



Saipem

APPORTS DES ESSAIS DE CHARGEMENT DYNAMIQUE LORS DE L'INSTALLATION DE PIEUX METALLIQUES BATTUS OUVERTS

**Le cas du terminal charbonnier de
PUERTO NUEVO
COLOMBIE**

Sommaire de l'exposé

- **Le projet**
Situation – Caractéristiques
- **Le site**
Géologie –Géotechnique
- **Les essais de chargement de pieux**
Avant les travaux: Essais de type « Statnamique »
 Essais de chargement dynamique
Pendant les travaux : Essais de chargement dynamique
- **Conclusions**



Saipem

Le projet – Situation

- Cote Nord de la Colombie
- Région de Magdalena
- Commune de Cienaga (proximité de la ville de Santa Marta 14 km)



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Principales caractéristiques du projet

Nature du projet

- Terminal **d'exportation de charbon**,
- Chargement **simultané de 2 cargos** de type PANAMAX et CAPESIZE (longueur 300m , tirant d'eau 18m, déplacement 200 000 t)

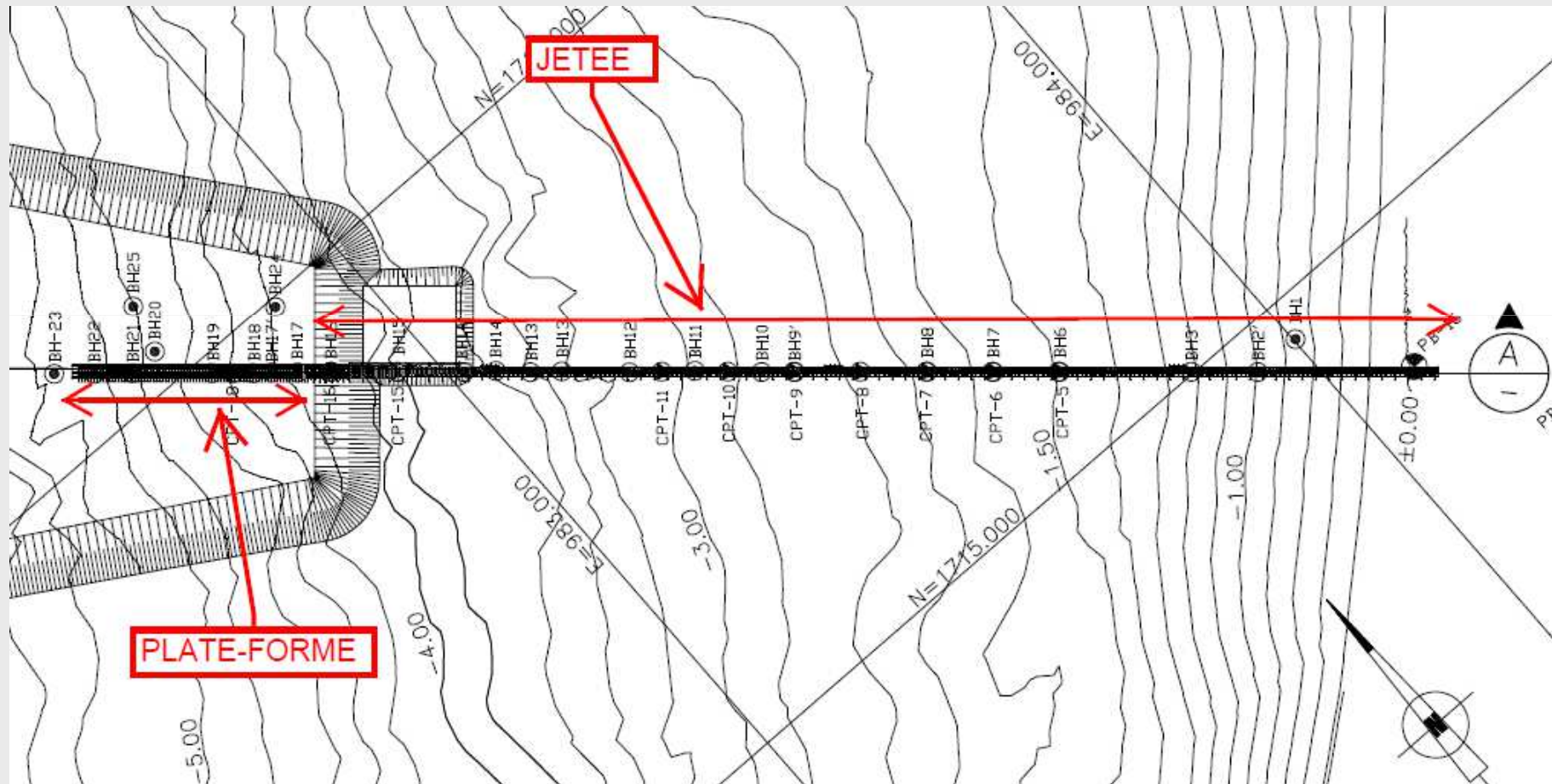
Le projet comprend:

- 1 jetée d'environ **1700 m** de longueur
- 1 plate-forme d'environ **350m** de longueur et de 25 m de large
- 1 chenal d'accès et bassin de retournement



Saipem

Principales caractéristiques du projet



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Principales caractéristiques du projet

La jetée et la plate-forme sont fondées sur **377 pieux** métalliques battus ouverts représentant **10500 t** d'acier

Pour la jetée:

- Diamètre extérieur des pieux: **1.37m**
- Epaisseur : **19.1 mm**

Pour la plateforme:

- Diamètre extérieur des pieux: **1.52m**
- Epaisseur : **20.6 à 25.4 mm**



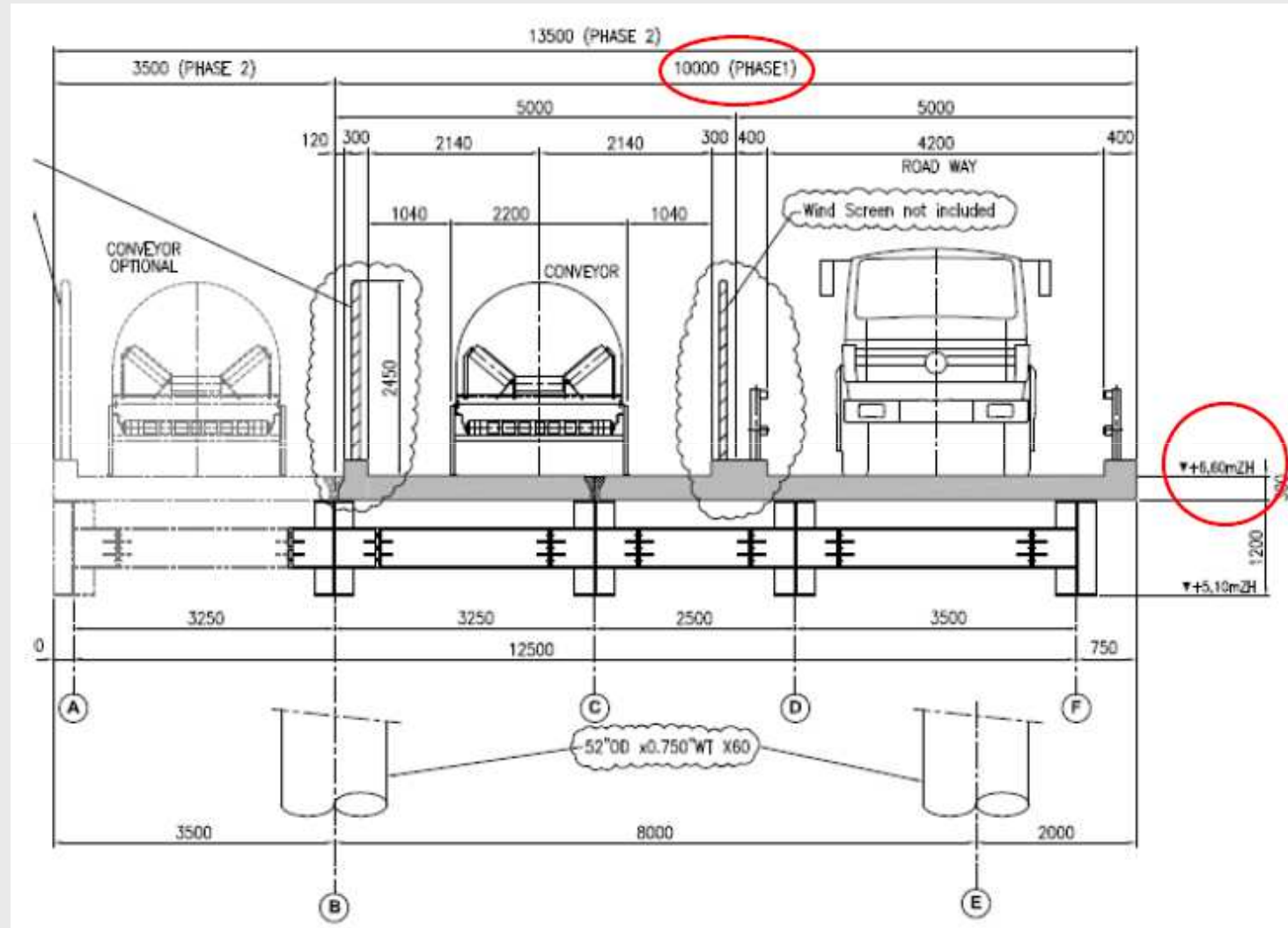
Saipem

Principales caractéristiques du projet

Jetée:

Niveau du fond
au droit de la
jetée:

De 0 à -5m ZH

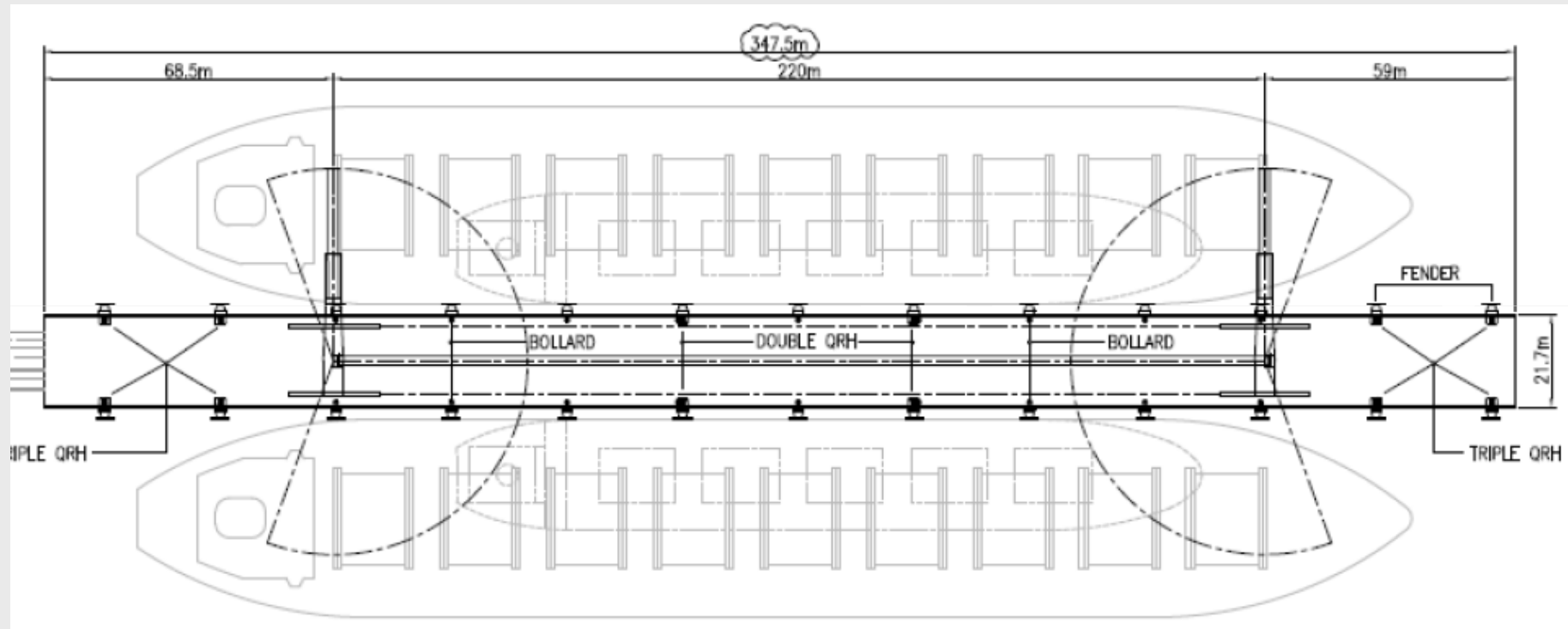




Saipem

Principales caractéristiques du projet

Plate-forme:



Cote de dragage au niveau de la plate-forme: **-20.3 m ZH**



Saipem

Principales caractéristiques du projet

CHARGES AXIALES MAXIMALES SUR LES PIEUX:

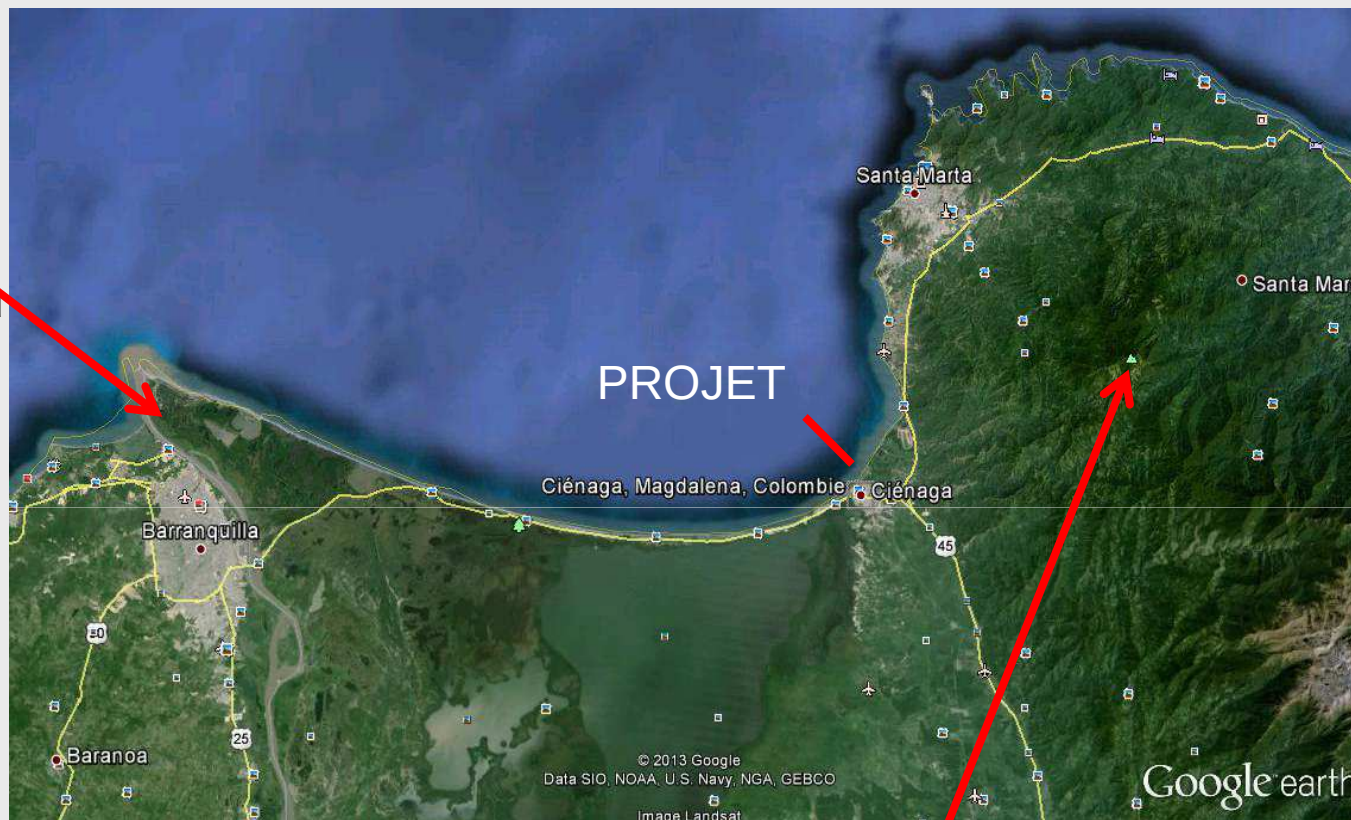
- TRESTLE: compression **4500 à 6500 kN**
- PLATE-FORME : compression **11600 kN**
 tension **10200 kN**



Saipem

Le site

- Dans la zone du **delta de la Magdalena River**, (100 km à l'ouest du site), le fleuve le plus important du pays (1600 km de long)

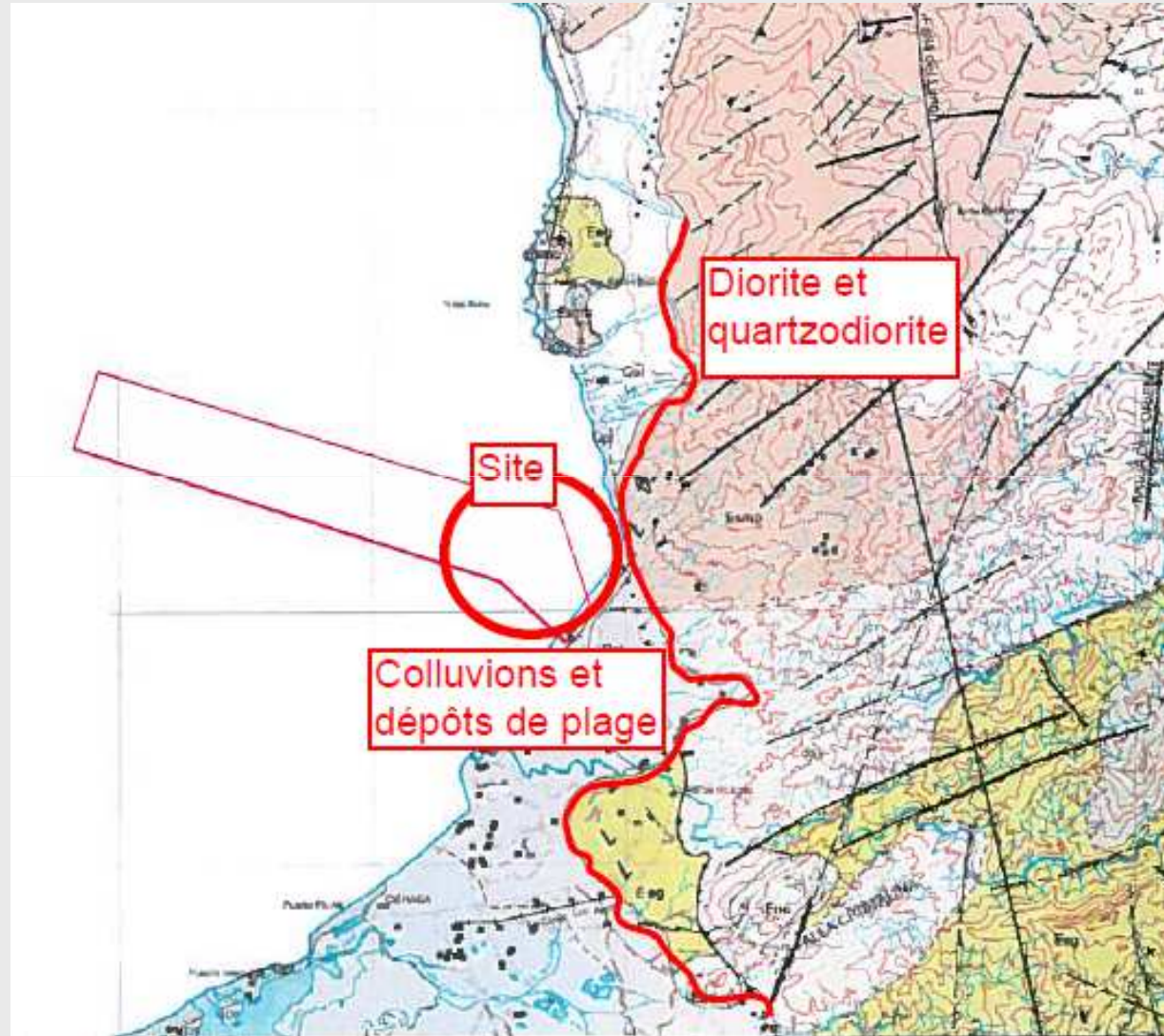


Au pied des contre-forts de la **Sierra Nevada de Santa Marta** (5800m Pico Bolivar à 60 km de la cote), le plus haut massif montagneux côtier du monde



Le site -Géologie

- **Pas d'impact important** de la sédimentation due au delta de la Magdalena River (schéma général des courants dans la zone)
- Plateau continental étroit recouvert par des **sédiments (sables et argiles)** et des **produits d'érosion des contreforts de la Sierra Nevada** (roches ignées de type diorite et quartzodiorites et métamorphiques de type schiste et gneiss),





Saipem

Le site -Géologie



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Le site -Géologie



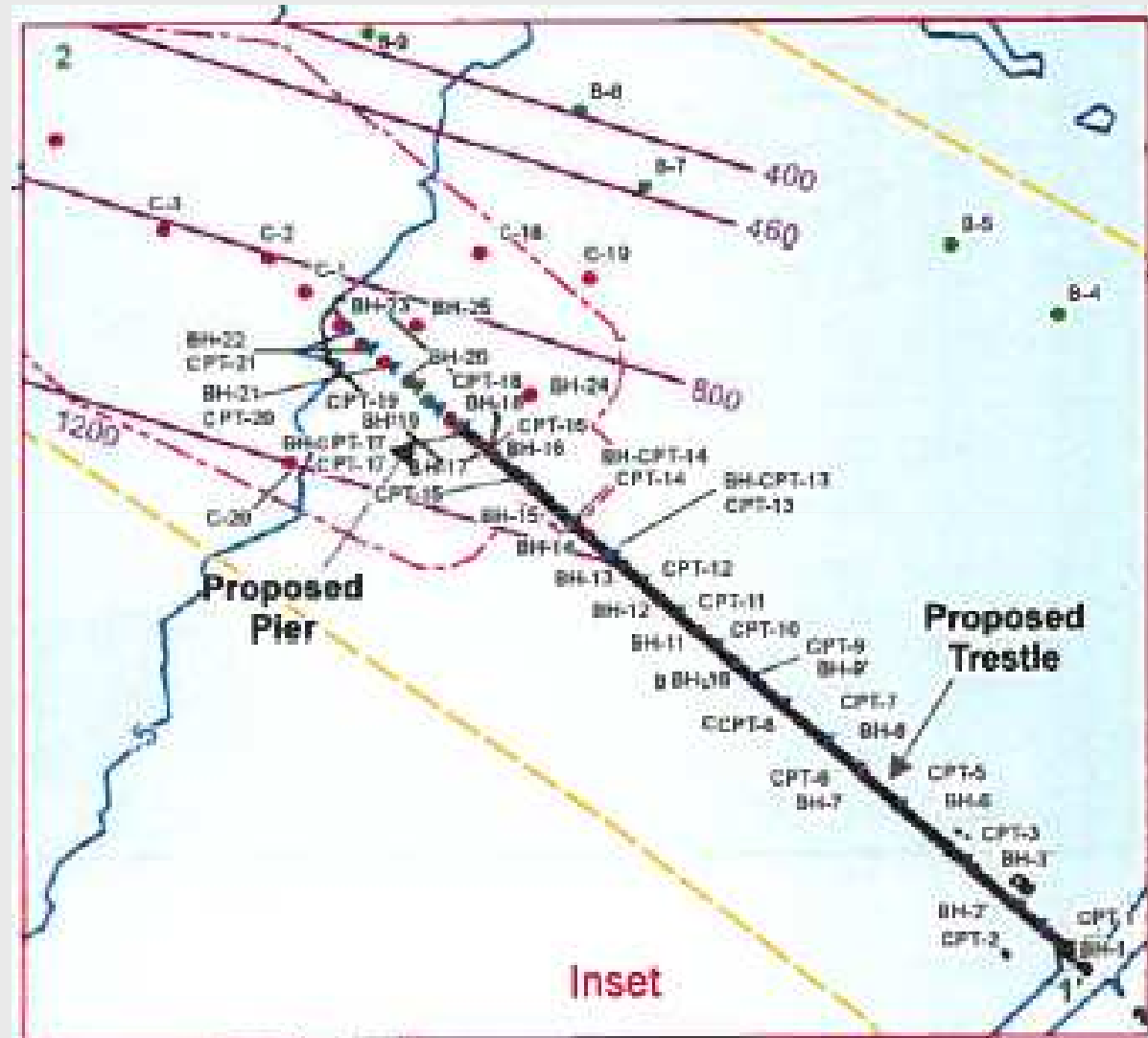
Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Le site -Géotechnique

Dans la zone du projet :

- **21 sondages au pénétromètre statique** (18 à 25m de profondeur)
- **23 sondages carottés certains jusqu'à 60m de profondeur)** avec essais de pénétration au carottier (**SPT**)
- **Essais de laboratoire**

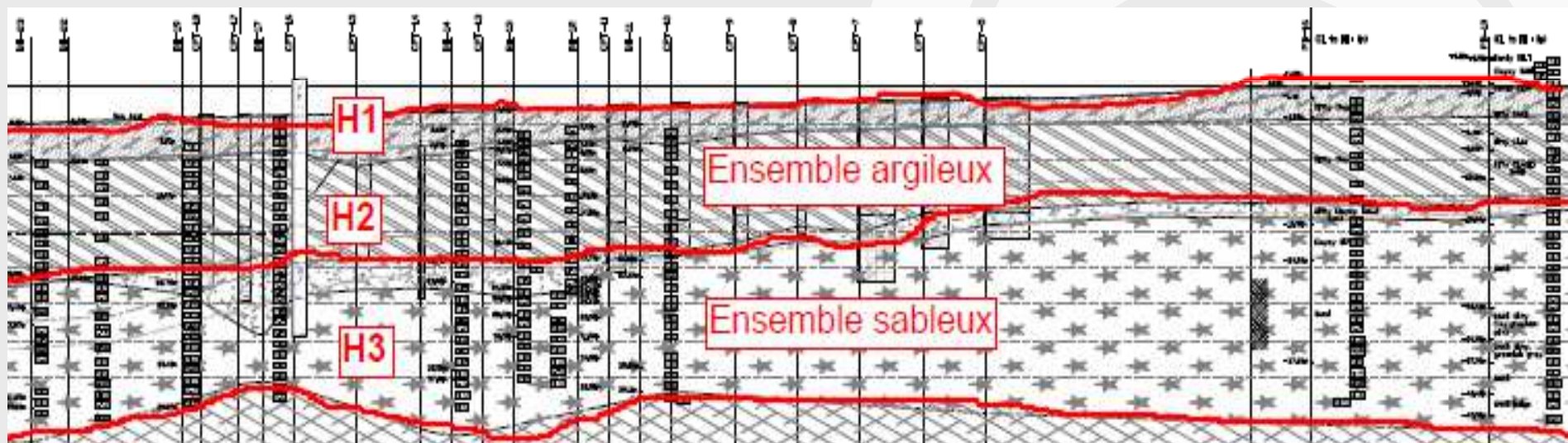




Le site -Géotechnique

L'analyse des données géotechniques met en évidence 2 ensembles principaux:

- Un ensemble à dominante argileuse entre 0 et 20m de profondeur environ
- Un ensemble à dominante sableuse reconnu jusqu'à 60 m de profondeur





Saipem

Le site -Géotechnique

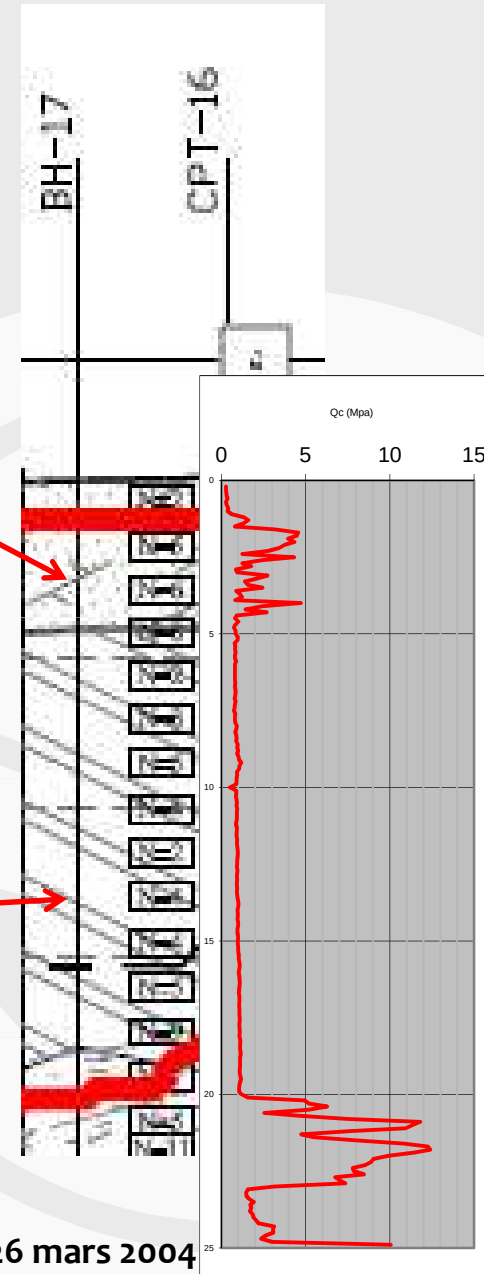
Ensemble argileux assez homogène.....

H1

Sédiments
récents
mous



H2 Argile
marine molle





Le site -Géotechnique

.....MAIS une **forte hétérogénéité et des discontinuités latérales** de l'horizon à dominante sableuse d'ancrage des pieux.





Saipem

Le site -Géotechnique



SABLE FIN DENSE

ARGILE

GRAVE SABLEUSE

SABLE GROSSIER TRES DENSE

Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



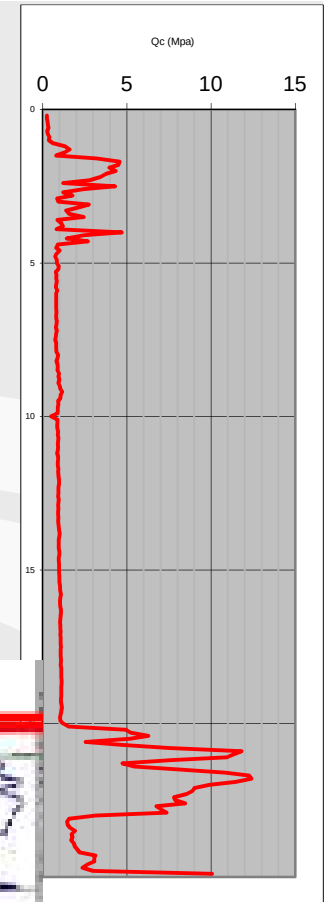
Saipem

Le site -Géotechnique

Ensemble sableux très hétérogène: différents faciès, teneur en fines variable, atteignant localement jusqu'à 30%).....



H3 sables
moyennement
denses à très
denses.....



Refus



Le site -Géotechnique

H4



..... avec **inclusions aléatoires**
de **lentilles d'argile H4** plus raide
qu'en partie supérieure et de
lentilles graveleuses H5.

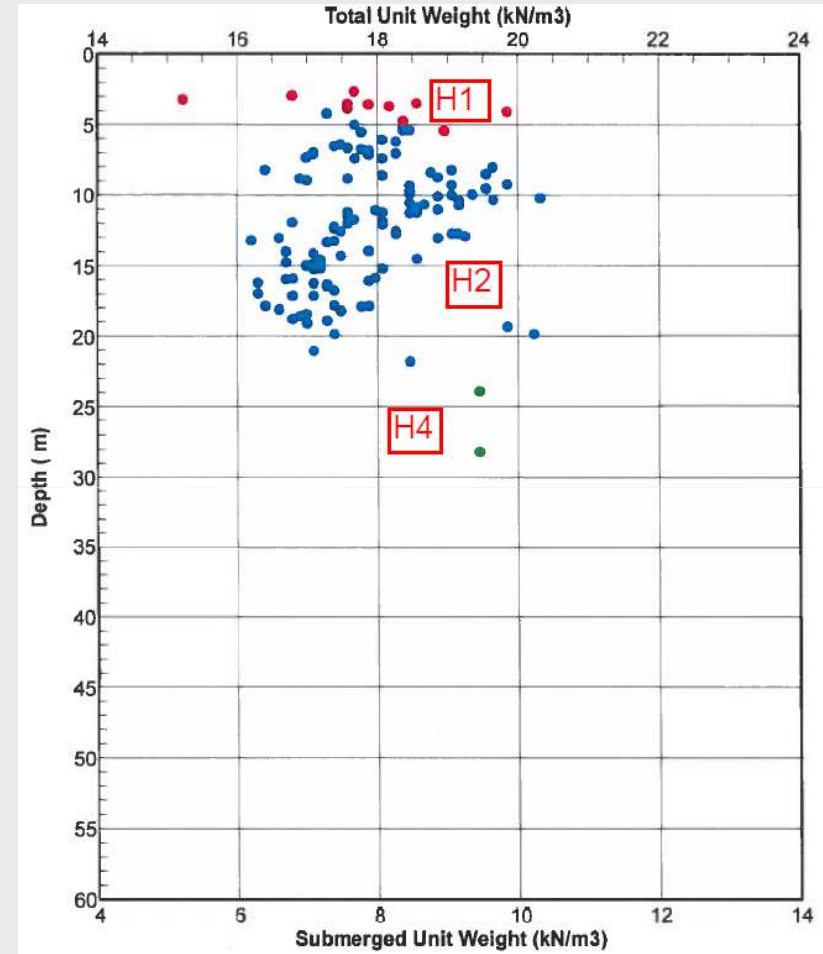
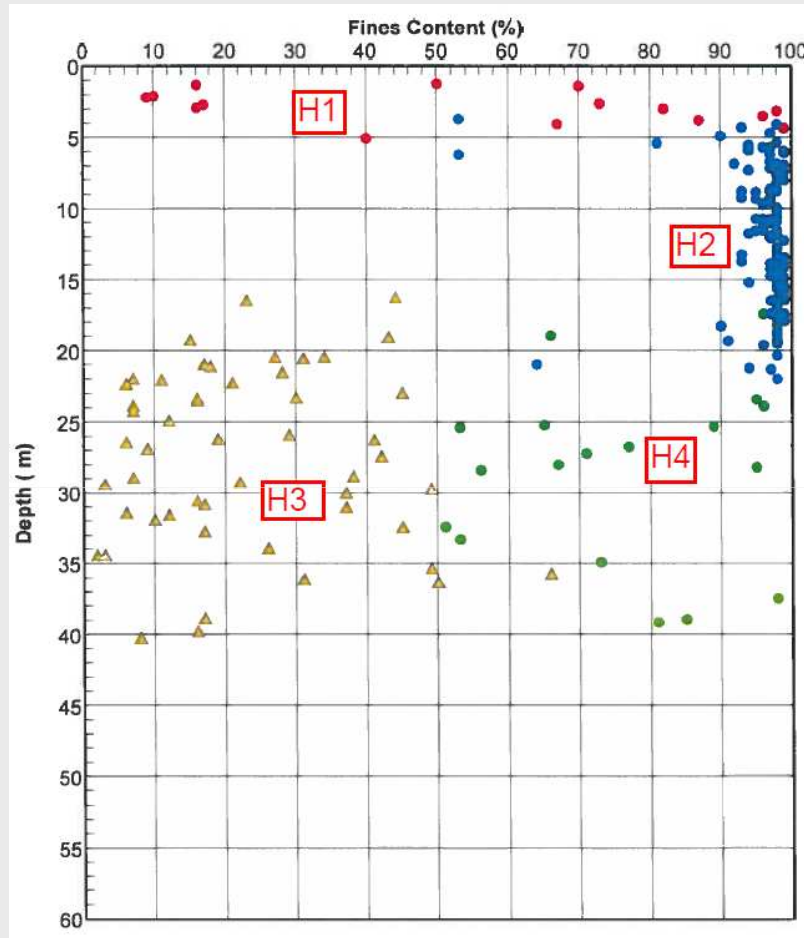
H5





Saipem

Le site -Géotechnique

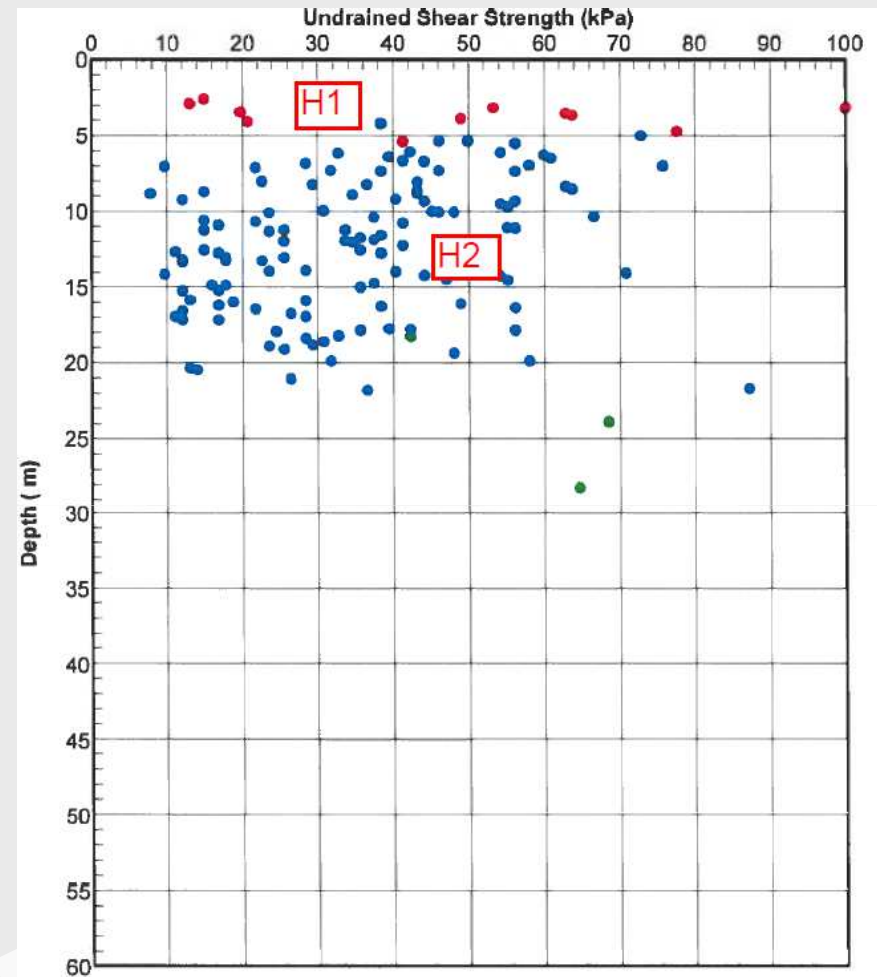
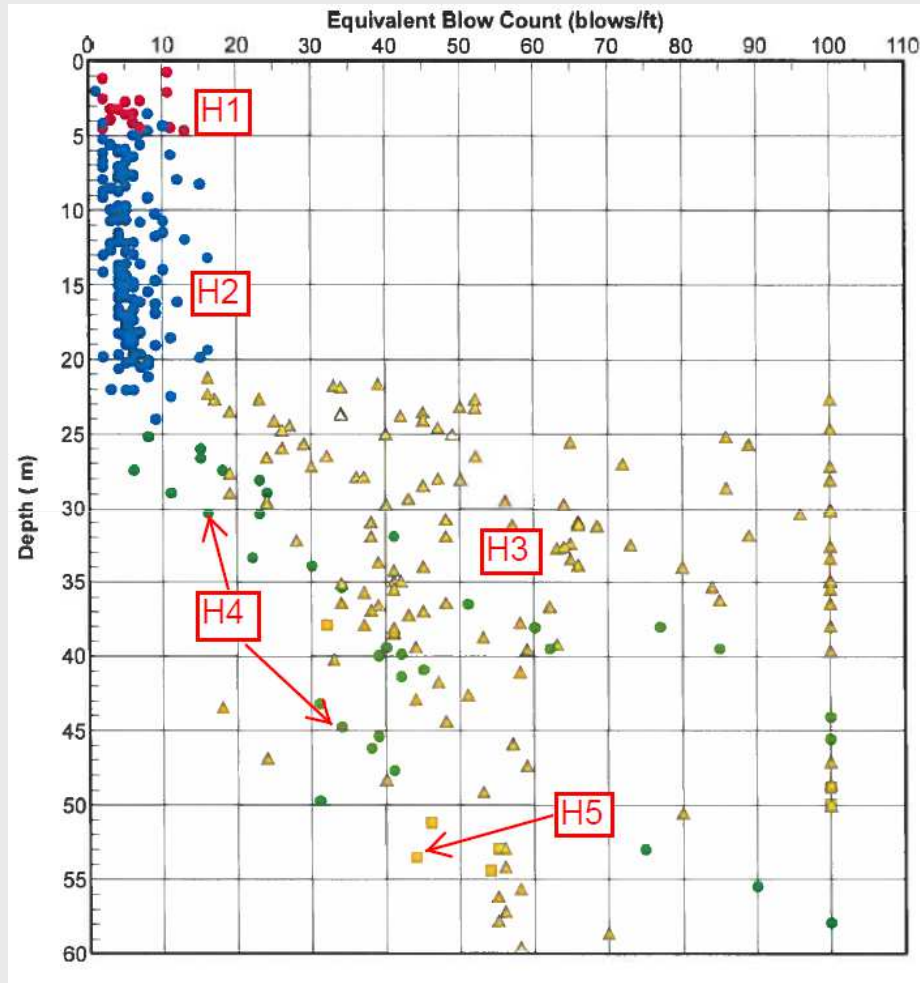


Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Le site -Géotechnique





Le site -Géotechnique

1. **Difficultés** d'obtenir un modèle géotechnique pertinent pour l'ensemble du projet et pour de quelconques zones « homogènes » du fait de l'hétérogénéité de l'ensemble à dominante sableuse
2. Dimensionnement des pieux basés:
 - sur la géométrie de couches obtenues pour **chaque sondage**,
 - sur des jeux de paramètres géotechniques de dimensionnement variant selon la nature des matériaux autour des valeurs indicatives suivantes

ensemble	Horizon	Poids vol (kN/m ³)	Cohésion non drainée (kPa)	Paramètres drainés	
				Angle de frottement (°)	Cohésion c' (kPa)
Dominante argileuse	H1	17	20 à 25	26	0
	H2	17 à 19	30 à 40	20 à 26	0
Dominante sableuse	H3	18 à 21	n.a.	33 à 38	0
	H4	18 à 20	70 à 100	20 à 26	0



Saipem

Le site -Géotechnique

Prévision de
fiche des
pieux basée
sur le modèle
géotechnique

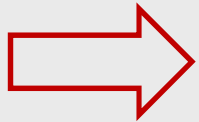


Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



CONCLUSION:

- **Hétérogénéité spatiale** (nature et caractéristiques mécaniques) de l'horizon d'ancrage des pieux,
- caractérisation de la couche d'ancrage uniquement par du SPT (refus des essais au pénétromètre statique, peu ou pas d'essais mécaniques de laboratoire),
- « **Incertitude** » sur les fiches théoriques calculées.



Nécessité d'un **programme d'assurance qualité** basé sur des **essais de pieux spécifiques** pendant les **travaux**

BUT:

Valider la profondeur d'installation des pieux afin de **garantir leur capacité portante** dans les **conditions de sécurité requises**.



Saipem

Programme d'essais de pieux

Basé sur:

En début de chantier:

- La réalisation de **deux essais de chargement en compression** (de type Statnamic) sur pieux spécifiques instrumentés permettant de mesurer notamment la capacité portante statique équivalente du pieu d'essai,
- La réalisation **d'essais de chargement dynamique** pendant le battage des **deux pieux d'essai** (matériel de type PDA) avec post analyse de type CAPWAP pour l'évaluation de la capacité portante du pieu testé;

Pendant le chantier:

- La réalisation **d'essais de chargement dynamique pendant le battage** des pieux de l'ouvrage avec post analyse de type CAPWAP sur environ **10 % des pieux**.



Programme d'essais de pieux

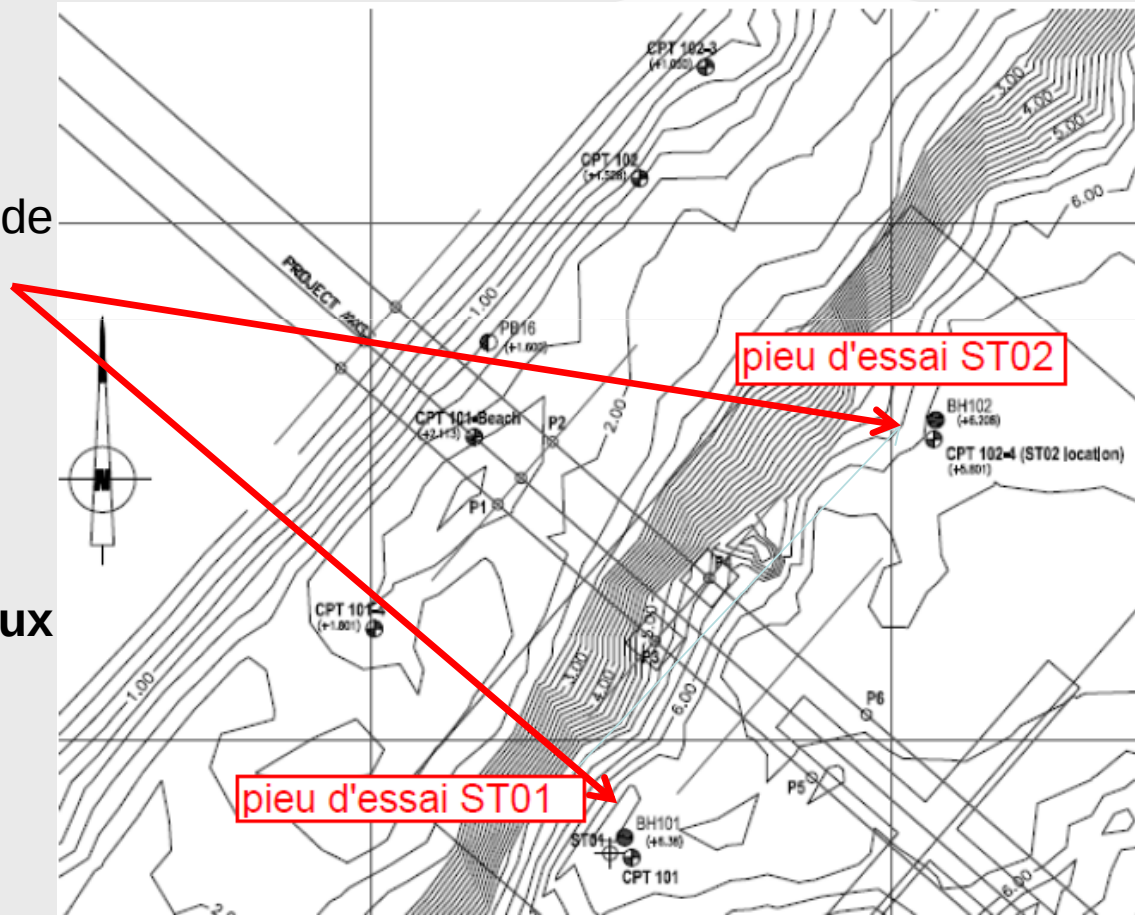
Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)

- Localisation des essais:

proximité de la culée de l'ouvrage

- Caractéristiques des pieux:

- Diamètre 1.32 m
- Epaisseur 19 mm
- (géométrie identique aux pieux de la jetée)





Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)

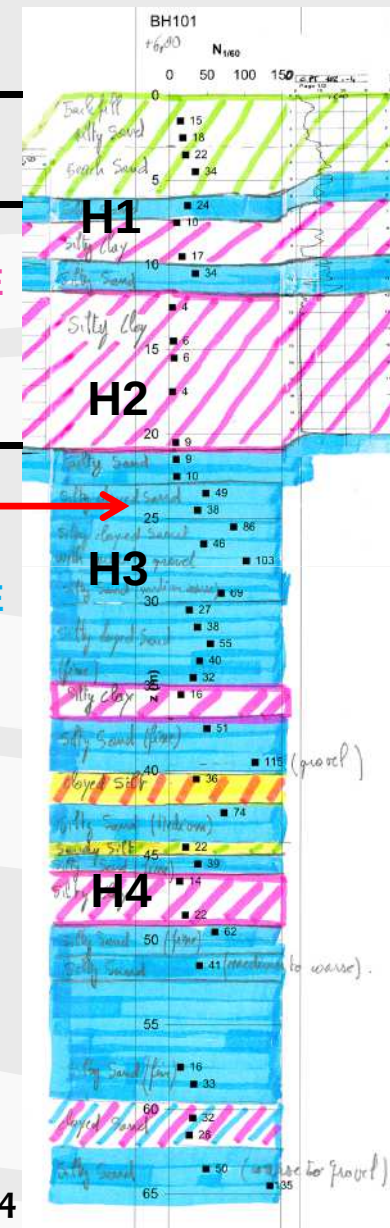
- 2 Sondages carottés et des essais au pénétromètre statique sont réalisés au droit des pieux d'essai
- Les résultats de ces sondages:
 1. Permettent de s'assurer de la **représentativité du site**
 2. Permettent de prévoir la capacité portante des pieux d'essais afin **d'adapter la charge du Statnamic**
 $q_u = 6400 \text{ kN}$

Base du pieu d'essai ST01 à 24.5m

REMBLAI
SABLEUX

ENSEMBLE
ARGILEUX

ENSEMBLE
SABLEUX





Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)

- **Essai ne nécessitant pas:**
 1. De dispositif de réaction
 2. De dispositif de chargement (vérins hydrauliques)
- Essai **rapide et moins coûteux** qu'un essai statique conventionnel
- La charge est appliquée par les gaz générés lors d'une explosion. L'augmentation de pression des gaz dans le dispositif propulse vers le haut un mouton (**masse 5% environ de la charge d'essai**) et applique simultanément, sur la tête du pieu une charge vers le bas.
- La charge est mesurée avec un **dynamomètre** adapté et les déplacements verticaux avec un **capteur photovoltaïque déclenché par un laser** qui sert de référence en plus des **4 accéléromètres positionnés en tête de pieu** (redondance).
- Gamme des charges pouvant être appliquées: **5 à 5000t**



Saipem

Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Programme d'essais de pieux

Essai

Statnamic:

(ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)





Saipem

Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)





Saipem

Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004

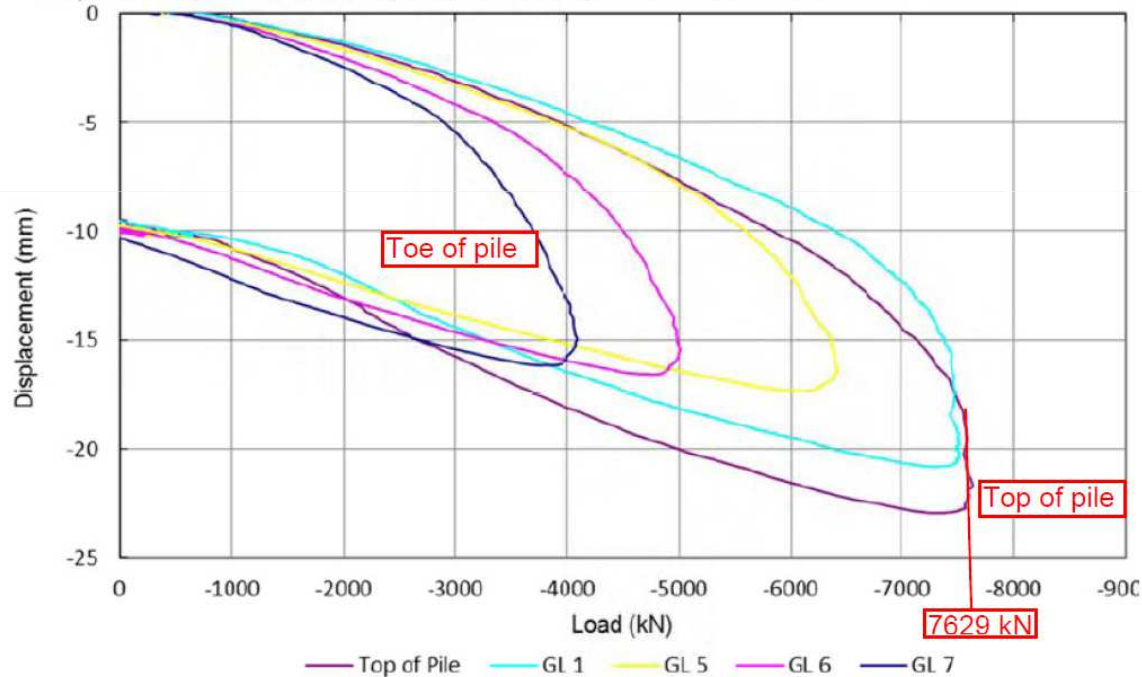


Saipem

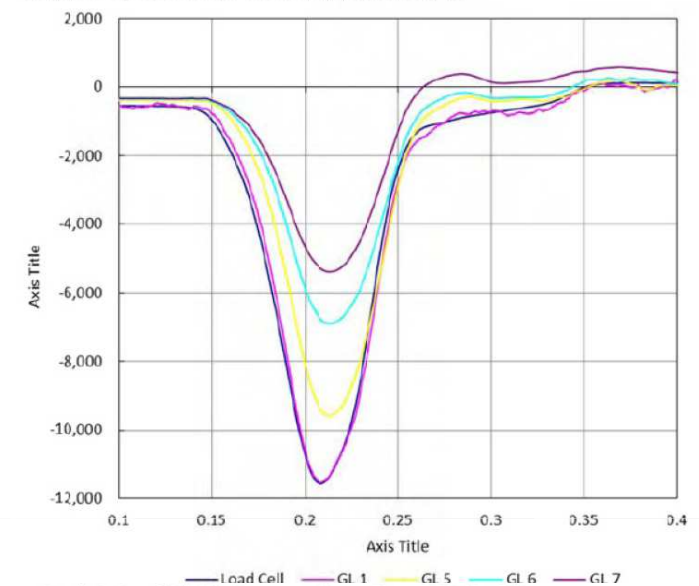
Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid) Testing of Deep Foundations)

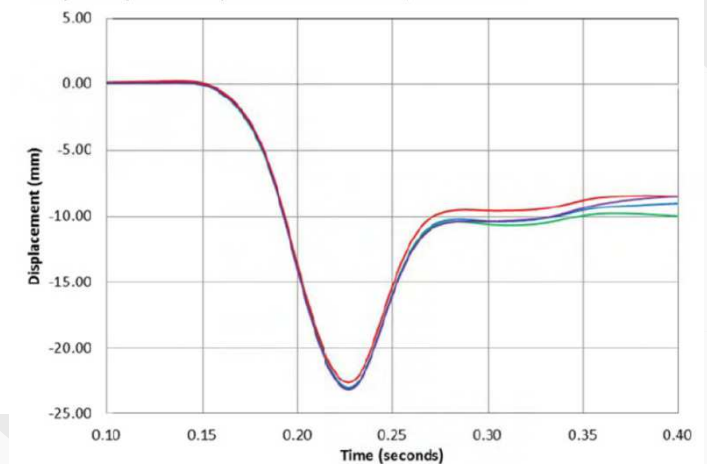
Graph 10: Gage Level Static Capacity versus Gage Level Displacement, ST01 Test Pile



Graph 8: Gage Level Force versus Time, ST01 Test Pile



Graph 4: Top of Pile Displacement Versus Time, ST01 Test Pile





Programme d'essais de pieux

Essai Statnamic: (ASTM D7383-08 Axial compressive force pulse (rapid)
Testing of Deep Foundations)

Table 4. Load and Displacement Summary for ST01 Test Pile

Description	Numeric Value
Equivalent Static Load (kN)	7,629
Maximum Measured Displacement (mm)	22.9
Permanent Measured Displacement	10.2



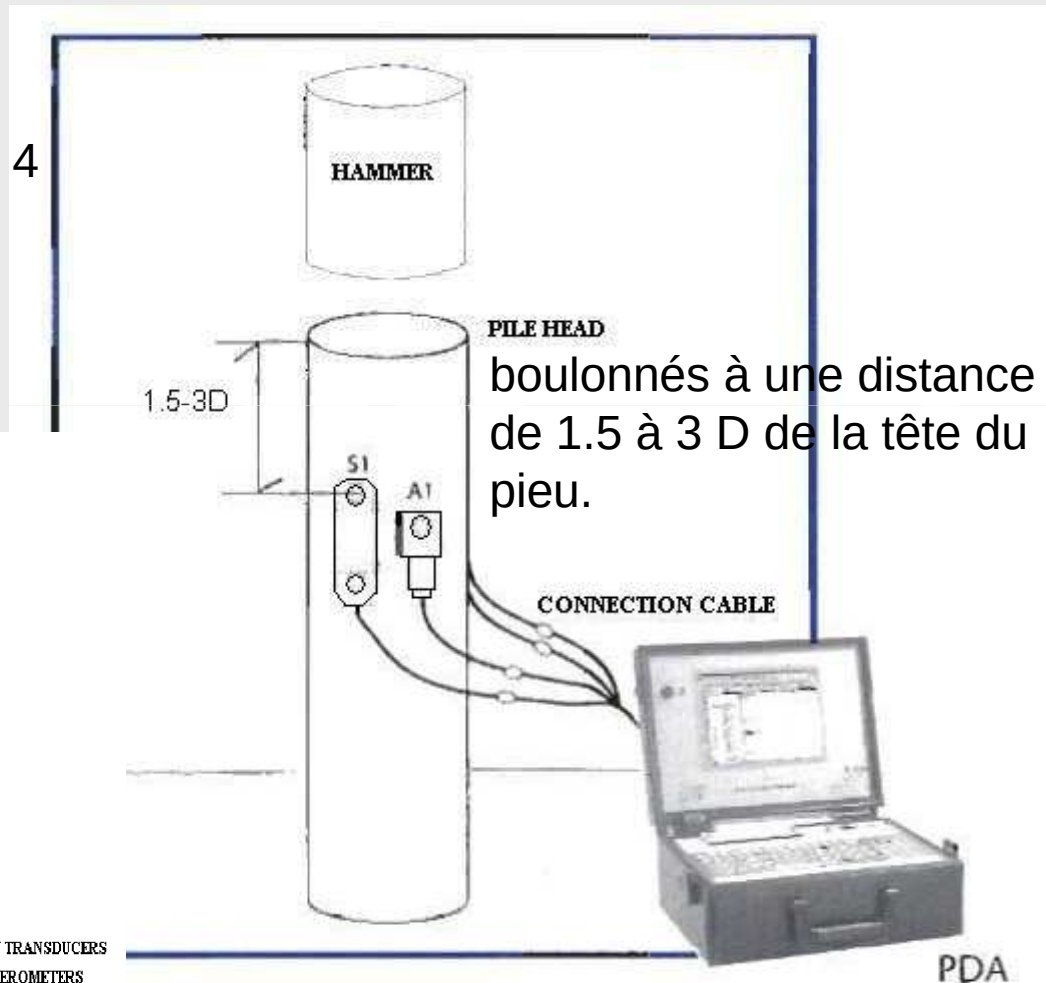
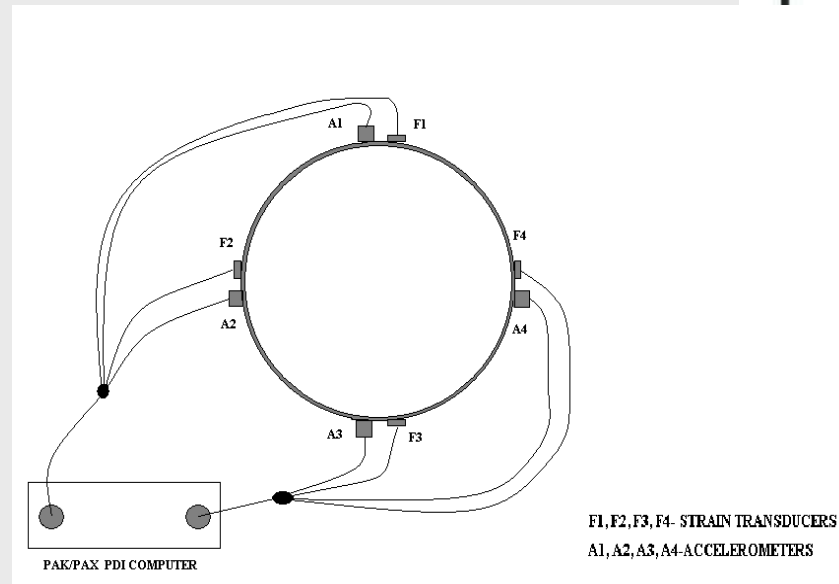
Saipem

Programme d'essais de pieux

Enregistrements PDA pendant le battage des pieux d'essai et analyses CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

L'instrumentation consiste en :

- 4 accéléromètres (piézo-électriques et piézo-résistifs) et 4 jauges de contraintes, diamétralement opposés (tube spiralé de grand diamètre et de faible épaisseur)

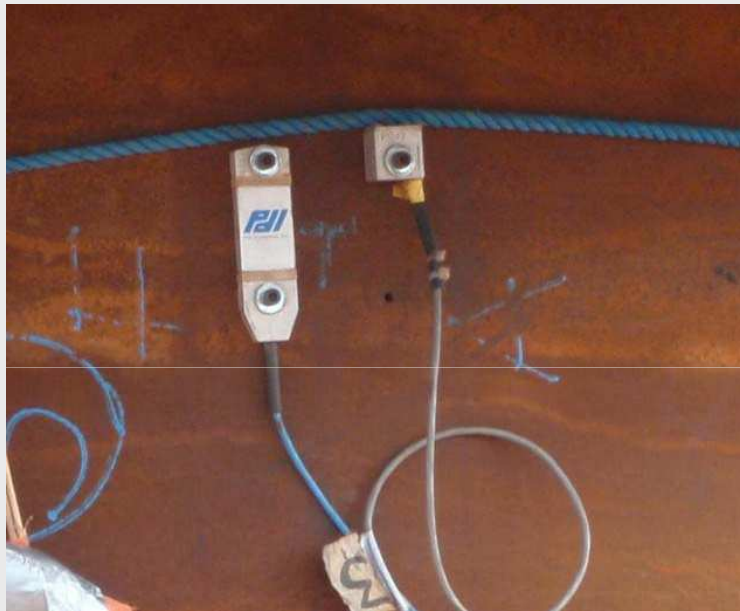




Saipem

Programme d'essais de pieux

Enregistrements PDA pendant le battage des pieux d'essai et analyses
CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)



La fixation des capteurs revêt
une très grande importance
dans la qualité des signaux.





Programme d'essais de pieux

Enregistrements PDA pendant le battage des pieux d'essai et analyses CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

Essais dynamiques reconnus par de nombreux standards (Eurocode 7) pour l'évaluation de la capacité portante des pieux sous réserve d'essai statique en parallèle (regain d'intérêt).

Le logiciel CAPWAP utilise l'analyse **de calage de signal** pour l'évaluation de la capacité portante.

Cette analyse consiste à **ajuster itérativement un modèle numérique** de sol jusqu'à **faire coïncider le signal réfléchi calculé avec le signal réfléchi mesuré.**

La validation du modèle par un grand nombre d'essais statiques pour différents types de pieux et de sols et par différents auteurs (Likins et al. 2004) a montré que les **résultats donnés par CAPWAP sont légèrement conservatifs** (différence maximale de l'ordre de 17% avec un rapport moyen CAPWAP capacity/ Static load test capacity = 0.98)



Saipem

Programme d'essais de pieux

Enregistrements PDA pendant le battage des pieux d'essai et analyses CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

Résultat du calage
pour le coup n°1110
de ST01
Fiche 24.5 m

Signal Matching analysis

Ultimate capacity R_u (MN):

2.45

match quality MQ:

1.49

Special models radiation damping: NO

residual stress: NO

adjust impedance: NO

Comments: The toe resistance percentage (over the total resistance):

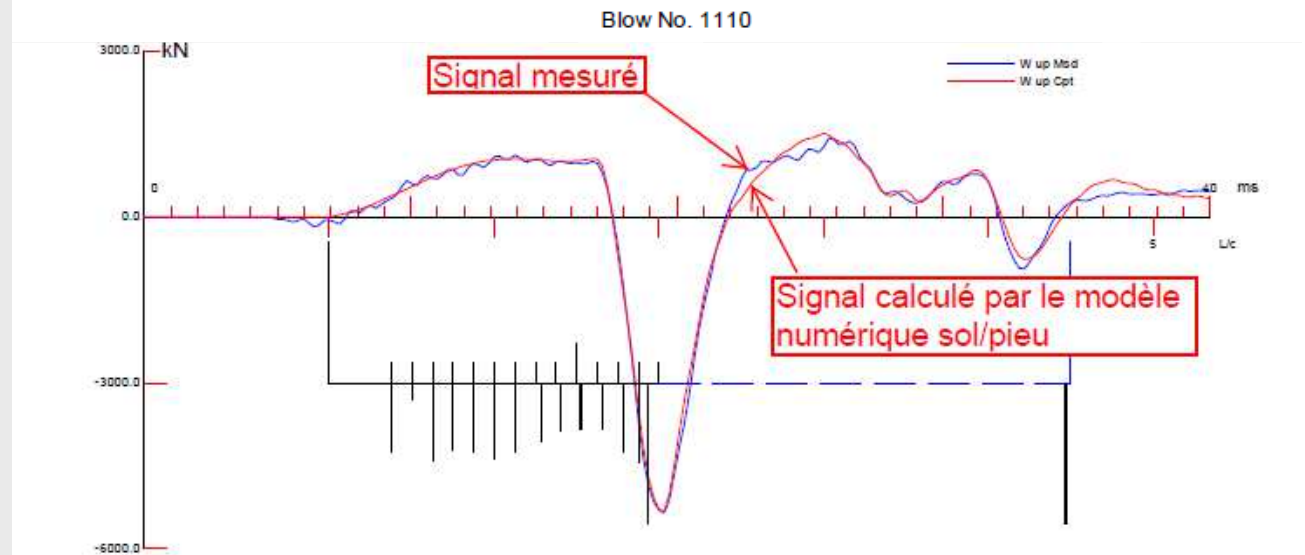
41 (%)

Shaft resistance model :

Viscous (SO = 0)

Toe resistance model :

Smith-Viscous (OP=2)





Programme d'essais de pieux

Enregistrements PDA pendant le battage des pieux d'essai et analyses CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

Condition importante pour un **calage « réussi »**: le choix du coup (**le choix du signal**)

Critères principaux pour le choix d'un signal de bonne qualité:

- Cohérence entre les signaux successifs
- Absence d'instabilité électrique
- Proportionnalité entre force et vitesse en début de signal
- Retour à 0 en fin de signal (ou oscillations autour de 0)

Un « bon » calage correspond généralement à Match Quality MQ: **$2 < MQ < 4$** (Rausche et al. 2010)



Programme d'essais de pieux

Enregistrements PDA pendant le battage des pieux d'essai et analyses CAPWAP(Case Pile Wave Analysis Program)

Pile	Time of test	Length below gauges	Reported Penetration	SET	Pile capacity	MQ	Setup time	Setup factor
		m	m	mm/blow	kN		day	
ST1	30/07/2011	32.5	24.5	16.7	2448	1.5		
ST1	01/08/2011	32.5	24.8	12.0	5146	1.8	2.0	2.10
ST1	04/08/2011	32.5	24.9	25.0	5074	2.0	5.1	2.07
ST1	13/08/2011	39.9	25.0	12.0	6775	1.7	13.2	2.77

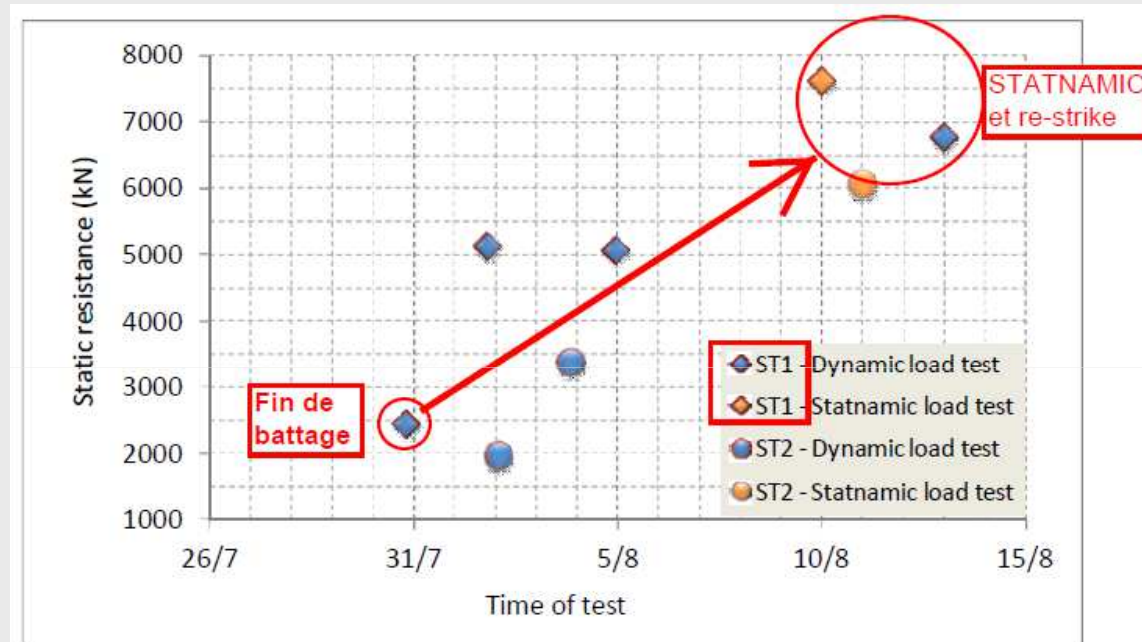
Résultats:

- Le refus permanent (SET) est important (>12 mm/coup mais reste acceptable): **presque toute la résistance possible a été mobilisée,**
- Mise en évidence d'un **phénomène de cicatrisation** (coefficient supérieur à 2 pour un temps de cicatrisation supérieur à 2 jours -à confirmer-).



Programme d'essais de pieux

Comparaison entre résultats essais de chargement Statnamic ST01 et essais de chargement dynamique



Résultat:

- Résistance statique équivalente Statnamic (7629 kN) supérieure (+13%) à la résistance issue des essais de chargement dynamique (6775 kN) mais dans l'ensemble en **bon accord**.

➡ Les essais de chargements dynamique fournissent une **prévision réaliste de la capacité portante**



Programme d'essais de pieux

Définition d'un modèle de sol ajusté

Une étude de battage menée avec le logiciel GRLWEAP nécessite de définir notamment les **paramètres caractérisant le comportement dynamique du sol** (dont dépend très fortement la précision des résultats).

- **Modèle de Smith:**

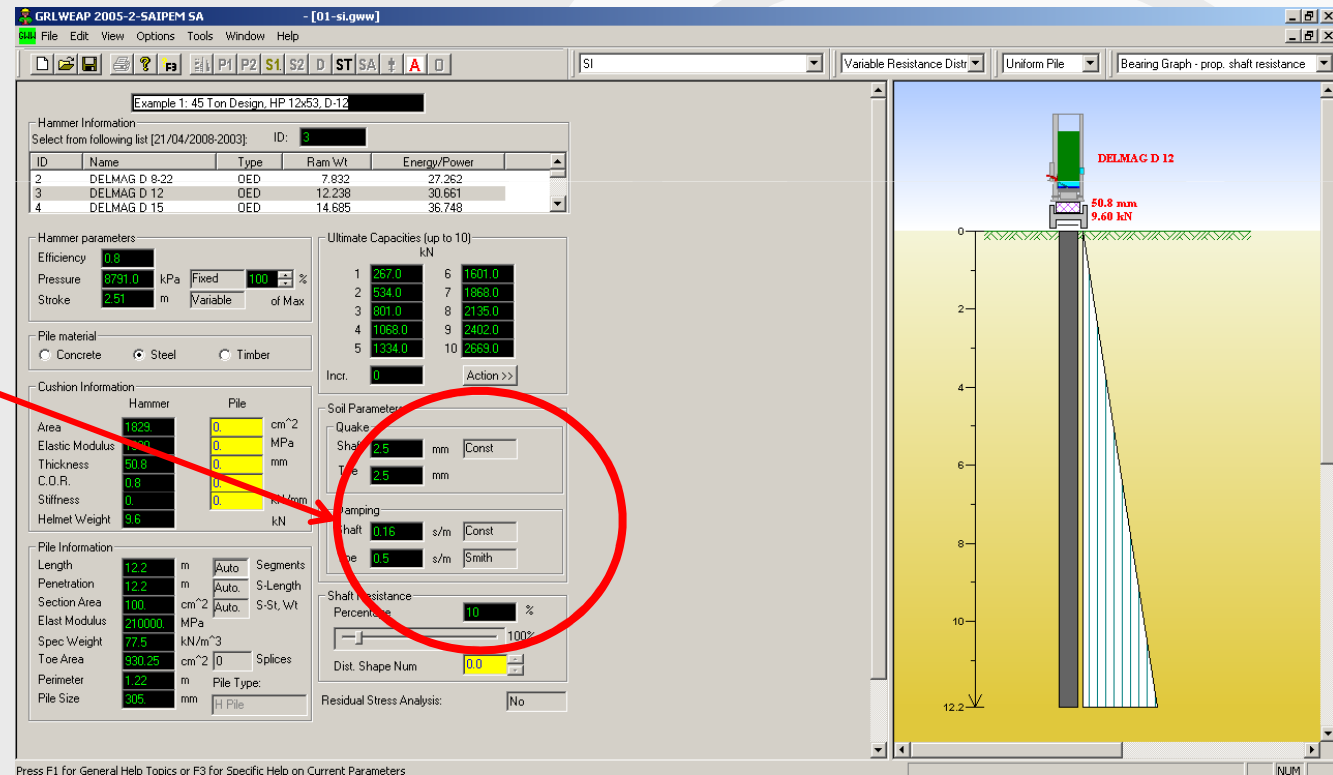
QUAKE:

1. Frottement
2. Pointe

DAMPING:

1. Frottement
2. Pointe

- % de frottement (dépend des données géotechniques)





Programme d'essais de pieux

Définition d'un modèle de sol ajusté

Sans analyse ajustée, on prend les paramètres recommandés (sauf le shaft damping que l'on garde à 0.2 s/m).

1/ Recommandations de Roussel (1979)

Quake & damping factor according to ROUSSEL								
Classification		Clay					Silt	Sand
Cu (kPa)		Very Soft	Soft	Firm	Stiff	Very Stiff		
		<12.5	12.5 - 25	25 - 50	50 - 100	100 - 200		
Quake (mm)	Qs	5.08	5.08	3.81	2.54	2.54	2.54	2.54
	Qp	5.08	5.08	3.81	2.54	2.54	2.54	2.54
Damping factor (s/m)	Js	0.36	0.36	0.23	0.20	0.16	0.23	0.26
	Jp	0.66	0.66	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50



Programme d'essais de pieux

Définition d'un modèle de sol ajusté

2/ Recommandations GRL WEAP

Recommended Damping Values for Impact Driven Piles

	Soil Type	Damping Factor s/m
Shaft Damping	Non-cohesive soils**	0.16
	Cohesive soils**	0.65
Toe damping	In all soil types	0.5

Recommended Quake Values for Impact Driven Piles

	Soil Type	Pile Type or Size	Quake (mm)
Shaft Quake	All soil types	All Types	2.5
Toe Quake	All soil types, soft Rock	Non-displacement piles** i.e. driving unplugged	2.5
	Very dense or hard soils	Displacement Piles*** of diameter or width D	D/120 D/120
	Soils which are not very dense or hard	Displacement Piles*** of diameter or width D	D/60 D/60
	Hard Rock	All Types	1

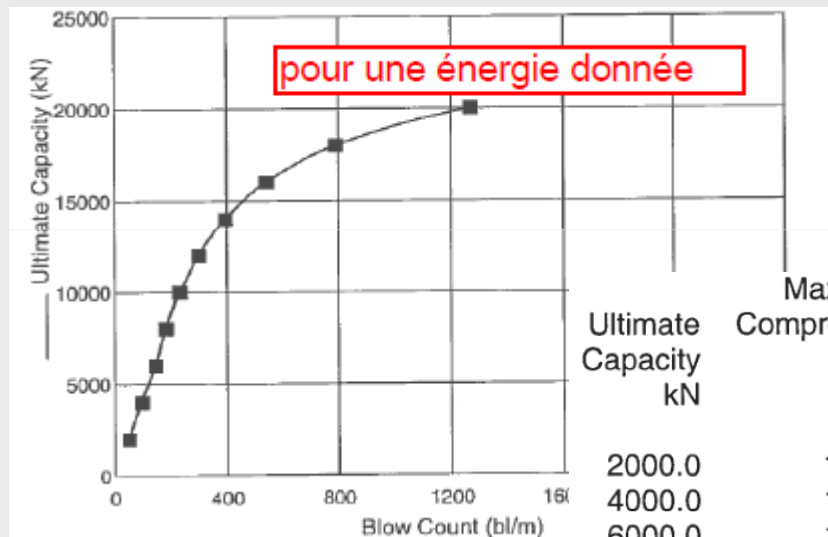
3/ % de frottement (se déduit des prévisions de SRD ou de Ru selon le cas)



Programme d'essais de pieux

Définition d'un modèle de sol ajusté

Résultats donnés par GRLWEAP (Bearing graph)

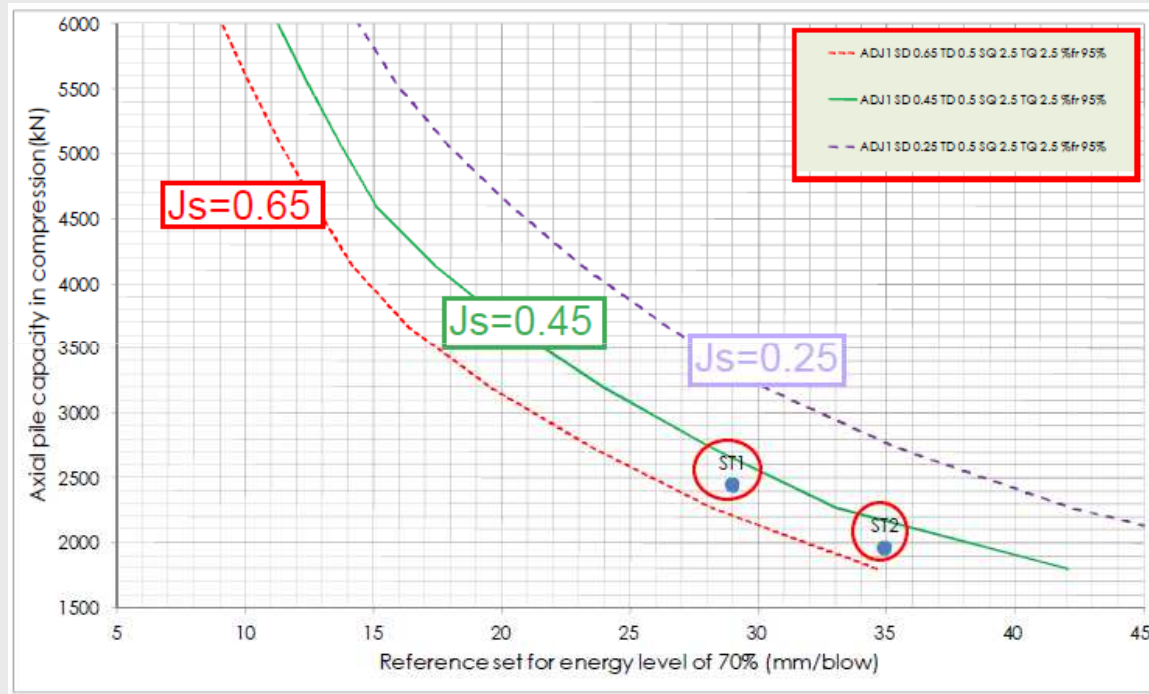


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
2000.0	180.93	141.60	51.0	2.02	105.29
4000.0	180.79	111.73	95.9	2.02	105.09
6000.0	180.79	87.19	146.5	2.02	104.81
8000.0	180.80	66.45	183.6	2.02	104.58
10000.0	180.82	56.09	232.7	2.02	104.35
12000.0	180.84	59.70	299.8	2.02	104.13
14000.0	180.88	60.31	395.9	2.02	103.96
16000.0	180.94	57.03	542.9	2.02	103.95
18000.0	181.01	52.28	790.9	2.02	103.95
20000.0	181.07	53.10	1271.7	2.02	103.95



Programme d'essais de pieux

Définition d'un modèle de sol ajusté



Le **shaft damping** joue un **rôle déterminant** pour des pieux longs avec une contribution du frottement latéral supérieur à 90%

Calcul réalisé pour différents jeux de paramètres définissant le sol.

Le meilleur ajustement avec les points expérimentaux déduits des analyses CAPWAP permet de définir le **modèle dynamique de sol ajusté**:

$J_s = 0.45 \text{ s/m}$
 $J_p = 0.5 \text{ s/m}$
 $Q_s = 2.5 \text{ mm}$
 $Q_p = 2.5 \text{ mm}$

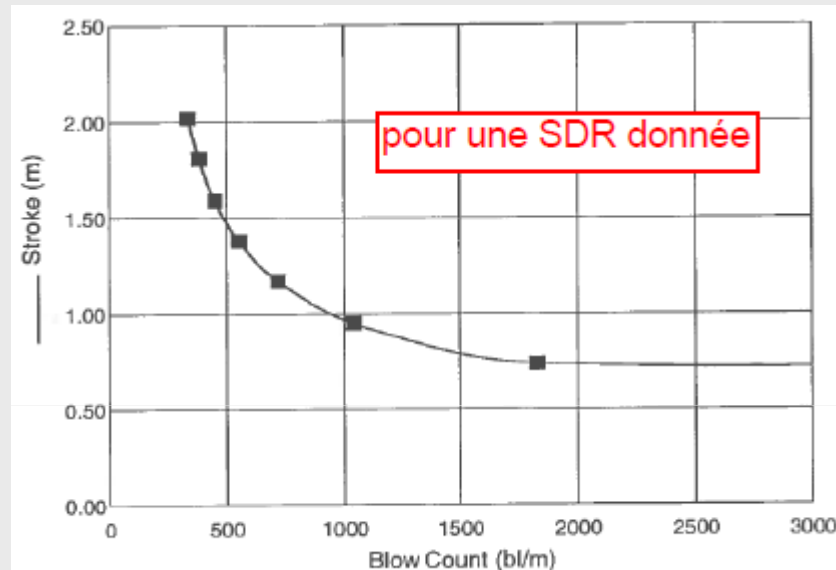
95% de frottement



Programme d'essais de pieux

Définition des critères de battage

- L'analyse de battage avec GRLWEAP est reprise avec le modèle de sol ajusté
- permet de définir pour une SRD donnée, le critère de battage en fonction de l'énergie délivrée par le marteau (inspector chart)

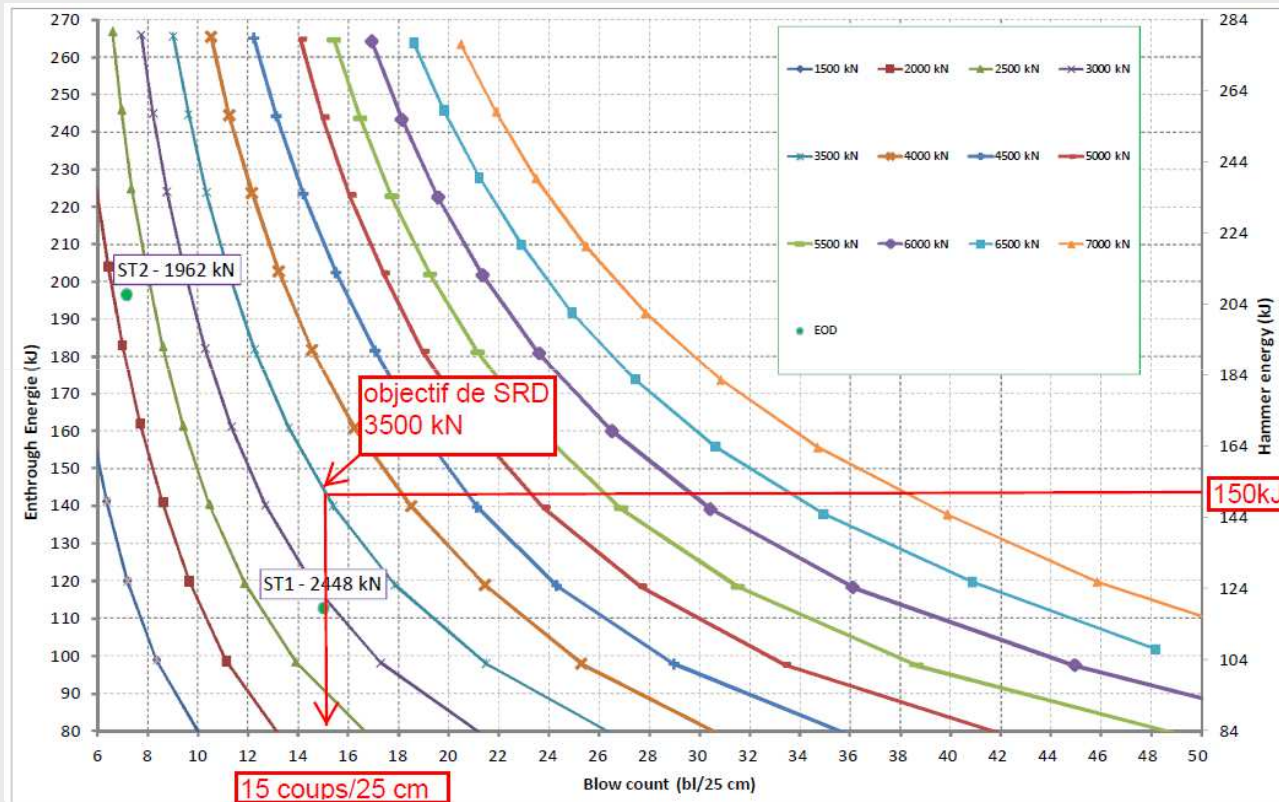


Ultimate Capacity kN	Maximum Compression Stress MPa	Maximum Tension Stress MPa	Blow Count bl/m	Stroke m	Energy kN-m
12830.0	38.53	18.56	9999.0	0.10	5.33
12830.0	70.06	39.90	9999.0	0.31	16.47
12830.0	91.59	47.21	4466.6	0.53	27.51
12830.0	109.03	48.53	1430.3	0.74	38.51
12830.0	124.01	50.78	856.7	0.95	49.48
12830.0	137.31	52.98	608.2	1.17	60.42
12830.0	149.44	55.96	473.9	1.38	71.34
12830.0	160.61	59.25	390.9	1.59	82.25
12830.0	171.03	62.02	334.7	1.81	93.22
12830.0	180.87	64.13	293.9	2.02	104.20



Programme d'essais de pieux

Définition des critères de battage



L'analyse de battage avec GRLWEAP et basée sur le modèle de sol ajusté permet de définir les critères de battage:

nombre de coups pour un enfoncement donné à une énergie donnée pour atteindre l'**objectif recherché de capacité portante**



Programme d'essais de pieux

L'analyse des résultats des essais de pieux réalisés en début de chantier à permis :

1. De montrer que les résultats des essais de chargement dynamique fournissent une **estimation acceptable de la capacité portante des pieux** testés
2. De montrer l'**existence d'un phénomène de cicatrisation**
3. De définir un **modèle de sol ajusté initial** utilisé notamment pour la définition des critères de battage
4. De définir des **critères de battage préliminaires** permettant sur le chantier d'adapter la fiche des pieux en fonction d'un **objectif de capacité portante**

Tout ça à partir de.....2 essais de chargement statiques et 6 essais de chargement dynamique.

 **NECESSITE de confirmation en étendant la base de données avec les résultats des essais obtenus sur les pieux de l'ouvrage.**



Programme d'essais de pieux

Essais de chargement dynamique réalisés pendant les travaux

42 essais de chargement dynamique ont été réalisés dont **28 essais** et **10 essais de « re-strike »** sur la partie « jetée »

Structures	Trestles 1 to 7								Platform
	Trestle 1	Trestle 2	Trestle 3	Trestle 4	Trestle 5	Trestle 6	Trestle 7	Tug Berth	
Row/File No.	0 → 12	13→24	25→36	37→48	49→60	61→72	73→89	74→82	90→127
Number of Piles	26	24	24	24	24	24	45	33	148
Total Number = 372	224								148
Number of monitored Piles	10	2	2 3	1 2	1	1	5 7	2	14
Total Number = 39	24 28								14
Weight per Structure	38.5%	8.5%	8.5%	4%	4%	4%	11%	6%	9.5%
Weight distribution	10.7% 12.5%								9.5%



Programme d'essais de pieux

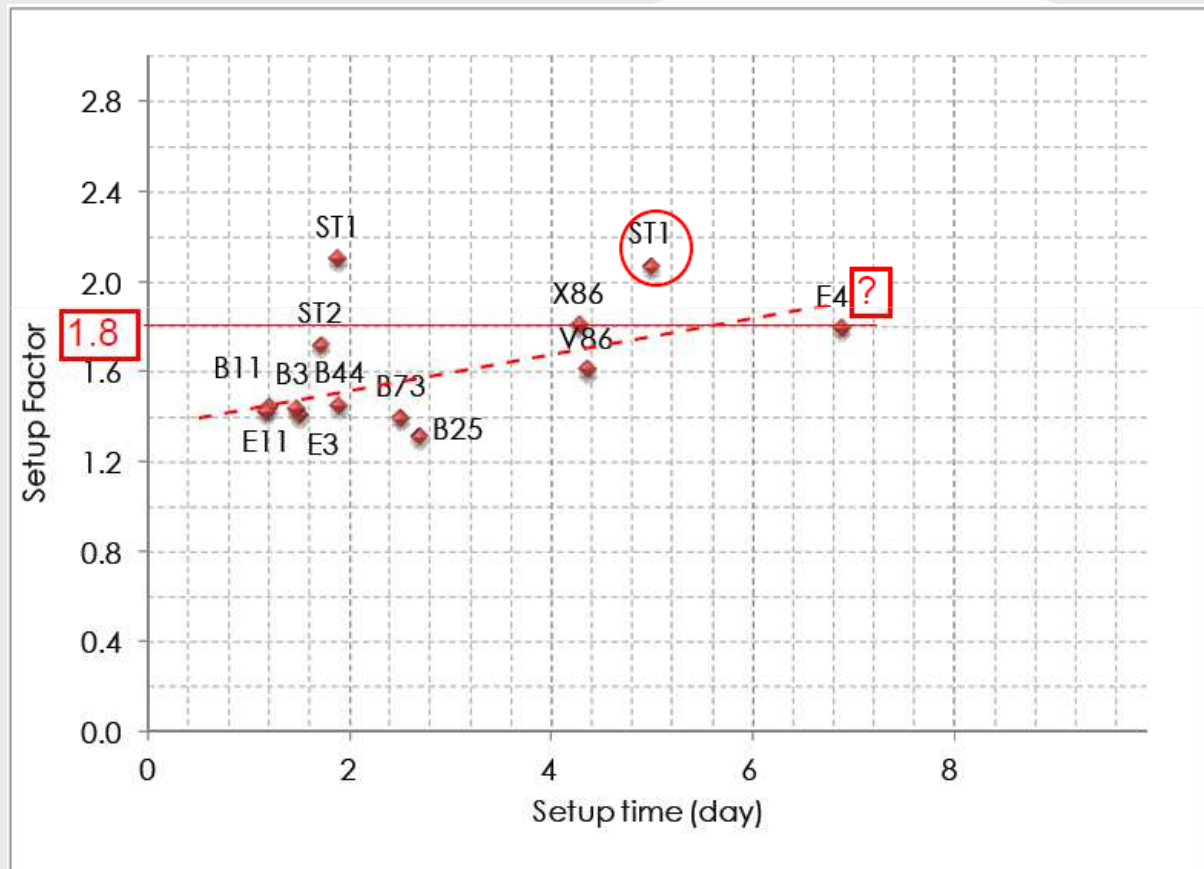
Essais de chargement dynamique réalisés pendant les travaux

Résultats pour la jetée - Phénomène de cicatrisation

Coefficient de cicatrisation:

$$\frac{\text{SRD début de re - strike}}{\text{SRD fin de battage}}$$

- Tendence à augmenter avec le temps
- Pris égal à **1.8 à 4 jours** (un peu plus faible qu'au niveau des essais ST01 et ST02)





Programme d'essais de pieux

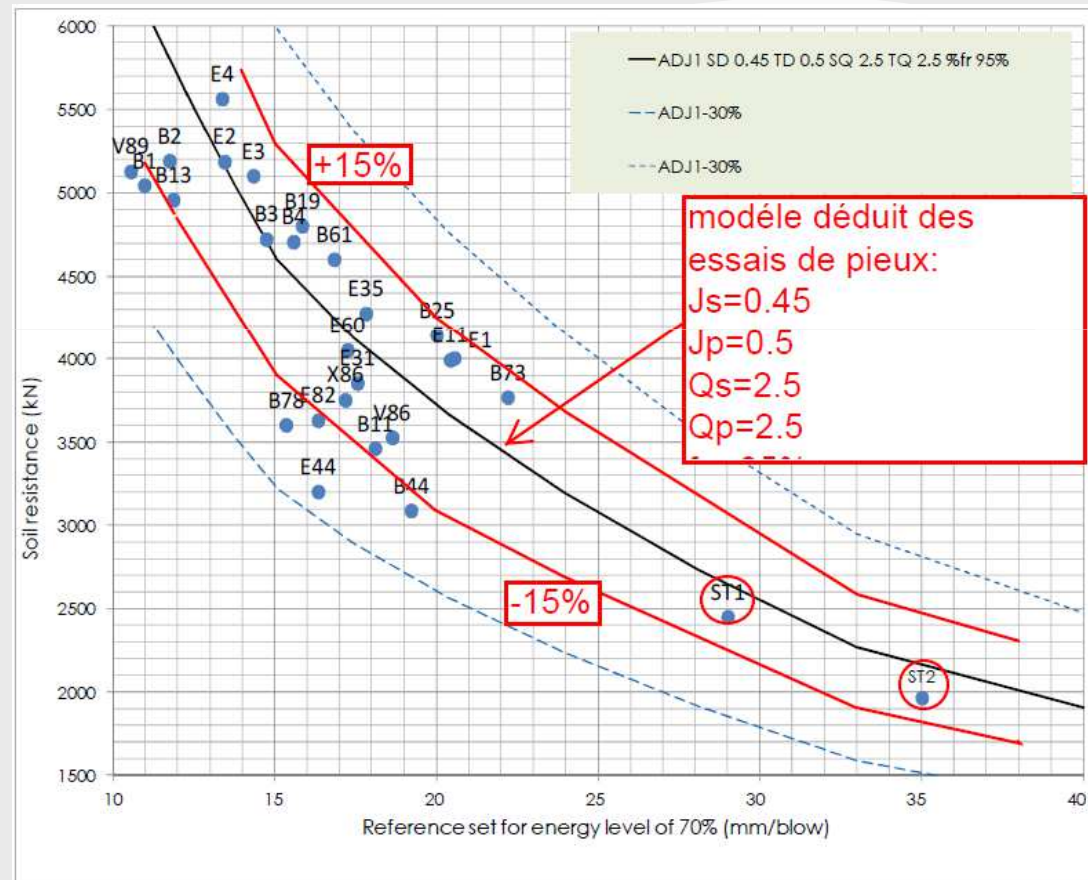
Essais de chargement dynamique réalisés pendant les travaux

Résultats pour la jetée - Modèle de sol ajusté

Basé sur les résultats de l'analyse par calage en **fin de battage**.

Quasi tous les points expérimentaux se situent dans un **intervalle acceptable de +/- 15%** autour du modèle déduit des essais initiaux

➡ Il peut être utilisé pour la prévision des critères de battage des pieux non instrumentés



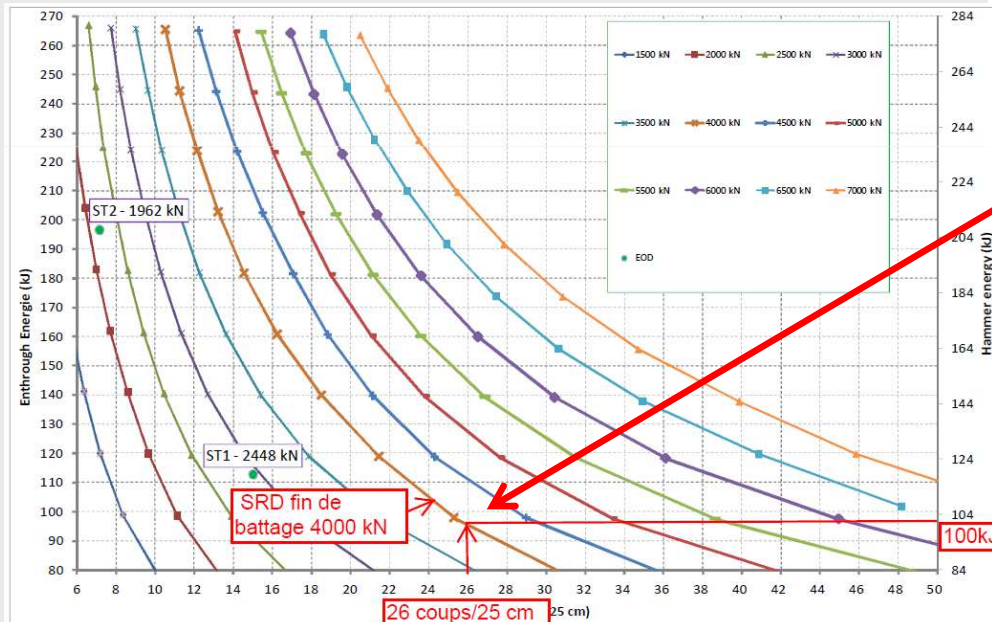


Saipem

Programme d'essais de pieux

Procédure de battage et de contrôle

- **Etape 1:** Nombre de coups pour 25 cm et énergie du marteau enregistrés du début jusqu'à la fin du battage
- **Etape 2:** Vérification de la SRD en fin de battage



La SRD en fin de battage est d'environ **4000 kN** pour le pieu E35.

eni petrex Colombian Branch	EMPLOYER	ATLAS Investments Ltd.	JOB	F10211	UNIT	W03																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	LOCATION	Ciénaga-Colombia	REPORT No.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	PROJECT TITLE	PUERTO NUEVO	QC CODE	CA-103-462	PROGRESS. No.																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			ITS REF. W01-QUA-ITP-000041																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
E35 INSPECTION OF PILE DRIVING SET CRITERIA <i>16 Nov 2011</i> Page 3 of 3 5:20 pm → 6:15 pm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Time</th> <th>PDW</th> <th>PDW+HDW</th> <th>Blows</th> <th>Energy</th> <th>Set</th> <th>Remarks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10.00</td><td>78</td><td>12</td><td>100</td><td>75</td><td>2.6</td><td>100</td></tr> <tr><td>11.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>12.35</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>12.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>13.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>14.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>15.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>16.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>17.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>18.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>19.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>20.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>21.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>22.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>23.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>24.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>25.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>26.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>27.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>28.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>29.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>30.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>31.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>32.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>33.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>34.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>35.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>36.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>37.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>38.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>39.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>40.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>41.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>42.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>43.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>44.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>45.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>46.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>47.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>48.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>49.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> <tr><td>50.50</td><td>75</td><td>13</td><td>35</td><td>75</td><td>2.6</td><td></td></tr> </tbody> </table>							Time	PDW	PDW+HDW	Blows	Energy	Set	Remarks	10.00	78	12	100	75	2.6	100	11.50	75	13	35	75	2.6		12.35	75	13	35	75	2.6		12.50	75	13	35	75	2.6		13.50	75	13	35	75	2.6		14.50	75	13	35	75	2.6		15.50	75	13	35	75	2.6		16.50	75	13	35	75	2.6		17.50	75	13	35	75	2.6		18.50	75	13	35	75	2.6		19.50	75	13	35	75	2.6		20.50	75	13	35	75	2.6		21.50	75	13	35	75	2.6		22.50	75	13	35	75	2.6		23.50	75	13	35	75	2.6		24.50	75	13	35	75	2.6		25.50	75	13	35	75	2.6		26.50	75	13	35	75	2.6		27.50	75	13	35	75	2.6		28.50	75	13	35	75	2.6		29.50	75	13	35	75	2.6		30.50	75	13	35	75	2.6		31.50	75	13	35	75	2.6		32.50	75	13	35	75	2.6		33.50	75	13	35	75	2.6		34.50	75	13	35	75	2.6		35.50	75	13	35	75	2.6		36.50	75	13	35	75	2.6		37.50	75	13	35	75	2.6		38.50	75	13	35	75	2.6		39.50	75	13	35	75	2.6		40.50	75	13	35	75	2.6		41.50	75	13	35	75	2.6		42.50	75	13	35	75	2.6		43.50	75	13	35	75	2.6		44.50	75	13	35	75	2.6		45.50	75	13	35	75	2.6		46.50	75	13	35	75	2.6		47.50	75	13	35	75	2.6		48.50	75	13	35	75	2.6		49.50	75	13	35	75	2.6		50.50	75	13	35	75	2.6	
Time	PDW	PDW+HDW	Blows	Energy	Set	Remarks																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10.00	78	12	100	75	2.6	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
11.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
12.35	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
12.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
13.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
14.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
15.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
16.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
17.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
18.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
19.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
20.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
21.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
22.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
23.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
24.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
25.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
26.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
27.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
28.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
29.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
30.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
31.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
32.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
33.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
34.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
35.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
36.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
37.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
38.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
39.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
40.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
41.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
42.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
43.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
44.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
45.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
46.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
47.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
48.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
49.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
50.50	75	13	35	75	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
• PDW (Pile dead weight): Pile penetration of the pile due to the dead weight of the pile) • HDW (hammer dead weight): Pile penetration Depth of the pile due to the dead weight of the hammer Driving data in blows per 25 centimeters (the final 25 cm recorded in blows per 2.5 centimeters)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
RESULT: ☒ PASS ☐ FAIL NOTES: Reference point = 5.620 m from seabed. Free fall from 12m to 22.50m. PREPARED BY: N. VISOMBLAIN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
CONSTRUCTION		QC-PETREX		EMPLOYER																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
NAME: N. VISOMBLAIN	NAME:	NAME:	NAME:	NAME:	NAME:	NAME:																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
SIGNATURE:	SIGNATURE:	SIGNATURE:	SIGNATURE:	SIGNATURE:	SIGNATURE:	SIGNATURE:																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
DATE: 16.11.2011	DATE:	DATE:	DATE:	DATE:	DATE:	DATE:																																																																																																																																																																																																																																																																																																													



Programme d'essais de pieux

Procédure de battage et de contrôle

- **Etape 3:** Descentes de charges pondérées en compression sur le pieu correspondant: **5400 kN**

BENT	LINE	OPER	EXT	CONS	CANTI	SEIS	OPER x f	EXT x f	CONS x f	CANTI x f	SEIS x f	Line B	Line E	Line T	Line V	Line X
		KN	KN	KN	kN	KN	2	1.5	1.5	1.5	1.1	Design load	Design load	Design load	Design load	Design load
35	B	-2378	-3504	-3857	-3088	-2891	-4756	-5257	-5785	-4632	-3180	-5785				
35	E	-2171	-3399	-3583	-3441	-2750	-4342	-5098	-5374	-5162	-3025		-5374			

- **Etape 4:** Vérification de la longueur de la fiche

SRD fin de battage * coefficient de cicatrisation > descente de charge

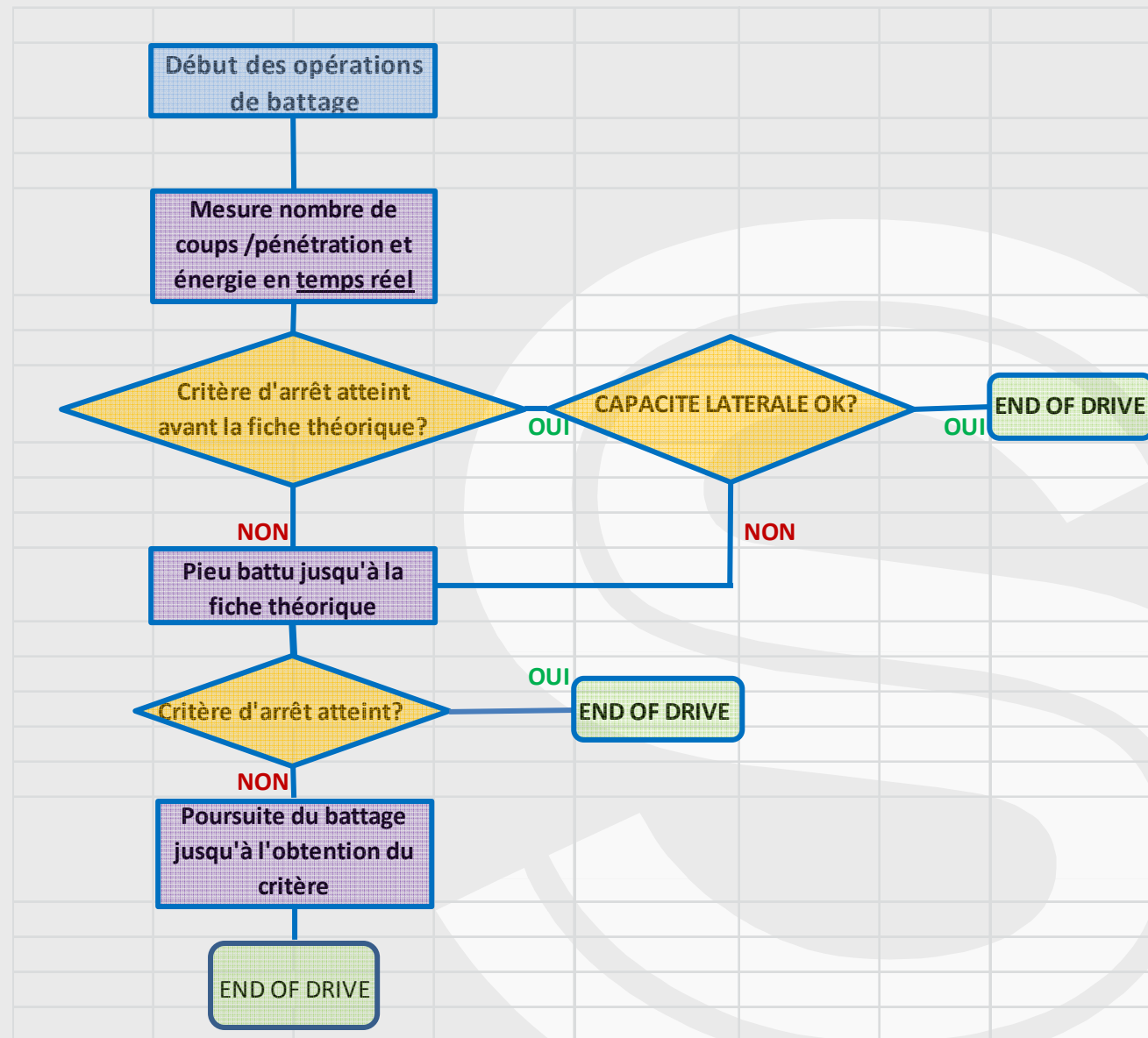


Fiche du pieu OK



**Procédure de
battage et de
contrôle -
Logigramme**

Programme d'essais de pieux





Programme d'essais de pieux

Essais de chargement dynamique réalisés pendant les travaux

Résultats pour la jetée – Longueur des pieux

- La longueur de la fiche des pieux est **ajustée sur le site** en tenant compte:
 1. De la **capacité portante obtenue en fin de battage** donnée par le critère de battage
 2. Du **coefficient de cicatrisation (facteur clé pour l'évaluation de la portance à « long terme »)**
- Cette démarche permet:
 1. de tenir compte des **conditions de sol rencontrées au droit de chaque pieu,**
 2. **d'adapter immédiatement la longueur de la fiche** en conséquence.

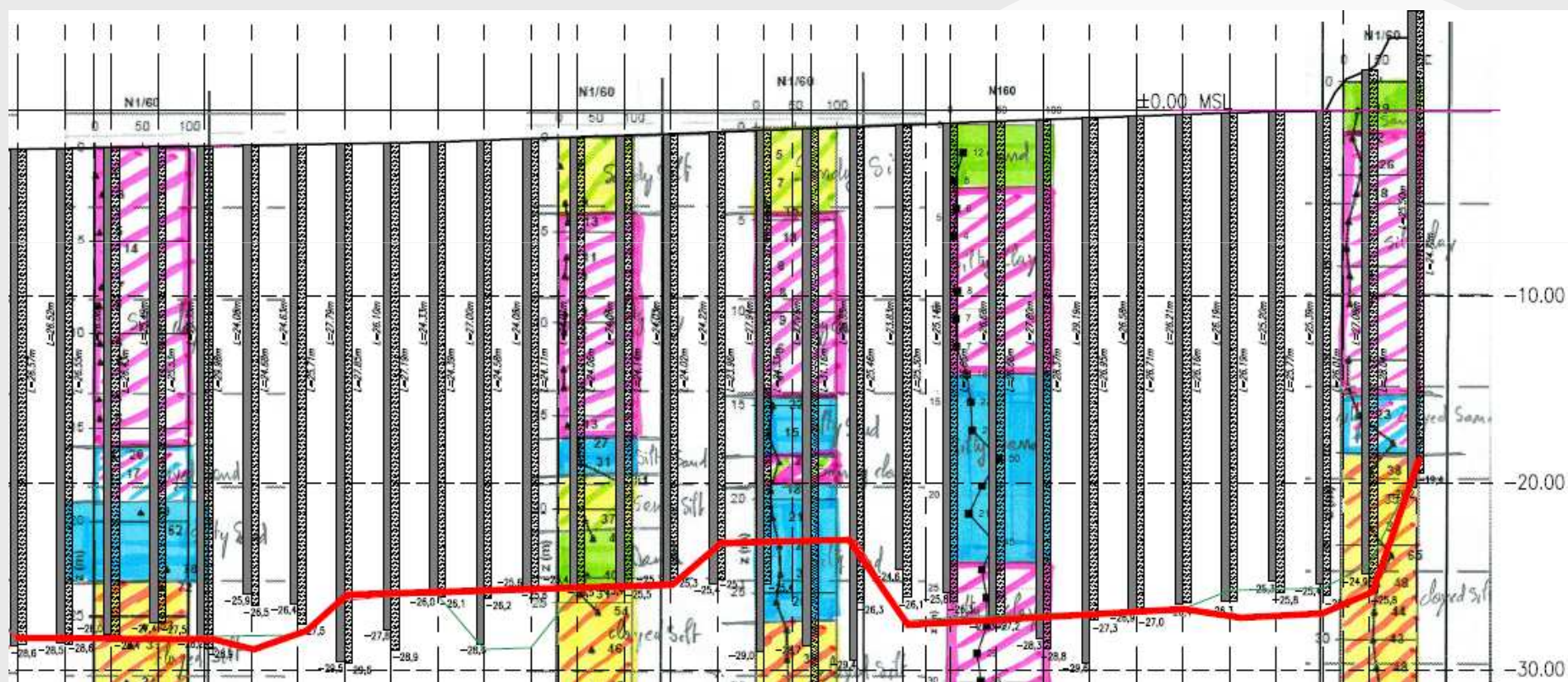


Saipem

Programme d'essais de pieux

Essais de chargement dynamique réalisés pendant les travaux

Résultats pour la jetée – Longueur des pieux



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem

Apports des essais dynamiques sur l'installation de pieu métalliques battus:

- Les essais de chargement dynamique constituent une méthode efficace de prévision de la capacité portante de pieux battus,
- Les critères de battage déterminés à l'aide d'un modèle de sol ajusté ont été utilisés avec succès sur le chantier de Puerto Nuevo,
- Le modèle de sol est « vivant » et amélioré tout au long du chantier de battage,
- La procédure de battage et de contrôle mise en place complète avantageusement les méthodes géotechniques classiques de détermination de la fiche des pieux,
- Cette procédure constitue, pour le client, une assurance de qualité de son ouvrage.



Saipem



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004



Saipem



Comité Français de Mécanique des sols – 26 mars 2004

Merci de votre attention.

