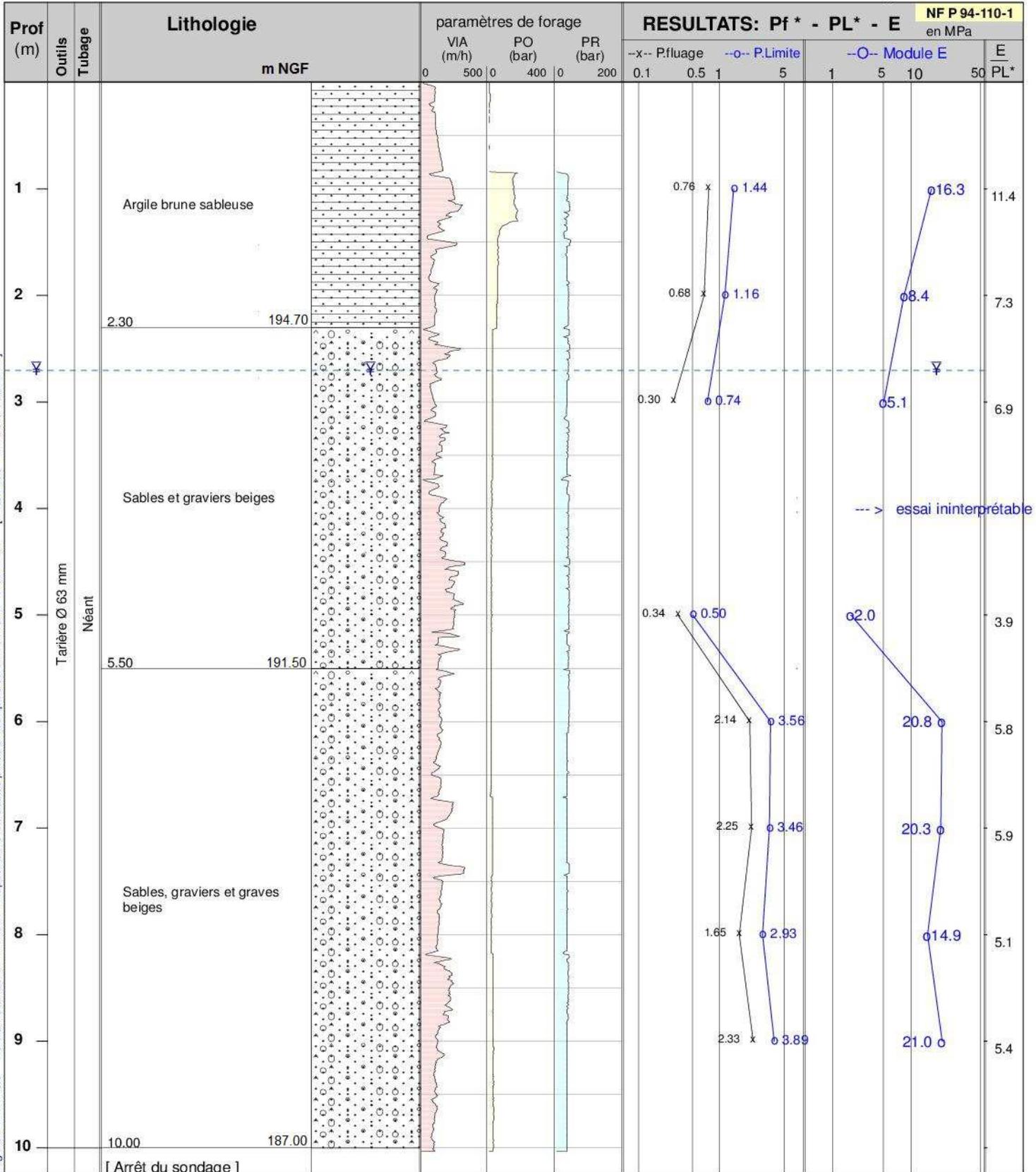
Observations : /

Nappe: niveau d'eau à 4.60 m.  
(à la date d'exécution du forage)

Ech.Prof: 1/50°

Sondeuse: Socomafor 50

date de fin de sondage: 05/02/2015



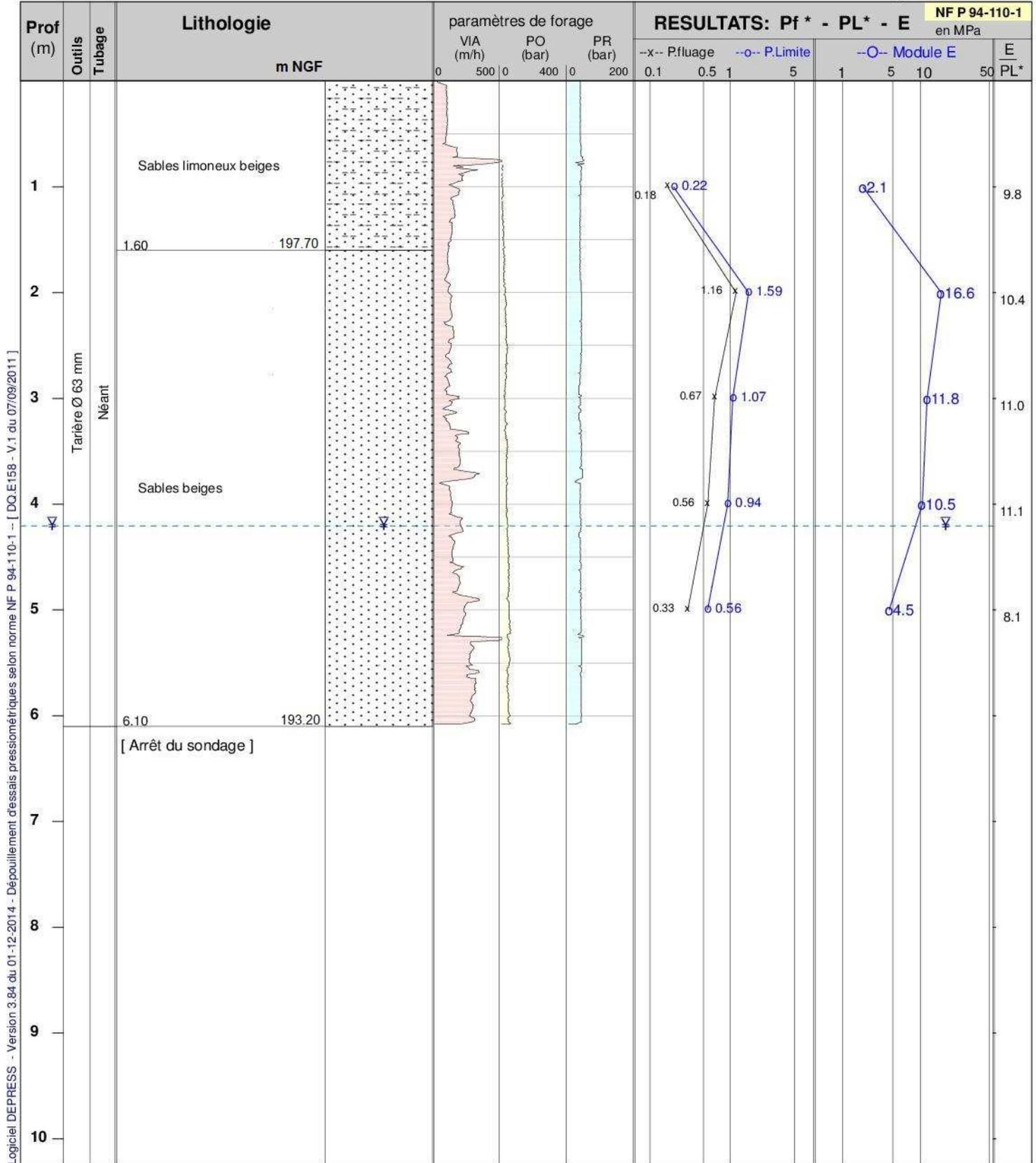
Observations : /

Nappe: niveau d'eau à 2.70 m.  
(à la date d'exécution du forage)

Ech.Prof: 1/50°

Sondeuse: Socomafor 50

date de fin de sondage: 09/03/2015



Logiciel DEPRESS - Version 3.84 du 01-12-2014 - Déroulement d'essais pressiométriques selon norme NF P 94-110-1 -- [ DO.E158 - V.1 du 07/09/2011 ]

Observations : /

Nappe: niveau d'eau à 4.20 m.  
(à la date d'exécution du forage)

## **ANNEXE 7 : SONDAGES A LA TARIERE HELICOIDALE**

Coupe détaillée des sols  
Paramètres de forage

**SONDAGE à la Tarière SHF-ST1-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre  
Dossier : RCF2.E.093

Localisation :  
N46°45'8.3" - E3°37'46.5" - Z : 201.1 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 14/01/2015

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE	Prof m NGF	Description des sols	Echant.	paramètres de forage		
								VIA (m/h)	PO (bar)	PR (bar)
					0.30	Grave sableuse				
					200.80					
1						Sables et graviers légèrement limoneux beiges				
					1.30					
2										
						Sables et graviers limoneux beiges	1 r			Classe GTR : A1
3										Perméabilité 8x10-6 m/s
					4.10					
4		Néant				[ Arrêt du sondage ]				
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Nappe : /  
à la date du sondage

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.60 du 04-02-2015 -- [DQ.E137 - V.1 du 07/05/2011]

**SONDAGE à la TARIERE SHF-ST2-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

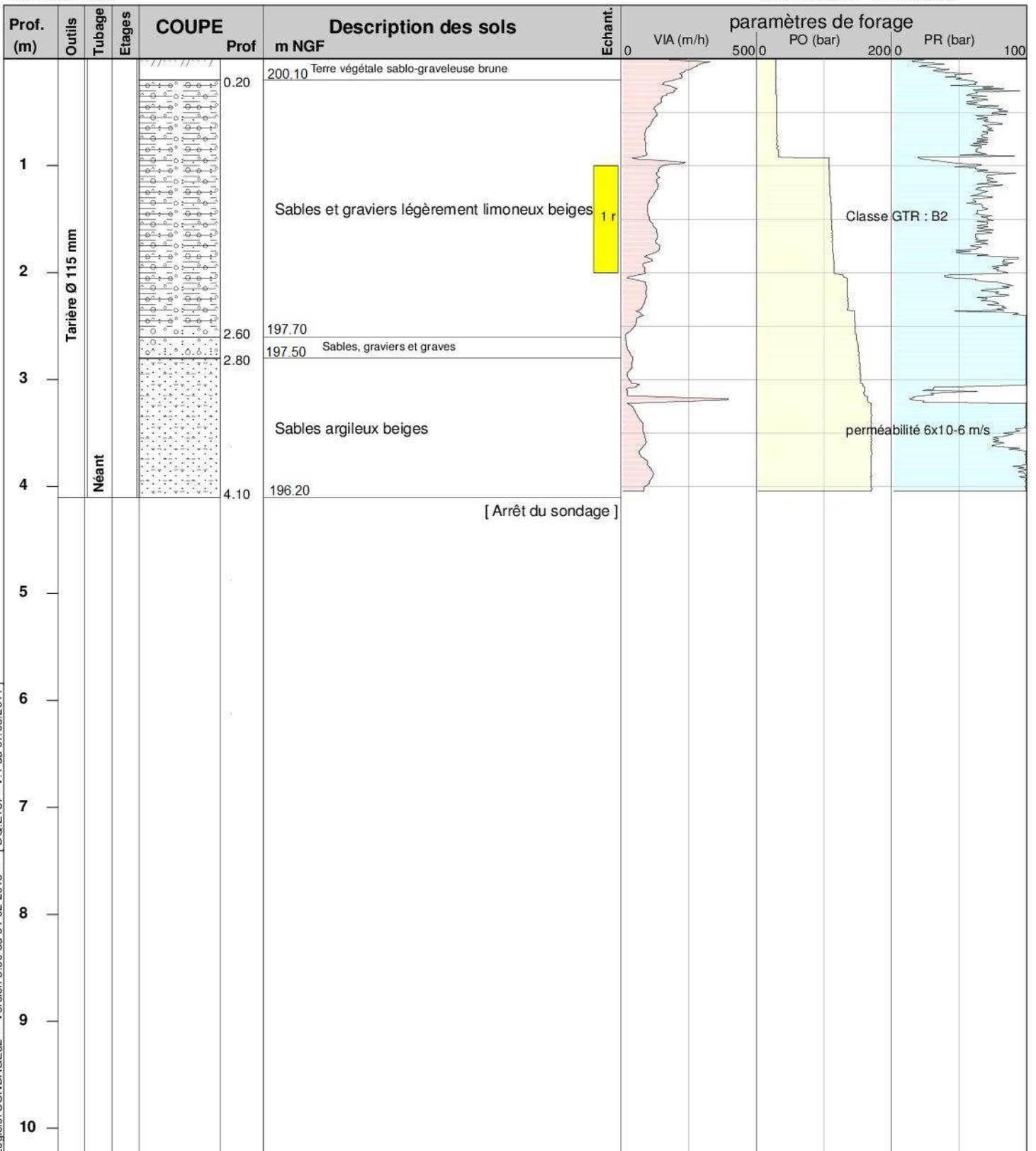
Localisation :

N46°45'23.1 - E3°37'12.3 - Z : 200.3 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 14/01/2015



Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Nappe : /  
à la date du sondage

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.60 du 04-02-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 07/05/2011 ]

**SONDAGE à la TARIERE SHF-ST3-PDCV**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

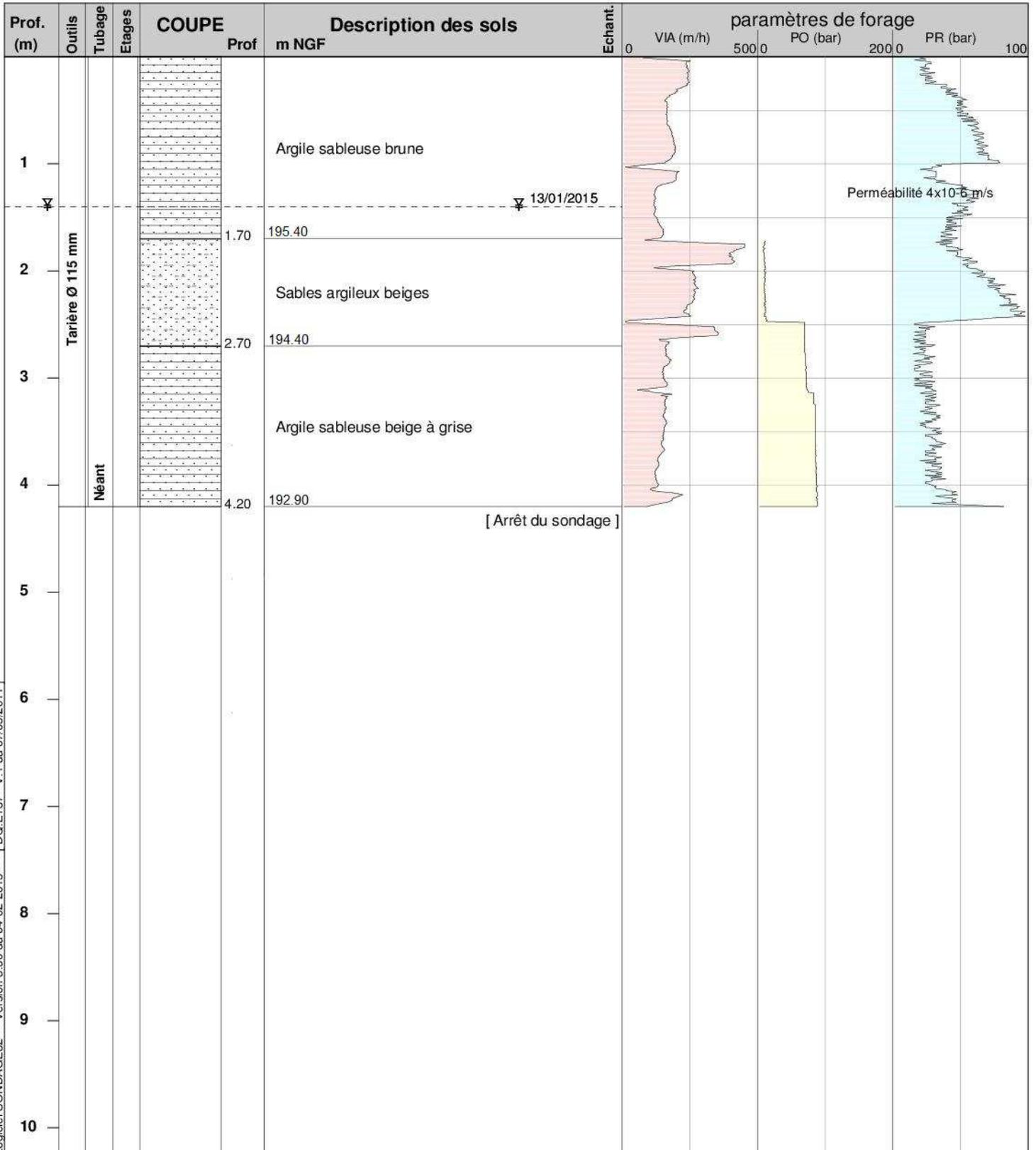
Localisation :

N46°45'21.8" - E3°37'1.1" - Z : 197.1 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 13/01/2015



Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Niveau d'eau à 1.40 m.  
niveau relevé le 13/01/2015

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.60 du 04-02-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 07/05/2011 ]

**SONDAGE à la TARIERE SHF-ST4-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Localisation :

N46°45'28.0" - E3°36'27.0" - Z : 199.6 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 09/01/2015

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Echant.	Résultats d'essais ou observations
				Prof	m NGF			
1					1.10	198.50 Limon argileux et sableux brun à beige - matière organique		
2					2.20	197.40 Limon argileux et sableux brun	1 r	Classe GTR : A1
3					3.60	196.00 Limon sableux et graveleux gris-beige	2 r	Classe GTR : A1
4					3.60	196.00		Perméabilité 3x10-6 m/s
5						Sables et graviers gris-beige		
6					6.00	193.60		
7						Sables beiges		
8					8.00	191.60 [ Arrêt du sondage ]		
9								
10								

Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Nappe : /  
à la date du sondage

**SONDAGE à la TARIERE SHF-ST5-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

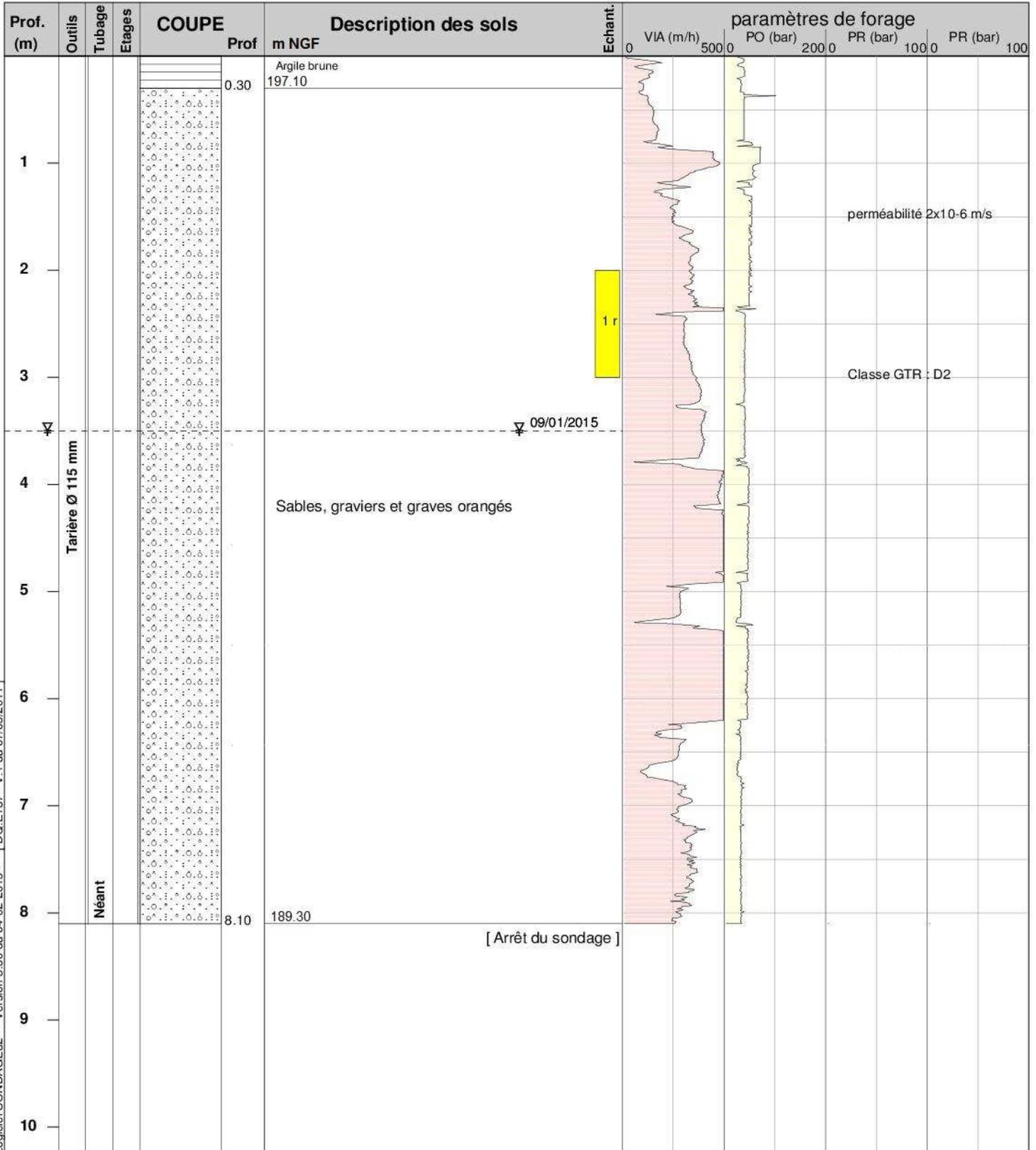
Localisation :

N46°46'11.1" - E3°36'19.6" - Z : 197.4 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 09/01/2015



Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Niveau d'eau à 3.5 m.  
niveau relevé le 09/01/2015

**SONDAGE à la TARIERE SHF-ST6-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

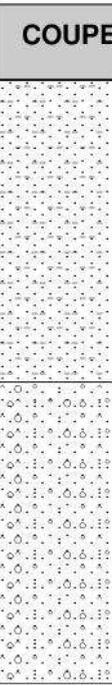
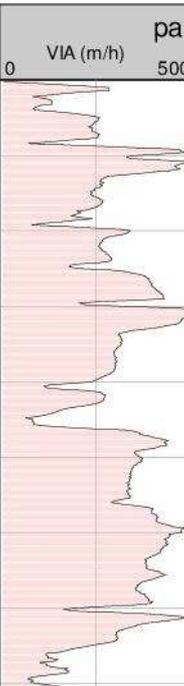
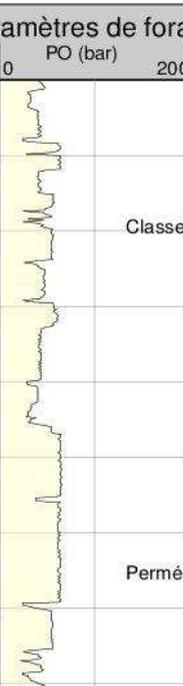
Dossier : RCF2.E.093

Localisation :

N46°46'39.2" - E3°35'23.6" - Z : 198.2 m NGF

Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 13/01/2015

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE	Prof m NGF	Description des sols	Echant.	paramètres de forage					
								VIA (m/h)	PO (bar)	PR (bar)			
1	Tarière Ø 115 mm					Sables limoneux légèrement et graviers brun-gris	1 r						
2					196.20	Classe GTR : B5							
3						Sables et graviers bruns	Perméabilité 3x10-6 m/s						
4					194.20	[ Arrêt du sondage ]							
5													
6													
7													
8													
9													
10													

Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

Nappe : /  
à la date du sondage

**SONDAGE à la TARIERE SHF-ST7-CRE**

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre  
Dossier : RCF2.E.093

Localisation :  
N46°46'45.4" - E3°35'37.7" - Z : 198.2 m NGF



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 23/01/2015

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Echant.	Résultats d'essais ou observations
				Prof	m NGF			
1								
2						Sables bruns		
3								
4				4.00	194.20			
5						Sables et graviers bruns		
6				6.00	192.20	[ Arrêt du sondage ]		
7								
8								
9								
10								

Sondeuse: Socomafor 50

Observations : /

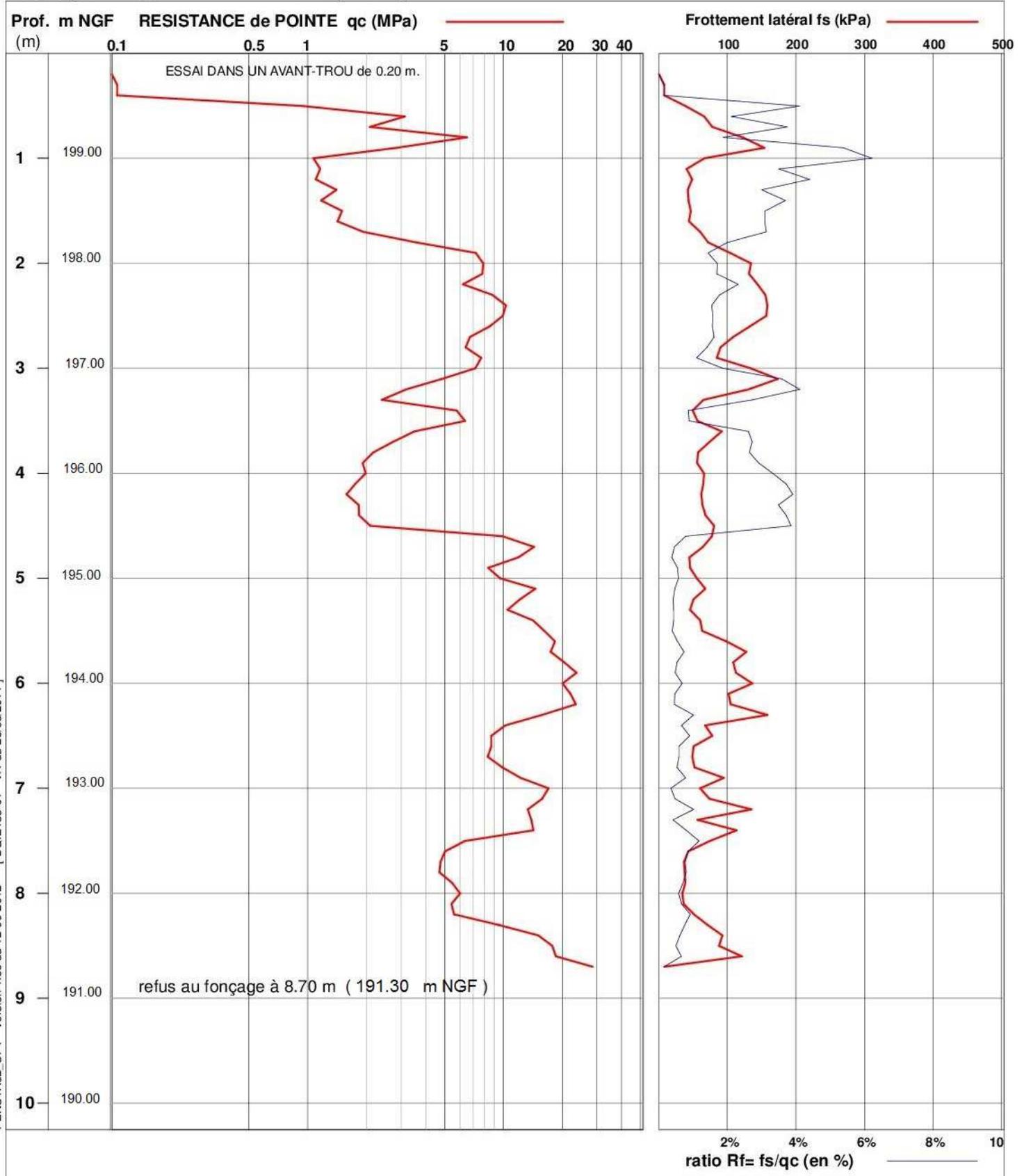
**Niveau d'eau à 5.0 m.**  
niveau relevé le 23/01/2015

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.60 du 04-02-2015 -- [ DQ.EI37 - V.1 du 17/05/2011 ]

## ***ANNEXE 8 : ESSAIS DE PENETRATION STATIQUE***

Pénétrogrammes

Echelle prof. : 1/50° Echelle qc en Log



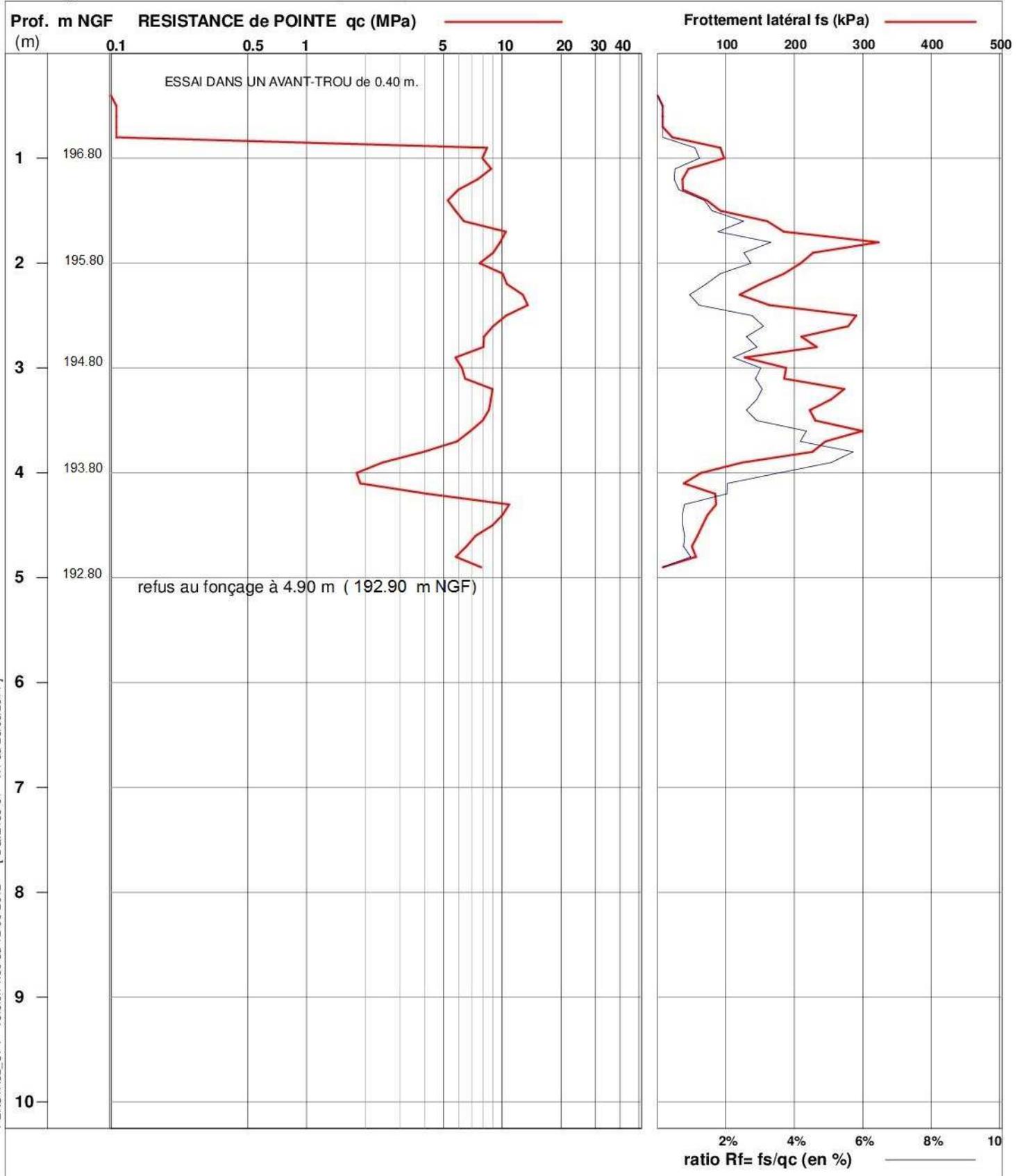
MATERIEL UTILISE : Socomafor 18t / acquisition datas avec cône C10CFIIP.C12040 / pointe électrique / Surf.cône: 10cm²

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre  
Dossier : RCF2.E.093  
Date essai: 12/02/2015

Localisation :  
N46°46'53.0" - E3°34'39.1" - Z : 197.8 m NGF

Echelle prof. : 1/50° Echelle qc en Log



PENSTA32\_CPT - Version 1.50 du 12-09-2012 - [ DQ.E133-01 - V.1 du 25/05/2011 ]

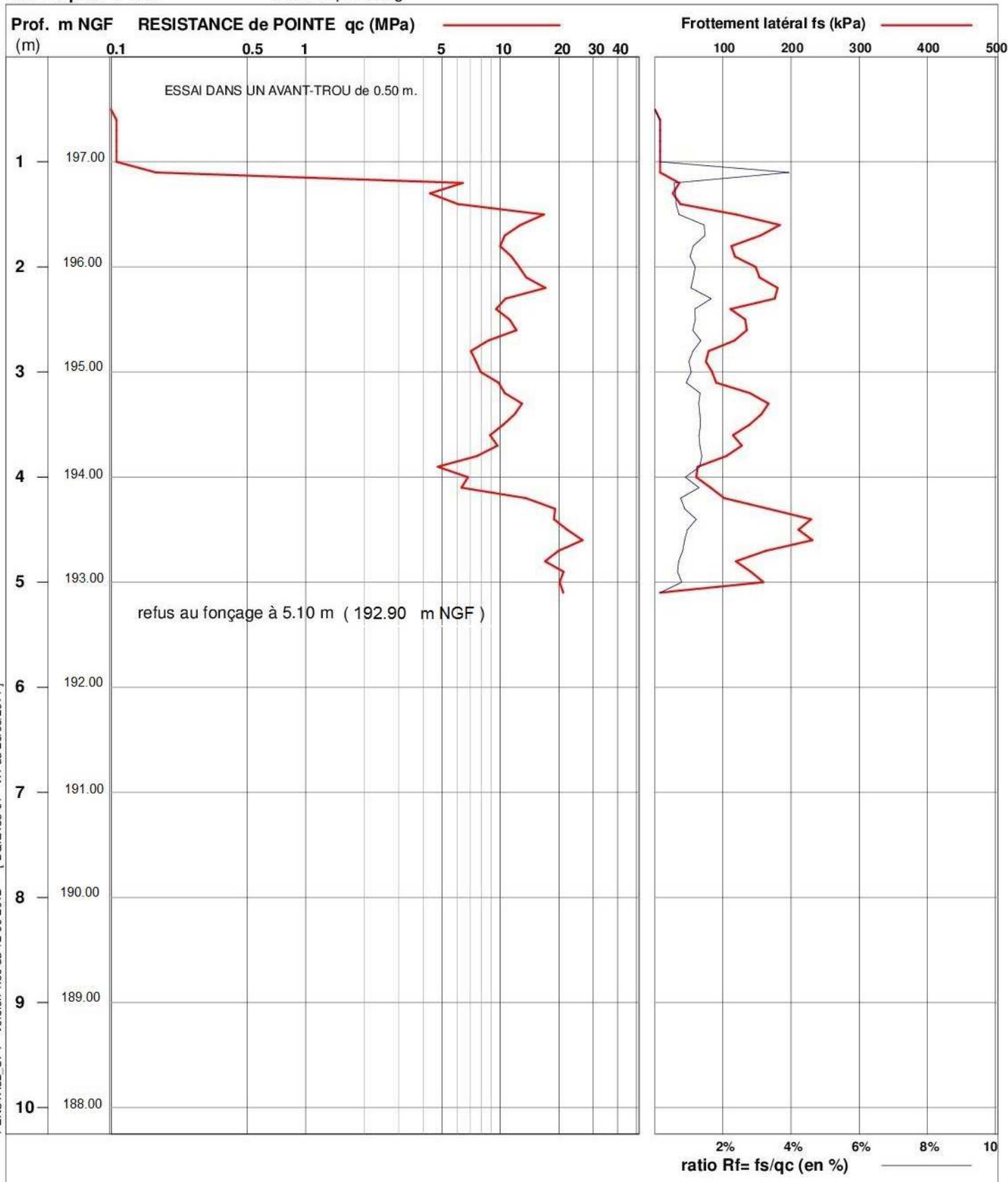
MATERIEL UTILISE : Socomafor 18t / acquisition datas avec cône C10CFIIP.C12040 / pointe électrique / Surf.cône: 10cm<sup>2</sup>

Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre  
Dossier : RCF2.E.093  
Date essai: 12/02/2015

Localisation :  
N46°46'49.6" - E3°34'8.1" - Z : 198.0 m NGF

Echelle prof. : 1/50° Echelle qc en Log



MATERIEL UTILISE : Socomafor 18t / acquisition datas avec cône C10CFIIP.C12040 / pointe électrique / Surf.cône: 10cm²

## **ANNEXE 9 : ESSAIS D'INFILTRATION**

Coupes des sols

Infiltrations mesurées

Perméabilités des terrains

























## ***ANNEXE 10 : PROCES VERBAUX DES ESSAIS EN LABORATOIRE***

Notations relatives aux essais en laboratoire  
Identification des sols

## Notions relatives aux essais en laboratoire

Wn : teneur en eau naturelle

VBs : Valeur au Bleu de méthylène du sol

Cet essai permet de déterminer la propreté du sol, le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, par la mesure de la quantité de colorant fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée.

Analyse granulométrique : opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, cette analyse étant faite par tamisage.

L'analyse granulométrique fournit le pourcentage de grains passant à différents diamètres.

Analyse sédimentométrique : la méthode consiste à mesurer le temps de sédimentation dans une colonne d'eau, c'est-à-dire la vitesse de chute des particules.

À partir de la loi de Stokes, on détermine la taille des grains.

Essai de cisaillement lent à la boîte de Casagrande : il s'agit de déterminer expérimentalement la courbe intrinsèque d'un sol pulvérulent puis d'en déduire les paramètres de cisaillement en provoquant la rupture de l'échantillon suivant un plan imposé : on applique une contrainte normale ( $\sigma$ ) puis on cisaille le sol. La valeur de la contrainte tangentielle ( $\tau_{lim}$ ) étant alors connue, la représentation dans le plan de Mohr permet de trouver la valeur de l'angle de frottement interne d'un sol ( $\varphi$ ), et la cohésion (C) de l'échantillon.

Essai triaxial CU+u : essai de compression axiale d'un échantillon soumis à une contrainte latérale constante, la compression axiale étant poussée jusqu'à l'obtention de la rupture ; dans le cas de cet essai, le chargement peut être précédé d'une consolidation isotrope à la même pression que la pression d'essai et la pression interstitielle est mesurée.

GTR : Classification selon le Guide Technique pour la Réalisation des Remblais et des couches de forme (GTR 92) cohérent avec la norme NF P 11-300.



## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Sables limoneux  
Repère ou sondage : SHF-SC1-CRE  
Profondeur : 3.4 à 3.7 m  
Mode prélèvement : Carottage  
Date prélèvement : 15/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
5	21.8	1.78				100	100	37			<b>A1</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

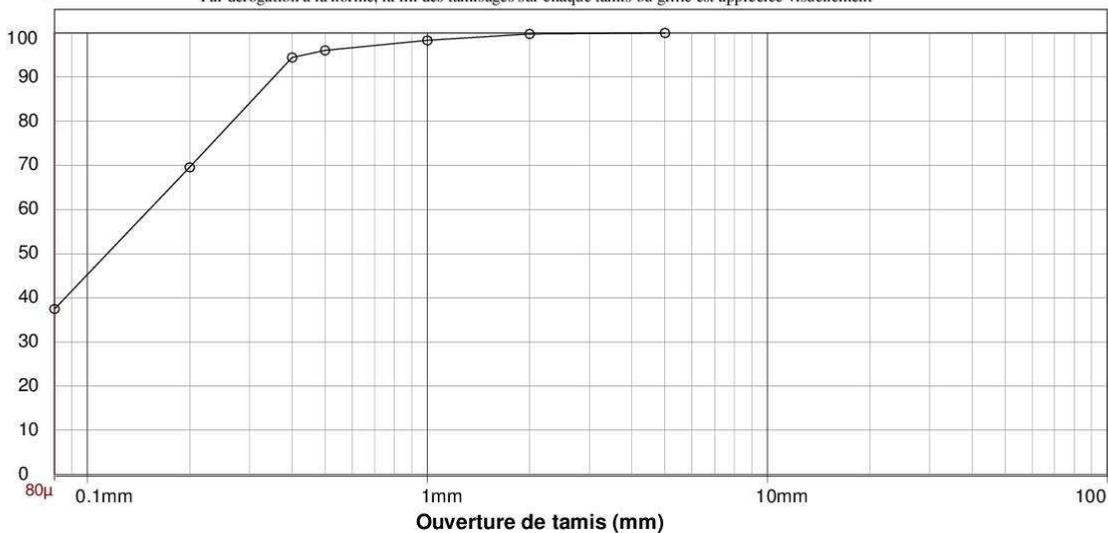
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5
Passants (%)	37%	70%	94%	96%	98%	100%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.



## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Sables et graviers lég. limoneux  
Repère ou sondage : SHF-SC1-CRE  
Profondeur : 4.4 à 5.0 m  
Mode prélèvement : Carottage  
Date prélèvement : 15/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 28/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
31.5	14.6	0.39				89	78	11			<b>B2</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

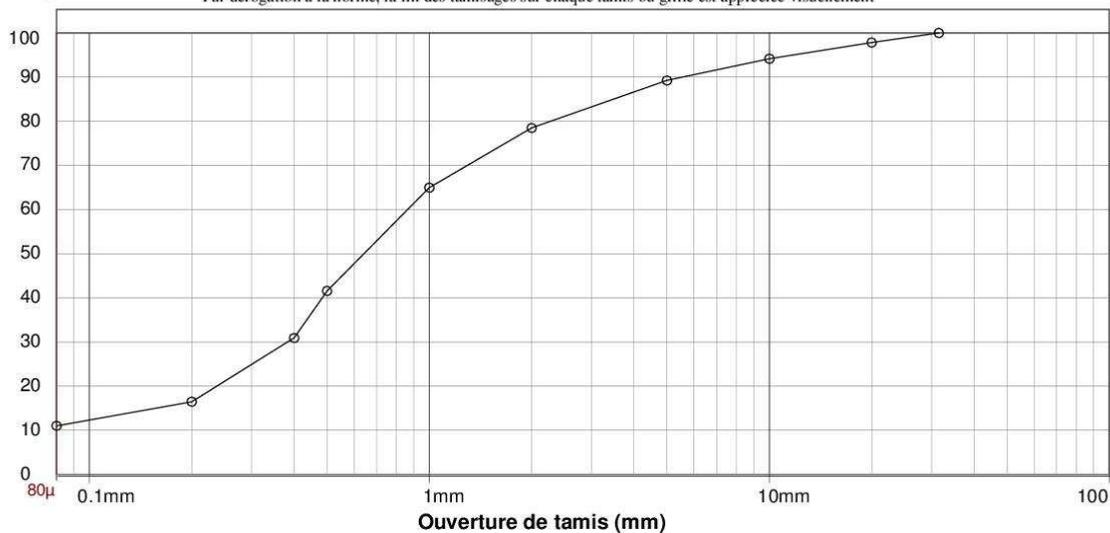
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20	31.5
Passants (%)	11%	16%	31%	42%	65%	78%	89%	94%	98%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Limon sableux  
Repère ou sondage : SHF-SC2-CRE  
Profondeur : 1.6 à 2.0 m  
Mode prélèvement : Carottage  
Date prélèvement : 21/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
10	17.0	1.6				100	100	77			<b>A1</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

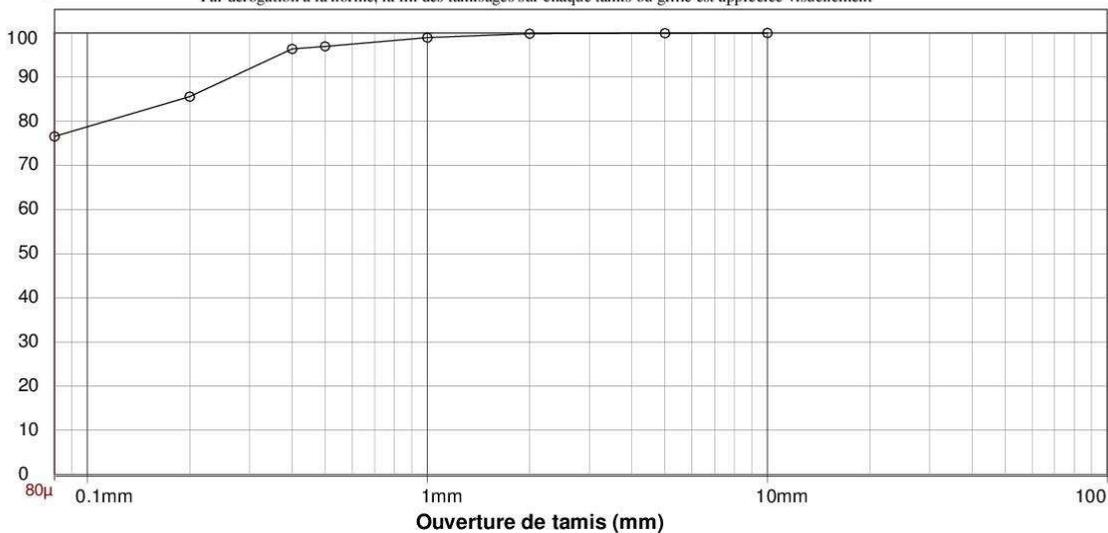
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10
Passants (%)	77%	86%	96%	97%	99%	100%	100%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ, E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Limon argileux et sableux  
Repère ou sondage : SHF-SC2-CRE  
Profondeur : 3.0 à 3.4 m  
Mode prélèvement : Carottage  
Date prélèvement : 21/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
5	14.9	2.5				100	100	83			<b>A1</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

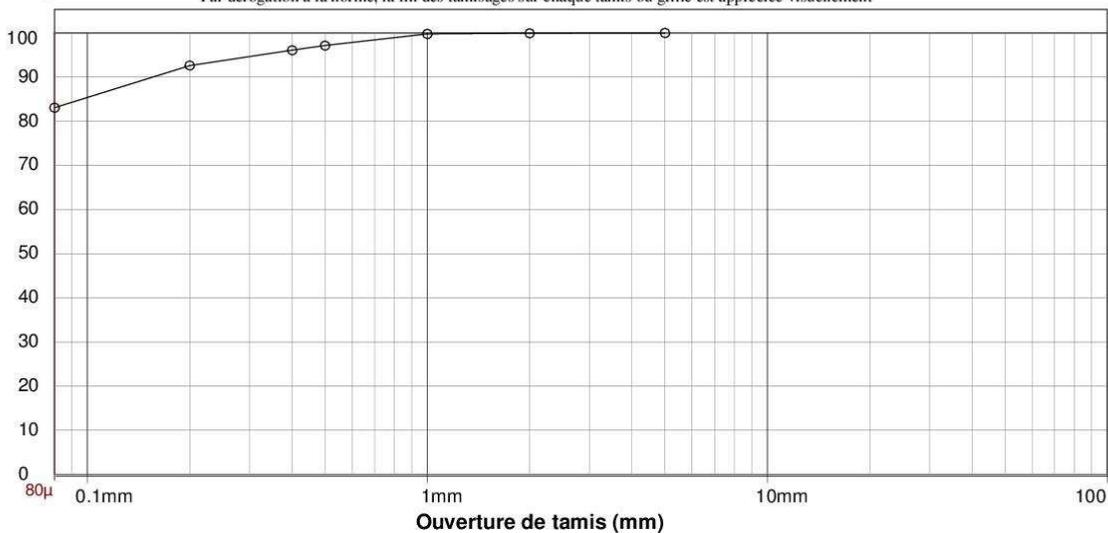
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5
Passants (%)	83%	93%	96%	97%	100%	100%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Limon argileux et sableux  
Repère ou sondage : SHF-SC2-CRE  
Profondeur : 3.6 à 4.0 m  
Mode prélèvement : Carottage  
Date prélèvement : 21/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
5	19.3	2.6				100	99	86			<b>A2</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

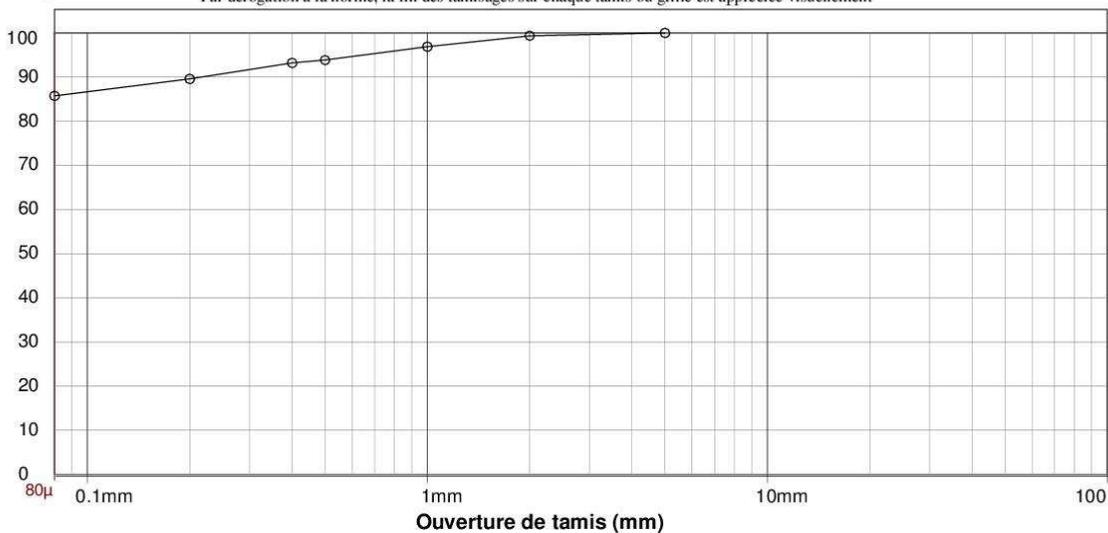
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5
Passants (%)	86%	90%	93%	94%	97%	99%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.



## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Argile sableuse  
Repère ou sondage : SHF-SC3-CRE  
Profondeur : 1.6 à 1.7 m  
Mode prélèvement : Carottage  
Date prélèvement : 22/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 03/02/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
10	18.9	5.5				100	98	90			<b>A2</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

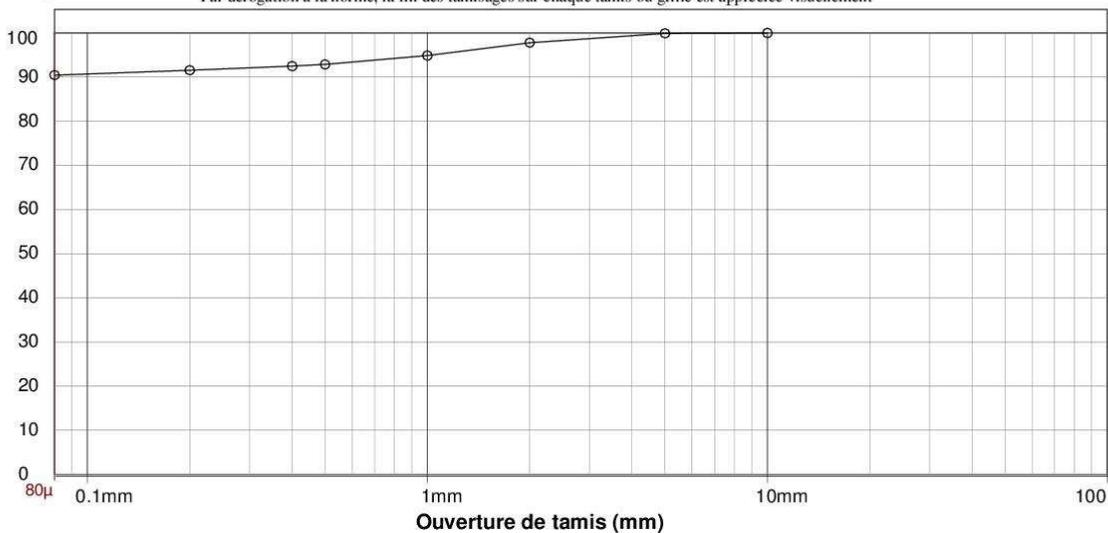
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10
Passants (%)	90%	92%	92%	93%	95%	98%	100%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Sable limoneux et légèrement graveleux  
 Repère ou sondage : SHF-ST1-CRE  
 Profondeur : 2.0 à 3.0 m  
 Mode prélèvement : Tarière  
 Date prélèvement : 14/01/2015  
 Prélève par : GINGER CEBTP  
 Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
31.5	8.9	1.02				90	78	35			<b>A1</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

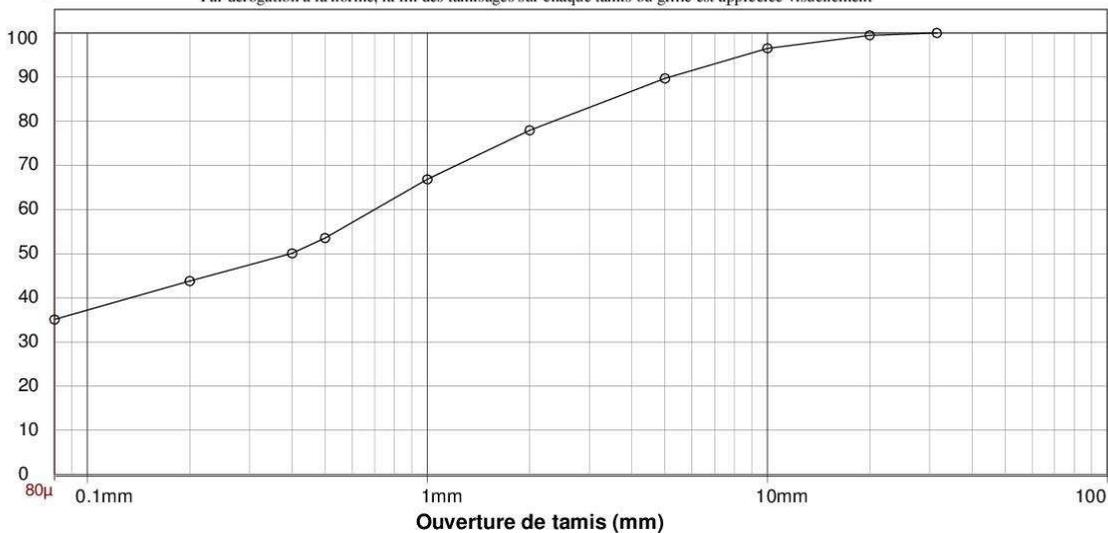
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20	31.5
Passants (%)	35%	44%	50%	54%	67%	78%	90%	97%	99%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
 Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.



## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Sables et graviers légèrement limoneux  
Repère ou sondage : SHF-ST2-CRE  
Profondeur : 1.0 à 2.0 m  
Mode prélèvement : Tarière  
Date prélèvement : 14/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									NFP 11-300
20	5.8	0.21				91	78	8			<b>B2</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

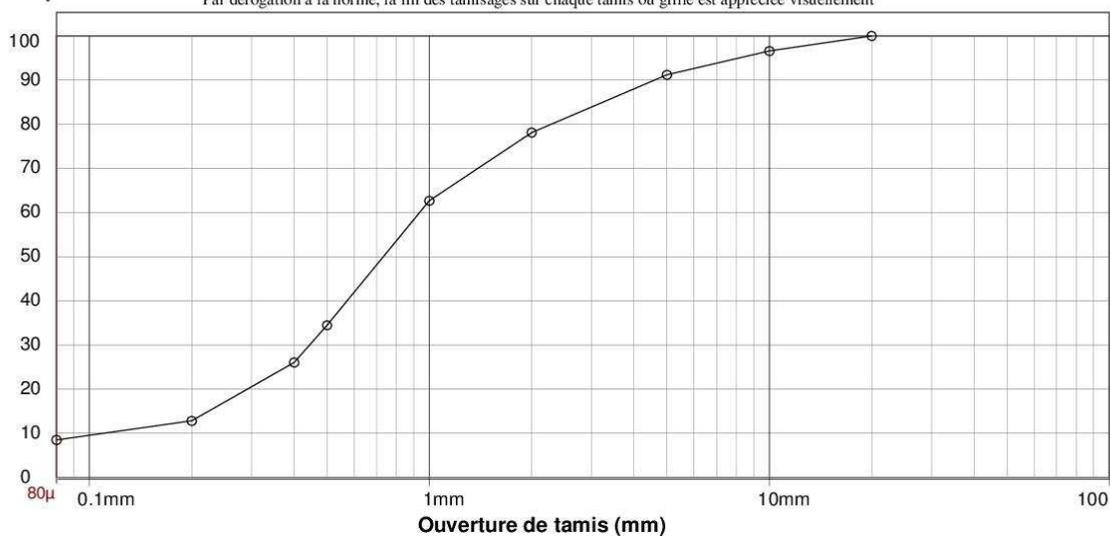
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20
Passants (%)	8%	13%	26%	34%	63%	78%	91%	97%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ, E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.



## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Limon argileux et sableux  
Repère ou sondage : SHF-ST4-CRE  
Profondeur : 1.1 à 2.0 m  
Mode prélèvement : Tarière  
Date prélèvement : 09/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
20	13.2	1.35				98	93	57			<b>A1</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

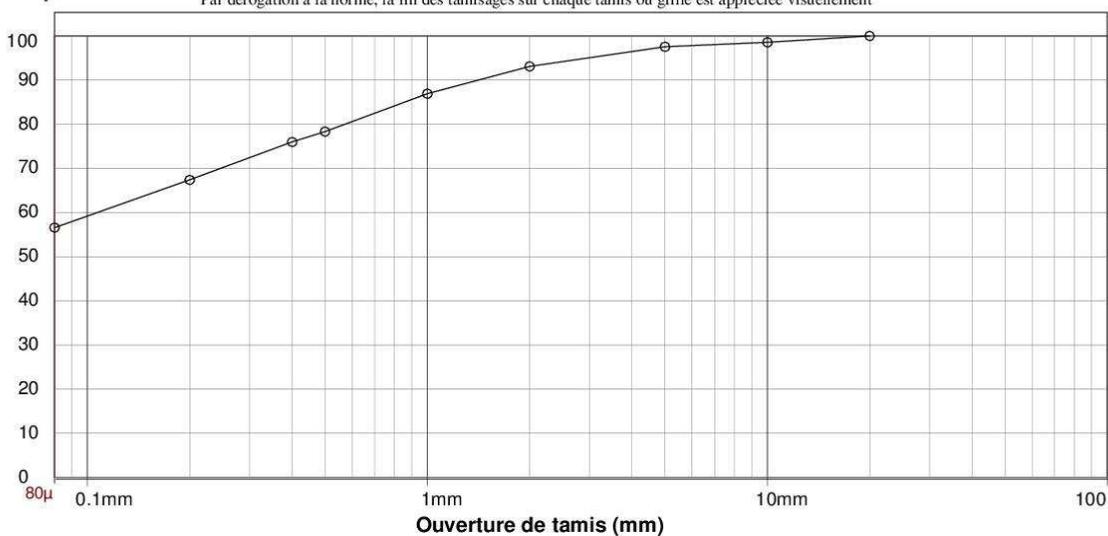
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20
Passants (%)	57%	67%	76%	78%	87%	93%	98%	99%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Limon sableux et légèrement graveleux  
 Repère ou sondage : SHF-ST4-CRE  
 Profondeur : 2.2 à 3.0 m  
 Mode prélèvement : Tarière  
 Date prélèvement : 09/01/2015  
 Prélèvé par : GINGER CEBTP  
 Date des essais : 28/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
20	6.7	1.21				94	85	51			<b>A1</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

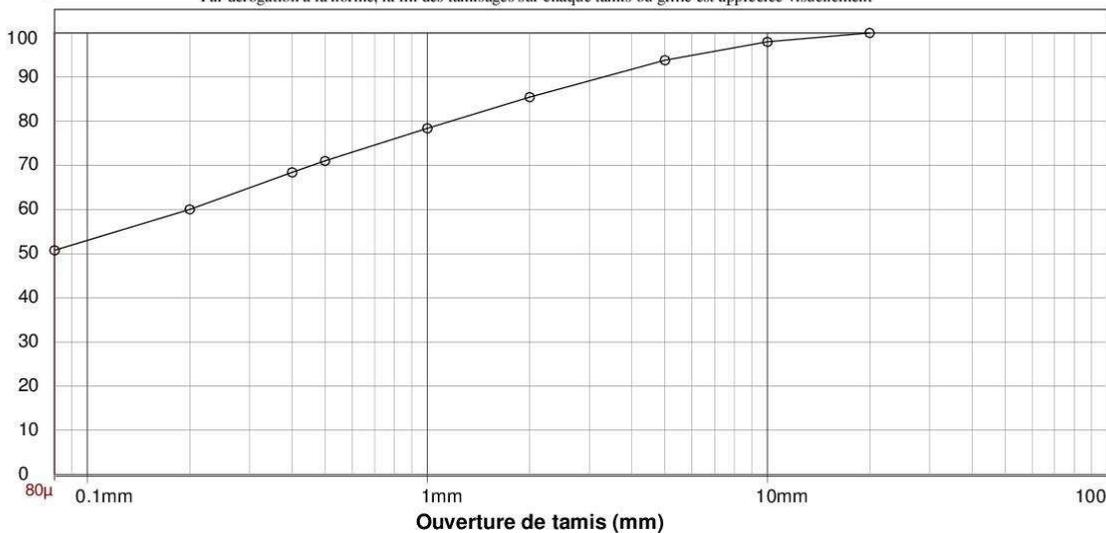
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20
Passants (%)	51%	60%	68%	71%	78%	85%	94%	98%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ, E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
 Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Sables, graviers et graves  
Repère ou sondage : SHF-ST5-CRE  
Profondeur : 2.0 à 4.0 m  
Mode prélèvement : Tarière  
Date prélèvement : 09/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 28/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
31.5	6.7	0.07				68	40	2			<b>D2</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

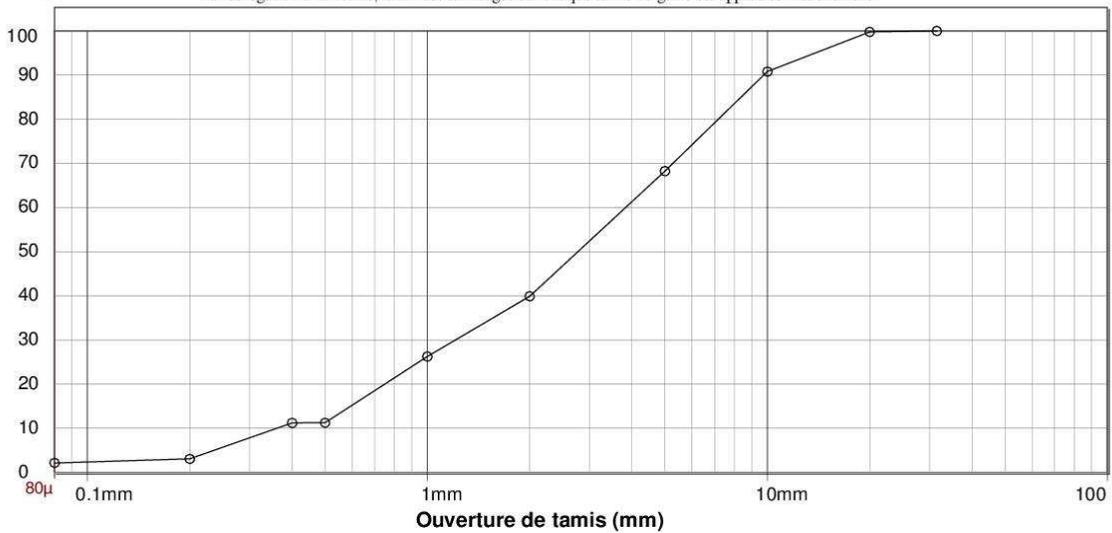
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20	31.5
Passants (%)	2%	3%	11%	11%	26%	40%	68%	91%	100%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ. E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.



## RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL suivant normes NF françaises



**Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
Val de Saint Hilaire Fontaine**

Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Dossier : RCF2.E.093

Nature du matériau : Sable limoneux et légèrement graveleux  
Repère ou sondage : SHF-ST6-CRE  
Profondeur : 0.0 à 2.0 m  
Mode prélèvement : Tarière  
Date prélèvement : 13/01/2015  
Prélevé par : GINGER CEBTP  
Date des essais : 27/01/2015

D.max	Teneur en eau (*) W	Valeur au bleu VBS	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	Indice de plasticité IP	Passant à 5 mm	Passant à 2 mm	Passant à 80µ			Classification du sol
mm	%	g/100g	%	%	-	%	%	%			
	NFP 94-050	NFP 94-068									<b>NFP 11-300</b>
20	12.9	0.61				95	88	19			<b>B5</b>

(\*) Par dérogation à la norme, la mesure de la teneur en eau est effectuée en laissant le matériau au moins 12 heures à l'étuve

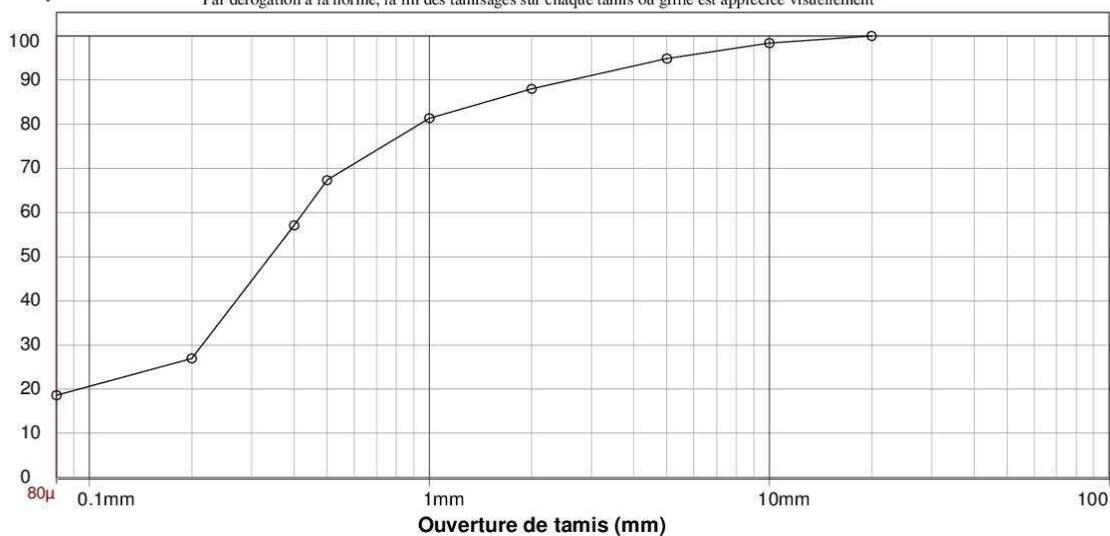
### ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU MATERIAU

Tamisage à sec après lavage

granulométrie: NFP 94 056

% passants

Par dérogation à la norme, la fin des tamisages sur chaque tamis ou grille est appréciée visuellement



Tamis en mm	0.08	0.2	0.4	0.5	1	2	5	10	20
Passants (%)	19%	27%	57%	67%	81%	88%	95%	98%	100%

Ingénieur en géotechnique  
Aurélie LETESSIER

GRASOL32-S Version 5.36 – [ DQ, E151-02 - V.0 du 24/08/2008 ]

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.  
Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

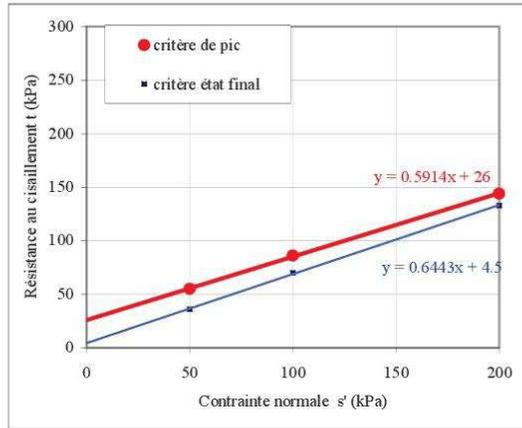
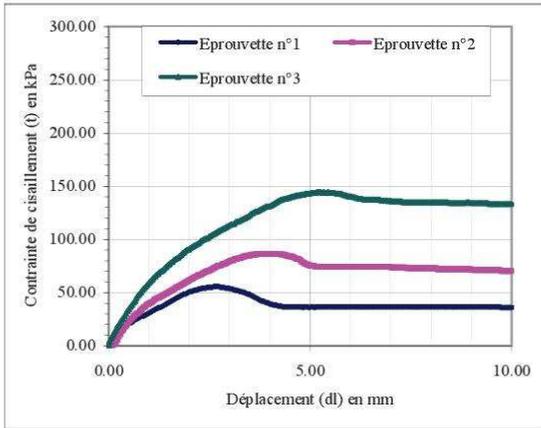


**ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE  
(NF P 94-071-1)**

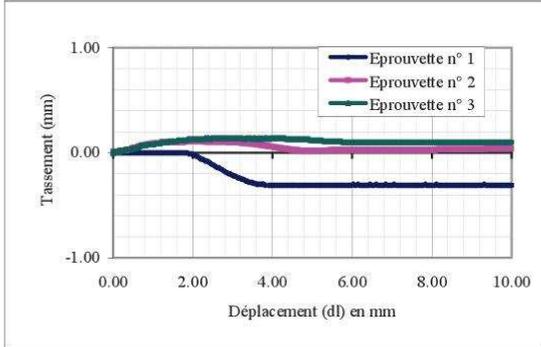
Affaire : Etude de danger des digues de la Loire Val de Saint Hilaire Fontaine	Profondeur (m) : 3.4 à 3.7
Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre	Nature du sol : Limon à sable très fin marron et traces noires
Dossier : RCF2.E.093	Date de réception : 26/01/15
N° échantillon : 118471	Date de prélèvement : 15/01/15
N° sondage : SHF-SC1-CRE	Date des essais : 04/02/15
	Vitesse cisaillement : 18µm/mn

Caractéristiques des éprouvettes :	Hauteur (mm) = 30	Diamètre (mm) = 68
------------------------------------	-------------------	--------------------

N° ech	Avant essai					Après essai			σ' (kPa)	Paramètres de résistance au cisaillement			
	p (kg/m <sup>3</sup> )	ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	w (%)	e	S <sub>R</sub>	ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	t <sub>100</sub> (min)	w (%)		τ <sub>fp</sub> (kPa)	δ̄ <sub>fp</sub> (mm)	τ <sub>ff</sub> (kPa)	δ̄ <sub>ff</sub> (mm)
1	1986	1646	20.7	0.64	87.1		-	20.9	50	55	2.8	36	10.0
2	2004	1649	21.5	0.64	91.2		-	21.8	100	86	4.2	70	10.0
3	2025	1672	21.1	0.61	92.6		-	21.0	200	144	5.4	133	10.0



Poids spécifique des grains solide (estimé - kg/m<sup>3</sup>) : 2700



Critère de pic	C' <sub>p</sub> (KPa)	26	Φ' <sub>p</sub> (°)	30.5
Critère état final	C' <sub>f</sub> (KPa)	4.5	Φ' <sub>f</sub> (°)	32.6

Observations : Echantillonnage des éprouvettes à la trousse coupante à partir d'un échantillon intact (sous gaine PVC).

Le Technicien  
Sébastien GOYON

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais. Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

Sauf demande écrite, les échantillons seront éliminés un mois après l'envoi du rapport.

Clermont-E081 V1 15/04/11



Agence de MONTPELLIER  
Service Contrôle et Essais  
12, rue des Frères Lumière  
34830 JACOU  
Tél. : 04-67-59-40-10  
Fax. : 04-67-59-23-30  
cebt.p.montpellier@groupe-cebtp.com

**PROCES VERBAL D'ESSAI**

**ESSAIS À L'APPAREIL TRIAXIAL DE REVOLUTION**

**Essai consolidé non drainé (CU + u) avec mesure de la pression interstitielle**  
NF P 94-074

Informations générales	
Dossier N° :	RCF2.E.093
Chantier :	Etude de danger des digues de la Loire Val de Saint Hilaire Fontaine
Client :	Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Informations sur l'échantillon			
Mode de prélèvement :	carottier	Sondage N° :	SHF-SC2-CRE
Date de prélèvement :	21/01/2015	Profondeur :	1.60-2.00 m
Mode de conservation :	tube PVC	$\sigma_{v0}$ =	38kPa
Prélevé par :	Ginger CEBTP	Date de réception :	27/01/2015
Date de réception :	27/01/2015	Date essai :	27/01/15
Description :	ARGILE sableuse brune		

Caractéristiques initiales des éprouvettes					
Valeurs	Unité	Ep 1	Ep 2	Ep 3	Ep 4
H <sub>0</sub>	mm	101.92	101.87	100.43	
D <sub>0</sub>	mm	50.00	50.00	50.00	
w	%	19.1	19.5	20.0	
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	1.878	1.902	1.953	
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.578	1.591	1.628	
Sr	%	74	78	84	
e		0.68	0.67	0.63	
$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	2.65	Estimée		

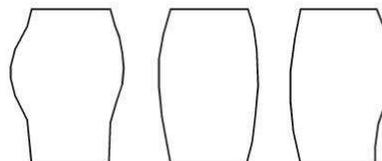
Caractéristiques des éprouvettes après saturation					
$\Delta V$	cm <sup>3</sup>	17.59	16.56	10.46	
Sr	%	96	99	98	
u <sub>cp</sub>	kPa	413	399	404	
$\sigma'_c$	kPa	87	201	296	

Caractéristiques des éprouvettes après consolidation					
$\Delta H_s$	mm	-0.66	-2.20	-1.33	
$\Delta V_s$	cm <sup>3</sup>	-3.9	-12.9	-7.8	
w <sub>sat</sub>	%	26.9	29.2	26.1	
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	1.964	1.931	1.975	
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.548	1.495	1.566	
e	-	0.71	0.77	0.69	
Vitesse d'écrasement - v =		50		µm/min	

Caractéristiques finales des éprouvettes					
w	%	26.3	24.5	23.4	

Résultats		
Définition des critères d'interprétation de rupture	$\varphi'$ Degrés	c' kPa
□ CRITERE 1 = $q_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$	27	18

**Photo ou schéma des éprouvettes après essais**



**Observations**

Mode de rupture des éprouvettes: tonneau

**Présentation du procès verbal d'essai**

Le présent procès verbal d'essai comporte 6 pages :

- Page 1 : caractéristiques des éprouvettes et résultats c' et  $\varphi'$
- Page 2 : 3 graphiques :  $q = f(\epsilon_1)$ ,  $\sigma'_1/\sigma'_3 = f(\epsilon_1)$  et  $\Delta u = f(\epsilon_1)$
- Page 3 : représentations Mohr - Coulomb selon CRITERE 1
- Page 4 : représentations Mohr - Coulomb selon CRITERE 2
- Page 5 : représentations Lambe / Cambridge selon CRITERE 1
- Page 6 : représentations Lambe / Cambridge selon CRITERE 2

Il ne concerne que les objets soumis aux essais. Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

Fait à MONTPELLIER le 30/01/2015  
Le Technicien chargé de l'essai  
J. Losse

Le Responsable du Laboratoire  
G. SALLES



Agence de MONTPELLIER  
 Service Contrôle et Essais  
 12, rue des Frères Lumière  
 34830 JACOU  
 Tél. : 04-67-59-40-10  
 Fax. : 04-67-59-23-30  
 cebtp.montpellier@groupe-cebtp.com

**PROCES VERBAL D'ESSAI**

**ESSAIS À L'APPAREIL TRIAXIAL DE REVOLUTION**

**Essai consolidé non drainé (CU + u) avec mesure de la pression interstitielle**  
 NF P 94-074

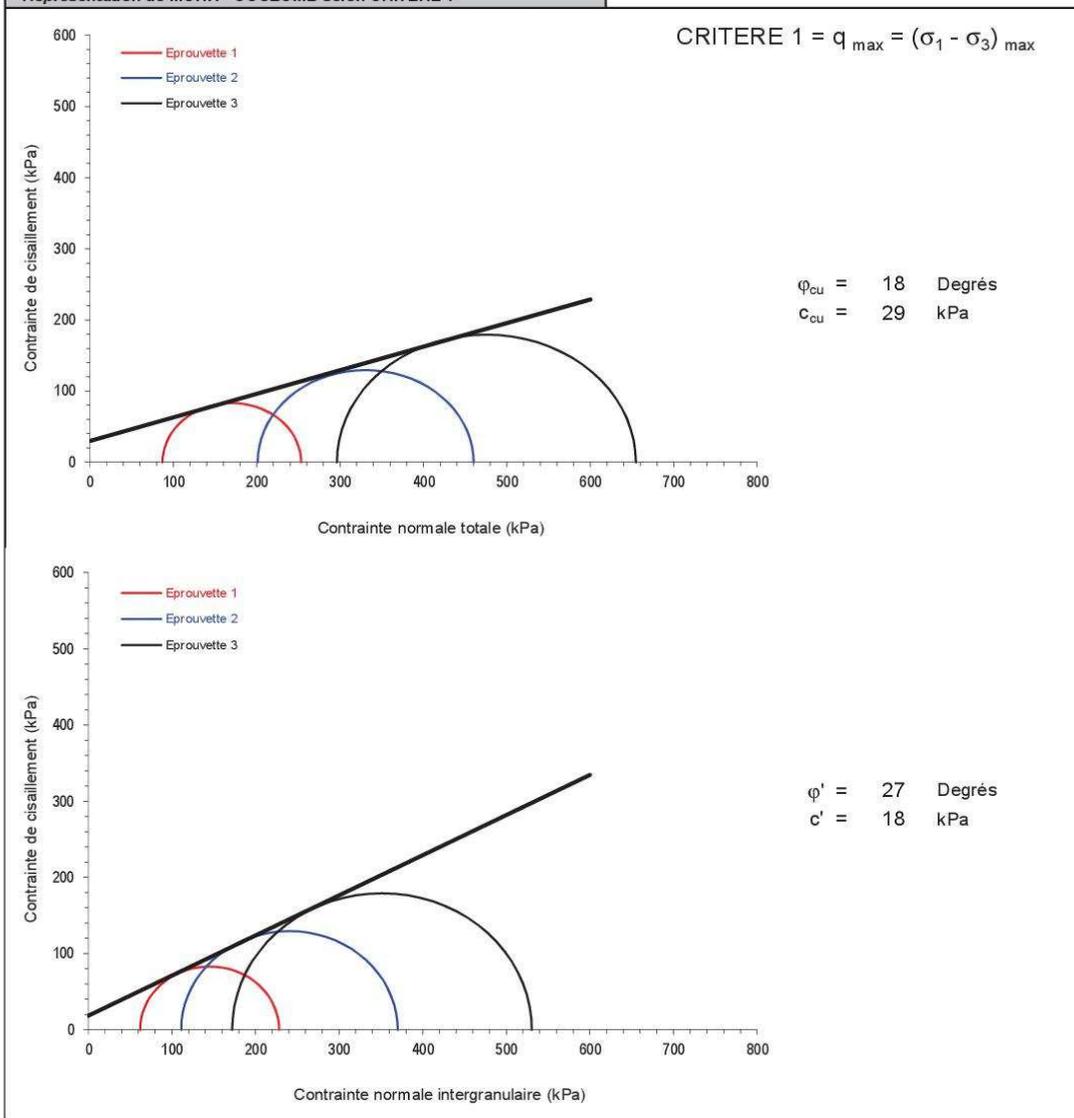
**Informations générales**

Dossier N° : RCF2.E.093  
 Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
 Val de Saint Hilaire Fontaine  
 Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

**Informations sur l'échantillon**

Sondage N° : SHF-SC2-CRE  $\sigma_{v0}$  = 38 kPa  
 Profondeur : 1.60-2.00 m  
 Description : ARGILE sableuse

**Représentation de MOHR - COULOMB selon CRITERE 1**





Agence de MONTPELLIER  
Service Contrôle et Essais  
12, rue des Frères Lumière  
34830 JACOU  
Tél. : 04-67-59-40-10  
Fax. : 04-67-59-23-30  
cebt.p.montpellier@groupe-cebtp.com

**PROCES VERBAL D'ESSAI**

**ESSAIS À L'APPAREIL TRIAXIAL DE REVOLUTION**

**Essai consolidé non drainé (CU + u) avec mesure de la pression interstitielle**  
NF P 94-074

Informations générales	
Dossier N° :	RCF2.E.093
Chantier :	Etude de danger des digues de la Loire Val de Saint Hilaire Fontaine
Client :	Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Informations sur l'échantillon			
Mode de prélèvement :	carottier	Sondage N° :	SHF-SC2-CRE
Date de prélèvement :	21/01/2015	Profondeur :	3.60-4.00 m
Mode de conservation :	tube PVC	$\sigma_{v0}$ =	79kPa
Prélevé par :	Ginger CEBTP	Date essai :	27/01/15
Date de réception :	27/01/2015	Description :	ARGILE sableuse brune

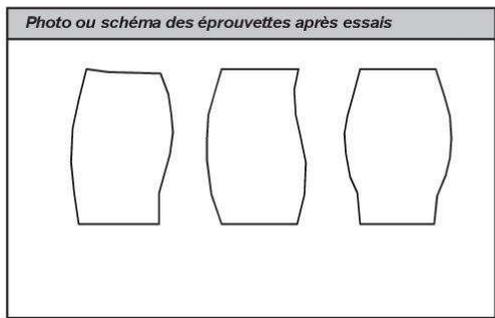
Caractéristiques initiales des éprouvettes					
Valeurs	Unité	Ep 1	Ep 2	Ep 3	Ep 4
$H_0$	mm	100.51	100.43	101.05	
$D_0$	mm	50.00	50.00	50.00	
w	%	23.9	23.8	21.8	
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	2.000	1.985	1.953	
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.614	1.604	1.604	
Sr	%	99	97	89	
e		0.64	0.65	0.65	
$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	2.65	Estimée		

Caractéristiques des éprouvettes après saturation					
$\Delta V$	cm <sup>3</sup>	1.30	2.57	8.95	
Sr	%	100	100	100	
$u_{cp}$	kPa	400	400	400	
$\sigma'_c$	kPa	100	200	300	

Caractéristiques des éprouvettes après consolidation					
$\Delta H_s$	mm	-0.58	-0.97	-1.16	
$\Delta V_s$	cm <sup>3</sup>	-3.4	-5.7	-6.8	
$w_{sat}$	%	25.3	26.4	26.8	
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	1.988	1.970	1.965	
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.587	1.559	1.551	
e	-	0.67	0.70	0.71	
Vitesse d'écrasement - v =		50	µm/min		

Caractéristiques finales des éprouvettes					
w	%	25.0	25.0	24.5	

Résultats		
Définition des critères d'interprétation de rupture	$\varphi'$ Degrés	$c'$ kPa
<input type="checkbox"/> CRITERE 1 = $q_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$	26	23



Observations

Mode de rupture des éprouvettes: tonneau

Présentation du procès verbal d'essai

Le présent procès verbal d'essai comporte 6 pages :

- Page 1 : caractéristiques des éprouvettes et résultats  $c'$  et  $\varphi'$
- Page 2 : 3 graphiques :  $q = f(\epsilon_1)$ ,  $\sigma'_1/\sigma'_3 = f(\epsilon_1)$  et  $\Delta u = f(\epsilon_1)$
- Page 3 : représentations Mohr - Coulomb selon CRITERE 1
- Page 4 : représentations Mohr - Coulomb selon CRITERE 2
- Page 5 : représentations Lambe / Cambridge selon CRITERE 1
- Page 6 : représentations Lambe / Cambridge selon CRITERE 2

Il ne concerne que les objets soumis aux essais. Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

Fait à MONTPELLIER le 29/01/2015  
Le Technicien chargé de l'essai  
J. Losse

Le Responsable du Laboratoire  
G. SALLES



Agence de MONTPELLIER  
 Service Contrôle et Essais  
 12, rue des Frères Lumière  
 34830 JACOU  
 Tél. : 04-67-59-40-10  
 Fax. : 04-67-59-23-30  
 cebtp.montpellier@groupe-cebtp.com

**PROCES VERBAL D'ESSAI**

**ESSAIS À L'APPAREIL TRIAXIAL DE REVOLUTION**

**Essai consolidé non drainé (CU + u) avec mesure de la pression interstitielle**  
 NF P 94-074

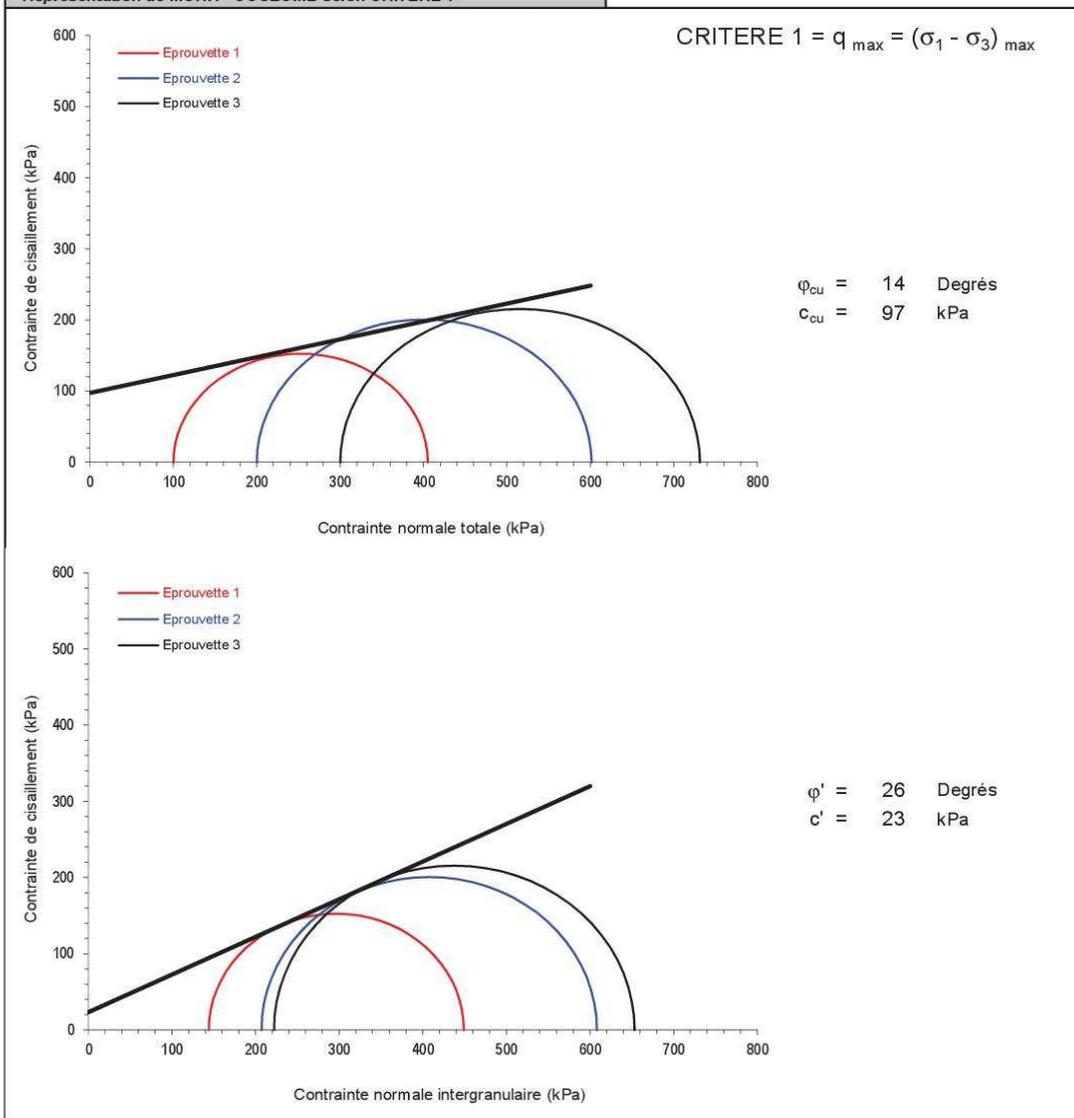
**Informations générales**

Dossier N° : RCF2.E.093  
 Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
 Val de Saint Hilaire Fontaine  
 Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

**Informations sur l'échantillon**

Sondage N° : SHF-SC2-CRE  $\sigma_{v0} = 79$  kPa  
 Profondeur : 3,60-4,00 m  
 Description : ARGILE sableuse brune

**Représentation de MOHR - COULOMB selon CRITERE 1**





Agence de MONTPELLIER  
Service Contrôle et Essais  
12, rue des Frères Lumière  
34830 JACOU  
Tél. : 04-67-59-40-10  
Fax. : 04-67-59-23-30  
cebt.p.montpellier@groupe-cebtp.com

**PROCES VERBAL D'ESSAI**

**ESSAIS À L'APPAREIL TRIAXIAL DE REVOLUTION**

**Essai consolidé non drainé (CU + u) avec mesure de la pression interstitielle**  
NF P 94-074

Informations générales	
Dossier N° :	RCF2.E.093
Chantier :	Etude de danger des digues de la Loire Val de Saint Hilaire Fontaine
Client :	Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

Informations sur l'échantillon			
Mode de prélèvement :	Carottage	Sondage N° :	SHF-SC3-CRE
Date de prélèvement :	22/01/2015	Profondeur :	2.25-2.6m
Mode de conservation :	tube étanche	$\sigma_{v0}$ =	45kPa
Prélevé par :	Ginger CEBTP	Date essai :	09/02/15
Date de réception :	04/02/2015	Description :	Argile

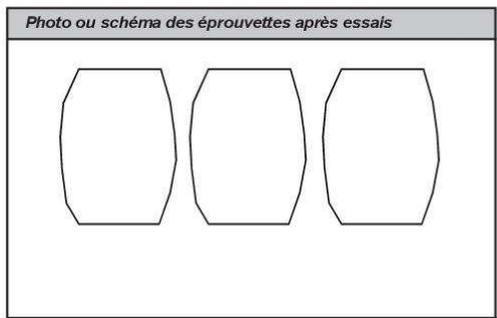
Caractéristiques initiales des éprouvettes					
Valeurs	Unité	Ep 1	Ep 2	Ep 3	Ep 4
$H_0$	mm	95.61	98.77	97.40	
$D_0$	mm	50.00	50.00	50.00	
w	%	18.8	19.1	18.6	
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	1.952	1.988	2.008	
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.643	1.669	1.693	
Sr	%	81	86	87	
e		0.61	0.59	0.57	
$\rho_s$	Mg/m <sup>3</sup>	2.65	Estimée		

Caractéristiques des éprouvettes après saturation					
$\Delta V$	cm <sup>3</sup>	11.09	8.04	6.00	
Sr	%	97	97	96	
$u_{cp}$	kPa	414	403	400	
$\sigma'_c$	kPa	86	197	300	

Caractéristiques des éprouvettes après consolidation					
$\Delta H_s$	mm	-0.57	-1.12	-1.47	
$\Delta V_s$	cm <sup>3</sup>	-3.3	-6.6	-8.7	
$w_{sat}$	%	24.2	24.2	24.0	
$\rho$	Mg/m <sup>3</sup>	2.005	2.005	2.008	
$\rho_d$	Mg/m <sup>3</sup>	1.614	1.615	1.619	
e	-	0.64	0.64	0.64	

Caractéristiques finales des éprouvettes					
w	%	25.7	25.6	23.4	

Résultats		
Définition des critères d'interprétation de rupture	$\varphi'$ Degrés	$c'$ kPa
◇ CRITERE 2 = $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$	20	37



Observations

Mode de rupture des éprouvettes: tonneau

Présentation du procès verbal d'essai

Le présent procès verbal d'essai comporte 6 pages :

- Page 1 : caractéristiques des éprouvettes et résultats  $c'$  et  $\varphi'$
- Page 2 : 3 graphiques :  $q = f(\epsilon_1)$ ,  $\sigma'_1/\sigma'_3 = f(\epsilon_1)$  et  $\Delta u = f(\epsilon_1)$
- Page 3 : représentations Mohr - Coulomb selon CRITERE 1
- Page 4 : représentations Mohr - Coulomb selon CRITERE 2
- Page 5 : représentations Lambe / Cambridge selon CRITERE 1
- Page 6 : représentations Lambe / Cambridge selon CRITERE 2

Il ne concerne que les objets soumis aux essais. Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

Fait à MONTPELLIER le 20/02/2015  
Le Technicien chargé de l'essai  
G.SALLES

Le Responsable du Laboratoire  
G.SALLES



Agence de MONTPELLIER  
 Service Contrôle et Essais  
 12, rue des Frères Lumière  
 34830 JACOU  
 Tél. : 04-67-59-40-10  
 Fax. : 04-67-59-23-30  
 cebtp.montpellier@groupe-cebtp.com

**PROCES VERBAL D'ESSAI**

**ESSAIS À L'APPAREIL TRIAXIAL DE REVOLUTION**

**Essai consolidé non drainé (CU + u) avec mesure de la pression interstitielle**  
 NF P 94-074

**Informations générales**

Dossier N° : RCF2.E.093  
 Chantier : Etude de danger des digues de la Loire  
 Val de Saint Hilaire Fontaine  
 Client : Direction Départementale des Territoires de la Nièvre

**Informations sur l'échantillon**

Sondage N° : SHF-SC3-CRE  $\sigma_{v0}$  = 45 kPa  
 Profondeur : 2.25-2.6m  
 Description : Argile

**Représentation de MOHR - COULOMB selon CRITERE 2**

