



Projet National de R&D

SOLlicitations CYcliques dans les fondations Profondes

## Mission d'investigation géotechnique sur le site expérimental de Loon-Plage (59)

FUGRO FRANCE

Préparé par:

Fugro France S.A.  
39 Rue des Peupliers  
92 752 Nanterre Cedex - FRANCE

<b>DOCUMENT STATUS (Original in Red)</b>	<b>DIGITAL COPY</b>
--	---------------------

REV	DATE	REVISION DESCRIPTION	BY	FUGRO CHECKED	FUGRO APPROVED
A	12/12/11		O. BENZARIA	A. PUECH	A. PUECH

LC/11/SOL/15bis  
R/11/SOL/010  
Décembre 2011

# SOLCYP FICHE SIGNALÉTIQUE

**TITRE : Expérimentations sur le site de LOON-PLAGE**

**RAPPORT N°: R/11/SOL/010**

**DATE D'ETABLISSEMENT: décembre 2011**

**AUTEUR(S) : O. BENZARIA et A. PUECH**

**ORGANISME(S) CHARGE(S) DE L'ACTION : FUGRO**

**THEME DE RATTACHEMENT : thème 1 : caractérisation des sites expérimentaux  
essais standards**

**LETTRE DE COMMANDE : LC/11/SOL/15 bis**

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>CHOIX DU SITE</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJECTIFS DE LA MISSION</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INVESTIGATIONS REALISEES</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MESURES DU GRADIENT MAGNETIQUE</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>MODE OPERATOIRE</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>RESULTATS</b>	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>ESSAIS AU PENETROMETRE STATIQUE</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>MODE OPERATOIRE</b>	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>CONTEXTE GEOTECHNIQUE</b>	<b>9</b>
<b>4.3</b>	<b>RESULTATS</b>	<b>9</b>

## ANNEXES

- ANNEXE 1 : Plan de situation [1 page]
- ANNEXE 2 : Résultats de la campagne de reconnaissance géophysique [4 pages]
- ANNEXE 3 : Plan d'implantation des sondages [1 page]
- ANNEXE 4 : Résultats des essais au pénétromètre statique standard [4 pages]
- ANNEXE 5 : Résultats des essais au pénétromètre statique piézocône [3 page]

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 CHOIX DU SITE

La deuxième série d'essais de pieux du projet SOLCYP doit être réalisée sur un site expérimental de sable homogène.

Un premier site expérimental situé à la ZIP des Huttes sur l'emprise du Grand Port Maritime de Dunkerque qui acceptait d'en laisser gracieusement l'accès au projet SOLCYP a été rapidement identifié. Ce site de sable homogène sur une vingtaine de mètres d'épaisseur correspondait bien aux impératifs du projet et avait déjà été utilisé dans les années 80 et 90 pour des essais de pieux, notamment par le CLAROM (IFP) puis par l'Imperial College de Londres (Professeur R. Jardine). Il a fait l'objet d'investigations diverses.

A l'époque aucune précaution particulière n'avait été prise par rapport à la présence possible d'engins de guerre non explosés (UXO) pouvant être enfouis dans le sable. Le renforcement de la législation et le précédent du Terminal Méthanier tout proche rendent une détection préalable d'objets magnétiques sur ce site incontournable.

Les munitions de gros calibre (bombes de 50kg) peuvent se situer jusqu'à une profondeur de 4 à 5 mètres sous la surface du sol au moment de l'impact. La zone ayant été couverte de 3 à 4 mètres de remblais hydrauliques après la deuxième guerre mondiale, les investigations se devaient d'être menées jusqu'à une dizaine de mètres environ sous le terrain naturel. La fiche des pieux étant fixée à 13 mètres, c'est en pratique la totalité de la hauteur des pieux qui demandait à être contrôlée.

La technique préconisée consistait à :

- repérer les anomalies magnétiques en profondeur en exécutant des profils au Cône Magnétique (CPT-MAG) au droit de chaque emplacement de pieu. Le cône peut « voir » à l'intérieur d'un cylindre de 1.4 m de rayon. En revanche la présence de la masse magnétique du camion le rend aveugle sur les 3 premiers mètres. Il convient donc de :
- compléter les observations par des profils de surface en utilisant un gradiomètre qui permet d'établir une cartographie des masses magnétiques sur les 4 à 5 premiers mètres.

Une estimation du programme à réaliser selon ces techniques conduisait à un budget élevé sans garantie que le site pourrait être retenu.

Il a alors été décidé de tenter de trouver un site présentant des caractéristiques voisines mais moins de risques vis-à-vis de munitions non explosées, encore que le risque soit maintenant à intégrer sur toute la zone Dunkerquoise. Des recherches ont également été effectuées sans succès dans la Région Parisienne et en Normandie.

Un deuxième site a été identifié sur la commune de Loon-Plage (Annexe 1). Le même sable des Flandres est présent au-delà de 4 à 5 mètres de profondeur, mais le site, se situant à plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres, présente un risque UXO moins élevé, ce qui a été confirmé par des sociétés spécialisées dans la recherche de ce type de munitions après consultation de leur base de données.

Il a donc été finalement décidé de :

- sélectionner le site de Loon-Plage comme site d'essai SOLCYP ;
- réaliser une campagne UXO pour vérifier l'absence de risque dans la zone d'implantation des pieux mais en se limitant à une reconnaissance gradiométrique dans les 4 à 5 mètres supérieurs, dans la mesure où le sol en place est antérieur aux bombardements. La présence de bombes en profondeur peut de ce fait être écartée.
- restreindre la caractérisation par essais CPT par rapport aux prévisions initiales, compte tenu de la très grande homogénéité latérale observée.

Ce programme a pu être réalisé sans augmentation du budget initialement prévu. Il est décrit ci-après.

## **1.2 OBJECTIFS DE LA MISSION**

Après avoir présélectionné le site, il a été demandé à l'entreprise FUGRO Géotechnique de procéder à la réalisation d'une campagne de reconnaissance au droit de la parcelle n°85 sise rue de la gare à Loon-Plage (59).

Les objectifs de la mission étaient de :

- mettre en évidence au dans l'emprise de la parcelle n°85 une zone de 210m<sup>2</sup> exempte d'objets métalliques enterrés, par mise en œuvre de mesures au gradiomètre ;
- déterminer la nature et les caractéristiques géotechniques des terrains au moyen au moyen d'essais au pénétromètre statique.

On rappelle pour mémoire que des essais pressiométriques et des carottages seront réalisés sur ce même site par le CETE de LILLE ;

## 2 INVESTIGATIONS REALISEES

Les investigations ont été réalisées du 5 au 19 octobre 2011.

Le programme d'investigation est celui défini dans le document technique du projet :

- **1 relevé** au moyen de la méthode de mesure du gradient magnétique des objets métalliques enterrés sur une superficie de 972m<sup>2</sup>.
- **4 essais au pénétromètre statique (CPT 1, 2, 4 et 5)** de type standard selon la norme NFP 94-113 descendu à 20 m de profondeur permettant de mesurer en continu (tous les cm) les caractéristiques mécaniques des sols traversés.
- **1 essai au pénétromètre statique (CPT 3)** de type piézocône selon la norme NFP 94-119 descendu à 18,38 m de profondeur permettant de mesurer en continu (tous les cm) les caractéristiques mécaniques des sols traversés. De plus, il y a eu un essai de dissipation à 13m de profondeur.

L'implantation et le nivellement des points de sondages ont été effectués au moyen d'un équipement GPS Leica 1200 connecté au système Orphéon (réseau national de stations GPS permanentes) permettant un positionnement centimétrique en temps réel.

Les tableaux ci-dessous présentent les profondeurs et les cotes atteintes par les sondages ainsi que leurs coordonnées en Lambert 2 :

	CPT1		CPT2		CPTu3		CPT4		CPT5	
	Prof	Cote								
	m	NGF								
Début sondage	0,00	2,42	0,00	2,45	0,00	2,47	0,00	2,50	0,00	2,48
Fin sondage	18,94	-16,52	19,80	-17,35	18,38	-15,91	19,97	-17,47	19,97	-17,49

Coordonnées en Lambert 2			
N° du sondage	X (m)	Y (m)	Z (NGF69)
CPT1	593 147,32	2 666 320,60	2,42
CPT2	593 147,84	2 666 323,52	2,45
CPTu3	593 154,91	2 666 327,26	2,47
CPT4	593 154,40	2 666 324,34	2,50
CPT5	593 149,17	2 666 632,88	2,48

### 3 MESURES DU GRADIENT MAGNETIQUE

#### 3.1 MODE OPERATOIRE

Cette campagne avait pour objectif la reconnaissance d'éventuels objets métalliques pouvant s'apparenter à d'anciennes bombes, vestiges de la seconde guerre mondiale, afin de sécuriser une zone de sondages au droit des futurs pieux.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un gradiomètre GSM-19 WG.

Ce système est constitué d'une console d'acquisition et de visualisation des mesures, montée en ceinture, à laquelle sont connectés deux capteurs fixés sur une perche (Annexe 2).

Les mesures ont une résolution de 0.01 nT et une précision de 0.2 nT sur tout l'intervalle de température de fonctionnement (-40 à 55°C).

L'investigation a été réalisée sur une zone de 972m<sup>2</sup> et selon un maillage de 1 mètre par 1 mètre pour un total de 1046 points de mesures. L'ensemble de la Zone a été délimité par des piquets géo-référencés et laissés sur le site d'étude.

Le géo-référencement s'est effectué à l'aide d'un GPS Leica 1200 connecté au système Orphéon (réseau national de stations GPS permanentes) permettant un positionnement centimétrique en temps réel.

Le point de repère de la grille correspond au piquet situé le plus au Sud de la zone (Annexe 2).

#### 3.2 RESULTATS

Les résultats de cette campagne sont présentés en Annexe 2.

Le gradient magnétique moyen du site est compris entre -120 et -340 nT/m.

Trois anomalies principales (repérées par des ellipses en pointillés rouge) et quatre anomalies secondaires (repérées par des ellipses en pointillés orange) sont mises en évidence sur le site.

Les anomalies secondaires observées correspondent probablement à de petits objets métalliques. Cependant, en l'absence de contrôle de vérification, il sera prudent de ne réaliser aucun sondage au droit de ces zones.

Une zone sans anomalie de 210 m<sup>2</sup> a été définie sur la planche n°3. Les coordonnées Lambert II étendu et X, Y des quatre coins de cette zone sont référencées dans le tableau ci-dessous :

Coin n°	X-Y (m)	N-E (Lambert II étendu)
1	27 - 0	593146,37 - 2666318,37
2	27 - 14	593138,90 - 2666330,21
3	42 - 14	593152,16 - 2666337,23
4	42 - 0	593159,63 - 2666325,39

### **3.3 CONCLUSION**

Les mesures du gradient magnétique ont permis de délimiter une zone sécurisée de 210m<sup>2</sup>.

A ce stade de l'étude et notamment en l'absence de contrôle de vérification des différentes anomalies observées, la zone test d'implantation des pieux devra se situer impérativement dans l'aire définie ci-dessus.

## 4 ESSAIS AU PENETROMETRE STATIQUE

### 4.1 MODE OPERATOIRE

Les essais au pénétromètre statique ont été réalisés à partir d'un atelier sur chenilles de 15 tonnes et au moyen de pointes de diamètre 44mm pour les essais de type standard selon la norme NF P 94-113 et de diamètre 36mm pour l'essai de type piézocône selon la norme NF P 94-119.

Au préalable à l'essai au piézocône, conformément à la norme, il a été procédé à la réalisation d'un avant trou de 4 mètres pour atteindre le toit de la nappe

### 4.2 CONTEXTE GEOTECHNIQUE

Les documents qui ont permis d'établir le contexte géologique sont les suivants :

- Carte géologique au 1/50 000 de Dunkerque et archives de Fugro Géotechnique.

Le terrain naturel se situe vers +2,5NGF et la succession lithologique est la suivante :

- Limons argileux gris sur 2 à 2,5 mètres,
- Sables argileux gris bleus sur le mètre suivant,
- Sables Flandriens à partir de 3,5 mètres de profondeur et jusqu'à la fin des reconnaissances

Le niveau de la nappe est attendu vers 2 mètres de profondeur.

Les sables appartiennent à la formation des Sables du Flandrien.

### 4.3 RESULTATS

La géologie prévisionnelle est confirmée par l'ensemble des résultats des essais de pénétration statique. Le tableau ci-dessous récapitule les profondeurs et cotes des faciès observés dans les essais de pénétration statique.

		CPT1			CPT2			CPTu3			CPT4			CPT5		
		Prof	Cote	Ep,	Prof	Cote	Ep,	Prof	Cote	Ep,	Prof	Cote	Ep,	Prof	Cote	Ep,
		m	NGF	m	m	NGF	m	m	NGF	m	m	NGF	m	m	NGF	m
Limons argileux	Toit	0,0	2,47	2,0	0,0	2,45	2,2	0,00	2,47	2,3	0,00	2,50	2,5	0,00	2,48	2,4
	Mur	2,0	0,47		2,2	0,25		2,30	0,17		2,50	0,00		2,40	0,08	
Sable argileux gris bleu	Toit	2,0	0,47	1,5	2,2	0,25	1,3	2,30	0,17	1,5	2,5	0,0	1,3	2,40	0,08	1,3
	Mur	3,5	-1,03		3,5	-1,05		3,8	-1,33		3,8	-1,3		3,7	-1,22	
Sable dense	Toit	3,5	-1,03	8,8	3,5	-1,05	8,7	3,8	-1,33	8,6	3,8	-1,3	8,4	3,7	-1,22	8,6
	Mur	12,3	-9,8		12,2	-9,75		12,4	-9,93		12,2	-9,7		12,3	-9,82	
Sable argileux mou	Toit	12,3	-9,83	4,7	12,2	-9,75	5,4	12,4	-9,93	5,6	12,2	-9,7	5,5	12,3	-9,82	5,5
	Mur	17,0	-14,5		17,6	-15,2		18	-15,5		17,7	-15,2		17,8	-15,3	
Sable dense	Toit	17,0	-14,5	1,94	17,6	-15,2	2,2	18	-15,5	0,38	17,7	-15,2	2,27	17,8	-15,3	2,17
	Mur	18,94	-16,5		19,80	-17,4		18,38	-15,9		19,97	-17,5		19,97	-17,5	

Les résultats des essais au pénétromètre statique et de l'essai au piézocône y compris l'essai de dissipation sont présentés respectivement en Annexes 4 et 5.

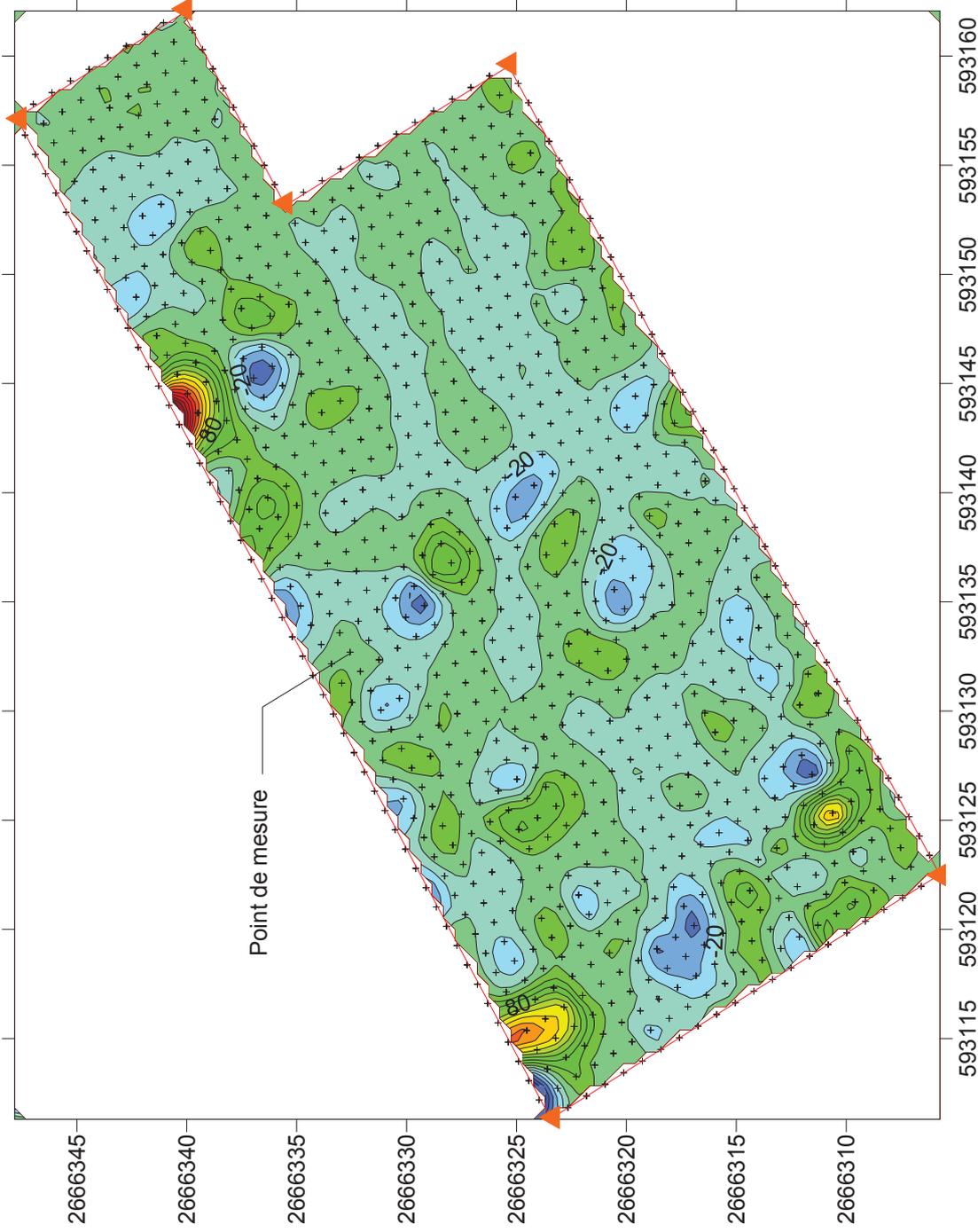
# ANNEXES

## **Annexe 1 : Plan de situation**

## PLAN DE SITUATION



## **Annexe 2 : Résultats de la campagne de reconnaissance géophysique**



Echelle:

5 mètres

5 mètres

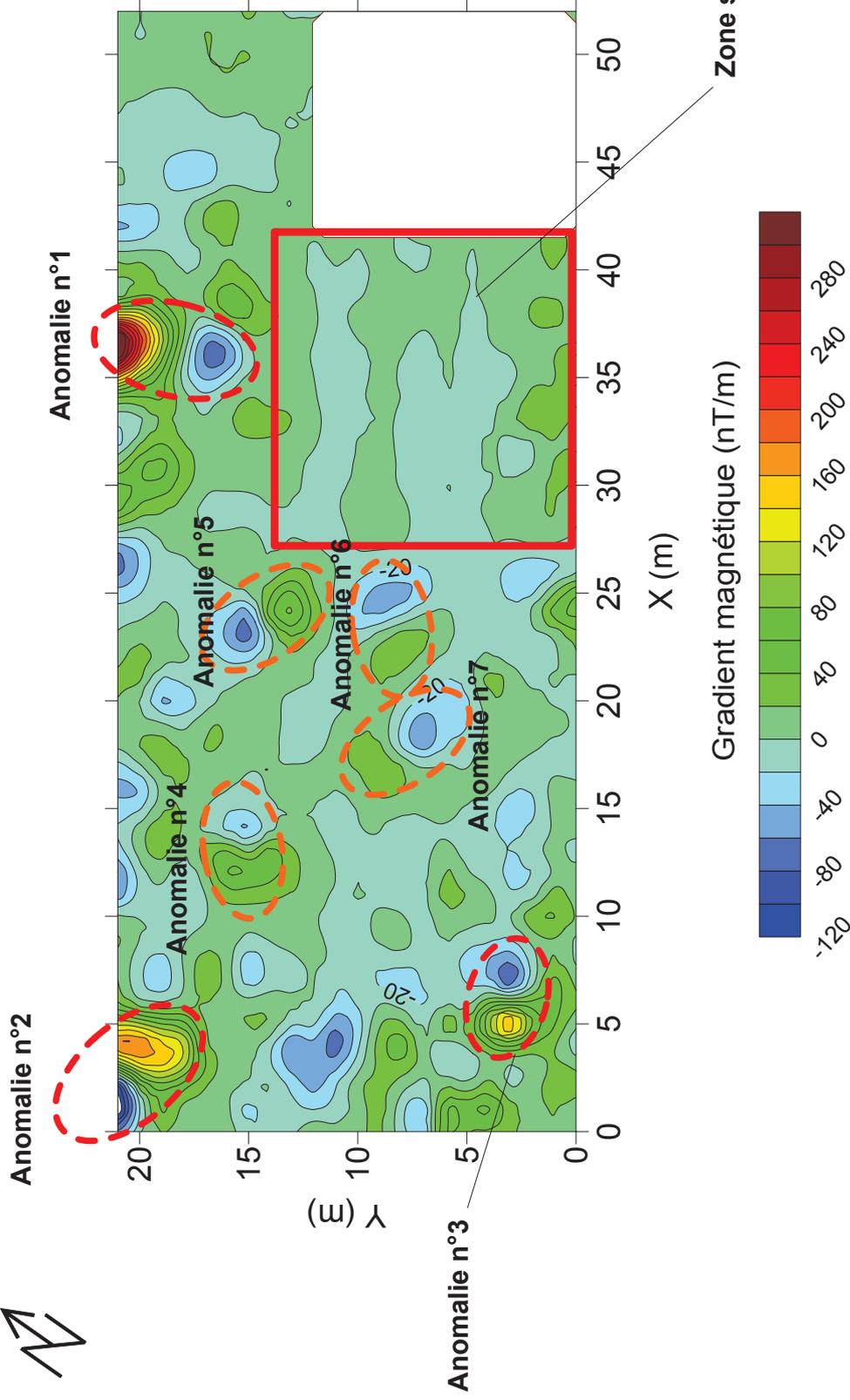
### Zone d'investigation (coordonnées Lambert 2 étendu)

▲ Piquet d'implantation

**FUGRO GEOTECHNIQUE S.A.**  
Département GMI

**Plan d'implantation des mesures**

**Recherche d'objets métalliques  
par mesure du gradient magnétique**



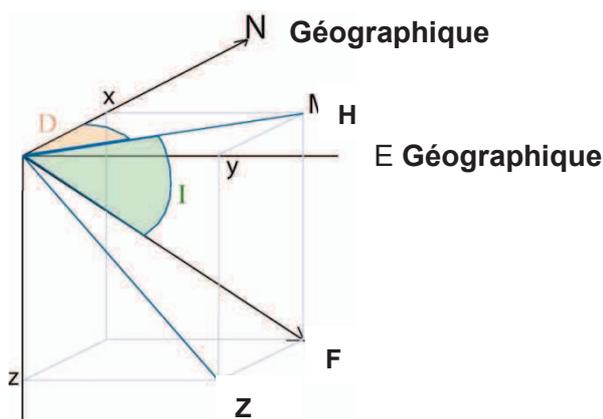
Anomalie majeure



Anomalie mineure

## Principe et méthode du gradient magnétique

Le champ magnétique terrestre est approximativement équivalent à un dipôle magnétique, situé près du centre de la terre et incliné à environ  $11.5^\circ$  de l'axe géographique terrestre. En n'importe quel point de la surface terrestre le champ magnétique terrestre  $F$  peut être décomposé en une composante verticale  $Z$  et une composante horizontale  $H$  ayant une déclinaison  $D$  à l'est ou à l'ouest par rapport au nord géographique. La composante  $Z$  est positive si elle pointe vers le bas comme c'est le cas dans l'hémisphère nord et est négative si elle pointe vers le haut comme c'est le cas dans l'hémisphère sud.



- $F$  l'intensité du champ total
- $H$  l'intensité de sa composante horizontale
- $Z$  l'intensité de sa composante verticale
- $I$  l'inclinaison, angle entre  $F$  et  $H$
- $D$  la déclinaison, angle entre  $H$  et le Nord géographique

Le champ  $F$ ,  $H$ , et  $Z$  sont habituellement exprimés en nT (nano Tesla).

En France, en moyenne on observe  $D = -0.6^\circ$ ,  $I = 60^\circ$ , et  $45\,000\text{ nT} < F < 48\,000\text{ nT}$ .

La méthode de prospection magnétique est basée sur l'existence de contraste de susceptibilité magnétique dans le sol.

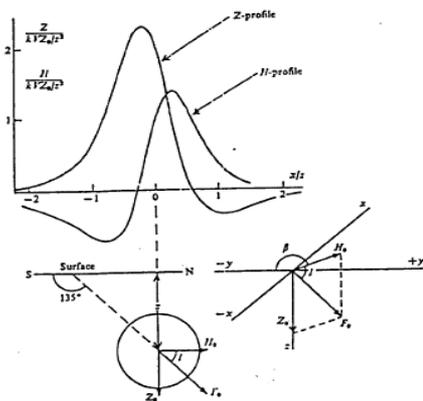
La susceptibilité est la propriété qu'ont certains matériaux à devenir aimantés en présence d'un champ magnétique ambiant et à créer un champ magnétique secondaire.

Tout corps magnétique placé dans un champ magnétique externe, tel celui de la terre, acquiert une aimantation induite proportionnelle au champ inducteur et dans la même direction.

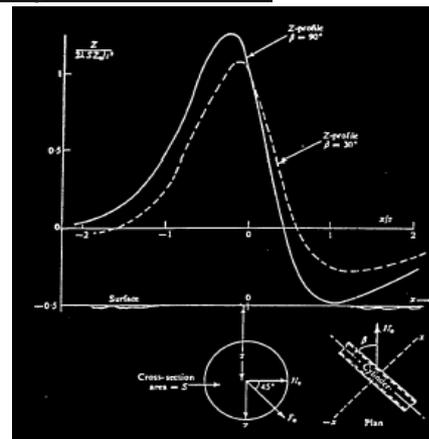
La prospection magnétique consiste donc à chercher et à localiser les roches, les formations, les gisements par les anomalies ou variations locales qu'ils produisent dans le champ terrestre.

Voici l'allure de quelques anomalies magnétiques dont la source a une forme simple :

### Une sphère :



### Un cylindre horizontal :



### Le gradiomètre :



Ce type d'appareil permet de mesurer le gradient vertical du Champ magnétique terrestre. Il se compose de deux magnétomètres situés à deux altitudes différentes (sur la photo à 58 cm l'un de l'autre).

Le gradient est égal à la différence de l'intensité du champ magnétique terrestre mesuré par chaque magnétomètre. Ce dispositif nous permet de nous affranchir de certaines corrections et met en évidence les anomalies moins profondes (de 0 à 6 m)

Les variations de faible longueur d'onde spatiale du champ magnétique sont dues en général à des causes locales généralement localisées en sub-surface. Les variations de grande longueur d'onde peuvent provenir de la présence d'objets de masse plus importante ou enfouis plus profondément dans le sous-sol (jusqu'à une profondeur de 7 – 8 m pour un objet de 50 Kg).

Le système GSM-19 est constitué d'une console d'acquisition et de visualisation des mesures, monté en ceinture, à laquelle est connecté un capteur, voire deux pour le gradiomètre, fixés sur une perche.

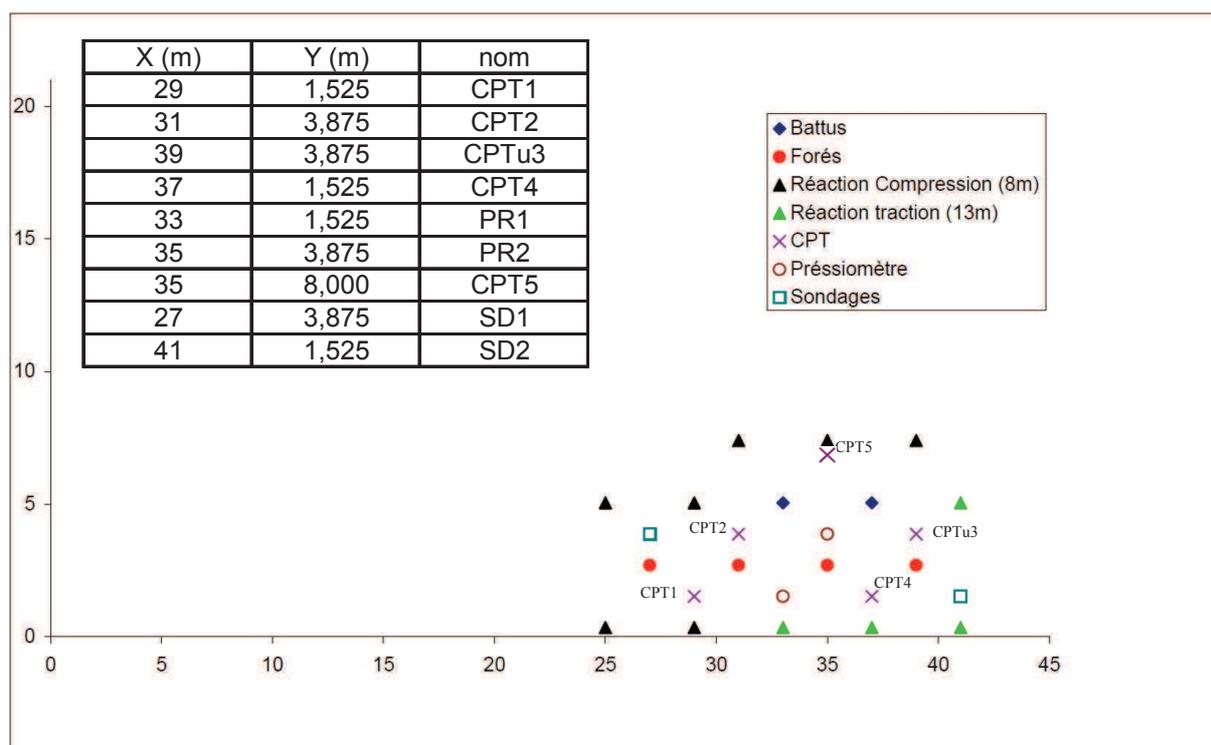
Les mesures ont une résolution de 0.01 nT et une précision de 0.2 nT sur tout l'intervalle de température de fonctionnement (-40 à 55°C)

### Limites :

- Le terrain doit être dégagé d'obstacles et les pollutions magnétiques, autres que celles des objets recherchés, doivent être réduites au maximum.
- Il est à noter que la présence d'objets enterrés pourrait masquer un autre objet sous-jacent.
- La détection des objets enterrés est conditionnée à la masse de l'objet et à sa profondeur. De ce fait cette reconnaissance n'est pas exhaustive et des objets de petite taille, même à faible profondeur, ne pourront pas être détectés.
- L'état de corrosion de l'objet recherché agira également sur la possibilité de détection.

## **Annexe 3 : Plan d'implantation des sondages**

## PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES



## **Annexe 4 : Résultats des essais de pénétration statique standard**

LOON PLAGE 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

**Essai de pénétration statique**  
**CPT électrique (norme NF P 94-113)**

Pointe 44 mm Type et n°F7.5CKE2HA/B 1701-2187

Sections: Pointe 1500 mm<sup>2</sup> Manchon 19956 mm<sup>2</sup>



CPT1

Date d'exécution: 18/10/2011

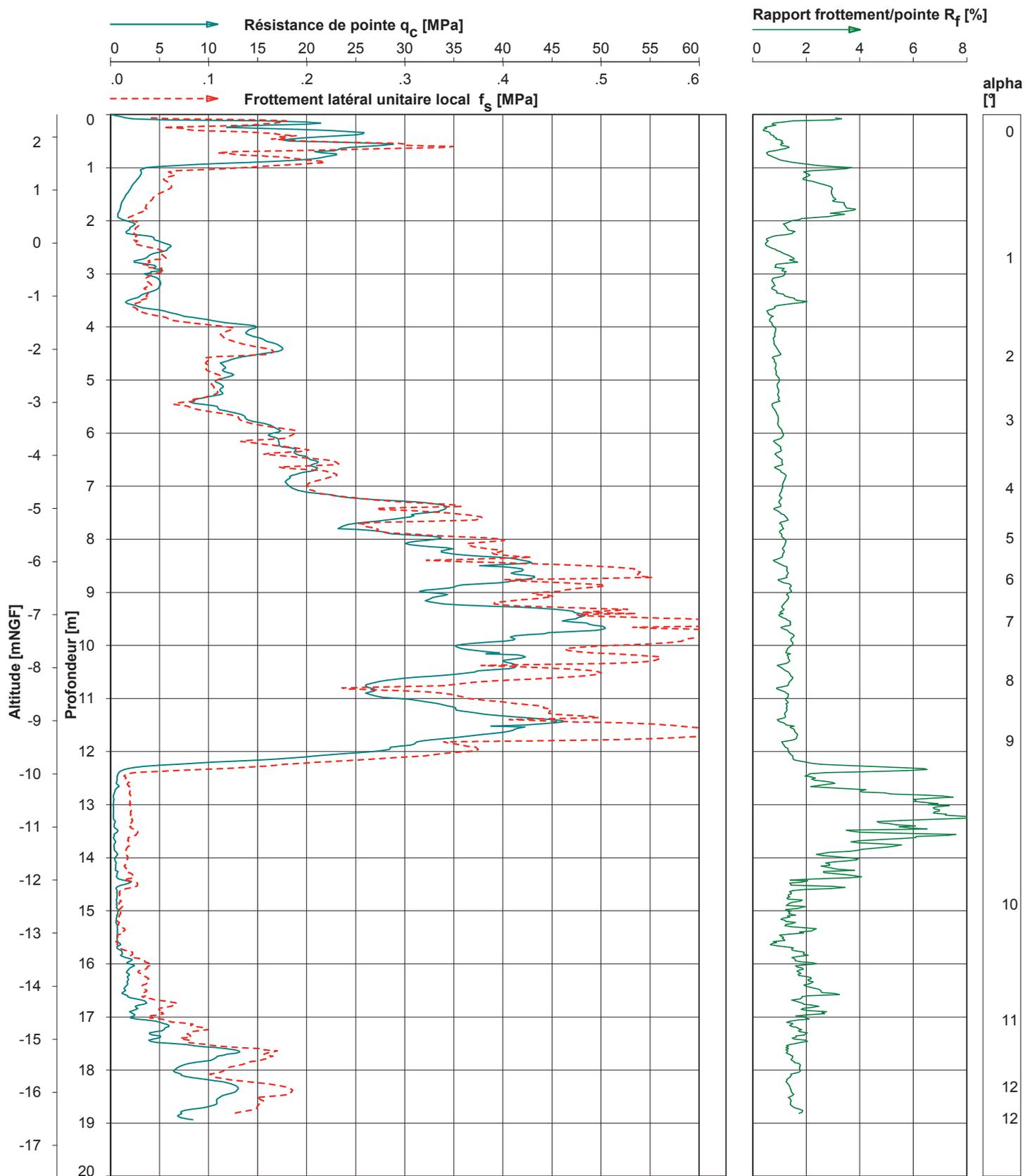
Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S Fin sondage: 18.94 m

Réf. dossier : 11P-0083-a00

Page n°1

X= 593146.37 Y= 2666318.37 Z= +2.42 mNGF



LOON PLAGES 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

**Essai de pénétration statique**  
**CPT électrique (norme NF P 94-113)**

Pointe 44 mm Type et n°F7.5CKE2HA/B 1701-2187

Sections: Pointe 1500 mm<sup>2</sup> Manchon 19956 mm<sup>2</sup>



CPT2

Date d'exécution: 19/10/2011

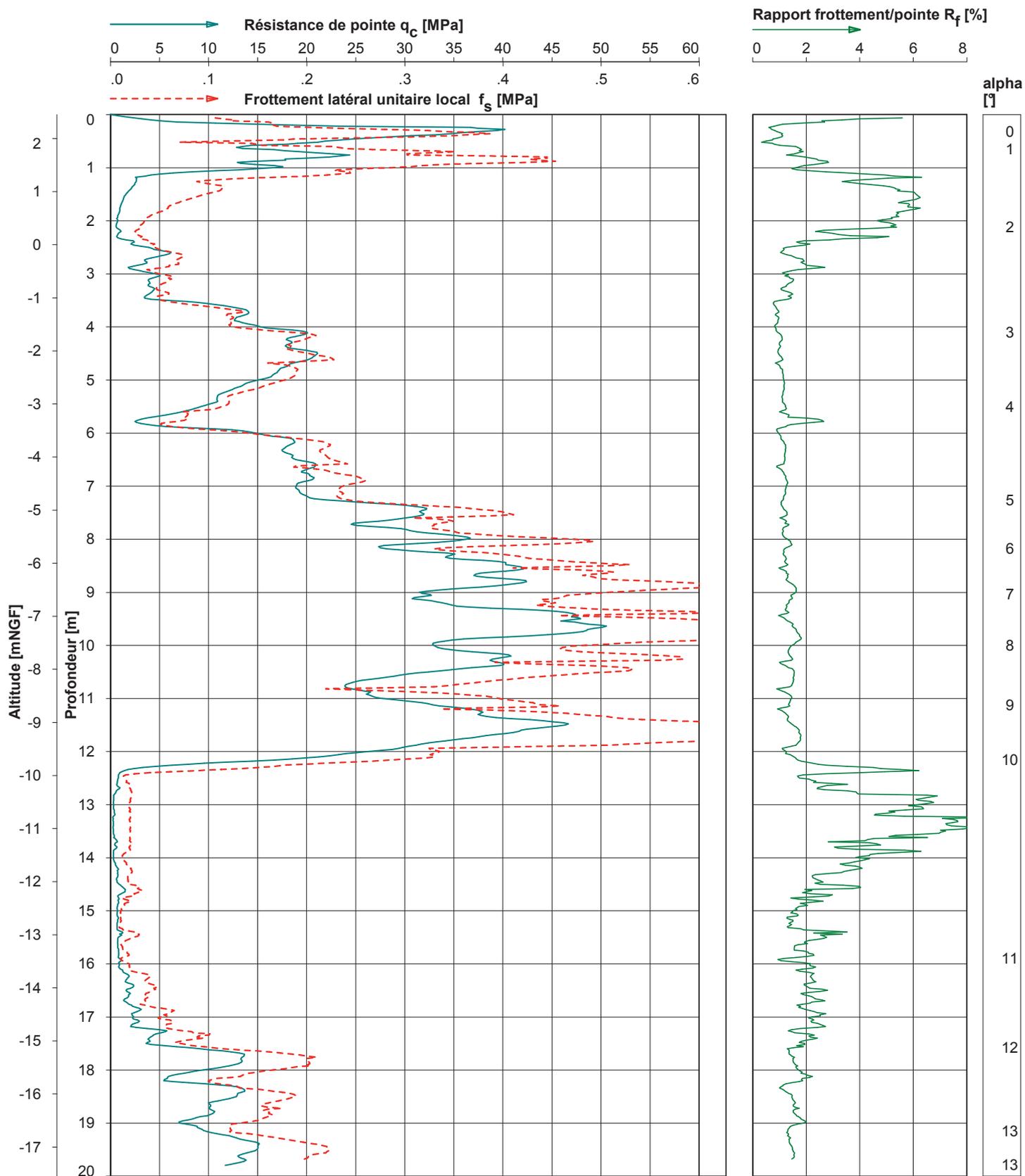
Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S Fin sondage: 19.80 m

Réf. dossier : 11P-0083-a00

Page n°1

X= 593138.90 Y= 2666330.21 Z= +2.45 mNGF



LOON PLAGE 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

**Essai de pénétration statique**  
**CPT électrique (norme NF P 94-113)**

Pointe 44 mm Type et n°F7.5CKE2HA/B 1701-2187

Sections: Pointe 1500 mm<sup>2</sup> Manchon 19956 mm<sup>2</sup>



CPT4

Date d'exécution: 19/10/2011

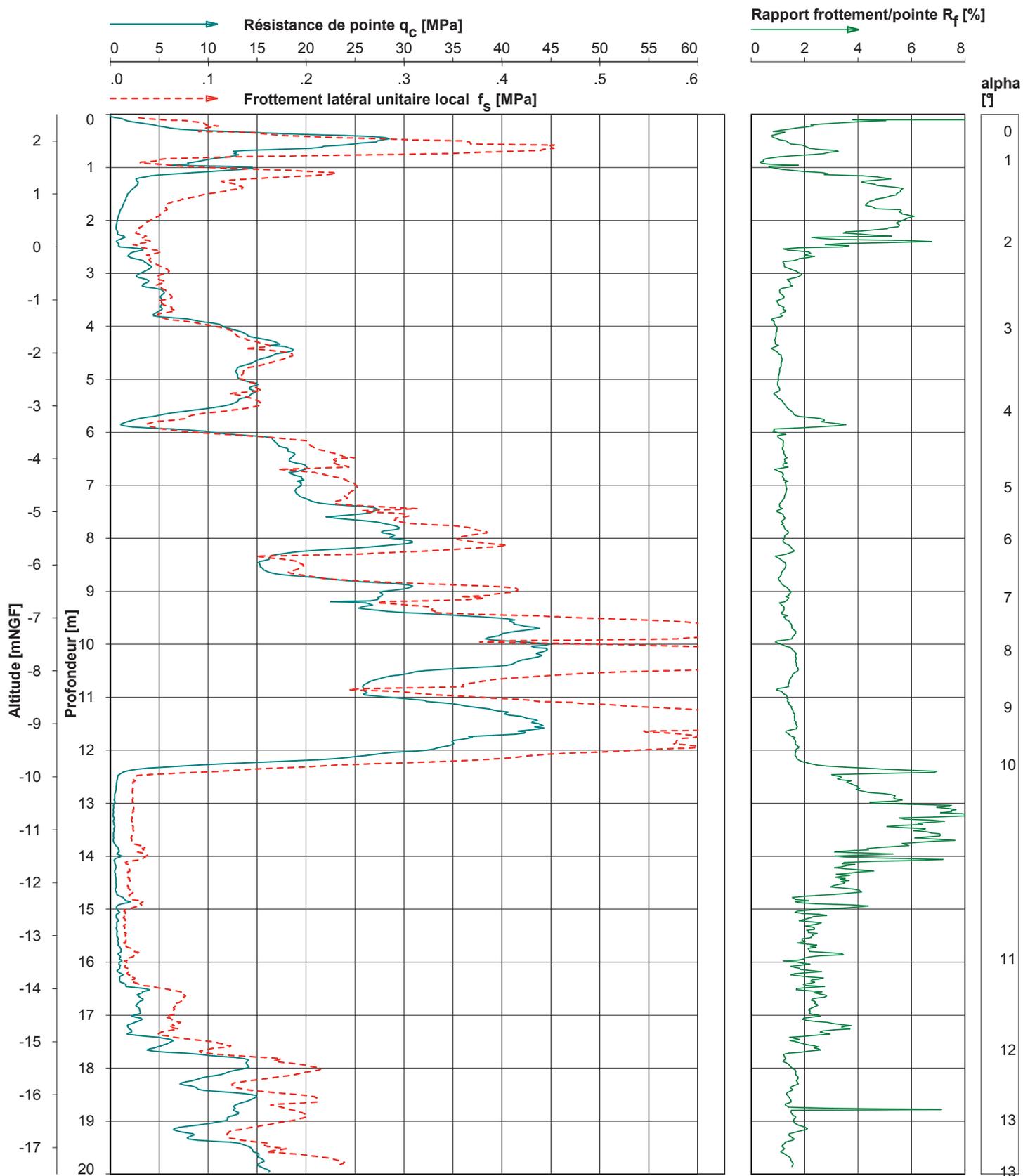
Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S Fin sondage: 19.97 m

Réf. dossier : 11P-0083-a00

Page n°1

X= 593156.63 Y= 2666325.39 Z= +2.50 mNGF



LOON PLAGÉ 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

**Essai de pénétration statique**  
**CPT électrique** (norme NF P 94-113)

Pointe 44 mm Type et n°F7.5CKE2HA/B 1701-2187

Sections: Pointe 1500 mm<sup>2</sup> Manchon 19956 mm<sup>2</sup>



CPT5

Date d'exécution: 19/10/2011

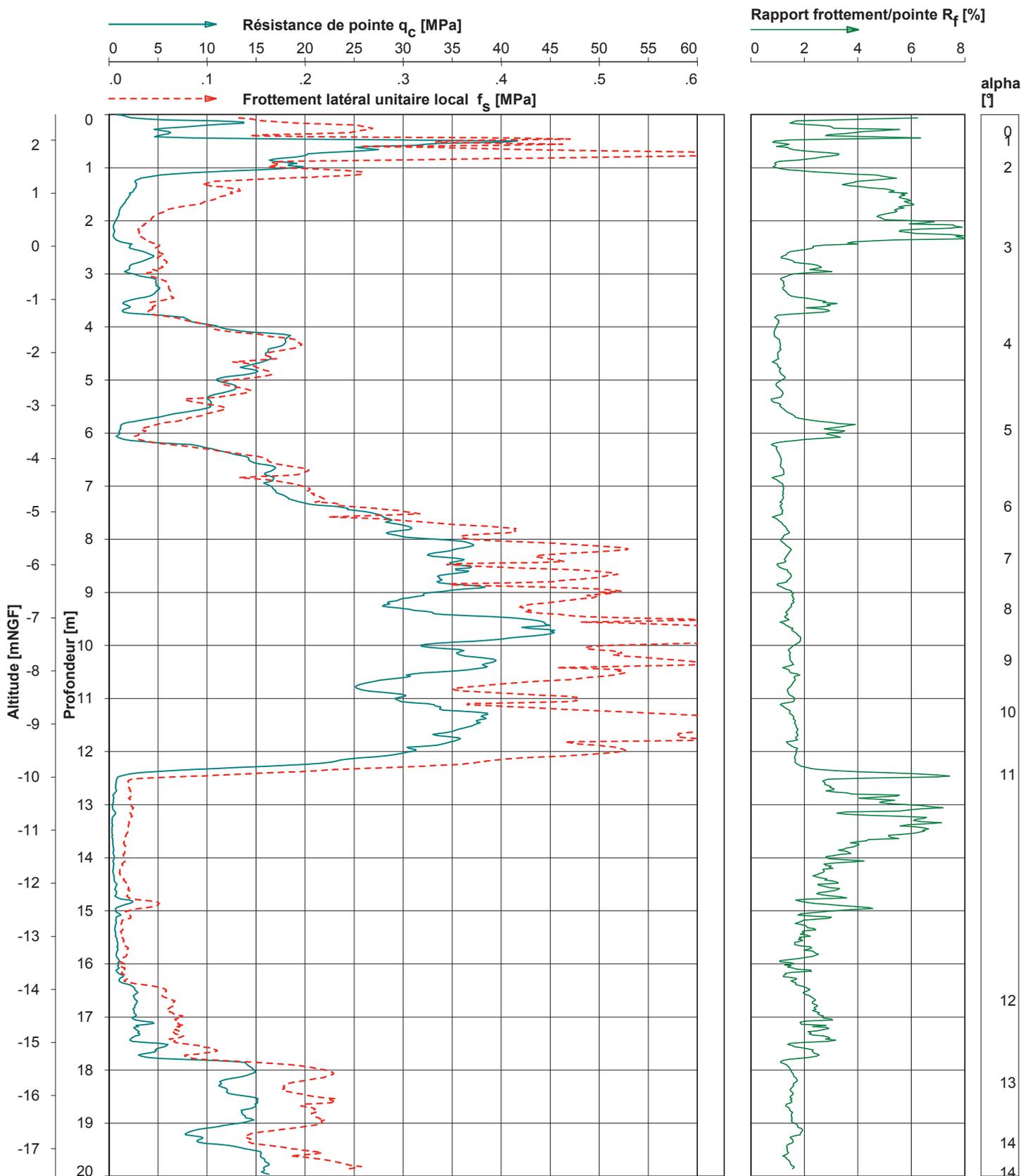
Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S Fin sondage: 19.97 m

Réf. dossier : 11P-0083-a00

Page n°1

X= 593149.17 Y= 2666328.88 Z= +2.48 mNGF



## **Annexe 5 : Résultats des essais de pénétration statique au piézocône**

LOON PLAGÉ 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

Réf. dossier : 11P-0083-a00 Page n°1

**Essai de pénétration statique**  
**CPT électrique (norme NF P 94-113)**

Pointe 44 mm Type et n°F7.5CKE2HA/B 1701-2187

Sections: Pointe 1500 mm<sup>2</sup> Manchon 19956 mm<sup>2</sup>



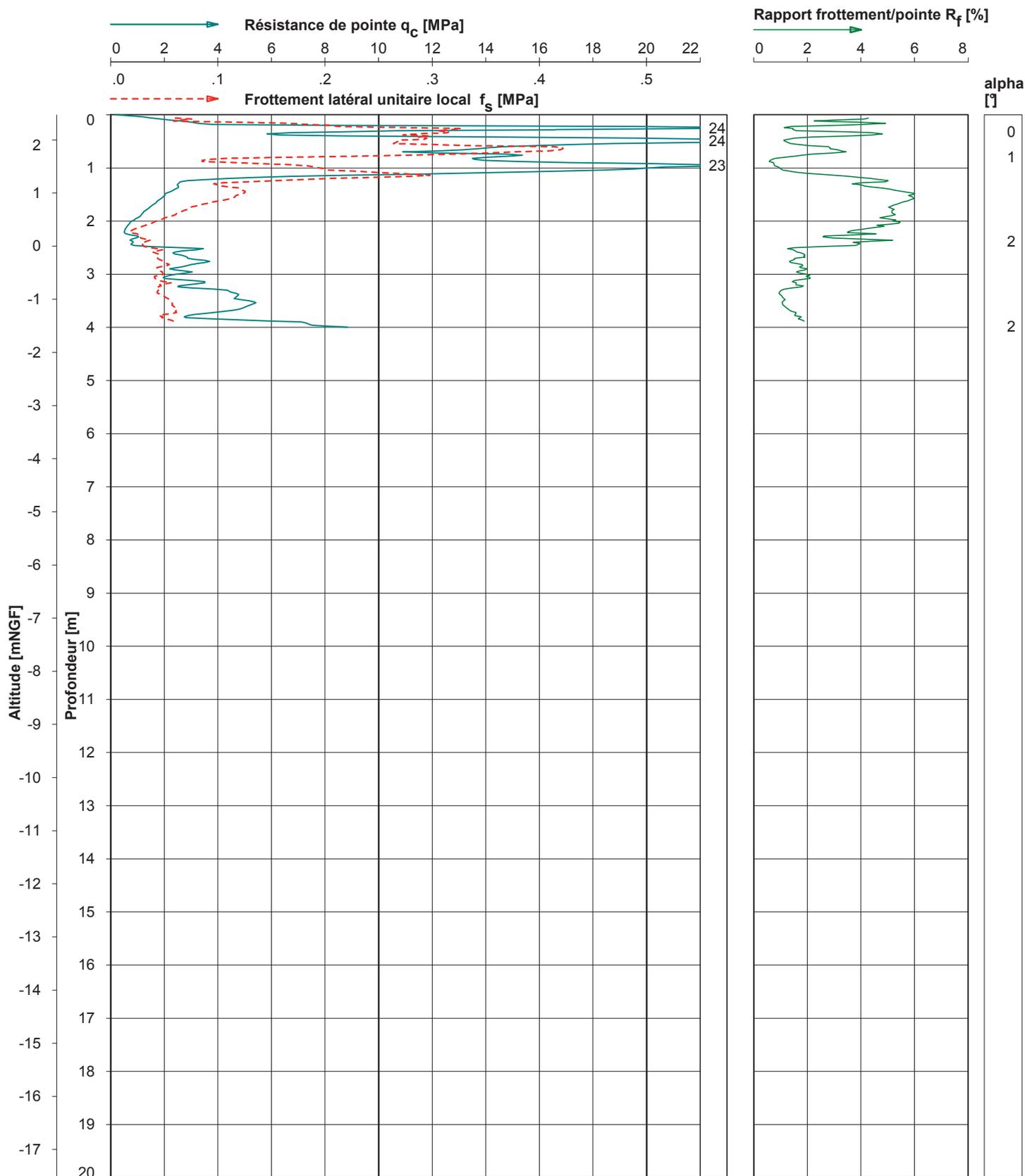
Avant trou CPTU3

Date d'exécution: 19/10/2011

Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S Fin sondage: 4.00 m

X= 593152.16 Y= 2666337.23 Z= +2.47 mNGF



LOON PLAGE 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

**ESSAI AU PIEZOCONE**  
**CPT Piézocône** (norme NF P 94-119)

Pointe 36 mm Type et n°F5CKE2HAW 2/B P70617041

Sections: Pointe 1000 mm<sup>2</sup> Manchon 14997 mm<sup>2</sup>



CPTU3

Date d'exécution: 19/10/2011

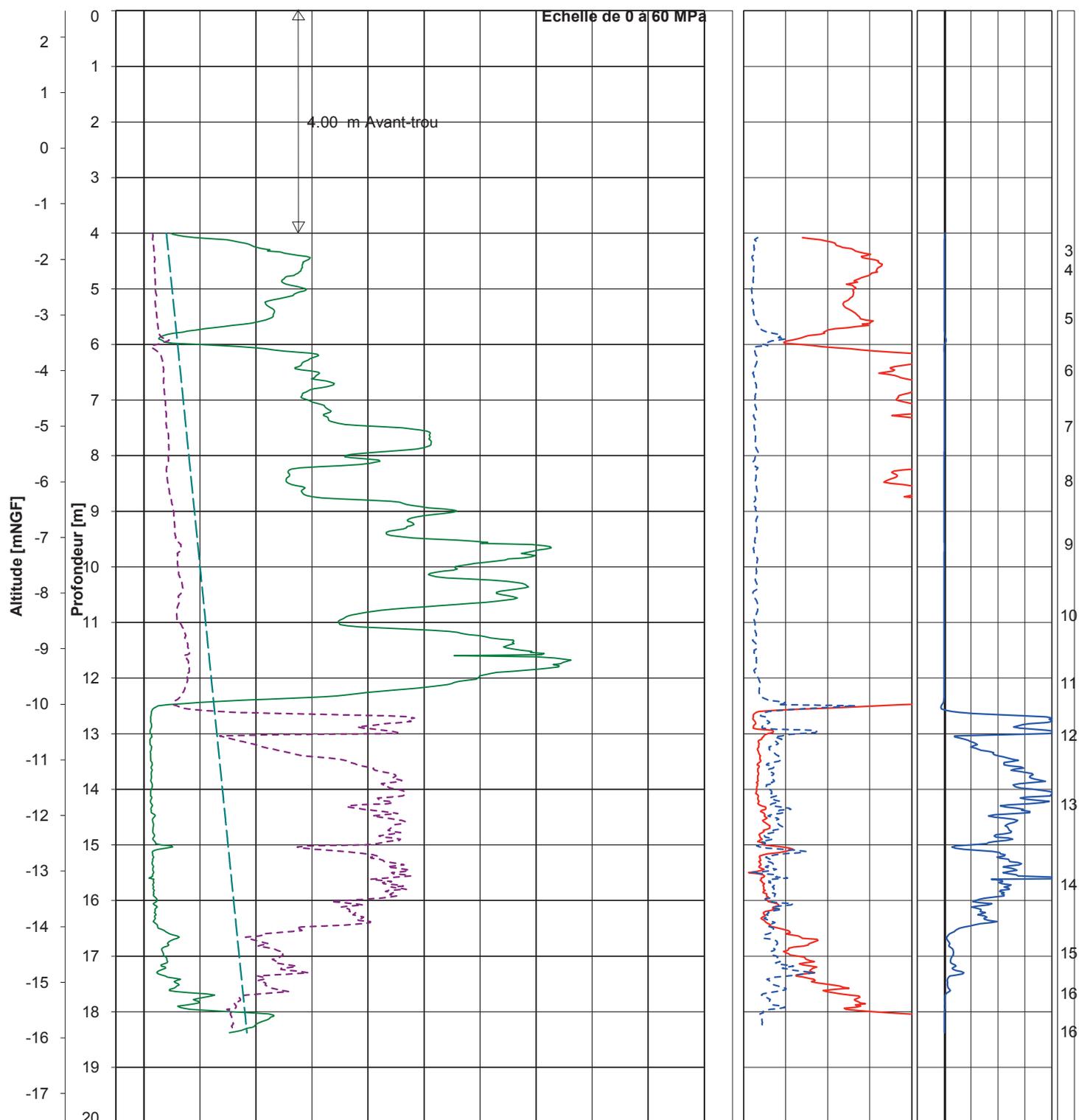
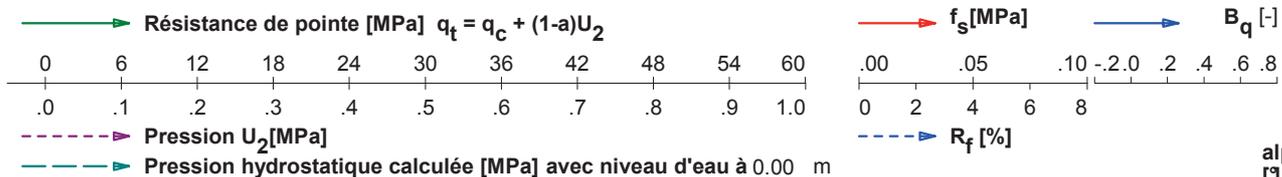
Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S Fin sondage: 18.38 m

Réf. dossier: 11P-0083-a00

Page n°1

X= 593159.63 Y= 2666325.39 Z= +2.47 mNGF



LOON PLAGE 59  
Port autonome de Dunkerque  
Rue de la Gare

**ESSAI AU PIEZOCONE**  
**DISSIPATION TEST (NF P 94-119)**



CPTU3

Date d'exécution: 19/10/2011

Présentation: OME

Opérateur: BOKHARI.S test depth: 13.01 m

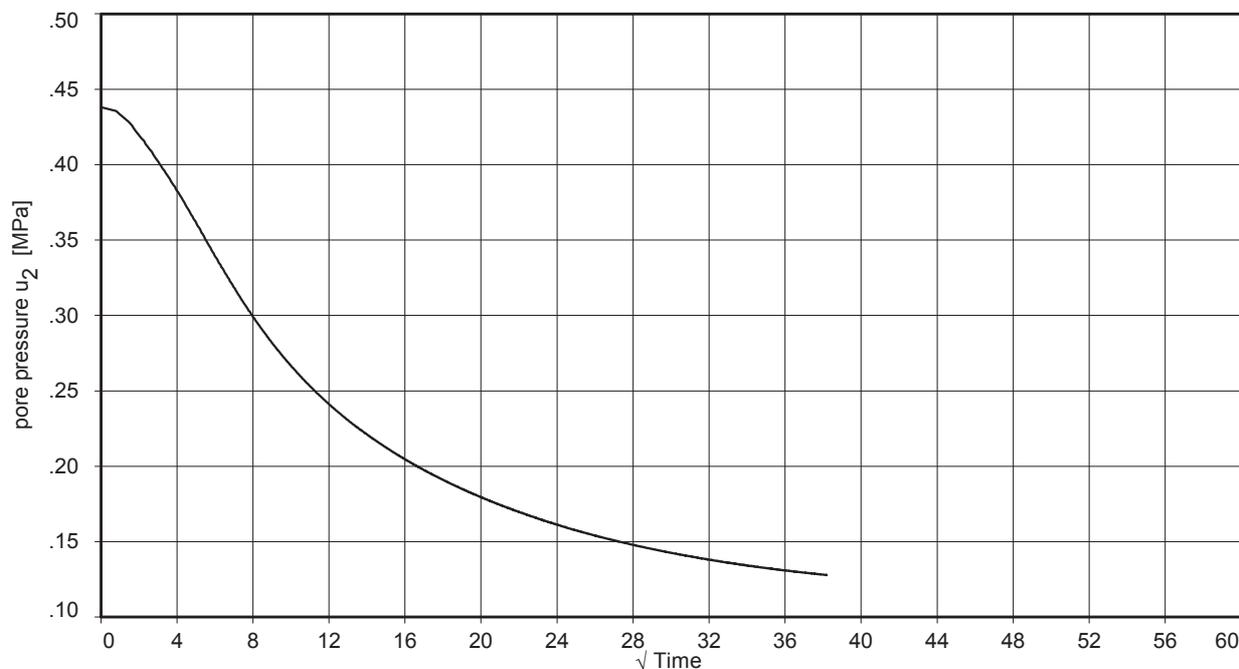
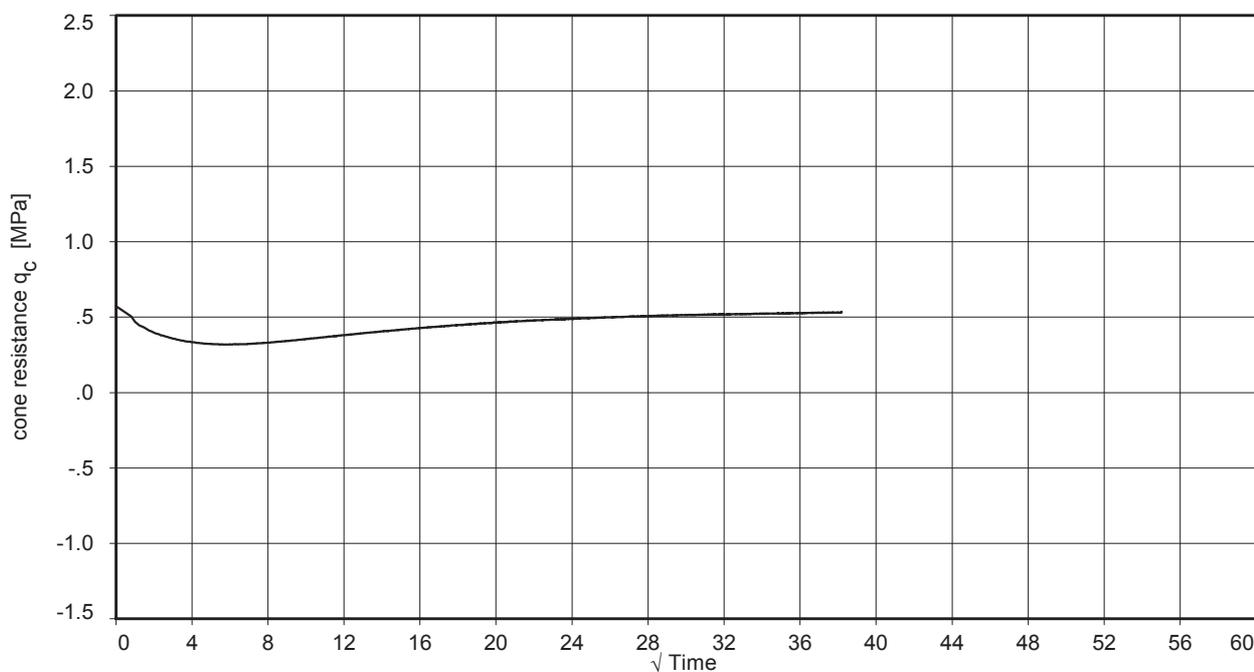
Réf. dossier: 11P-0083-a00

Page n°1

Pointe 36 mm Type et n° F5CKE2HAW 2/B P70617041

Sections: Pointe 1000 mm<sup>2</sup> Manchon 14997 mm<sup>2</sup>

X= 593159.63 Y= 2666325.39 Z= +2.47 mNGF



pore pressure at start : 0.438 MPa  
pore pressure at end : 0.128 MPa