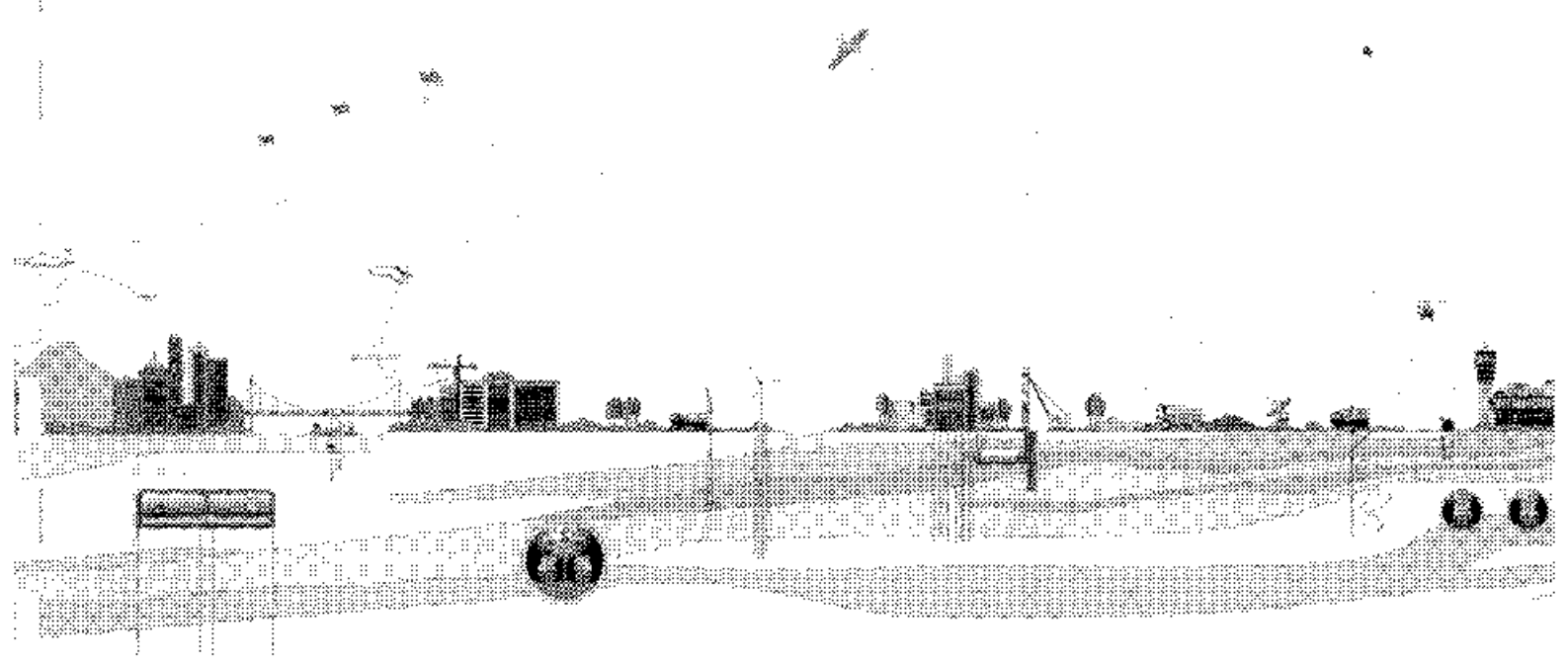


6700-2003-0086



FUGRO INGENIEURSBUREAU B.V.





AANVULLEND GEOTECHNISCH ONDERZOEK
betreffende

TUNNEL SWALMEN RIJKSWEG 73

Opdrachtnummer: M01057-000

Opdrachtgever : Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20000
3502 LA UTRECHT

Datum grondonderzoek : 19 december 2002 t/m 21 januari 2003

Projectleider : ir. F.J.M. Hoefsloot
Senior Projectleider Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	6 maart 2003	Definitief	
2	17 april 2003	Tekstuele wijzigingen	



INHOUDSOPGAVE

	<u>Biz.</u>
1. INLEIDING	2
2. PROJECTOMSCHRIJVING	3
3. GRONDONDERZOEK	4
3.1 Algemeen	4
3.2 Sondeerlocaties	4
3.3 Beschrijving sondeertechniek en materieel, AMAP' sols	5
3.4 Sondeerresultaten, AMAP' sols	6
3.5 Toelichting grondonderzoek, Fugro	7
4. ANALYSE RESULTATEN SONDEERTECHNIEKEN	9
BIJLAGEN	
Situatie	M-01057-000-1
elektrische sonderingen met kleefmeting	DZKM2A, DZKM4A en DZKM6A
mechanische sonderingen	DZ2B, DZ4B en DZ6B
elektrische sonderingen met kleefmeting	S20.201 t/m S20.205
amap'Sols sonderingen	DS1 t/m DS10
Sondering DS2, DZKM2A en DZ2B	M-01057-000-2
Sondering DS4, DZKM4A en DZ4B	M-01057-000-3
Sondering DS6, DZKM6A en DZ6B	M-01057-000-4
APPENDIX 1	
Documentatie AMAP'sols sondeersysteem	
APPENDIX 2	
Sondeerresultaten AMAP'sols DS1 t/m DS10	
APPENDIX 3	
Rapport AMAP'sols Bordereau d'envoi de documents	

APPENDIX 4

Additional results of the AMAP'sols, Static-dynamic penetrometer, G. Sanglerat, M. Petit-Maire, F. Bardot and P. Savasta, CPT'95, Linköping Sweden october 4-5, 1995

APPENDIX 5

Mechanisch sonderen

1. INLEIDING

Op 19 november 2002 ontving Fugro Ingenieursbureau B.V. te Leidschendam van de Bouwdienst Rijkswaterstaat te Utrecht de opdracht voor het uitvoeren van aanvullend geotechnisch onderzoek ter plaatse van de tunnel Swalmen in Rijksweg 73. Het onderzoek heeft bestaan uit 10 stuks statisch/dynamische sonderingen, 3 elektrische en 3 mechanische controlesonderingen en 5 elektrische sonderingen tot 15 m.

Voor de tunnel Swalmen is door Fugro Ingenieursbureau B.V. in een eerder stadium onder opdracht nummer M-0543 reeds een grondonderzoek uitgevoerd. Voor de resultaten hiervan en de destijds uitgebrachte adviezen wordt verwezen naar rapporten:

- Rapportage grondonderzoek betreffende kunstwerken Rijksweg A73, traject Tegelen-Linne, M-0543 d.d. 27 juni 1997
- Oriënterend geotechnisch advies betreffende kunstwerken Rijksweg A73, traject Tegelen-Linne, M-0543 d.d. 14 oktober 1997.

Onlangs is door MOS Grondmechanica een uitgebreid grondonderzoek uitgevoerd langs het tunneltracé; rapportnummer R545200-RH_2 d.d. 15 september 2000.

Dit rapport bevat een korte projectomschrijving (hoofdstuk 2), een beschrijving van het uitgevoerde grondonderzoek (hoofdstuk 3) en een vergelijking tussen de verschillende sondeertechnieken (hoofdstuk 4).

2. PROJECTOMSCHRIJVING

In 1995 is besloten om Rijksweg 73-Zuid tussen Venlo en Maasbracht op de oostelijke Maasoever aan te leggen. Onderdeel van dit besluit vormt de aanleg van een tunnel aan de westzijde van de dorpskern van Swalmen.

3. GRONDONDERZOEK

3.1 Algemeen

Uit eerder onderzoek is gebleken dat ter plaatse van het toekomstige tunneltracé en de proeflocaties dikke pakketten met grindlagen worden aangetroffen. Tevens is gebleken dat met de standaard statische sondeertechnieken de maximaal haalbare diepte beperkt blijkt tot ca. NAP + 5 à 10 m (maximaal ca. MV - 20 m).

Aangezien een dergelijke onderzoeksdiepte voor het ontwerp van trekpalen en combiwanden volstrekt onvoldoende is, is gekeken naar bijzondere sondeertechnieken voor het verkrijgen van informatie over de dieper gelegen bodemlagen.

In overleg met de Bouwdienst Rijkswaterstaat is gekozen om statisch/dynamisch te sonderen, een techniek die in het buitenland, met name in Frankrijk, onder vergelijkbare omstandigheden met succes wordt toegepast.

Deze bijzondere sondeertechniek is in opdracht van Fugro Ingenieursbureau b.v. uitgevoerd door de Franse firma AMAP'sols. Bij 3 stuks sonderingen wordt tevens een mechanische sondering en een elektrische sondering met kleefmeting uitgevoerd. Op basis van deze controlesondering wordt gekeken in hoeverre de absolute waarde van de conusweerstand van de 3 technieken met elkaar overeenkomen.

Tevens zijn een 5-tal elektrische sonderingen uitgevoerd tot een diepte van 15 m ter plaatse van MOS-sondering 20-42 teneinde de omvang van de ter plaatse aanwezige afwijkende grondopbouw vast te stellen.

3.2 Sondeerlocaties

Het aantal en de locaties van de sonderingen zijn door de opdrachtgever vastgesteld. Wanneer de sonderingen gebruikt worden voor de toetsing van geotechnische constructies, dienen de aard en omvang van het grondonderzoek te voldoen aan art. 8.4.2. van NEN 6740, 1991, gecorrigeerd in september 1993.

De onderzoekslocaties zijn door Fugro-Inpark B.V. in RD-coördinaten uitgezet en gewaterpast en zijn aangegeven op de situatietekening in bijlage M01057-000-1.

De coördinaten en maaiveldhoogten zijn gegeven in tabel 1.

Tabel 1; Coördinaten en maaiveldhoogten sondeerlocaties

Sondering	X	Y	Z(NAP)
DS1	199747,800	360537,800	23,325
DS2	199830,916	360641,097	23,102
DS3	199901,783	360711,730	22,967
DS4	199962,076	360809,381	22,655
DS5	200000,003	360772,827	23,674
DS6	200019,723	360864,938	22,732
DS7	200030,148	360804,628	23,772
DS8	200089,232	360909,243	23,483
DS9	200167,982	361011,423	21,679
DS10	200300,839	361085,811	21,166
S20.201	199961,488	360732,377	23,657
S20.202	199969,466	360742,130	23,613
S20.203	199977,950	360752,502	23,586
S20.204	199967,180	360728,754	23,430
S20.205	199983,136	360748,260	23,581
DZKM2A	199834,167	360635,724	22,784
DZ2B	199835,637	360639,307	22,764
DZKM4A	199961,516	360811,695	22,806
DZ4B	199959,287	360808,134	22,797
DZKM6A	200016,545	360869,647	22,744
DZ6B	200013,767	360867,326	22,739

Legenda

- DS Sondering AMAP Sols
- S20 Elektrische sondering met kleefmeting
- DZKM Diepzware elektrische sondering met kleefmeting
- DZ Diepzware mechanische sondering

3.3 Beschrijving sondeertechniek en materieel, AMAP' sols

De sonderingen zijn uitgevoerd door AMAP'sols, St-Heand, Frankrijk. Er is gebruik gemaakt van een gecombineerde banden/rupsvoetig. De sondeerinrichting is gebouwd door A.P. van den Berg en heeft een totale statische drukcapaciteit van 220 kN.

De sonderingen zijn uitgevoerd met een gecombineerde 12 cm² (diameter 39 mm) en 50 cm² (diameter 80 mm) mechanische conus. Het sondeerwerk is gestart met de 50 cm² conus met een 250 mm lange mantel voor het meten van de mantelwrijving. Bij het bereiken van de maximale puntcapaciteit van 30 MPa wordt verder gesondeerd met de

12 cm² conus welke door een extra binnenstang vanuit de 50 cm² conus wordt gedrukt. In feite wordt dus een deel van de 50 cm² conus verder gedrukt. Deze conus beschikt niet over een mantel voor het meten van de plaatselijke wrijving. De sondeerconus wordt telkens 0,50 m in de grond gedrukt voor het meten van de totaalweerstand en weer 0,25 m getrokken voor het bepalen van de totaalwrijving langs de sondeerstang. Op deze wijze wordt de puntweerstand ontleend. De maximale capaciteit van de 12 cm² conus bedraagt 150 MPa puntweerstand of 200 kN totaaldruk. De penetratiesnelheid bij het statisch sonderen bedraagt 2 cm/sec. Bij het bereiken van één van deze grenswaarden wordt overgegaan op het dynamisch sonderen waarbij de bodemweerstand niet wordt gemeten. Het dynamisch sonderen heeft slechts ten doel om vaste lagen te penetreren totdat minder vaste lagen worden bereikt waarin weer overgegaan kan worden op statisch sonderen met de 12 cm² conus. In appendix 1 is documentatie van het AMAP'soils sondeersysteem bijgevoegd.

3.4 Sondeerresultaten, AMAP' soils

De door AMAP'soils uitgewerkte sondeerresultaten zijn gegeven in appendix 2. Hierna volgt een toelichting op deze resultaten.

In de kopregel staat aangegeven op welke diepte onder maaiveld de sondering is gestopt en over welk traject dynamisch is gesondeerd. Over dit laatste traject worden in de grafieken geen data gegeven.

In de linker grafiek is de conusweerstand in MPa uitgezet tegen de diepte in m, hier is:

q_c conusweerstand 50 cm² conus [MPa]

q_c' conusweerstand 12 cm² conus [MPa]

De 50 cm² conus is gebruikt over het eerste traject waarvoor tevens in de grafieken van de plaatselijke wrijving en het wrijvingsgetal een waarde is gegeven. Het resterende gepresenteerde traject is gesondeerd met de 12 cm² conus.

In de 2^e grafiek van links is de plaatselijke wrijving gegeven in kPa. De plaatselijke wrijving is alleen bij de 50 cm² conus gemeten.

In de 3^e grafiek is het wrijvingsgetal gegeven zijnde het quotiënt van de conusweerstand en de plaatselijke wrijving bij de 50 cm² conus.

In de rechter grafiek is totaalwrijvingskracht (Q_{sta}) op de sondeerstang gegeven. Deze waarde is slechts gegeven over het traject waarbij gebruik gemaakt is van de 12 cm² conus. Op basis van de totaalwrijving is de toename van de wrijving en het wrijvingsgetal

bepaald per diepte. Deze berekende waarden zijn aan de kolommen "paatselijke wrijving" en "wrijvingsgetal" toegevoegd

Zoals uit de sondeerresultaten blijkt wordt over het algemeen op een diepte van ca. 15 à 23 m onder maaiveld een zeer vaste laag aangetroffen waarin de totaalwrijving langs de sondeerstang hoog oploopt. Vanaf deze diepte is overgegaan op dynamisch sonderen waarbij slechts een 0,5 à 3,5 m grotere diepte is bereikt. In alle gevallen is de gewenste sondeerdiepte van 45 m niet mogelijk gebleken. De gerealiseerde sondeerdiepten zijn gegeven in tabel 2.

Tabel 2; Gerealiseerde sondeerdiepten

Sondering	Statisch in m t.o.v. MV	Dynamisch in m t.o.v. MV
DS1	30,25	30,75
DS2	30,25	33,75
DS3	19,00	20,00
DS4	20,75	22,25
DS5	24,50	27,50
DS6	25,75	26,75
DS7	31,50	31,75
DS8	23,50	24,50
DS9	16,00	16,25
DS10	16,50	18,00

Naast meting van bovengenoemde parameters wordt tijdens uitvoering van de sonderingen sondeerstaten bijgehouden waarin bijzonderheden en waarneming van het sondeergeluid worden geregistreerd. Op basis van ruime ervaring wordt de geluidwaarneming gekoppeld aan de grondsoort waarin de conus zich bevindt. De registratie en toelichting zijn gegeven in appendix 3.

3.5 Toelichting grondonderzoek, Fugro

De sonderingen zijn vanaf een track-truck sondeerwagen uitgevoerd gedeeltelijk met de elektrische Fugro-(kleefmantel)conus conform norm NEN 5140 en beoordelingsrichtlijn BRL 2364. Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen". Drie controlesonderingen zijn uitgevoerd met een mechanische conus.

Op de grafieken van de sonderingen waarbij ook de plaatselijke mantelwrijving is gemeten, is het wrijvingsgetal weergegeven. Dit is de verhouding tussen de plaatselijke wrijvingsweerstand en de conusweerstand. Empirisch is vastgesteld dat het wrijvingsgetal een nauwe relatie heeft met de grondsoort, zodat een goede indicatie van de laagopbouw is verkregen.

Voor een toelichting op het mechanisch sonderen wordt verwezen naar appendix 5.

De resultaten van de sonderingen zijn gegeven op de sondeergrafieken:

- DZKM2A, DZKM4A en DZKM6A; elektrische sonderingen met kleefmeting ter plaatse van AMAP'sols sonderingen DS2, DS4 en DS6
- DZ2B, DZ4B en DZ6B; mechanische sonderingen met kleefmeting ter plaatse van AMAP'sols sonderingen DS2, DS4 en DS6
- S20.201 t/m S20.205; elektrische sonderingen ter plaatse van het MOS-sondering 20-42.

4. ANALYSE RESULTATEN SONDEERTECHNIEKEN

Op locatie 2, 4 en 6 zijn op korte afstand van elkaar 3 sonderingen uitgevoerd. Eén statisch/dynamische sondering door AMAP' sols, 1 mechanische sondering en 1 standaard elektrische sondering.

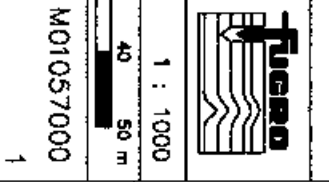
Op bijlage 2, 3 en 4 zijn de sonderingen op gelijke locatie in 1 grafiek weergegeven. In zwart AMAP'Sols sondering DS2, in blauw de elektrische sondering met kleefmetingen en in rood de mechanische sondering.

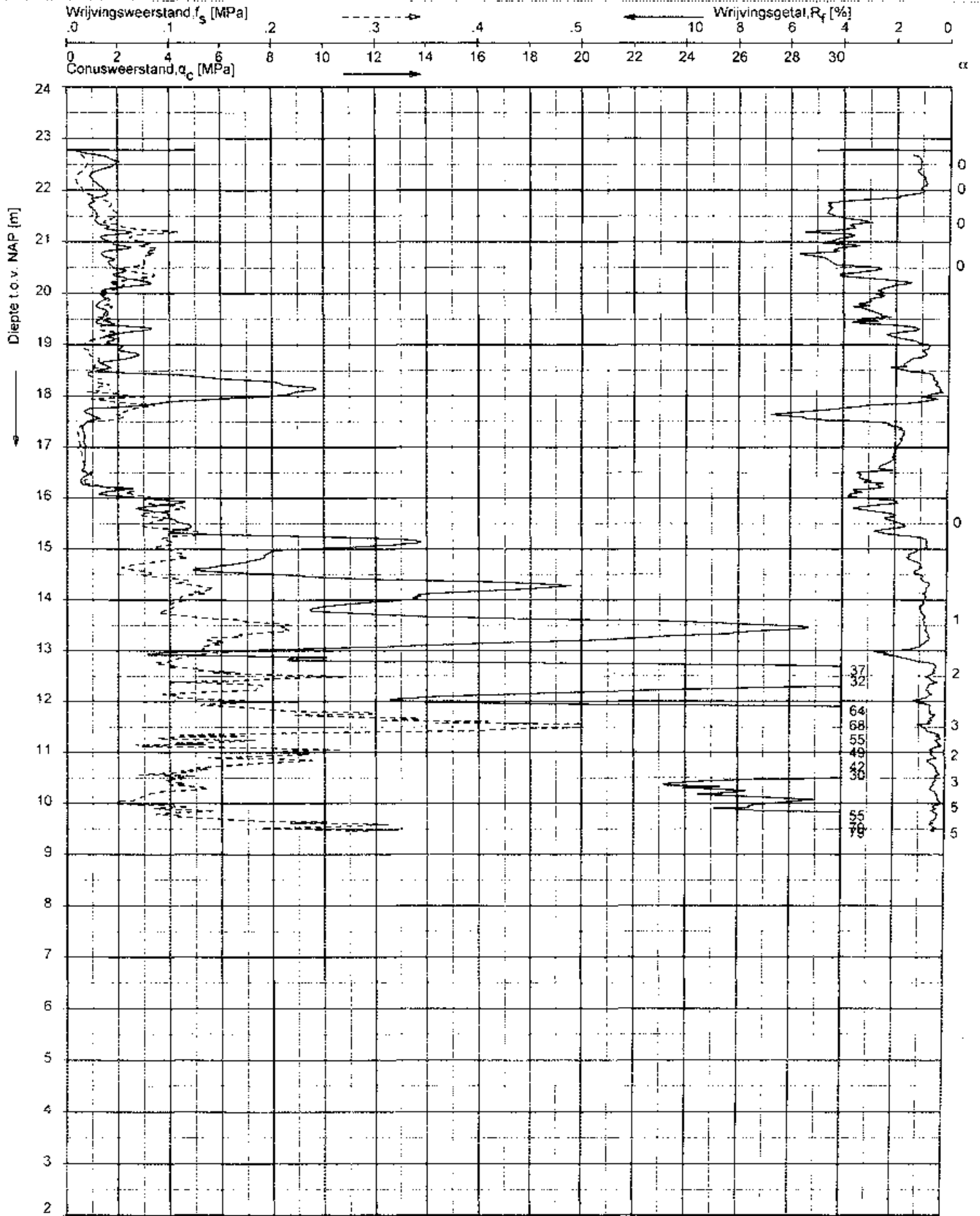
Geconcludeerd kan worden dat over het gedeelte waarmee AMAP'Sols met de 50 cm² conus heeft gesondeerd de overeenstemming in conusweerstand met zowel de mechanische als de elektrische sonderingen zeer goed is. In het wrijvingsgetal worden sterke afwijkingen geconstateerd welke echter toegeschreven moeten worden aan variatie in de bodemgesteldheid op relatief korte afstand.

Op grotere diepte is AMAP'Sols overgegaan op de 12 cm² conus. Hier lijken de mechanische en de elektrische conus gemiddeld een zelfde conusweerstand te geven terwijl bij AMAP'Sols de conusweerstand over het algemeen hoger ligt.



Fugro Ingenieursbureau b.v.
 Leidschendam
 070-311333
 Datum : 17-01-2003
 Versie Afdeling 10
 2264 S3 Leidschendam
 SITUATIE
 Schaal 1 : 1000
 Opdr. : M01057000
 Blz. : 1





Opg. JVV/PJH d d 21-Jan-2003 conus 17.5CKEV X = 199534 17
Gel. RBA d d 23-Jan-2003 MV = NAP +22.78 m Y = 360635 72

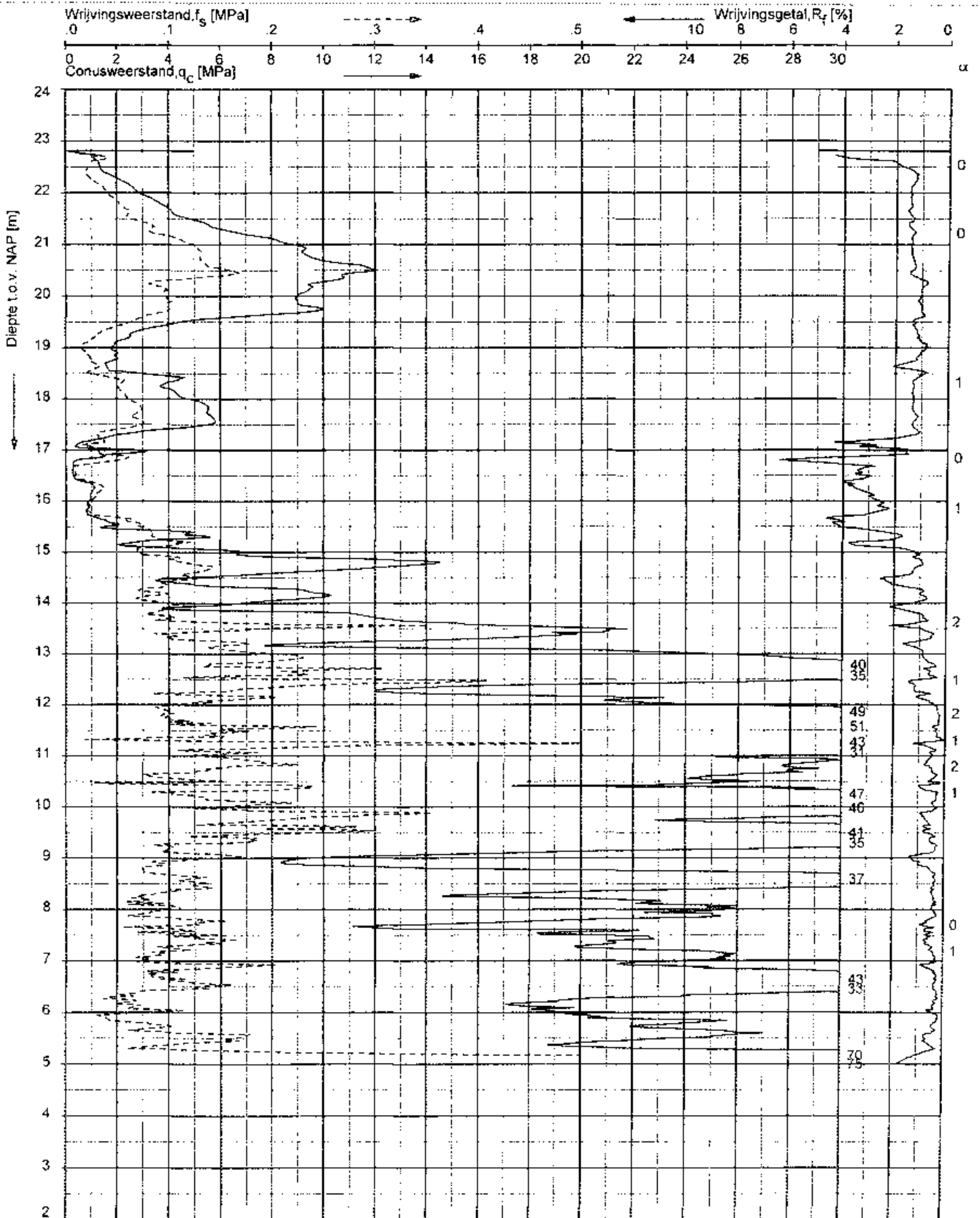
Sondering volgens norm NEN 5140
conus type cilindrisch elektrisch
& afwijking van de verticaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Sond. DZKM2A





Opdr. J.V.W.P.H. d.d. 20-Jan-2003 conus F7 5CKE/V X = 199961 52
Gel. RBA d.o. 23-Jan-2003 MV = NAP +22 81 m Y = 350811 70

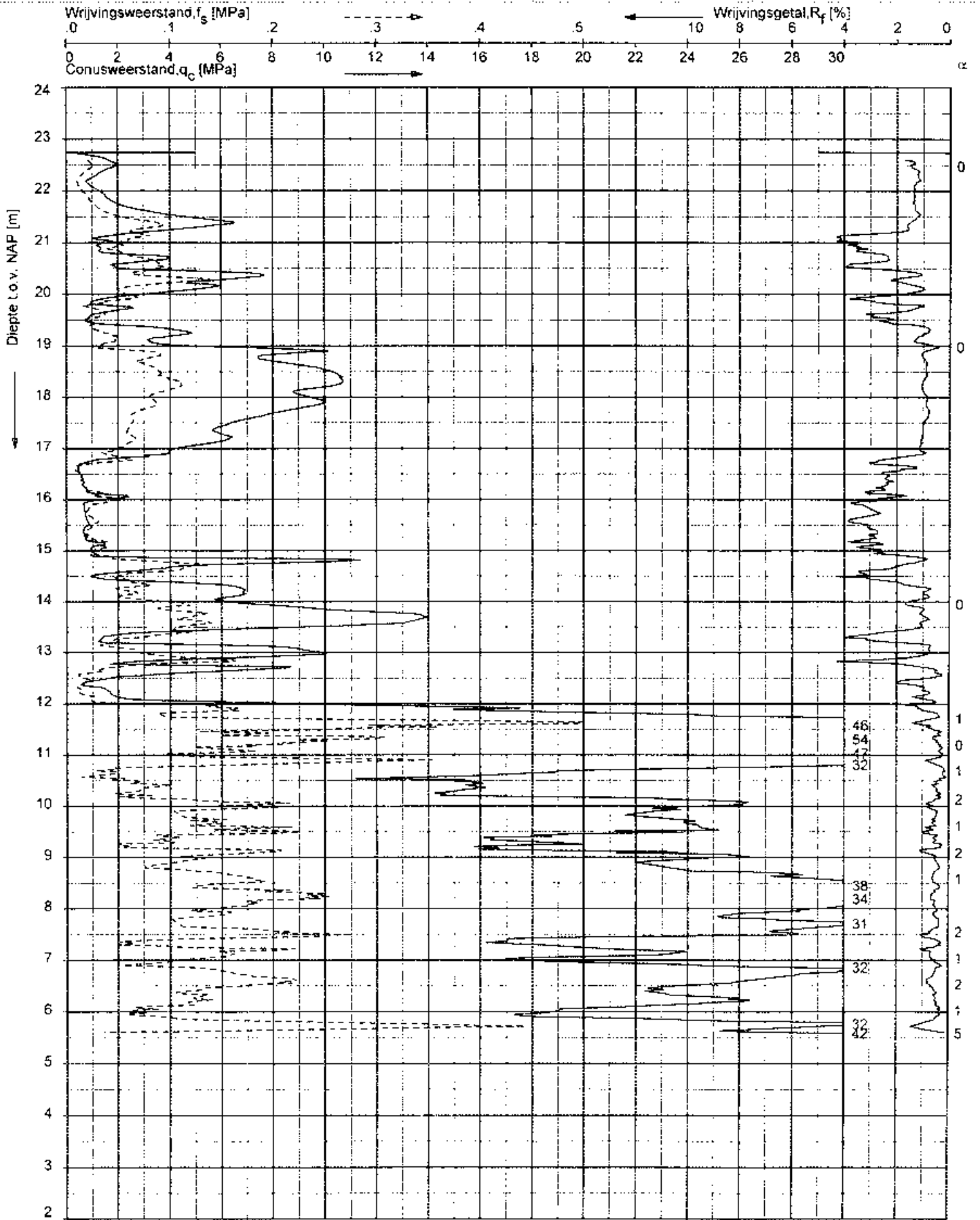
Sondering volgens norm NEN 5140
conustype cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de verticaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. MC1057000
Sond. DZKM4A





Opdr. : JW/PJH d.d. : 20-Jan-2003 conus : F7 SCKEV X = 200016 55
 Get. : RBA d.d. : 23-Jan-2003 MV = NAP +22 74 m Y = 360869 66

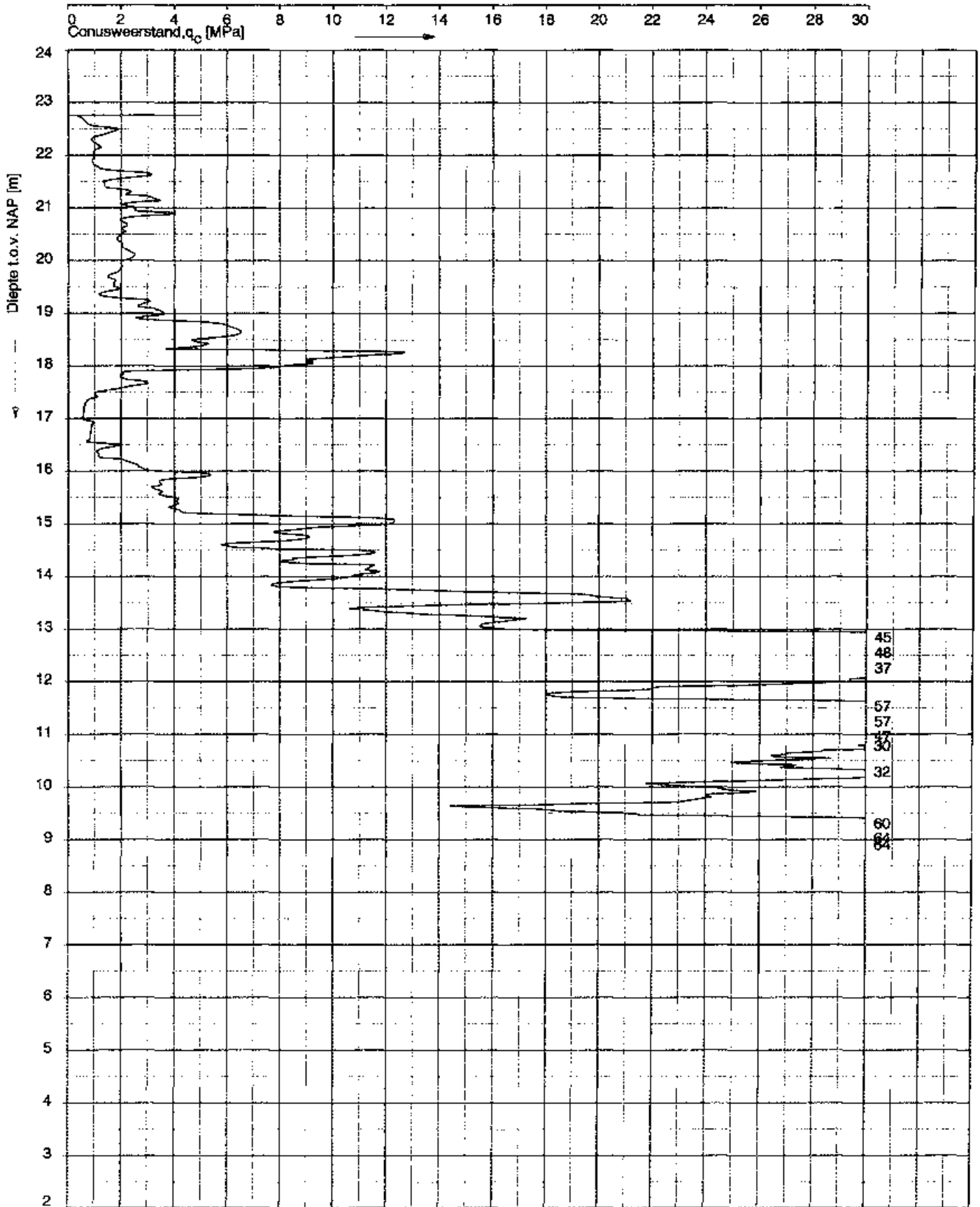
Sondering volgens norm NEN 5140
 conus type cilindrisch elektrisch
 α afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
 Sand. DZKM6A





Opg.: JVV/PJH
Get.: RSA

d.d. 21-Jan-2003
d.d. 23-Jan-2003

conus: F5C/V
MV = NAP +22.76 m

X = 199835.64
Y = 380639.31

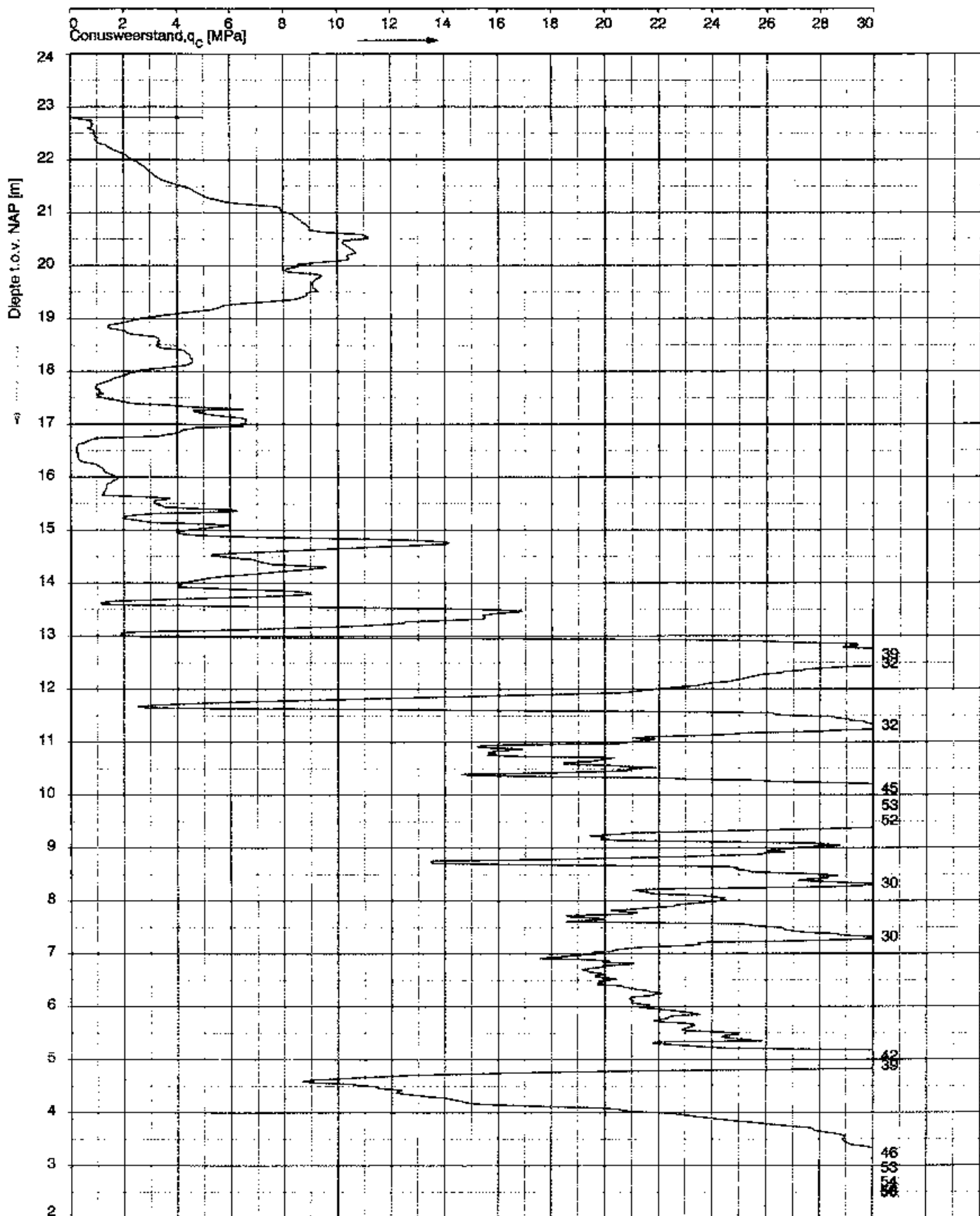
Sondering volgens norm NEN 3680
conustype mechanisch

SONDERING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Sond. DZ2B





Opdr.: JWW/PJH
Get.: RBA

d.d. 20-Jan-2003
d.d. 23-Jan-2003

conus: FSG/V
MV = NAP +22.80 m

X = 189958.28
Y = 369808.13

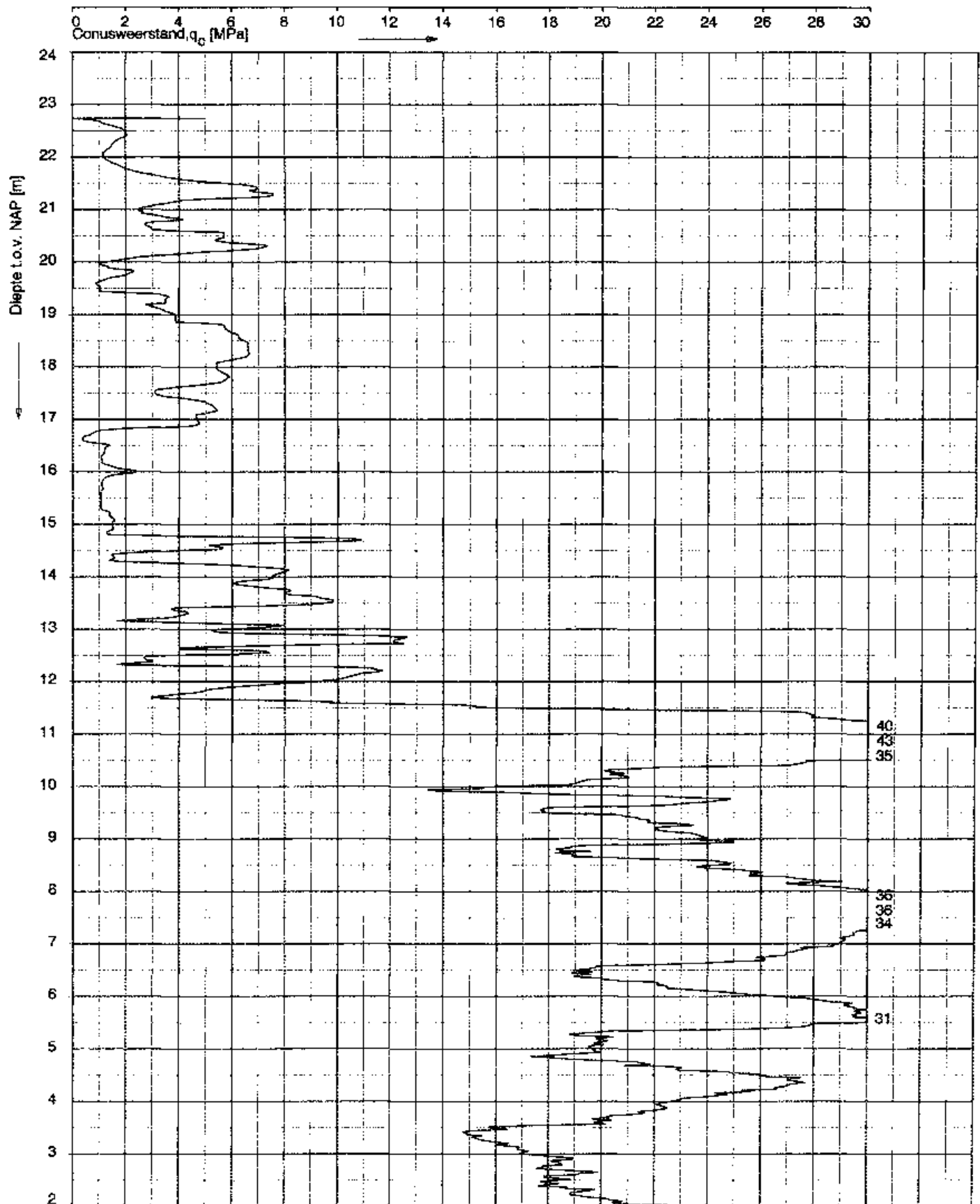
Sondering volgens norm NEN 3680
conustype mechanisch

SONDERING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Sond. DZ4B





Opdr.: JWW/PJH d.d. 20-Jan-2003 conus: F5C/V X = 200013.77
Get.: RBA d.d. 23-Jan-2003 MV = NAP +22.74 m Y = 360887.93

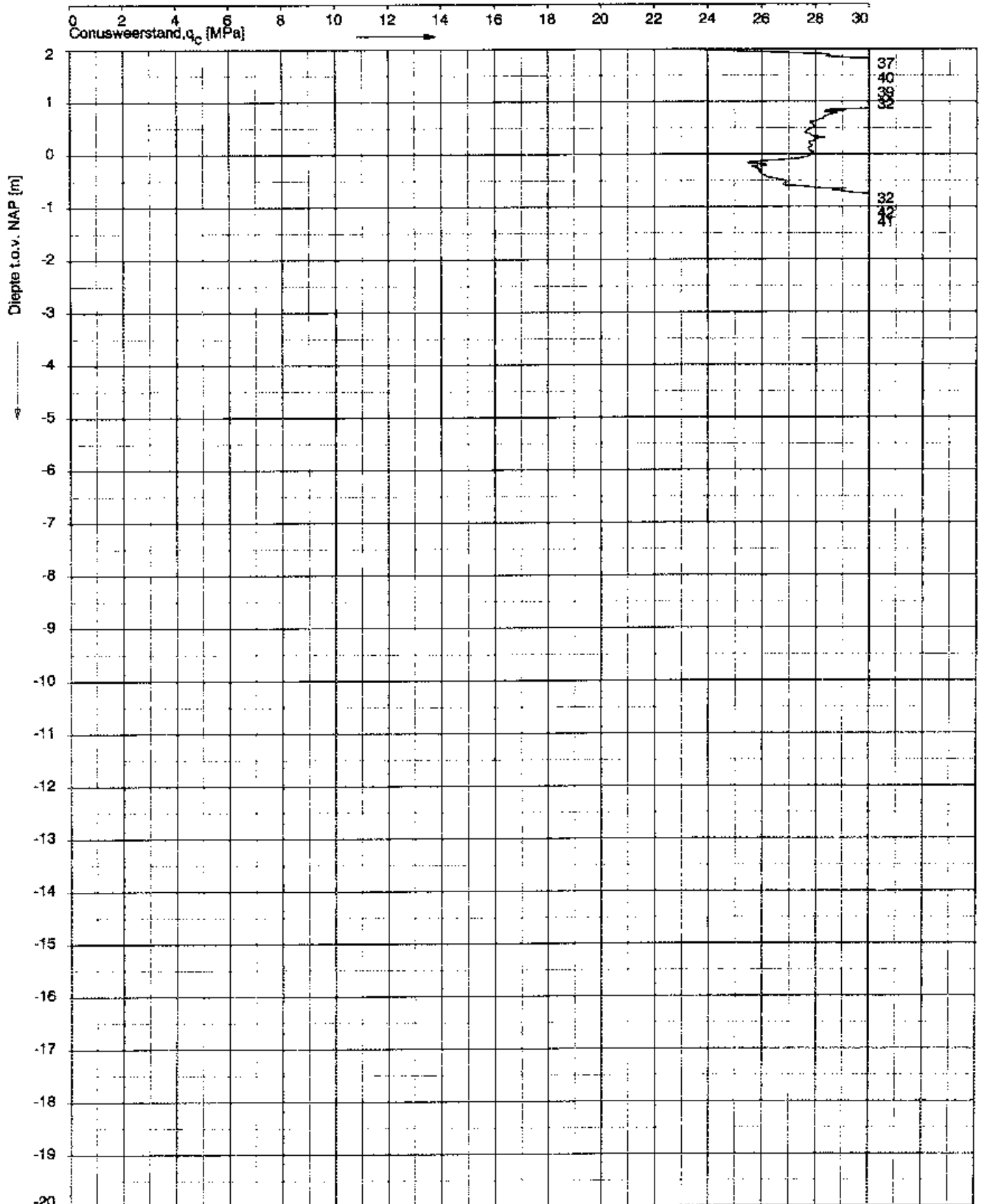
Sondering volgens norm NEN 3680
conustype mechanisch

SONDERING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Sond. DZ6B





Opg.: JVV/RJH d.d. 20-Jan-2003 conus : F5C/V X = 200013.77
 Get.: RBA d.d. 23-Jan-2003 MV = NAP +22.74 m Y = 360987.33

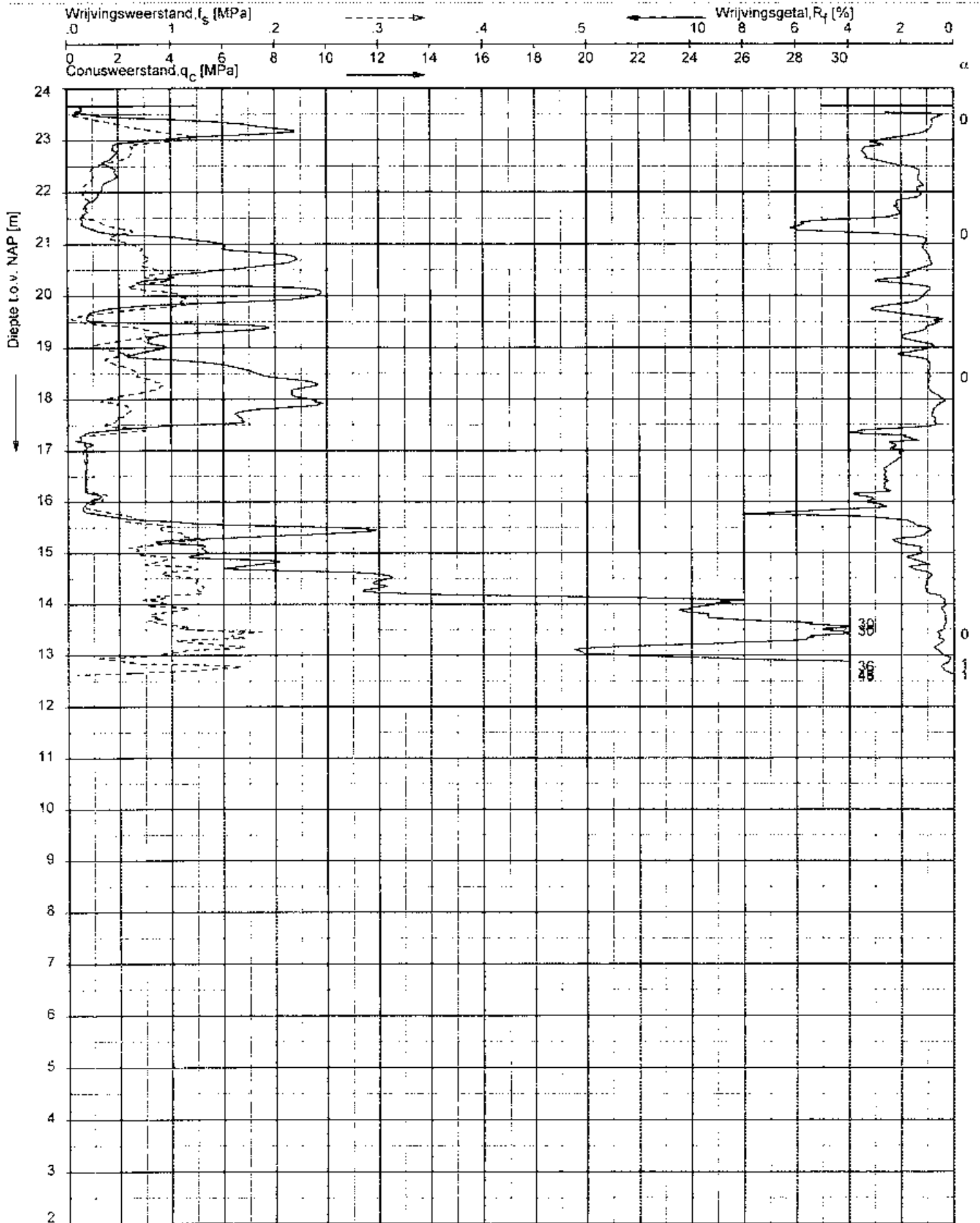
Sondering volgens norm NEN 3680
 conustype mechanisch

SONDERING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
 Sond. DZ6B





Opg. JWVPJH dd 21-Jan-2003 opus F7 SCKEV X = 199961.50
 Gel. RBA dc 23-Jan-2003 MV = NAP +23.65 m Y = 350732.40

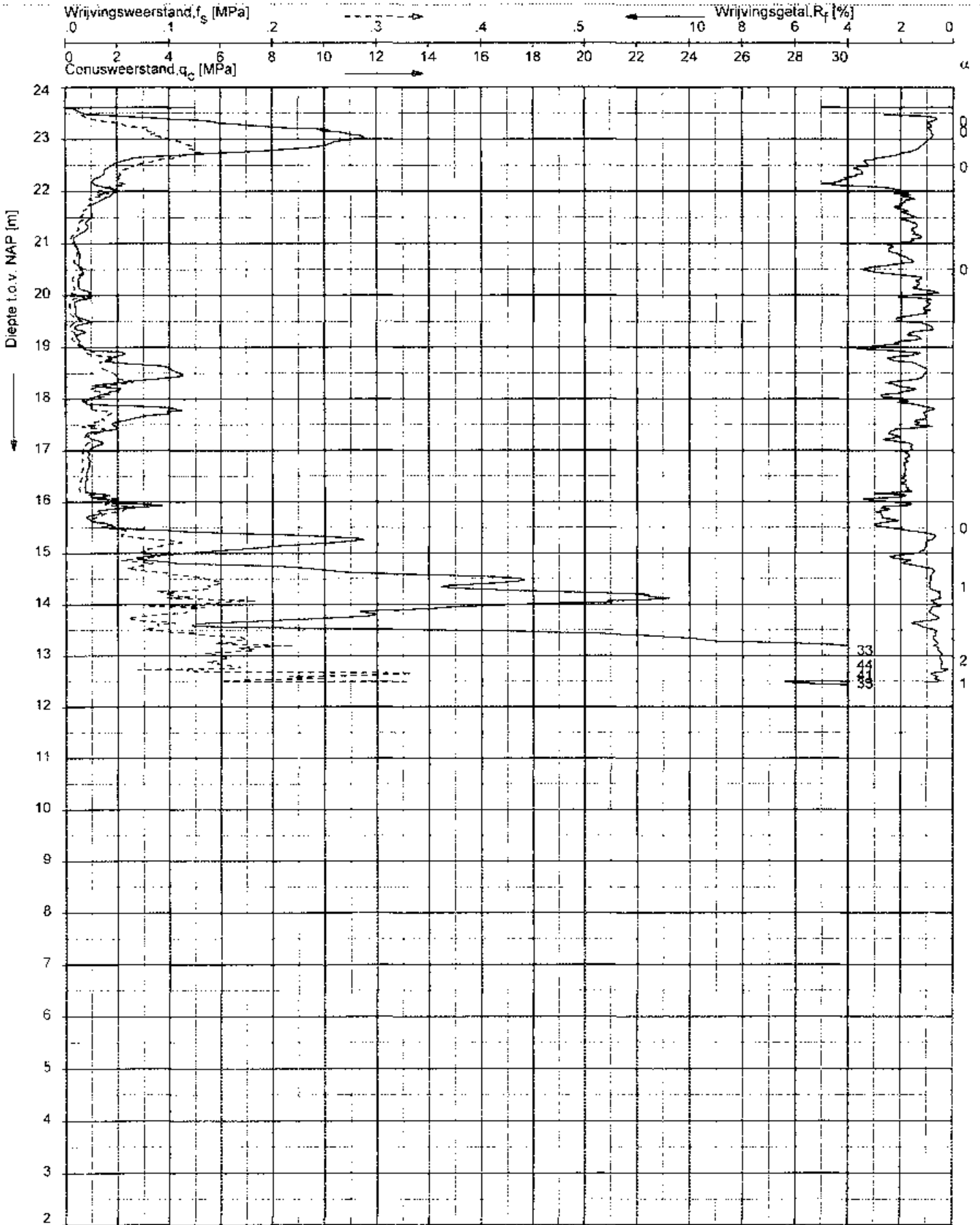
Sondering volgens norm NEN 5140
 conus type cilindrisch elektrisch
 ± afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
 Sond. DZKM S20.201





Opg. JWWPJH dd 21-Jan-2003 conus F7 5CKEV X = 199969 50
Get. RBA dd 23-Jan-2003 MV = NAP +23 61 m Y = 360742 10

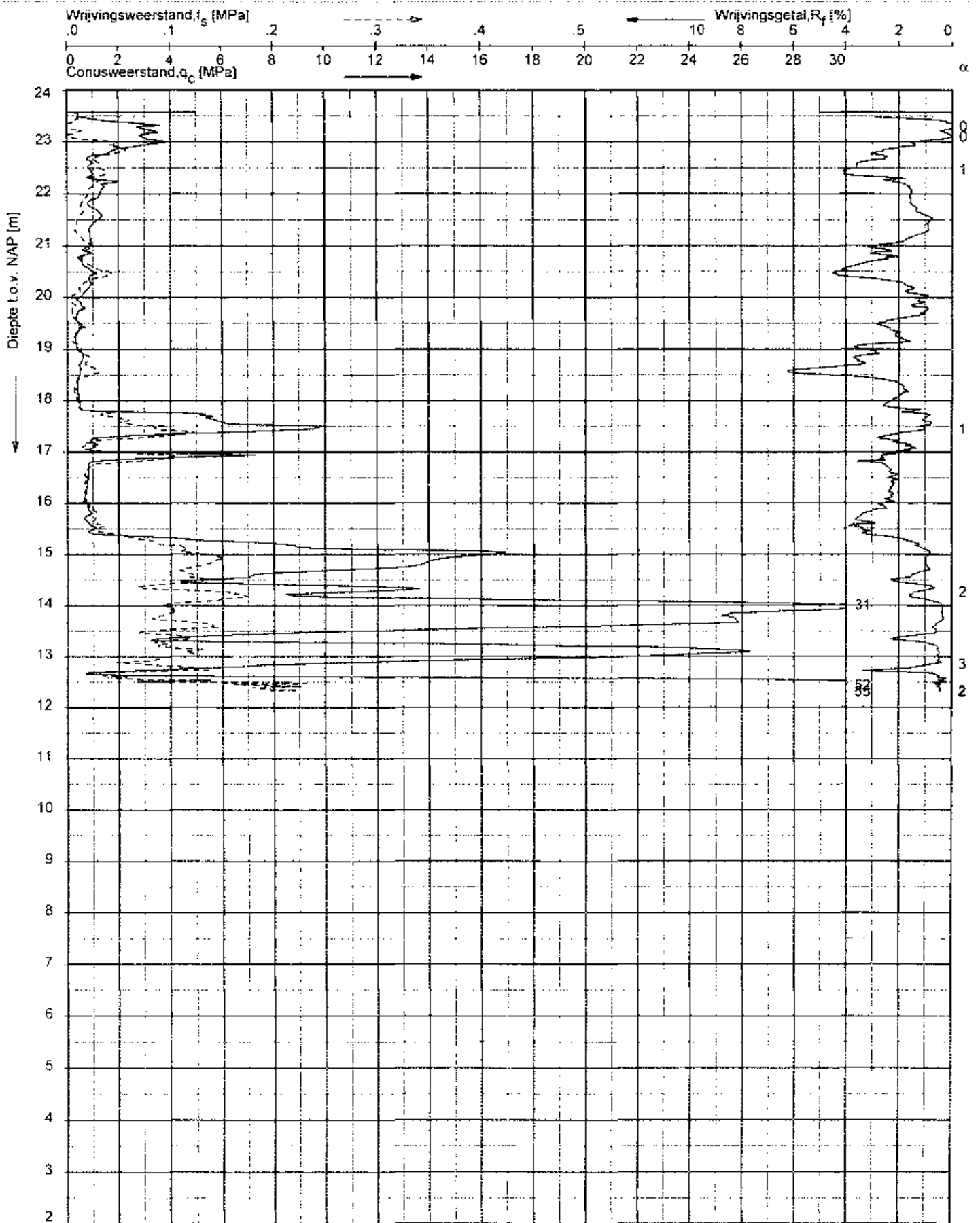
Sondering volgens norm NEN 5140
conustype cilindrisch elektrisch
of afwijking van de verticaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Send. DZKM S20.202





Opg. JWV/PJH d.d. 21-Jan-2003 conus F7 SCKE/V X = 199978.00
Get. RBA d.d. 23-Jan-2003 MV = NAP +23.57 m Y = 360752.60

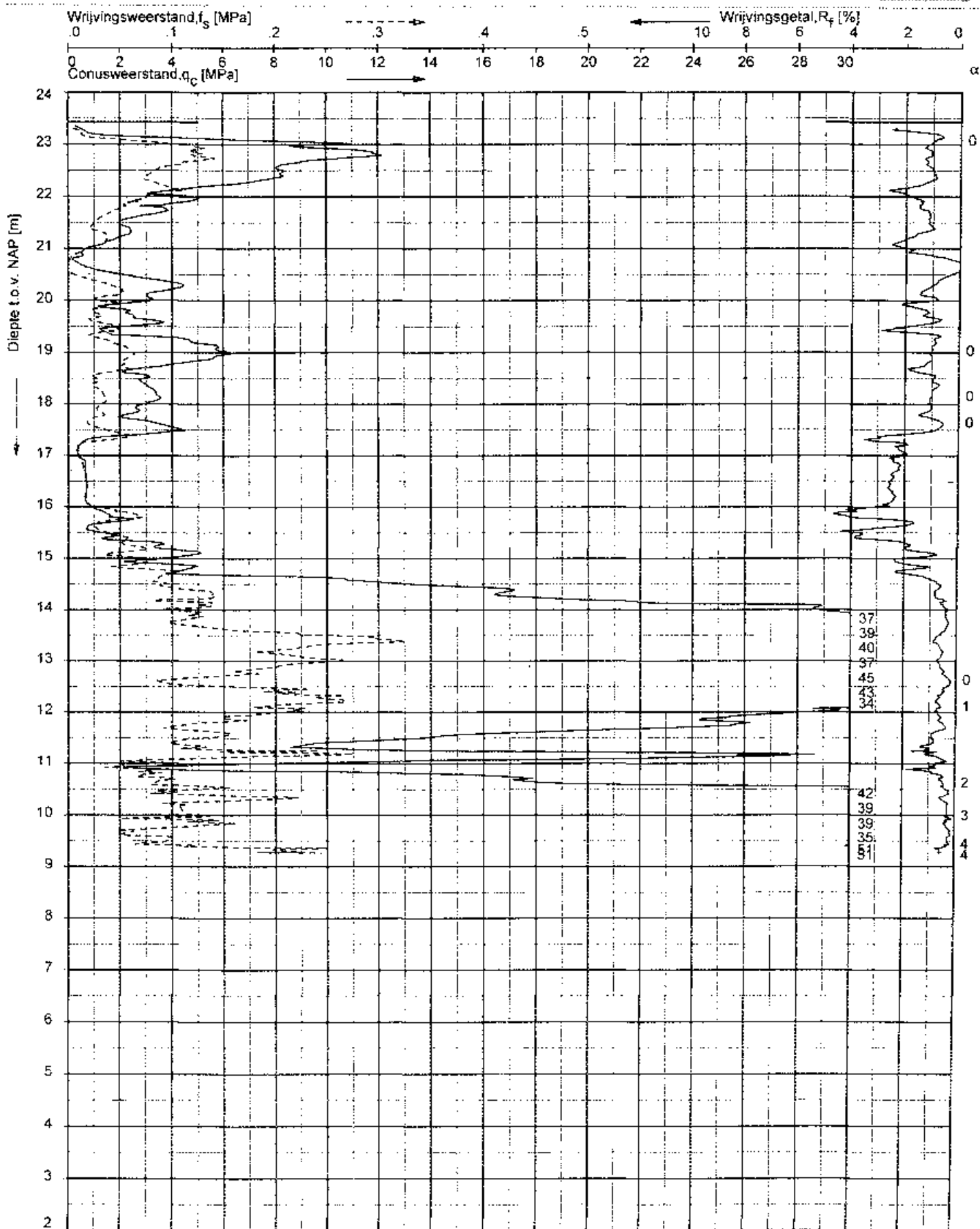
Sondering volgens norm: NEN 5140
conustype cilindrisch elektrisch
n afwijking van de vertikaal

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Sond. DZKM S20.203





Opg. JWM/PJH d.d. 21-Jan-2003 conus F75CKEM X = 199967.20
Get. RBA d.d. 23-Jan-2003 MV = NAP 423.43 m Y = 350728.80

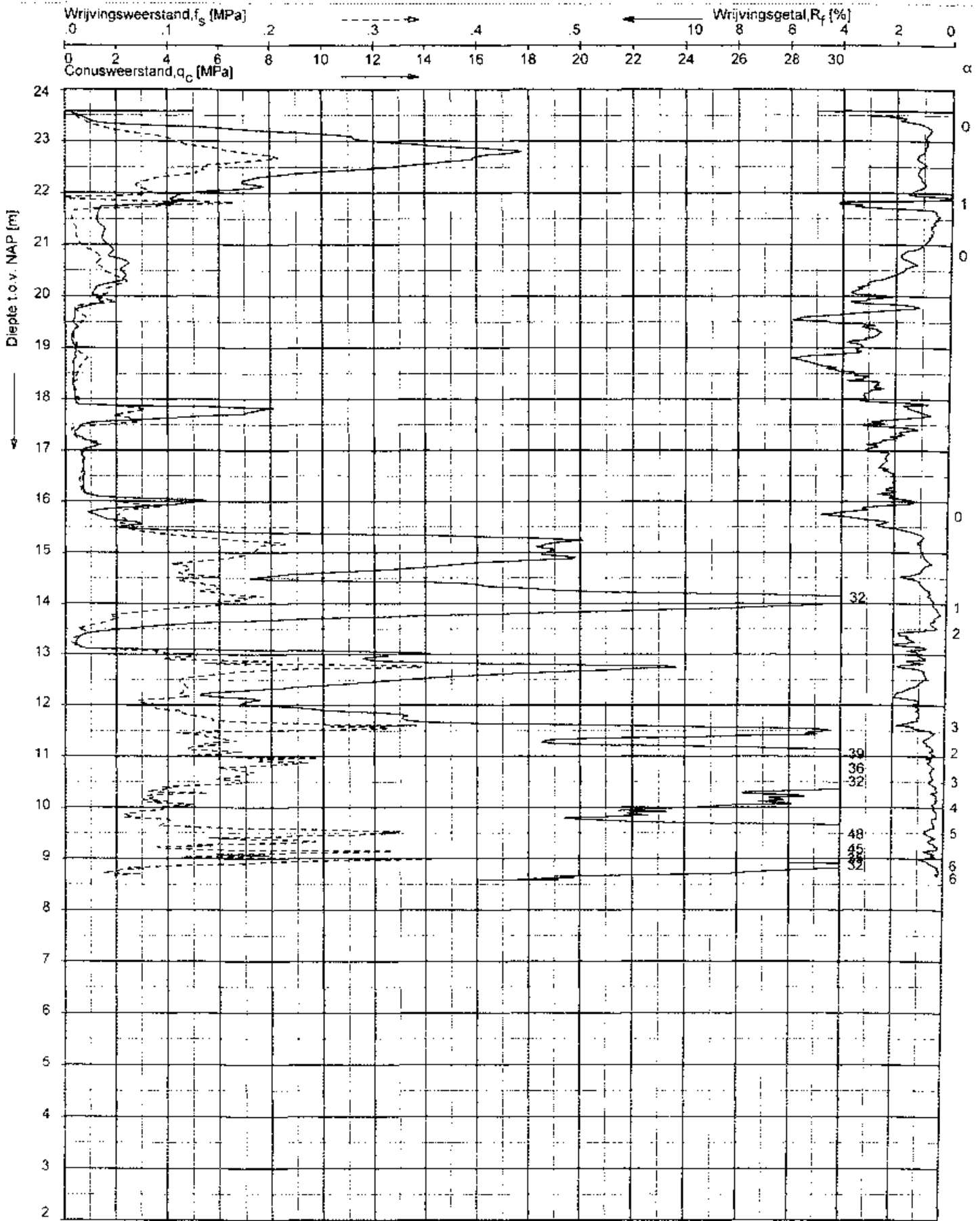
Sondering volgens norm NEN 5140
conustype cilindrisch elektrisch
of afwijking van de verticaal:

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

Opdr. M01057000
Sond. DZKM S20.204





Opg. JW/PJH d d 21-Jan-2003 conus F7 SCKE/V X = 199983.10
Gel. RBA d d 23-Jan-2003 MV = NAP +23.56 m Y = 360748.30

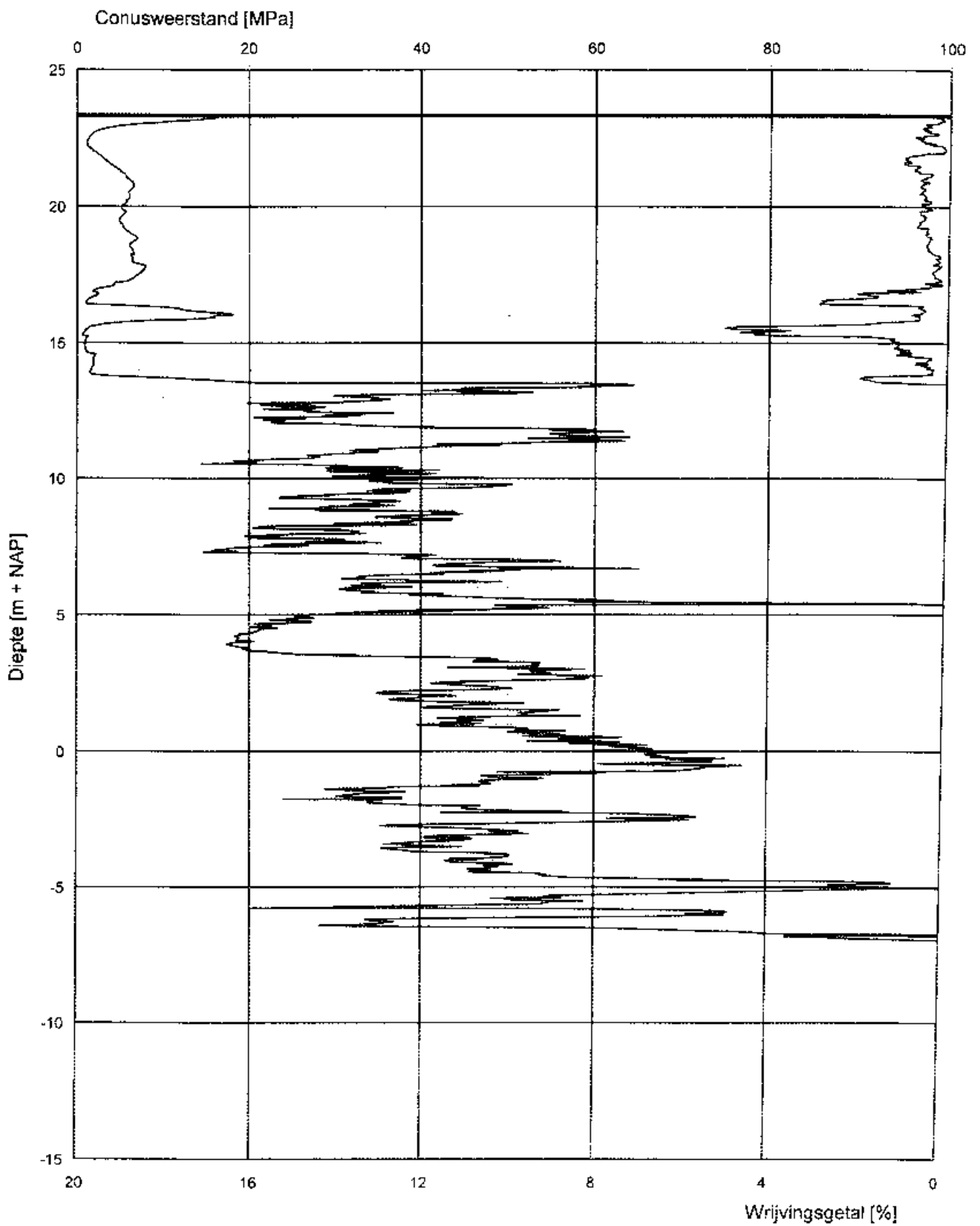
Sondering volgens norm NEN 5140
conus type cilindrisch elektrisch
n.a.w.king van de vertikaal

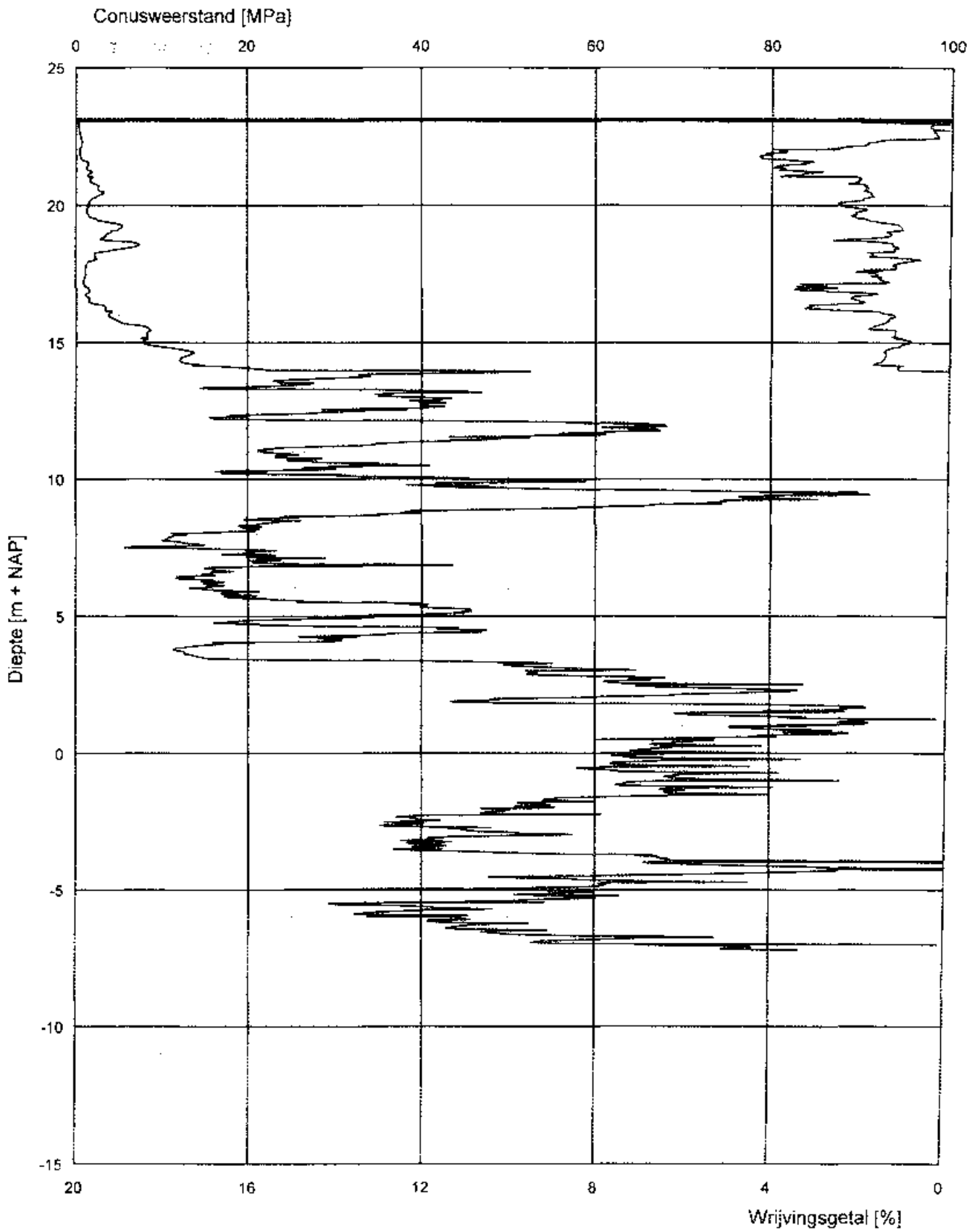
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

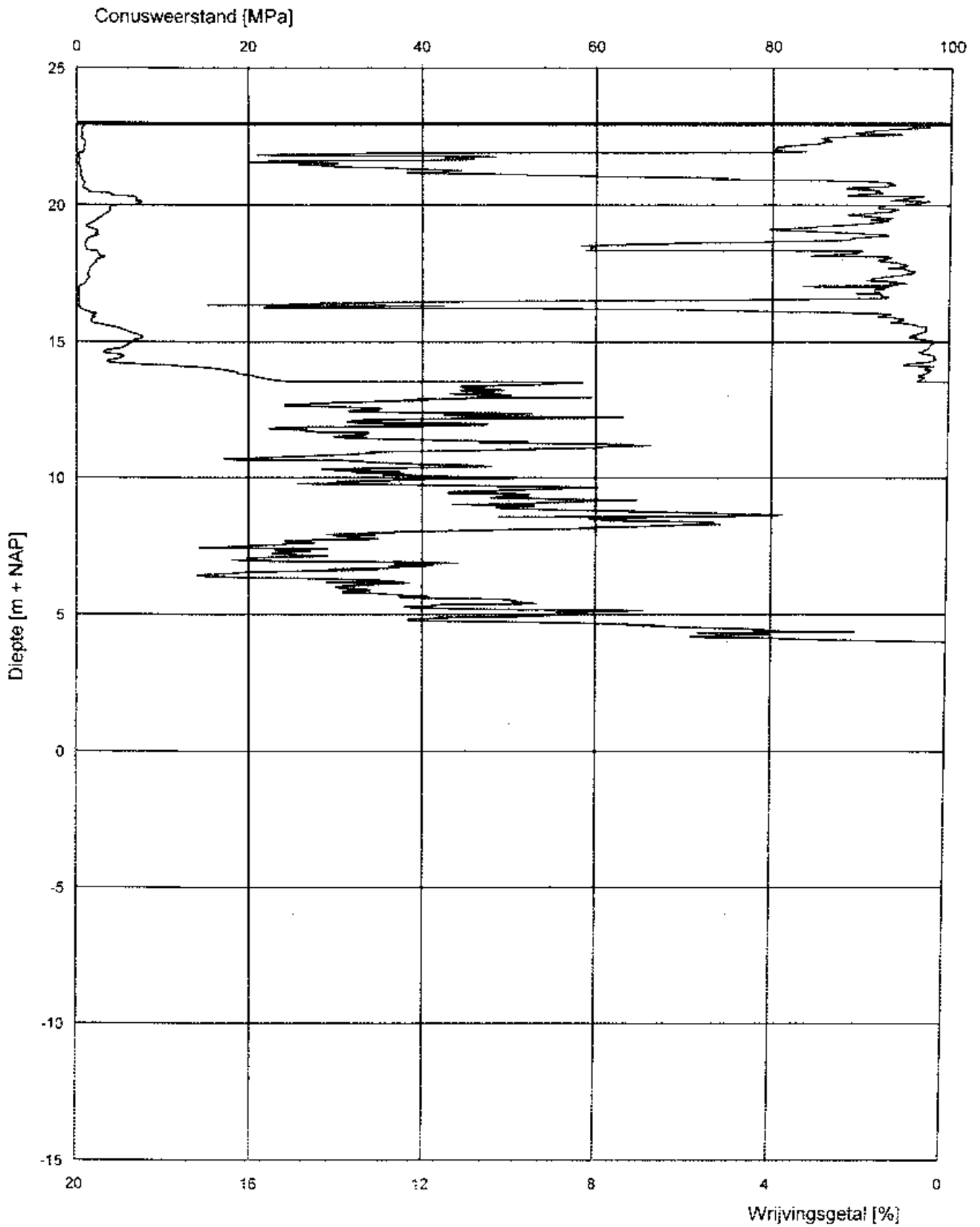
AANVULLEND GRONDONDERZOEK AAN DE STATIONSSTRAAT TE SWALMEN

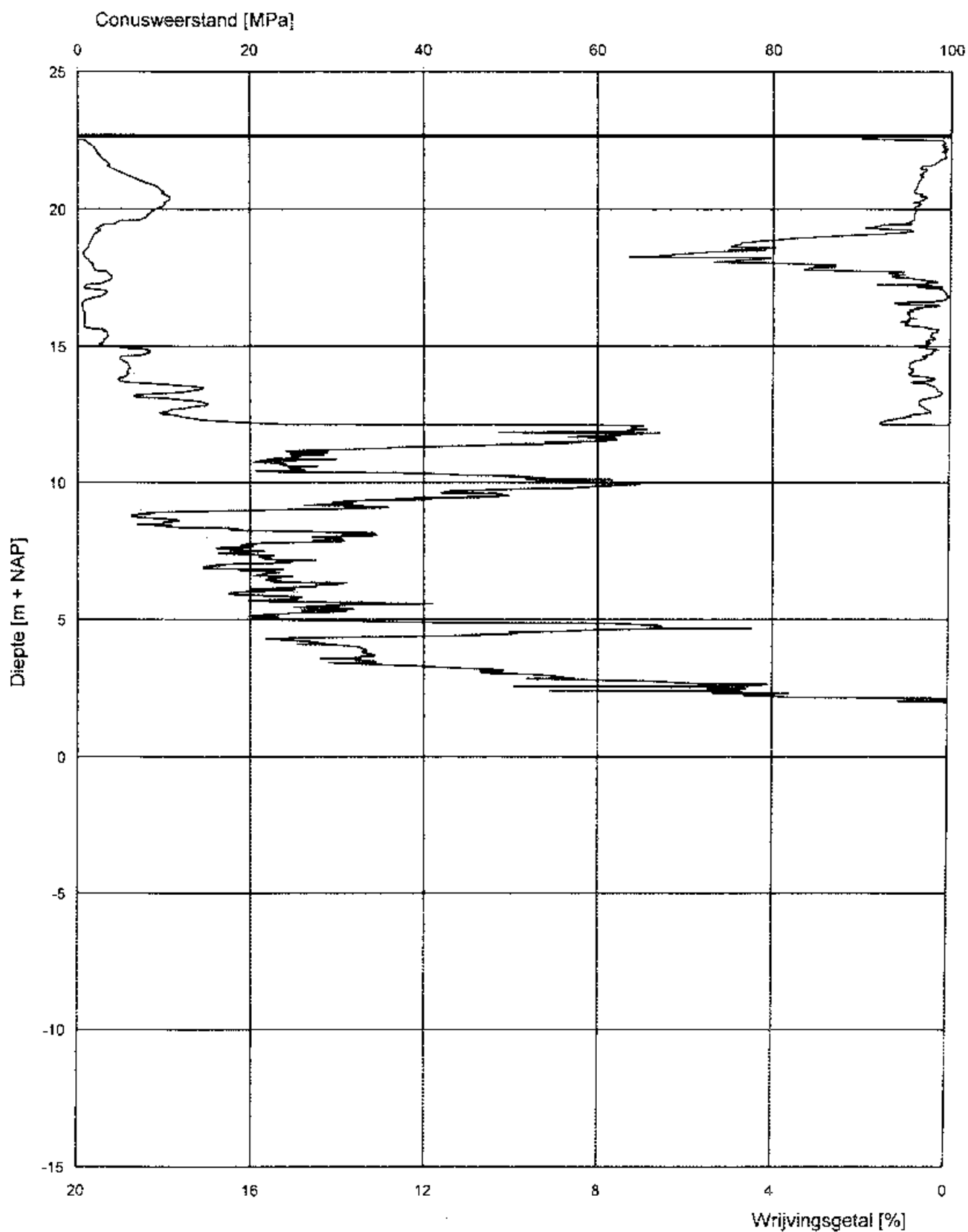
Opdr. M01057000
Sond. DZKM S20.205

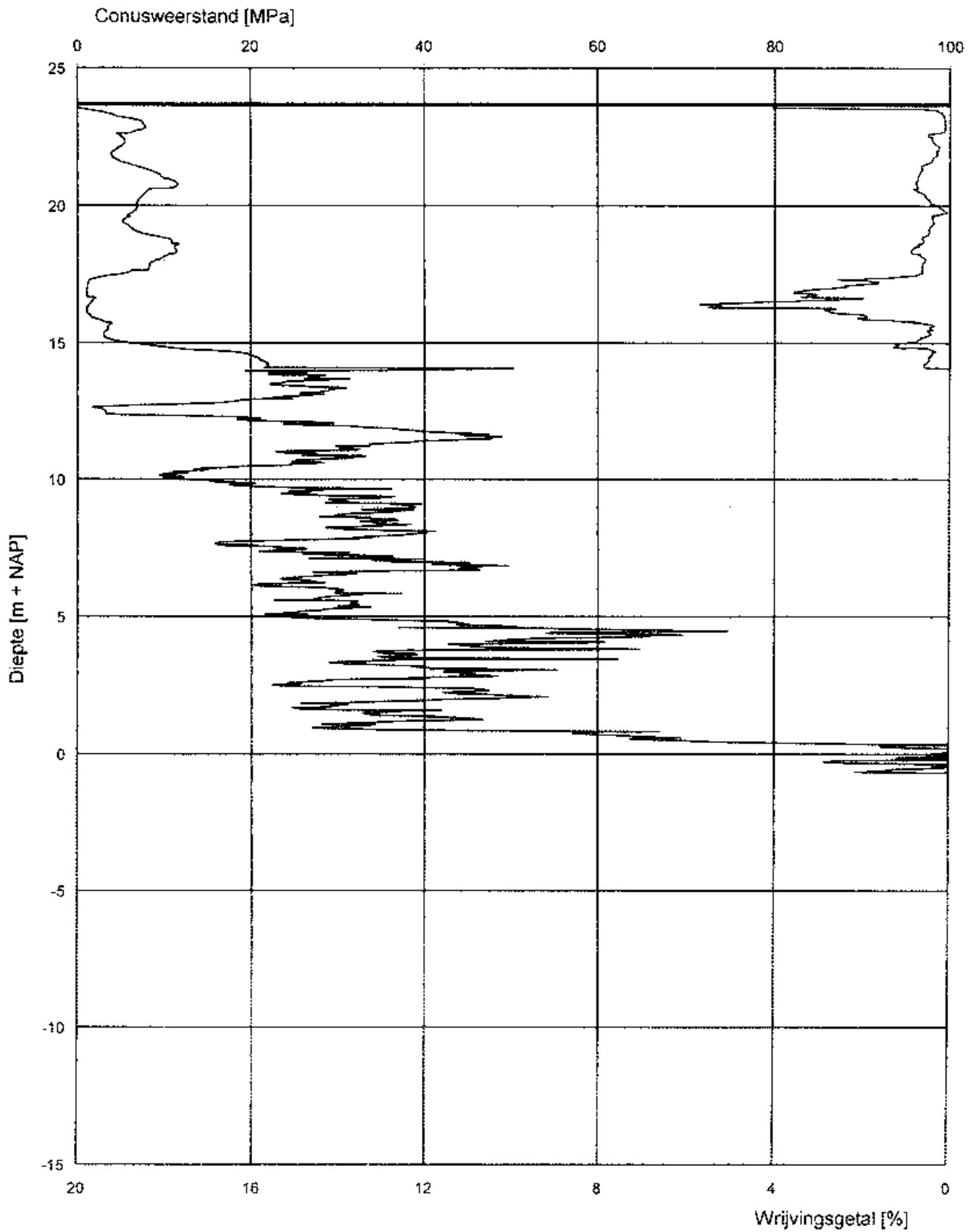


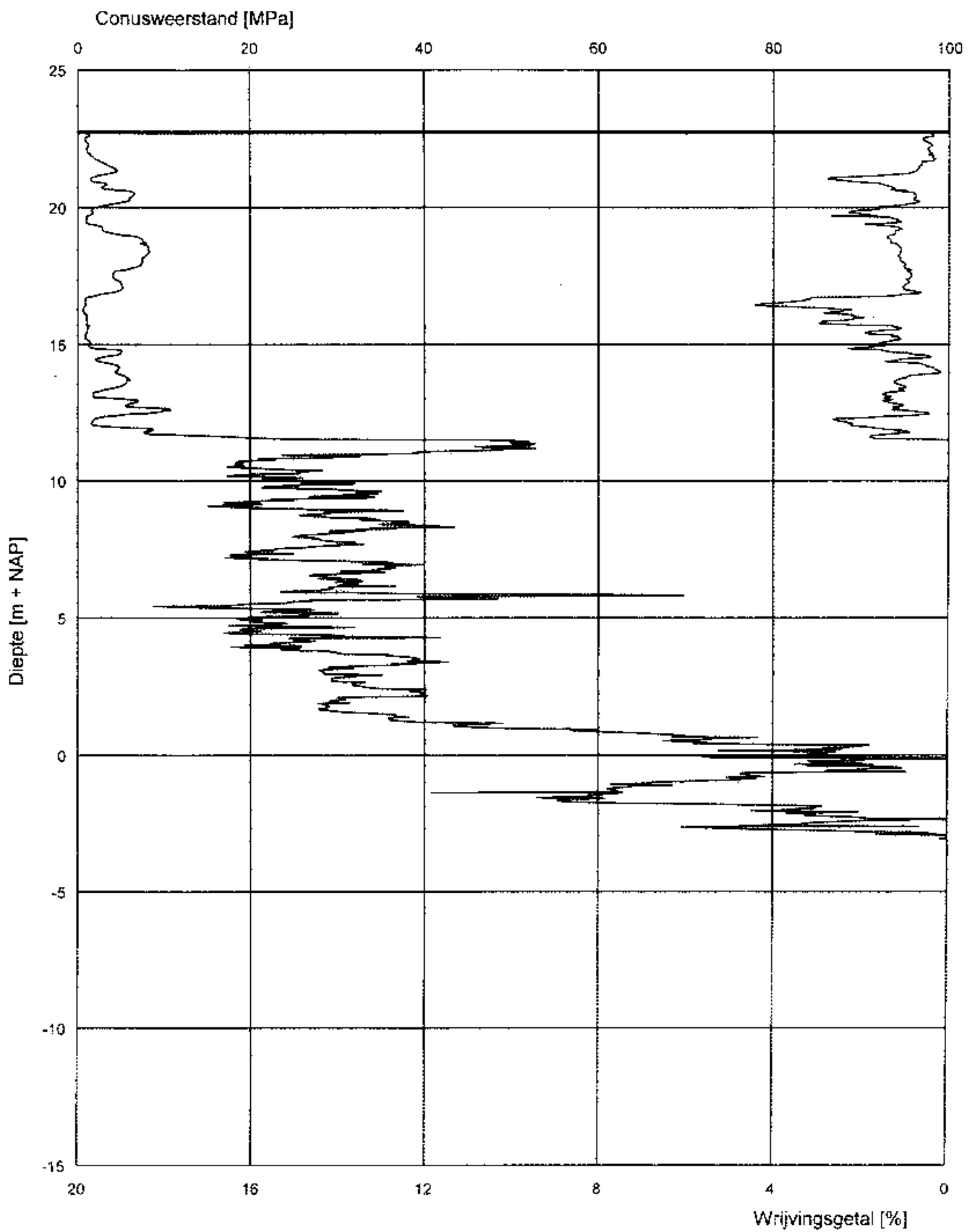


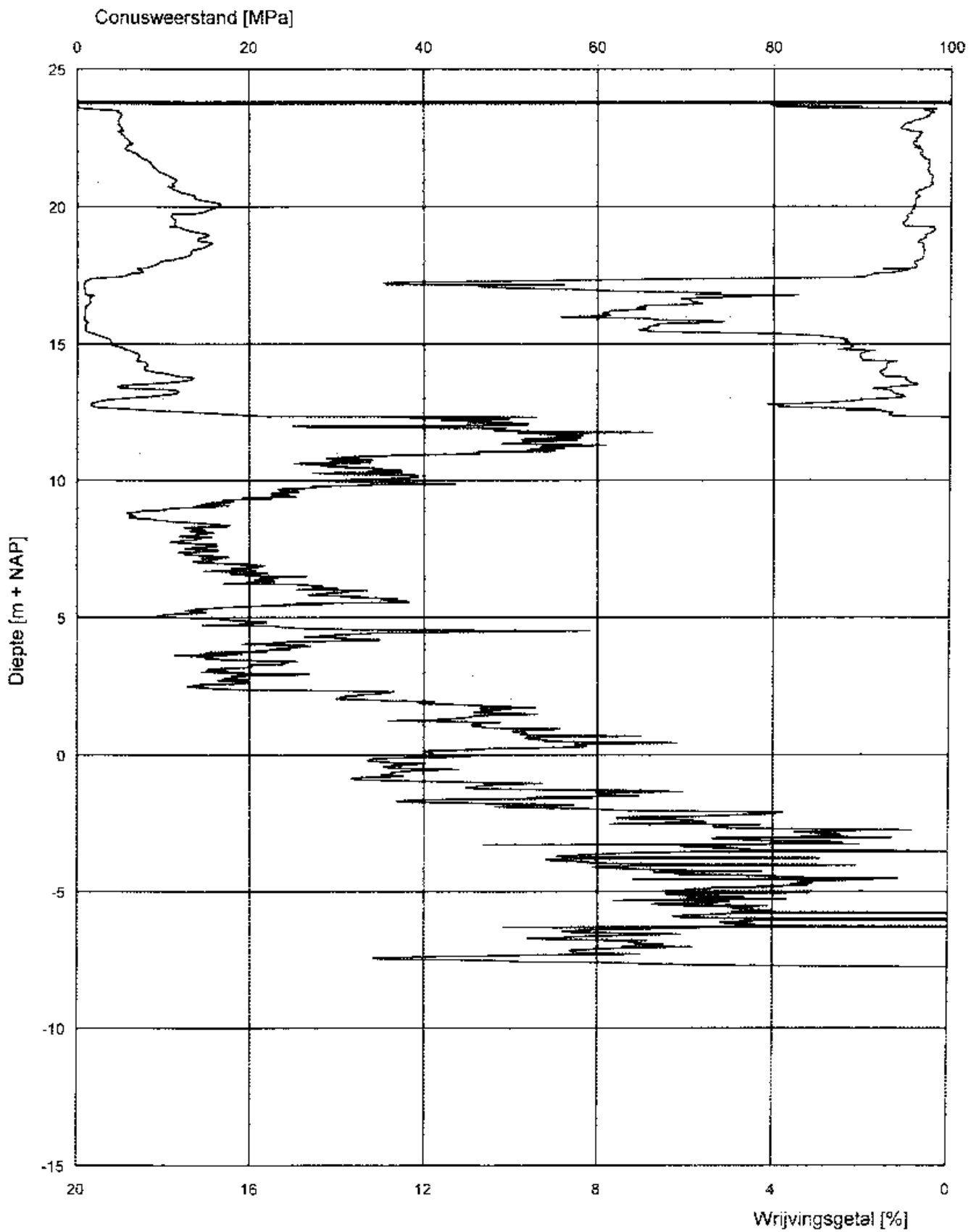


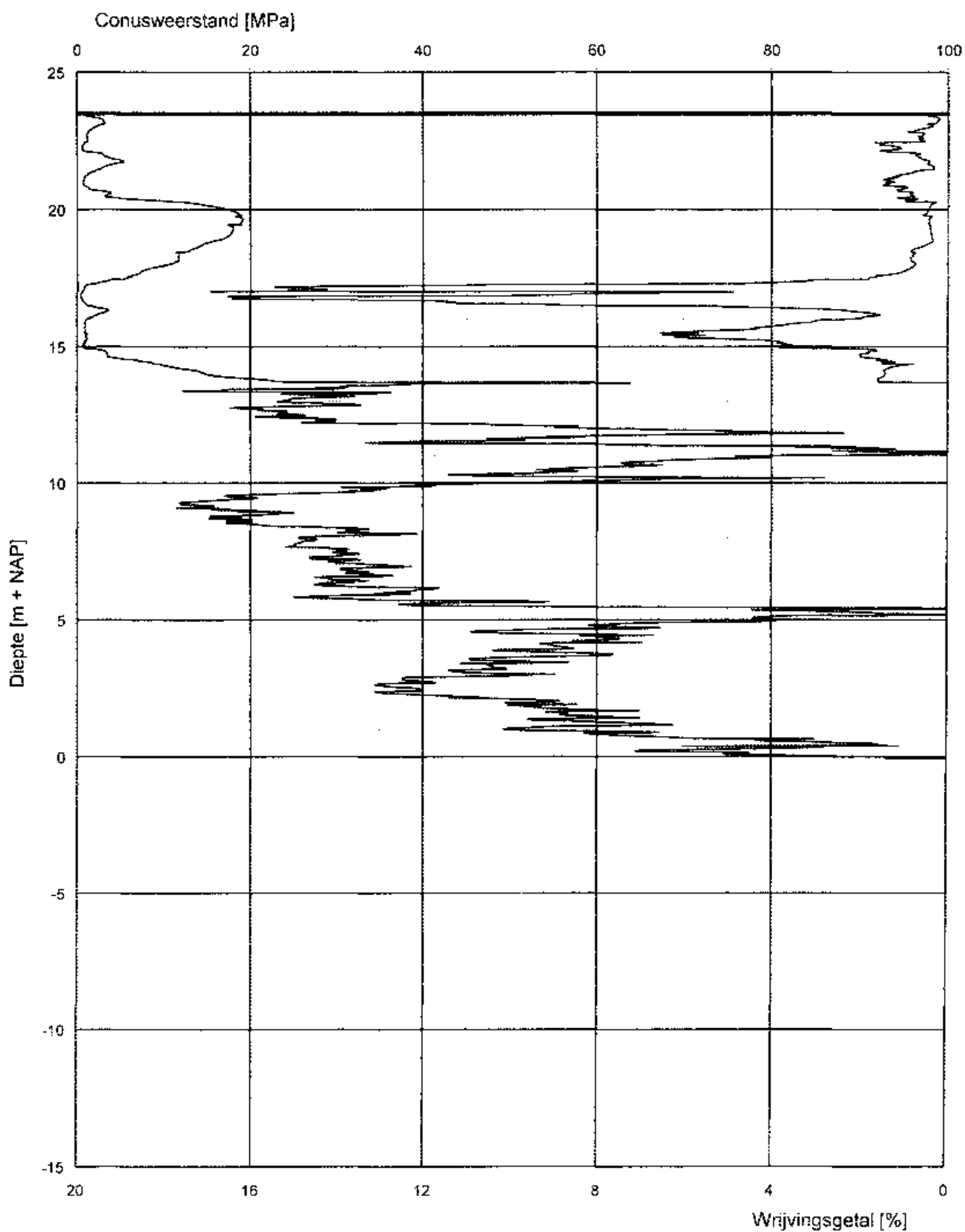


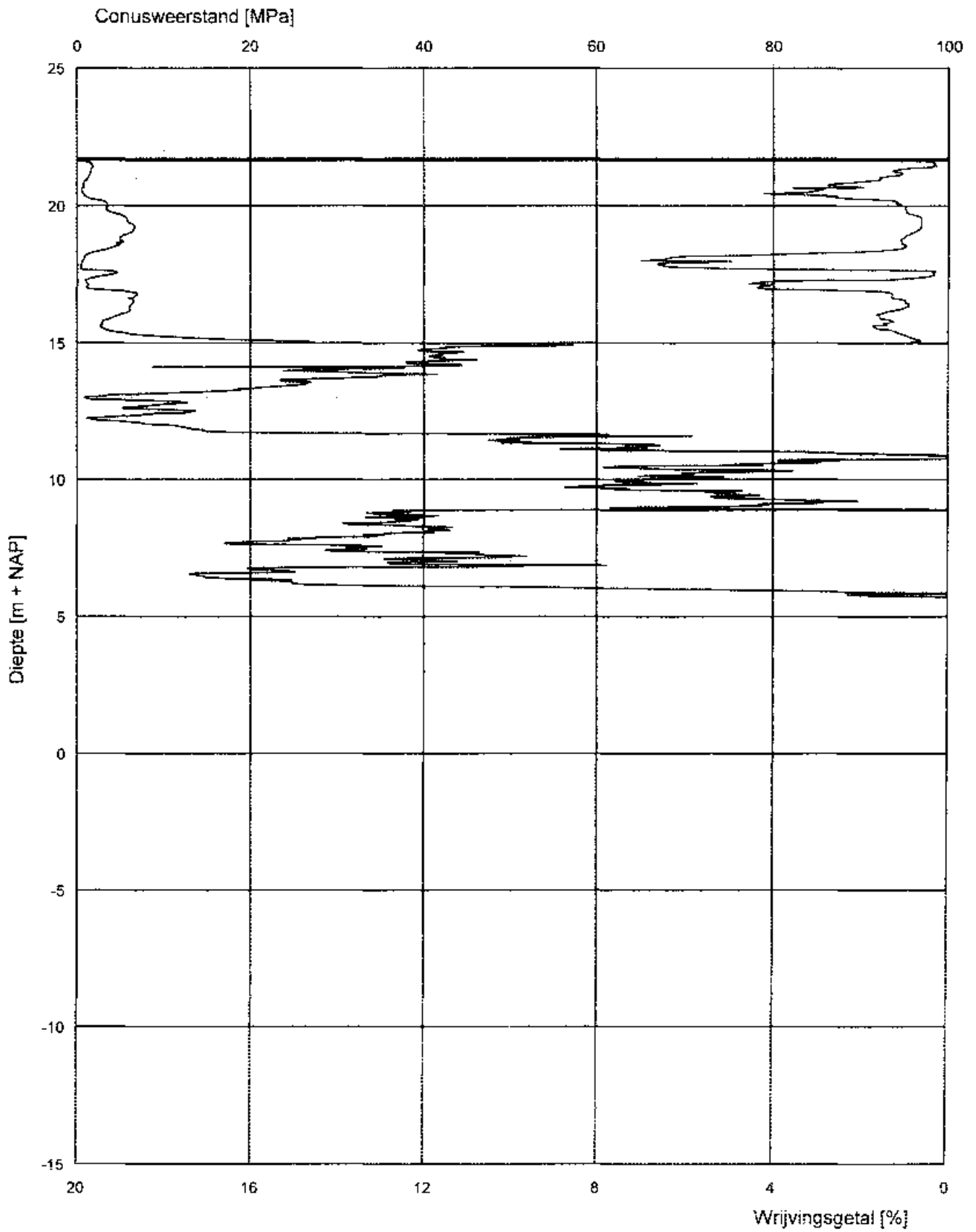


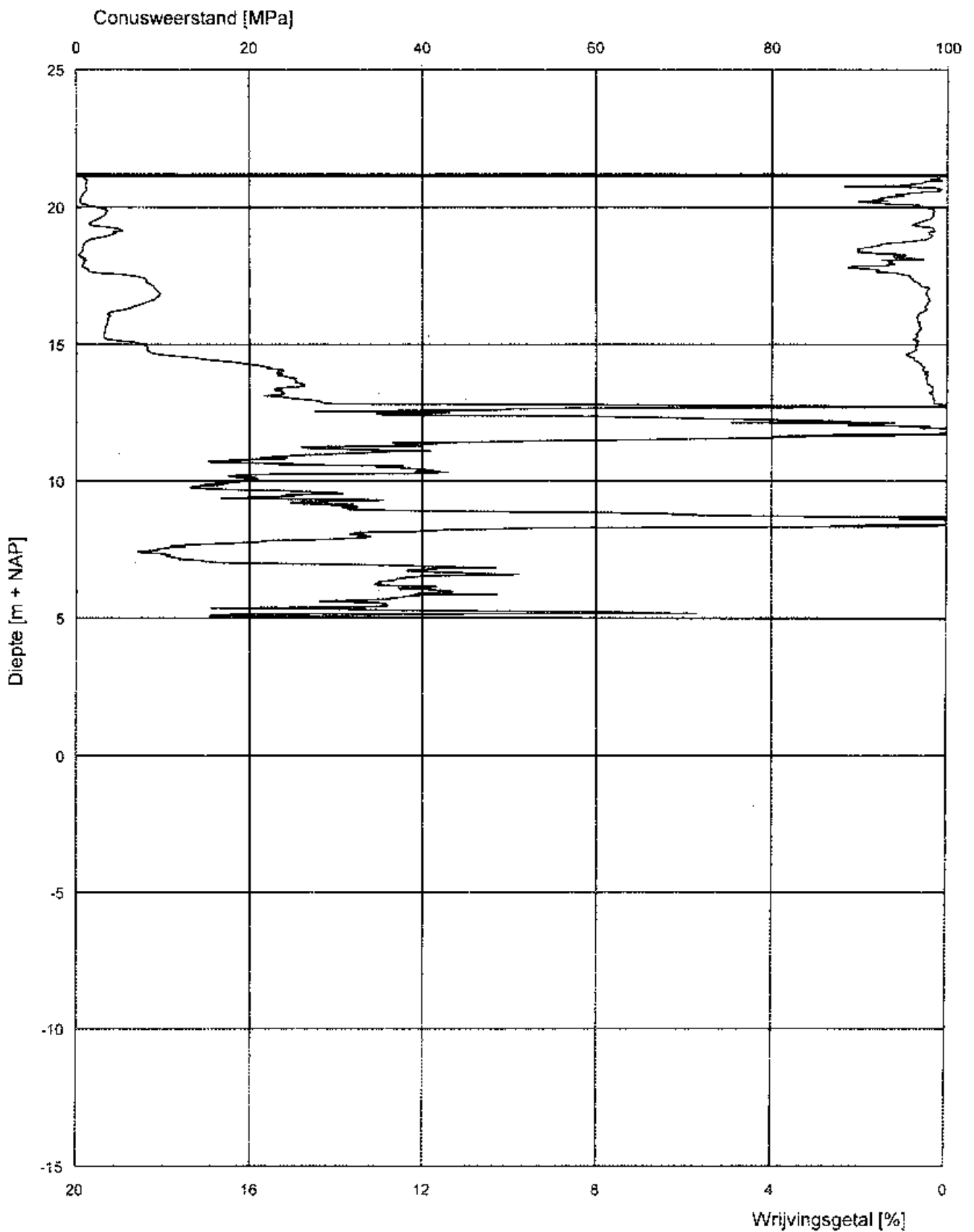




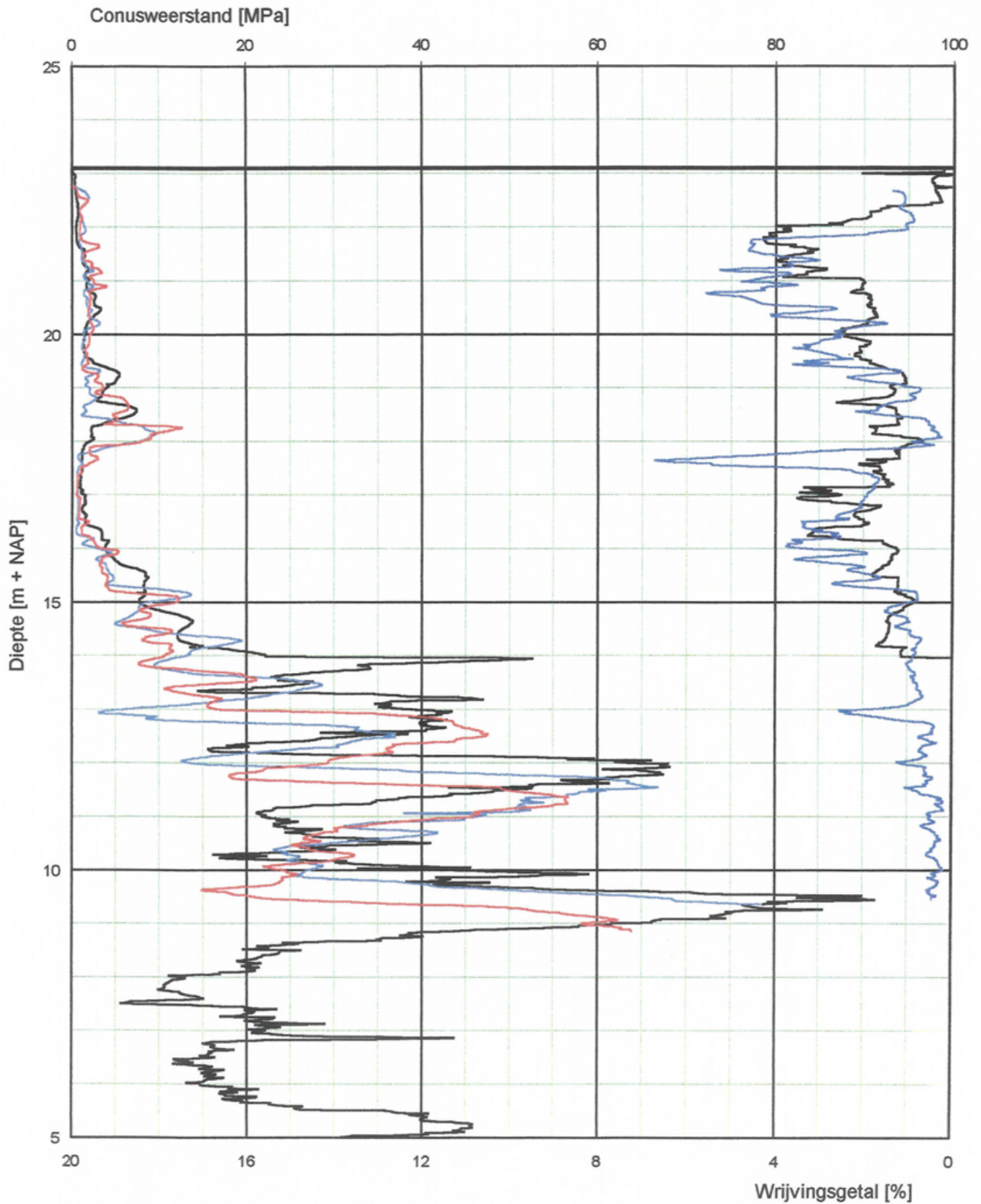


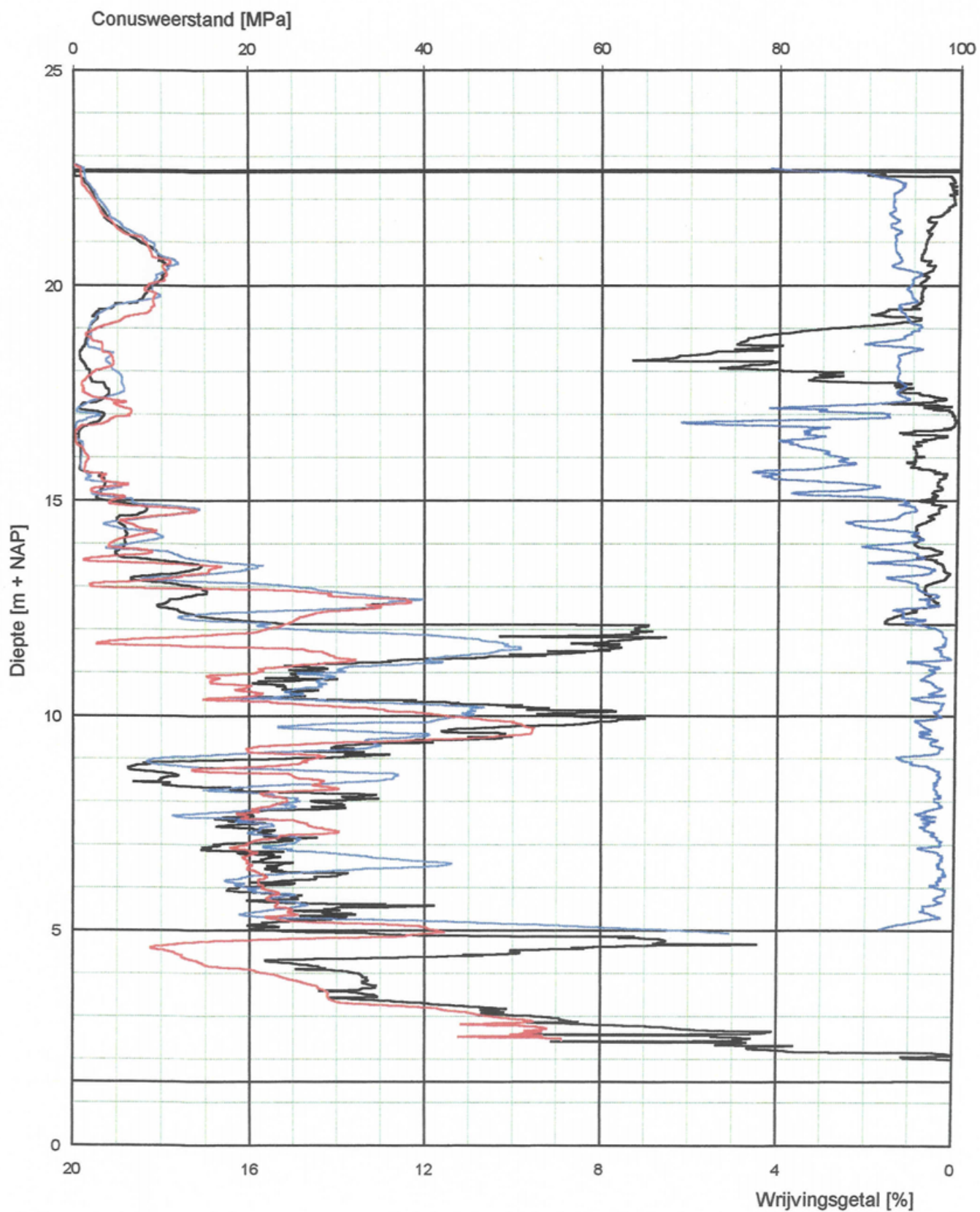


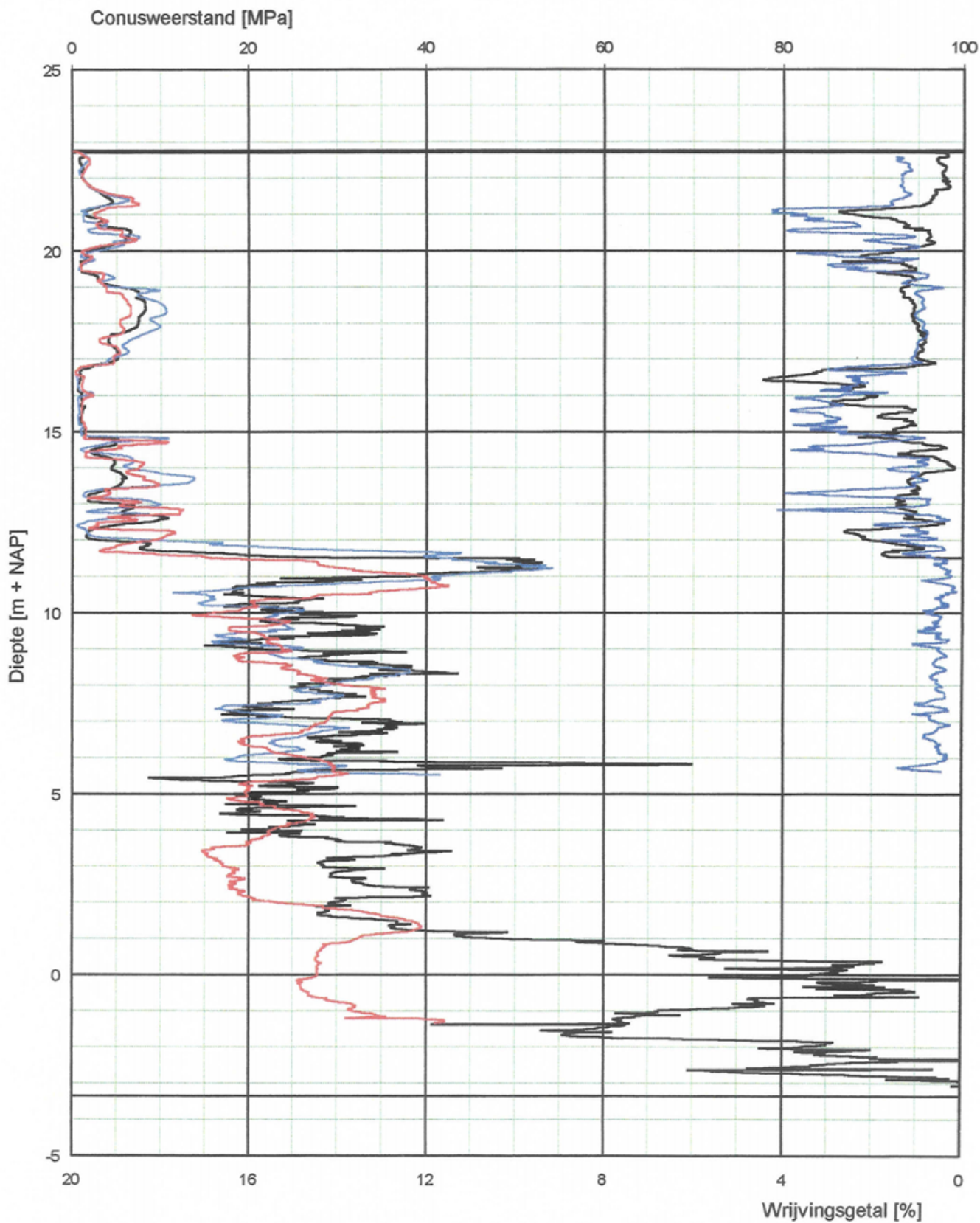




Zwart = AMAP
blauw = electrisch
rood = mechanisch









APPENDIX 1

Documentatie AMAP'soils sondeersysteem

**Pénétration statique
AMAP'sols
dans
les graviers sableux denses,
la molasse
et les marnes compactes**

S E T S O L

SOCIETE D'ETUDES DE SOL

181 Montée Des Aires - 13880 VELAUX

Téléphone (33) 0442747391 - Télécopie (33) 0442748833

e-mail : setsol @ wanadoo fr

LA SOCIETE SETSOL REALISE DES SONDAGES, DES ETUDES DE SOL, DES
EXPERTISES POUR LES
ORGANISMES PUBLICS, PARAPUBLICS, ENTREPRISES, BUREAUX D'ETUDES,
ARCHITECTES ET PARTICULIERS

Domaines d'applications :

- Sondages au pénétromètre statique-dynamique lourd, 15 à 25 T
- Sondages au piézocône et envirocône
- Sondages carottés
- Sondages destructifs avec enregistrement numérique des paramètres de forage
- Essais pressiométriques
- Poses d'inclinomètres
- Poses de piézomètres
- Essais de perméabilité ...

SETSOL dispose d'un parc de machines permettant d'intervenir dans tous les types de chantiers, y compris les chantiers difficiles d'accès. Ses références portent sur plus de 620 chantiers depuis 1991.

S . I . C . I . N . F . R . A



INGENIEURS CONSEILS

BUREAU D'ETUDES TECHNIQUES en SOLS et FONDATIONS - MAITRISE D'OEUVRE GÉOTECHNIQUE

Géologie. Géophysique. Géotechnique. Hydrogéologie. Environnement. Assainissement.

9, rue Jacques Prévert 42570 ST-HEAND / FRANCE
☎ +33/4-77-30-92-88 Fax : +33/4-77-30-46-71

Pénétration statique dans les graviers sableux denses, la molasse et les marnes compactes

G. SANGLERAT

*Expert honoraire agréé
par la Cour de Cassation
Lyon*

M. PETIT-MAIRE

*PDG d'AMAP'sols
Saint-Héand (Loire)*

F. BARDOT

*Expert agréé
par la Cour de Cassation
Lyon*

P. SAVASTA

*Président de SETSOL
Velaux (Bouches-du-Rhône)*

Résumé

Une légende tenace voudrait faire croire que la pénétration statique ne peut être utilisée ni dans les graviers, ni dans la molasse, ni dans les marnes compactes.

Les auteurs décrivent un nouveau pénétromètre statique, qui permet de traverser de tels sols. Ils donnent des exemples où la résistance de pénétration statique q_1 dépasse 85 MPa dans des marnes et peut atteindre 148 MPa dans les graviers compacts ou la molasse dense.

Static penetration in dense gravel, sandstone and hard claystone

Abstract

There is a long-established belief that supposes static penetration cannot be used in gravels, sandstones, claystones or soft rock.

The authors describe a new static penetrometer which does penetrate these types of soils. They give examples where the static cone resistance, q_1 , exceeds 85 MPa in claystone and capable of reaching 148 MPa in dense gravels or in sandstone.

1 Introduction

Depuis des années, il était communément admis que la pénétration statique n'était pas possible pour reconnaître ni les couches de graviers, ni les couches de marne, ni la molasse.

Cette opinion provenait de ce que, avec la plupart des pénétromètres statiques, ces couches, rencontrées même à faible profondeur, bloquaient l'appareil et provoquaient, par ailleurs, des détériorations graves dans les cônes électriques, ce qui était très coûteux.

De ce fait, certains géotechniciens ont limité l'utilisation du pénétromètre statique aux couches molles, alors que d'autres acceptaient son utilisation dans les sables (Bequemann, 1965 ; Schmertmann, 1967) mais, en général tous l'excluaient pour l'étude des graviers (Mitchell, 1968).

Cependant, cette restriction n'a plus de raison d'être depuis 1992 (Sanglerat, 1994 ; Sanglerat *et al.*, 1995).

Les exemples caractéristiques ci-dessous, obtenus avec le pénétromètre AMAP'sols ouvrent de nouvelles perspectives à la pénétration statique.

Le nom AMAP'sols est une contraction de *Ateliers Mobiles d'Auscultation par Pénétration des Sols*.

2

Le pénétromètre statique-dynamique AMAP'sols

2.1

Principe

L'histoire de la pénétration statique-dynamique a été présentée par Sanglerat en 1979 [6].

En 1992, des géotechniciens de Lyon et de Saint-Étienne décidèrent de créer un nouveau pénétromètre statique-dynamique, afin de perfectionner ce type de reconnaissance des sols.

Les améliorations très importantes apportées peuvent être résumées comme suit :

En statique :

Fonctionnement entièrement automatique. Enfouissement à une vitesse rigoureusement constante de 2cm/seconde, avec enregistrement numérique en continu des mesures sur carte mémoire, **avec sortie simultanée des diagrammes des efforts tracés en temps réel** permettant le contrôle instantané des opérations.

Les données enregistrées sont transmises par modem, ce qui permet de tracer très rapidement les courbes représentatives des essais dans le bureau de l'ingénieur chargé du projet et d'extraire, si besoin est, toutes les valeurs numériques nécessaires aux calculs de force portante ou de tassements [Mitchell *et al.*, 1968, Sanglerat *et al.*, 1994 ; Lunne *et al.*, 1998].

En dynamique :

Le battage par chute d'un mouton a été remplacé par un très puissant marteau hydraulique à frappes rapides et réglables, par série de coups rapprochés, permettant de traverser des couches extrêmement dures ou de pénétrer le substratum rocheux altéré.

Installation :

L'appareil est monté sur un camion Mercedes 6 x 6 de 250 kN (Fig. 1).

Les réglages de mise à niveau de l'appareil, pour enfoncer verticalement les tiges, s'effectuent très rapidement, grâce à cinq vérins hydrauliques commandés par des électrodistributeurs contrôlés électriquement. Quatre de ces vérins sont ceux appartenant au dispositif du train de chenilles auxiliaire dont est muni le véhicule porteur (Fig. 2) ; ce dispositif lui confère des possibilités d'accès et d'évolution sur des sols très mous où tous les autres véhicules s'enlisent, ainsi que sur des terrains en forte pente.

Le système de pénétration statique-dynamique a été conçu et construit à Lyon (Fig. 3) et monté en Hollande, sur un camion Mercedes, par Van den Berg, grand spécialiste du pénétromètre statique depuis de longues années, qui a apporté sa technicité et notamment son expérience dans l'ensemble des applications de l'hydraulique et de l'acquisition numérique des données.

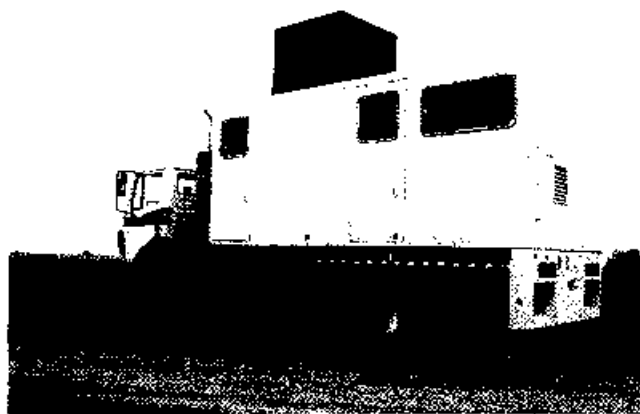


Fig. 1 Vue générale du véhicule AMAP'sols.
The AMAP'sols vehicle



Fig. 2 Vérins de stabilisation sur train de chenilles.
Hydraulic stabilisers on caterpillar track.



Fig. 4 Vue du marteau hydraulique et des appareils de mesures et de contrôles de pénétration statique-dynamique AMAP'sols.
View of the hydraulic hammer and measuring equipment for the static-dynamic penetration of AMAP'sols.

2.2

Caractéristiques

Ce pénétromètre permet de réaliser tous les systèmes de pénétration dans le sol, ainsi que des essais spéciaux associés à la pénétration. Il peut utiliser tous les cônes de pénétration connus actuellement, de 10 cm² à 50 cm², à transmission mécanique ou à acquisition électrique, ainsi que les piézocônes.

En pénétration statique, on utilise d'une manière courante soit une pointe de 80 mm de diamètre (cône dit de 50 cm²) avec un manchon de frottement latéral de 250 mm de long (Fig. 4), soit une pointe de 75 mm (cône dit de 44 cm²) avec manchon de 200 mm.



Fig. 5 Cône AMAP'sols de 50 cm² avec manchon de frottement latéral.
AMAP'sols 50 cm² cone with lateral friction sleeve.

Naturellement, on mesure en continu :

- q_p résistance de pointe (jusqu'à 30 MPa) ;
- f frottement latéral unitaire sur manchon ce qui permet de calculer le friction ratio FR ;
- Q_{st} effort total d'enfoncement (jusqu'à 220 kN mais limité généralement à 180 kN).

Les mesures sont enregistrées tous les 2 cm.

Lorsque les cônes de 44 cm² ou 50 cm², avec manchon de frottement, sont arrêtés par une couche dure, on poursuit la pénétration statique avec une pointe plus petite, d'un diamètre de 39 mm, dite de 12 cm² (sans manchon de frottement), qui permet d'obtenir des valeurs de résistance de pointe très élevées pouvant atteindre jusqu'à 148 MPa (on appelle souvent cette résistance de pointe $q_{p,12}$ pour la différencier de $q_{p,44}$ ou de $q_{p,50}$) ; au-delà, on passe en dynamique.

Lors de la pénétration dynamique, à titre d'information, on procède tous les 25 cm à une mesure de contrôle en statique de l'effort total (pointe et frottement latéral) que l'on limite volontairement à 180 kN. Cela correspond, dans les milieux pulvérulents, à une résistance statique de pointe $q_{p,12}$ généralement de l'ordre de 130 à 140 MPa (ce qui est considérable et n'est atteint par aucun autre pénétromètre).

Naturellement, chaque fois que l'on constate que l'effort total statique Q_{st} est inférieur à 160 ou 170 kN, on reprend la pénétration en statique puisqu'alors $q_{p,12}$ est inférieur à 130 ou 140 MPa.

En cas de chute brutale de la résistance, le dispositif de battage s'arrête automatiquement et instantanément au toit de la couche moins résistante. Cette dernière est alors reconnue en pénétration statique sur toute son épaisseur, ce qui n'était pas toujours possible avec les anciens pénétromètres statiques-dynamiques qui soulevaient violemment les premiers décimètres de ces couches de moindre résistance.

Un dispositif d'alerte sonore permet d'éviter de dépasser les charges maximales prévues pour les différentes tiges assurant la transmission des efforts jusqu'aux capteurs de mesures.

2.3

Utilisations complémentaires

Il est possible d'utiliser sur le même appareil d'autres cônes, en particulier le piézocône et l'envirocône Van den Berg [8, 9]. Naturellement, dans ces deux cas, on utilise des logiciels spécifiques élaborés par Van den Berg.

Le piézocône permet, selon l'usage, de déterminer q_p , f et la pression interstitielle u .

Avec l'envirocône, on mesure, outre q_p , les caractéristiques suivantes :

- conductivité ;
- teneurs en O₂ et H₂ ;
- potentiel Redox ;
- températures ;
- pH ;
- pression interstitielle.

L'ensemble de ces possibilités constitue une amélioration considérable des moyens de reconnaissance et permet de traiter de nombreux problèmes d'environnement ou de waste management grâce à la qualité et à la fiabilité des renseignements recueillis [3, 9, 10].

On peut par ailleurs utiliser un cône sismique.

On peut également, dans les sols cohérents, prélever des échantillons intacts sous gaine PVC de gros diamètre (Ø 70 mm).

Ce nouveau pénétromètre statique-dynamique a déjà fait l'objet de deux communications lors de conférences internationales [4, 5].

Différents cas d'utilisation sont rapportés ci-dessous.

Pénétration dans la molasse à Lyon

Dès la mise en service du nouveau pénétromètre, il a été réalisé des essais comparatifs dans les sols lyonnais dont la géologie est bien connue. Généralement, dans ces sols, la pénétration statique avec un cône électrique ou mécanique est bloquée entre 3 et 4 m de profondeur. De son côté, la pénétration statique-dynamique lourde ancienne [Sanglerat, 1979] est arrêtée soit dans les alluvions compactes ou cimentées, soit, au mieux, en tête de la molasse, vers 20 m de profondeur.

Les premiers essais réalisés avec le nouveau pénétromètre statique-dynamique ont permis d'atteindre, à Lyon, en 1993, **une profondeur de 35 m dont 15 m dans la molasse**, ce qui constitue une amélioration remarquable des performances.

En 1994, sur un autre site lyonnais, le long de l'avenue Foch, les alluvions denses composées de graviers plus ou moins sableux ont été traversées sur 21 m et ensuite la pénétration a été poursuivie sur **24 m de profondeur dans la molasse** : ce qui constitue un record jamais atteint dans ce type de milieu par aucun autre pénétromètre, qu'il soit dynamique ou statique-dynamique.

Le diagramme de la figure 5 représente les résultats obtenus lors de cette pénétration. Il est bien évident que ce type de reconnaissance, qui donne de précieuses indications sur les caractéristiques de la molasse, est beaucoup moins coûteux que les méthodes usuelles par carottage avec prélèvement d'échantillons et essais de laboratoire.

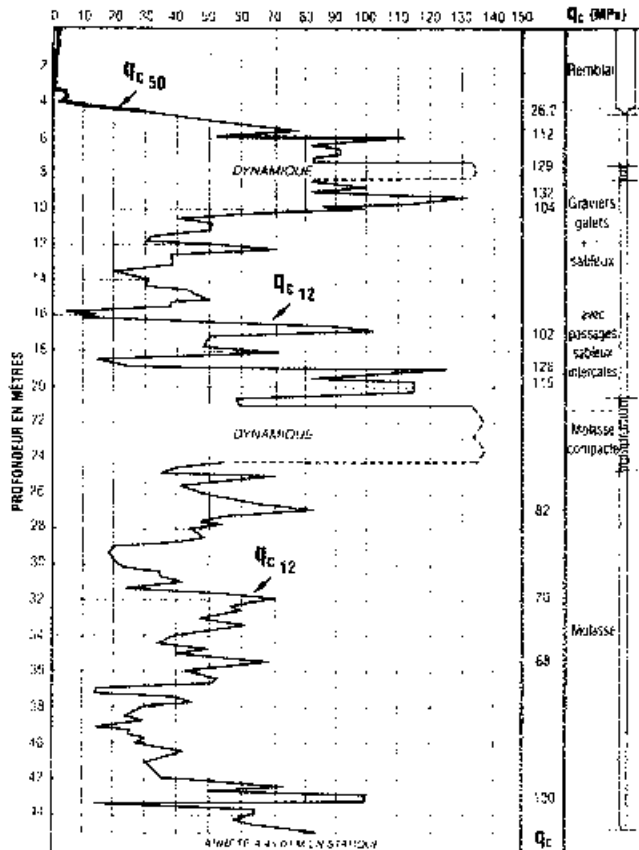


fig. 5 Record de pénétration dans la molasse lyonnaise (avenue Foch à Lyon).
Penetration record in dense sandstone.

Pour faciliter la lecture de certains diagrammes, figurent les mentions :

- $q_{c,50}$ pour la résistance statique de pointe en 50 cm² ;
- $q_{c,12}$ pour la résistance statique de pointe en 12 cm².

Essais comparatifs au port autonome du Havre

Le fonctionnement en statique du cône de 12 cm² du nouveau pénétromètre est différent de celui du pénétromètre électrique hollandais classique de 10 cm². Il était donc nécessaire de prouver la validité de la résistance de pointe calculée avec le cône de 12 cm², en la comparant à la résistance mesurée tant par le cône électrique de 10 cm² que par le cône mécanique de 50 cm² du nouveau pénétromètre.

Des essais comparatifs ont pu être réalisés d'une manière facile car ces trois types de cônes ont pu être utilisés pour une étude réelle de fondations au port autonome du Havre en 1993.

Ces essais comparatifs très intéressants ont été obtenus dans les dépôts sédimentaires du delta de la Seine où l'on trouve des sables fins avec quelques intercalations de tourbe et de petites couches graveleuses.

Ces essais [Sanglerat *et al.*, 1995] ont montré que :

- a) Sur le plan pratique, les résultats obtenus sont analogues, quel que soit le cône utilisé, électrique de 10 cm² ou mécanique de 12 cm² ou de 50 cm².
- b) Il est évident, cependant, que plus le cône est large, plus il a tendance à adoucir les crêtes des diagrammes dues soit à la présence de graviers, soit aux chutes de résistance résultant de couches minces très compressibles.
- c) Les résultats obtenus prouvent la validité de la méthode de détermination de q_c avec le cône de 12 cm².
- d) Le cône de 12 cm², grâce à sa puissance de pénétration, permet d'atteindre en statique des profondeurs beaucoup plus grandes que le cône électrique classique de 10 cm².

Pont sur l'Arve à Cluses (Haute-Savoie)

En 1993, un pont à trois travées hyperstatiques de 32 m, 19 m et 32 m, a été construit sur l'Arve lors de la création d'une nouvelle route reliant Marnaz à Thiez, près de Cluses (Haute-Savoie).

A la suite d'une étude de sols basée sur deux essais pressiométriques descendus respectivement à 30,50 m et 33 m, il avait été décidé d'appuyer les fondations de cet ouvrage d'art important sur des pieux métalliques battus de 25 m de longueur, travaillant essentiellement au frottement latéral.

Le terrain est constitué par des couches sablo-graveleuses plus ou moins compactes, avec des intercalations de limons et silts, surmontées de remblais superficiels. Sur 10 m d'épaisseur, existent des lentilles de sols organiques et tourbe.

Un artésianisme important avait été détecté entre 20 m et 28 m de profondeur, dans des couches sablo-graveleuses moyennement compactes.

Pénétration statique en milieux pulvérulents très denses

En cours de chantier, il est apparu que les pieux s'enfonçaient pratiquement sous leur propre poids, les essais de chargement ont montré que la force portante prévue n'était pas atteinte. Il a donc été décidé d'allonger les pieux de 13 m, ce qui n'a pas été suffisant.

Il a donc fallu allonger à nouveau les pieux de 13 m pour atteindre ainsi une longueur totale de 51 m.

Si les renforcements ainsi apportés aux pieux ont donné satisfaction pour les deux piles en rive et pour la culée rive droite, par contre, dès la mise en service de l'ouvrage, la culée rive gauche a subi très rapidement des déformations importantes, ce qui a déclenché une expertise judiciaire pour déterminer la cause des désordres et les travaux confortatifs à réaliser.

Pour déterminer les caractéristiques géotechniques des couches traversées par les pieux et des couches sous-jacentes, il a été alors exécuté quatre essais de pénétration statique Amap/sols qui ont atteint aisément les profondeurs 70, 75 et 75 m et même 82 m [Sanglerat *et al.*, 1995].

À la suite de ces essais, le pont a été fermé à la circulation pendant trois mois, pour permettre d'améliorer la sécurité de la culée rive gauche par les travaux suivants :

- enlèvement des remblais sur une hauteur de 6 m pour les remplacer par des remblais allégés en polystyrène expansé ;

- mise en place de 8 drains de décharge à débit contrôlé dans la nappe artésienne.

Naturellement, ces travaux confortatifs ont été exécutés sous la direction d'un maître d'œuvre assisté par un géotechnicien.

6

Pénétration dynamique

On sait depuis longtemps qu'il faut absolument proscrire la pénétration dynamique en milieu cohérent saturé [Sanglerat, 1979; Sanglerat *et al.*, 1984].

Dans les cas où ce type de pénétration est admissible, l'un des problèmes majeur et délicat est la transposition des mesures faites en valeur de résistance dynamique conventionnelle en utilisant, par exemple, la formule des Hollandais. Par ailleurs, l'interprétation de ces résistances dynamiques conventionnelles constitue un sujet qui peut prêter à discussions et à controverses.

Tout problème à ce propos est évité avec le nouveau pénétromètre statique-dynamique.

En effet, grâce à sa puissance, la pénétration statique avec le cône de 12 cm² peut atteindre 140 à 146 MPa et même 148 MPa (cf. § 7). **De ce fait, la pénétration dynamique n'est jamais utilisée que pour traverser des couches extrêmement résistantes.** Les contrôles statiques effectués systématiquement permettent d'ailleurs de reprendre la pénétration statique dès que celle-ci chute au-dessous de 130 à 140 MPa.

En conséquence, lorsque l'on réalise de la pénétration dynamique, on sait que la résistance statique est toujours très élevée et supérieure en général à 130 ou 140 MPa ; il n'y a donc plus lieu de se préoccuper de la résistance dynamique conventionnelle, ni de sa transposition en contraintes admissibles. Ceci constitue un avantage important du nouveau pénétromètre statique-dynamique.

L'un des reproches qui est couramment fait à la pénétration, surtout à la pénétration statique et quelquefois même à la pénétration dynamique, est que ces essais *in situ* sont bloqués sur des couches très compactes et que l'on ne peut savoir ce qui se passe au-dessous de ces horizons résistants.

Effectivement, ce reproche est souvent justifié, mais cet inconvénient n'existe plus avec le nouveau pénétromètre statique-dynamique.

Nous avons montré, dans les pages qui précèdent, que cet appareil permet de pénétrer, sur de grandes profondeurs, la molasse lyonnaise, pourtant très compacte et présentant souvent une cohésion non négligeable. Pour prouver l'efficacité de la pénétration statique dans les milieux pulvérulents très denses, nous ne pouvons mieux faire que présenter, à titre d'exemples, six chantiers de la région Rhône-Alpes.

- Sassenage (Isère) (Fig. 6)
- Lyon-La Guillotière (Fig. 7)
- Golf de Vilette d'Anthon (Isère) (Fig. 8)
- Pont autoroutier à Jarrie (Isère) (Fig. 9)
- Échirolles (Isère) (Fig. 10)
- Lyon-Porte Dauphine (Fig. 11)

Les valeurs très élevées de q_{c12} mises en évidence par ces différents diagrammes, peuvent couramment être rencontrées dans les sols sablo-graveleux, très compacts.

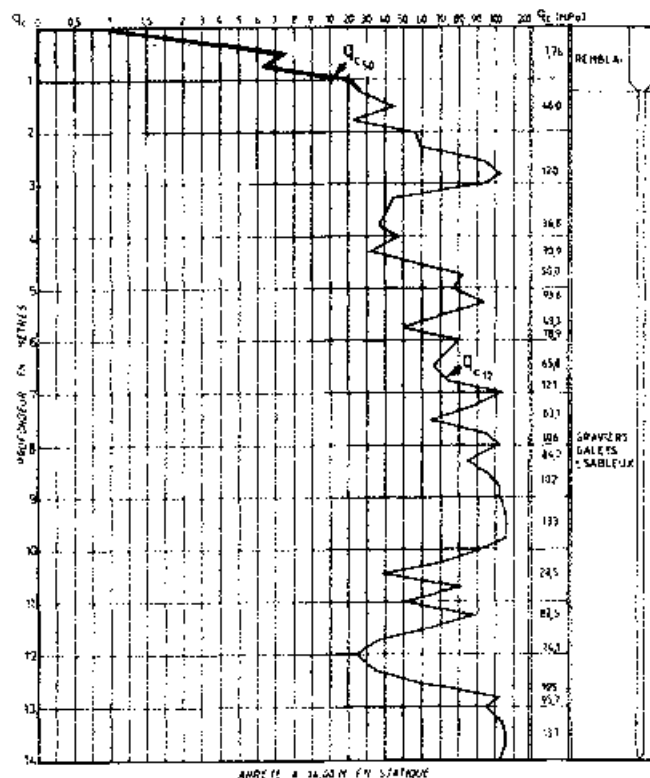


FIG. 6 Pénétration statique dans un gravier sableux très dense à Sassenage (Isère).
Static penetration in very dense sandy gravel in Sassenage (Isère).

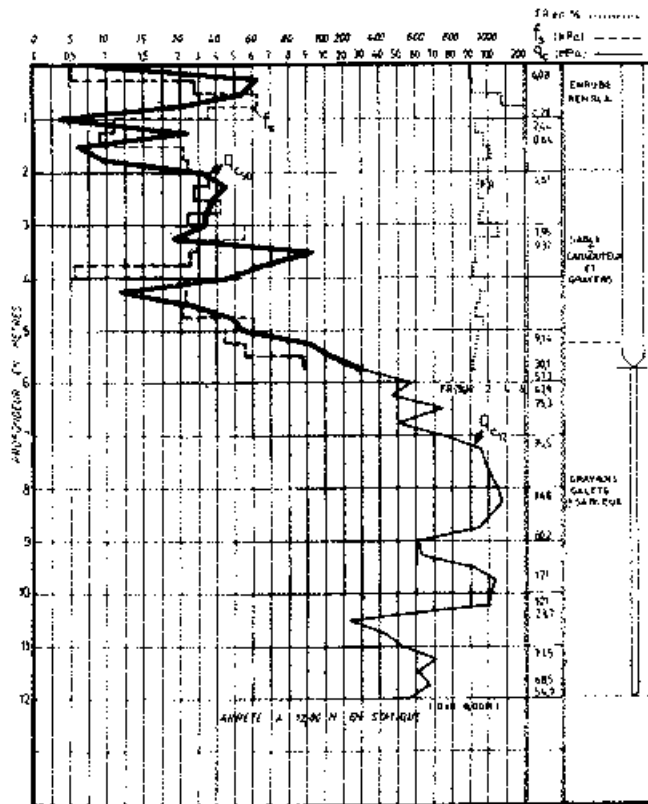


FIG. 7 Pénétration statique dans un gravier sableux très dense, ZAC de la Porte-de-la-Guillotière à Lyon (Rhône).
Penetration in very dense sandy gravel with cobbles in Lyon (Rhône).

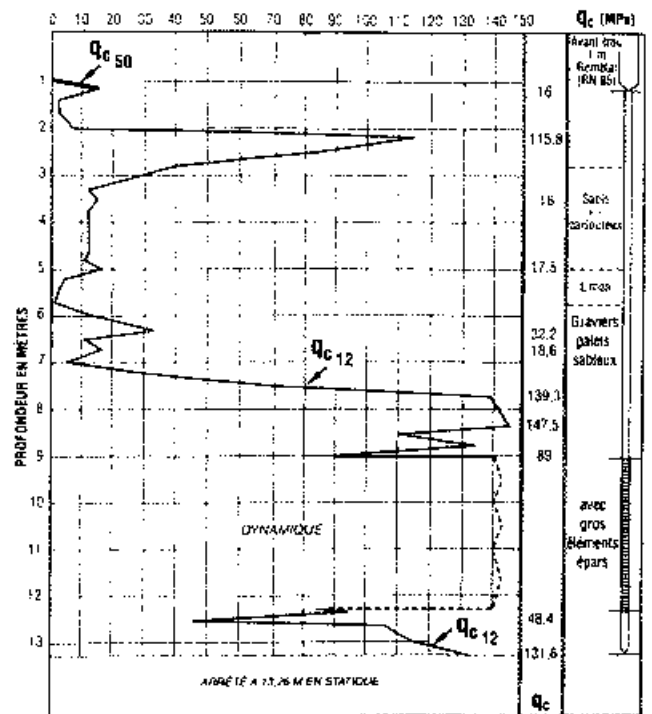


Figure 9 - Pénétration dans un gravier sableux très dense

FIG. 9 Pénétration dans un gravier sableux très dense, pont autoroutier à Jarrie (Isère).
Penetration in very dense sandy gravel with cobbles in Jarrie (Isère).

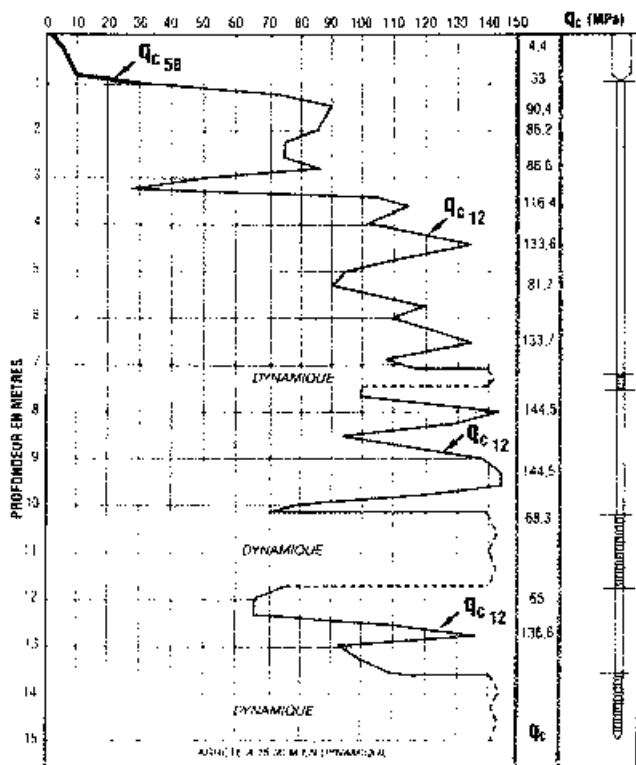


Figure 8 - Pénétration dans un gravier sableux très dense

FIG. 8 Pénétration dans un gravier sableux très dense à Villette-d'Anthon (Isère).
Penetration in very dense sandy gravel in Villette-d'Anthon (Isère).

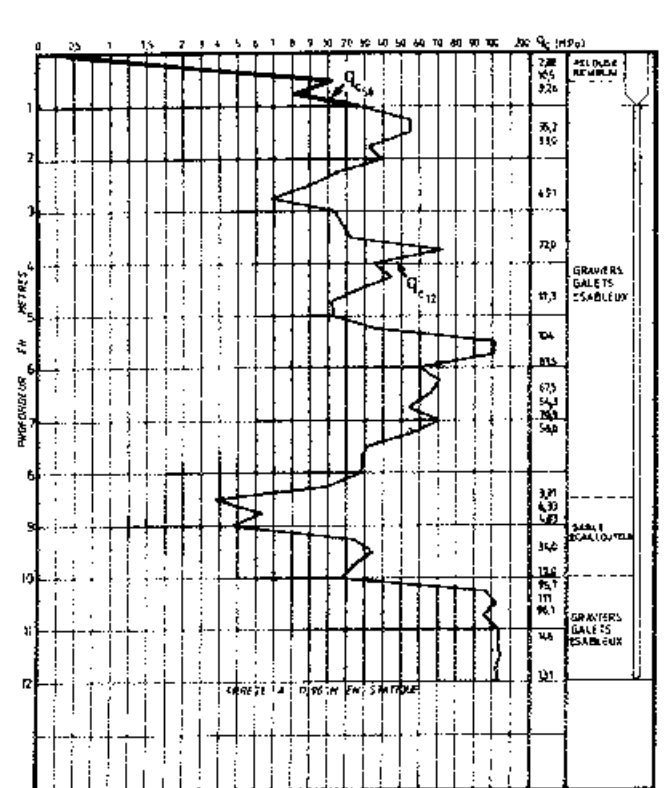


FIG. 10 Pénétration statique en milieu pulvérulent très dense à Échirolles (Isère).
Penetration in very dense sandy gravel with cobbles in Échirolles (Isère).

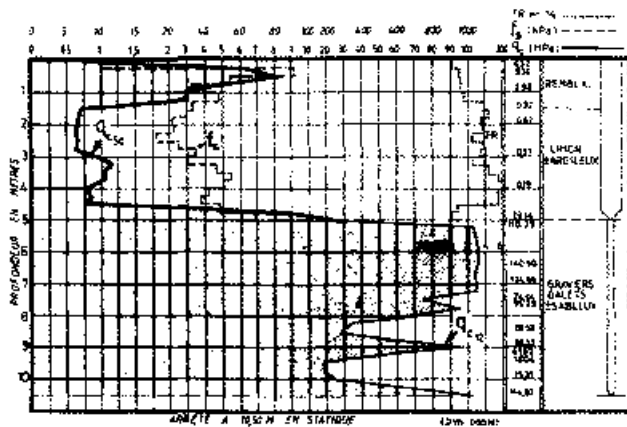


FIG. 11 Pénétration dans un gravier sableux très dense, porte Dauphine à Lyon.
 Static penetration in very dense gravel and sandy cobbles in Lyon.

8

Cas des milieux cohérents compacts

La pénétration statique n'a jamais posé aucun problème pour reconnaître les sols cohérents compressibles (argile molle, vase, tourbe, limon, silt). C'est même le meilleur essai *in situ* pour ces types de sol, en particulier lorsqu'ils sont sous la nappe phréatique.

Par contre, le grand reproche que l'on pouvait faire jusqu'en 1992 aux pénétromètres statiques, c'était d'être bloqués sur des couches résistantes, même minces, qui pouvaient surmonter des zones beaucoup plus faibles. Cela constituait un handicap indéniable.

Par ailleurs, jusqu'à présent, tous les pénétromètres statiques rencontraient le refus sur le toit des sols cohérents compacts soit en raison d'une résistance de pointe élevée, soit, le plus souvent, en raison du frottement latéral total cumulé très important.

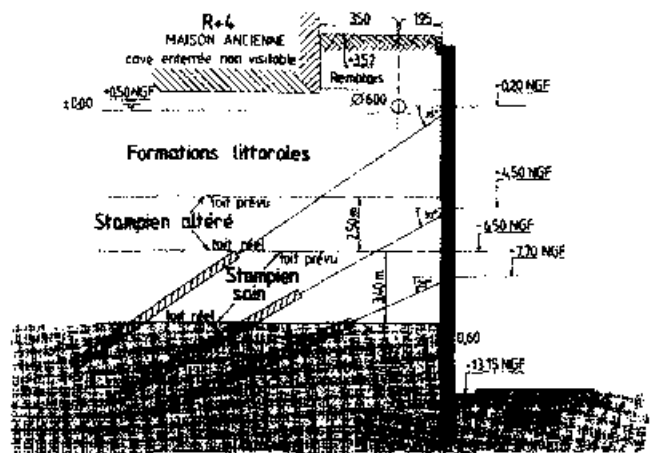
Si dans le cas des milieux pulvérulents, la pénétration dynamique peut être nécessaire pour traverser des couches indurées ou comportant de gros éléments, par contre il faut reconnaître que dans les milieux cohérents très compacts (type marne surconsolidée), particulièrement sous la nappe phréatique, la pénétration dynamique ne permet pas de progresser d'une manière significative par rapport à la pénétration statique usuelle. Donc, seule la puissance du pénétromètre en statique permet de reconnaître ces types de sol. Or, force est de constater que, jusqu'à présent, tous les pénétromètres étaient bloqués sur le toit des marnes compactes. Par contre, le nouveau pénétromètre statique, compte tenu de sa puissance et de sa conception, *fonctionnant tout d'abord avec une pointe de grand diamètre, puis ensuite avec une pointe de petit diamètre, permet de s'affranchir en très grande partie de l'effet néfaste du frottement latéral cumulé et permet de poursuivre la pénétration sur de plus grandes profondeurs.*

Citons un exemple récent survenu dans la région méditerranéenne. On se trouve dans un port où les Grecs et les Romains ont exercé une activité commerciale intense et où subsistent des vestiges archéologiques intéressants.

Le sol est constitué de la façon suivante :

- 0 à 2 m : remblais divers ;
- de 2 à 8 m : alluvions modernes de très mauvaise qualité, pouvant comporter des vases et des tourbes ;
- au-dessous, marnes du Stampien compactes dont la partie supérieure est altérée ou très altérée.

Pour réaliser, dans un tissu urbain fort dense, un parking de 48 m x 77 m, profond de 17 m environ, il a été prévu une paroi moulée de 60 cm d'épaisseur, avec trois lits d'ancrage précontraints en partie courante (Fig. 12) et des bracons horizontaux à 45 degrés dans les angles.



Coupe de la paroi avec trois lits d'ancrages précontraints.
 Cross-section of concrete slurry wall showing 3 levels of pre-stressed anchors.

Deux immeubles importants, en maçonnerie de pierre du XVI^e siècle, se trouvaient à proximité de la fouille, côté est et côté nord.

L'étude géotechnique initiale comportait très peu de sondages profonds mais il était spécifié dans les pièces écrites du marché des entreprises, que le site était bien connu grâce à de nombreuses reconnaissances dans le cadre du creusement de plusieurs tunnels à proximité. De ce fait, les caractéristiques géotechniques des différentes couches existant sur le site étaient définies dans le CCTP par un tableau, tel que le tableau I reproduit ci-après.

Lorsque la fouille a été excavée, la paroi moulée s'est déformée beaucoup plus que prévu, elle s'est même fissurée à certains endroits, et des tassements importants, de 30 mm à 60 mm sont survenus à proximité de l'angle nord-est du parking, entraînant des désordres graves dans l'un des bâtiments anciens en maçonnerie de pierres très proches.

Après le sinistre, des essais *in situ* ont été réalisés, notamment avec le pressiomètre Ménard et avec deux types de pénétromètres statiques : un pénétromètre mécanique et un pénétromètre électrique.

Le pressiomètre n'a pas permis de déterminer avec précision ni le toit exact du Stampien altéré, ni celui du Stampien sain, et les deux pénétromètres n'ont pas pu atteindre le Stampien sain car ils ont été bloqués entre 8 m et 12 m de profondeur dans les premiers décimètres du Stampien altéré.

Or, il fallait reconnaître exactement, dans la zone des tassements les plus importants et des déformations anormales de la paroi, quelles étaient les épaisseurs exactes des couches de terrain qui exerçaient des poussées sur la paroi litigieuse.

On a donc demandé la réalisation de quatre essais avec le nouveau pénétromètre statique qui ont atteint sans difficulté les profondeurs de 15,75 m, 20,02 m, 20,18 m et 21,14 m, en traversant sur plusieurs mètres non seulement le Stampien altéré, mais également le Stampien sain.

Le diagramme de la figure 13 est fort explicite, il montre que, jusqu'à 10 m de profondeur, on est dans les alluvions modernes de très médiocre qualité, fort compressibles, donc que le toit du stampien altéré est beaucoup plus bas que prévu puisqu'il était annoncé à 7,50 m de profondeur.

Par ailleurs, entre 10 m et 13,50 m, on constate que la résistance de pointe q_{ps} et le frottement latéral f_s augmentent régulièrement, mais sans être très élevés. On se trouve donc dans le Stampien altéré. Enfin, le Stampien sain, qui était annoncé à 10 m de profondeur, se trouve en réalité 13,50 m de profondeur.

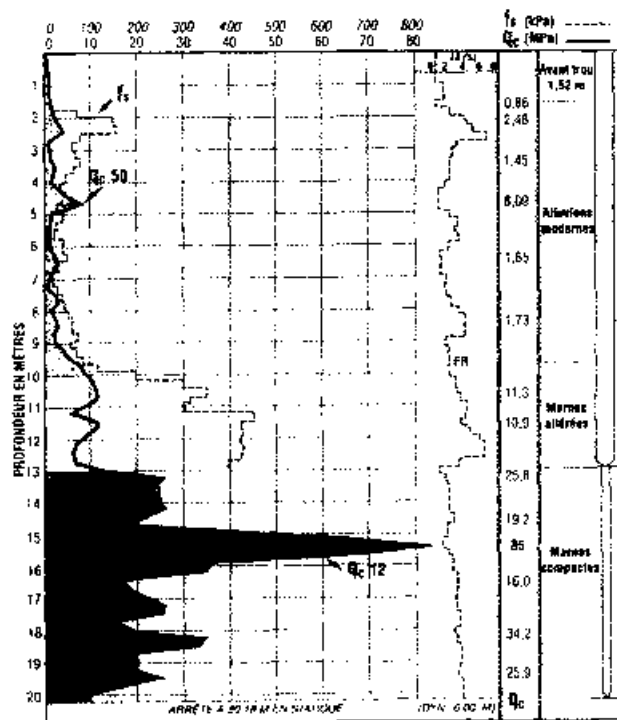


FIG. 13 Pénétration statique dans les marnes compactes (Marseille).
Static penetration in hard claystone.

Le tableau II ci-dessous donne les caractéristiques pénétrométriques de ces couches.

La figure 12 donne une coupe nord-sud du chantier avec les toits prévus et réels du stampien altéré, ainsi que les toits prévus et réels du stampien sain.

Naturellement, lorsqu'il y a des erreurs de niveau aussi importantes, les poussées sont beaucoup plus grandes que prévu. Il n'est donc pas étonnant que les parois aient été fortement déformées et que cela ait entraîné des tassements importants dans les zones adjacentes très compressibles, d'où des tassements différentiels importants ayant provoqué des désordres graves dans des maçonneries de pierre fort vétustes (XVI^e siècle).

TABLEAU II. Caractéristiques pénétrométriques.

Stampien altéré
$4 < q_{ps} < 9$ MPa
$100 < f_s < 400$ kPa
$2 < FR < 5\%$
Stampien sain
$10 < q_{ps} < 35$ MPa

9 Contrôle des remblais sablo-graveleux

La pénétration statique est un excellent moyen pour contrôler la compacité, donc la qualité, d'un remblai sablo-graveleux, que ce soit à terre ou, a fortiori, sous l'eau.

Rappelons les critères de contrôle que l'expérience nous a permis d'établir il y a de longues années (Sanglerat, 1979).

Relation entre compactage et q_{ps}

Type	Remblais		q_{ps} (MPa)
	Compacité		
Gravier propre	Lâche		1,5 à 2,5
Gravier sableux	Lâche		3 à 4,5
Gravier sableux	Moyennement compacté		8 à 12
Gravier sableux	Très bien compacté		> 20

TABLEAU I. Caractéristiques géotechniques des différentes couches selon le CCTP.

Faciès	Densité		K kPa/m	Court terme		Long terme	
	γ	γ'		ϕ'	c (kPa)	ϕ'	c' (kPa)
Remblais	2	1	5 000	30	0	30	0
Formations littorales	1,8	0,8	5 000	25	15	30	0
Stampien altéré	2,1	1,1	25 000	20	80	25	40
Stampien sain	2,1	1,1	30 000	25	200	30	130

Naturellement, lorsque les remblais sablo-graveleux sont très denses, le pénétromètre électrique ne peut être utilisé, car sa pointe risquerait d'être endommagée. Par contre, le nouveau pénétromètre statique-mécanique est très efficace.

Nous avons eu l'occasion de l'utiliser à plusieurs reprises, comme plusieurs de nos confrères, lors d'expertises judiciaires, pour déterminer notamment l'épaisseur et la qualité de remblais sablo-graveleux sous dallage de béton (entrepôts, usines, etc.). Il s'agissait en général de rechercher à qui pouvaient être imputés les tassements différentiels survenus dans les dallages.

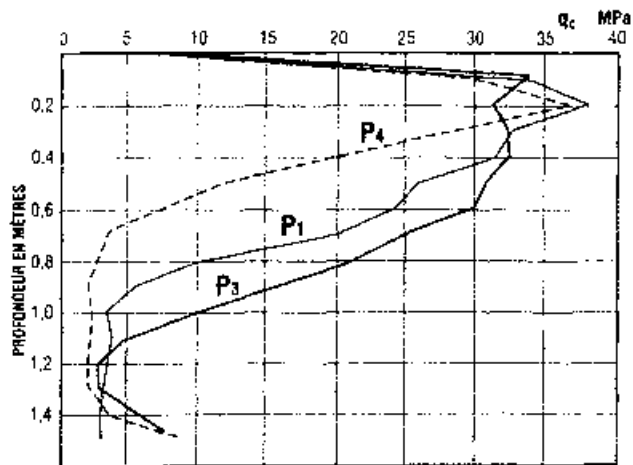
Les mesures q_c enregistrées tous les 2 cm permettent de tracer des diagrammes tels que ceux reproduits sur la figure 14. Cette figure montre immédiatement que si dans la couche supérieure du remblai la compacité est très bonne ($q_c > 20$ MPa), par contre ce n'est plus le cas en partie inférieure. On constate également que l'épaisseur du gravier est fort irrégulière selon les emplacements.

Il est bien évident qu'aucun autre type d'essais n'est capable de fournir une telle précision, ni pour les épaisseurs, ni pour les variations de compacité à différentes profondeurs.

10 Contrôle des colonnes ballastées

La réglementation française (DTU 13.2 *Fondations profondes*) stipule que les colonnes ballastées peuvent être réceptionnées grâce au pénétromètre statique, dès lors que :

$$q_c > 10 \text{ MPa.}$$



Contrôle de la compacité d'un remblai sablo-graveleux sous dallage béton (Verdun-sur-le-Doubs).
Fill density check under concrete floor.

Mais trop souvent, les cônes de petite section (10 à 15 cm²) des pénétromètres usuels sont déviés, par certains graviers, hors de la colonne elle-même. Ainsi q_c chute car la pointe pénètre alors dans le sol naturel adjacent non densifié.

Les mesures obtenues sont donc sans signification ; elles peuvent même conduire à des conclusions erronées (colonne jugée mal densifiée).

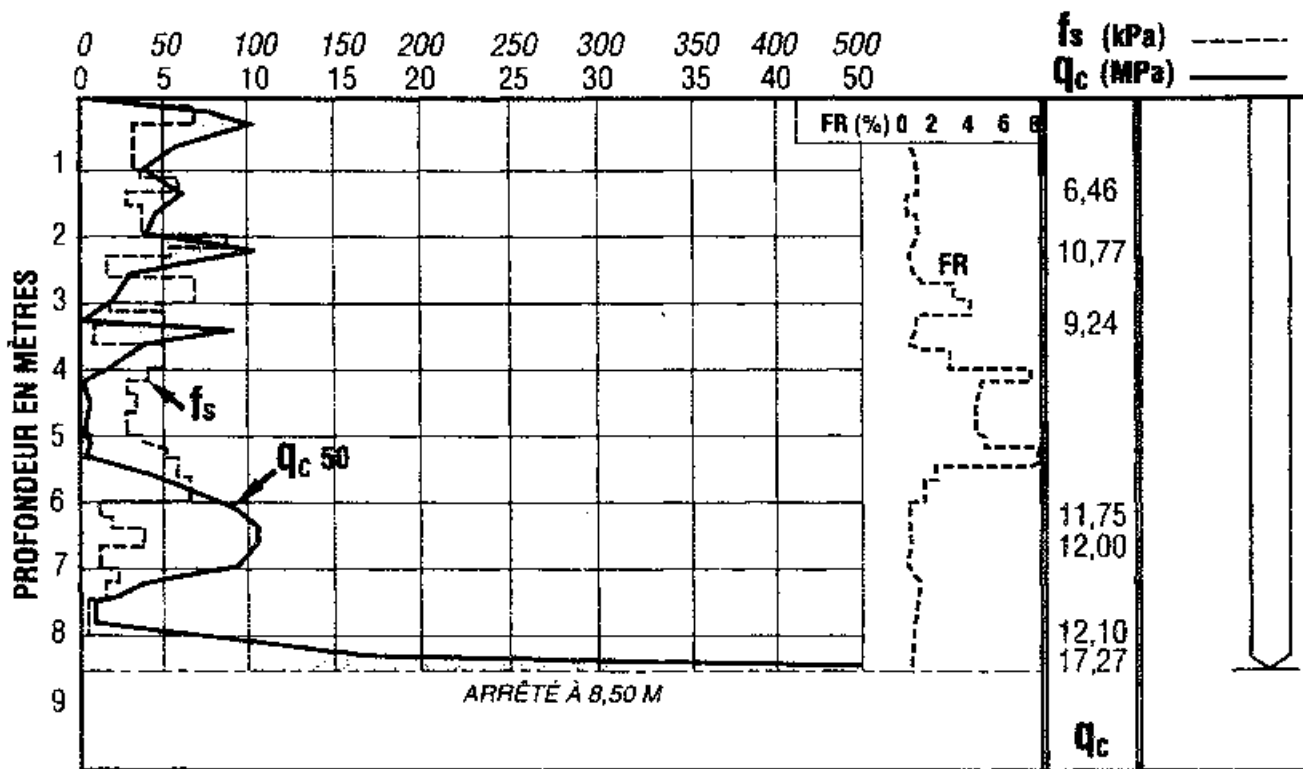
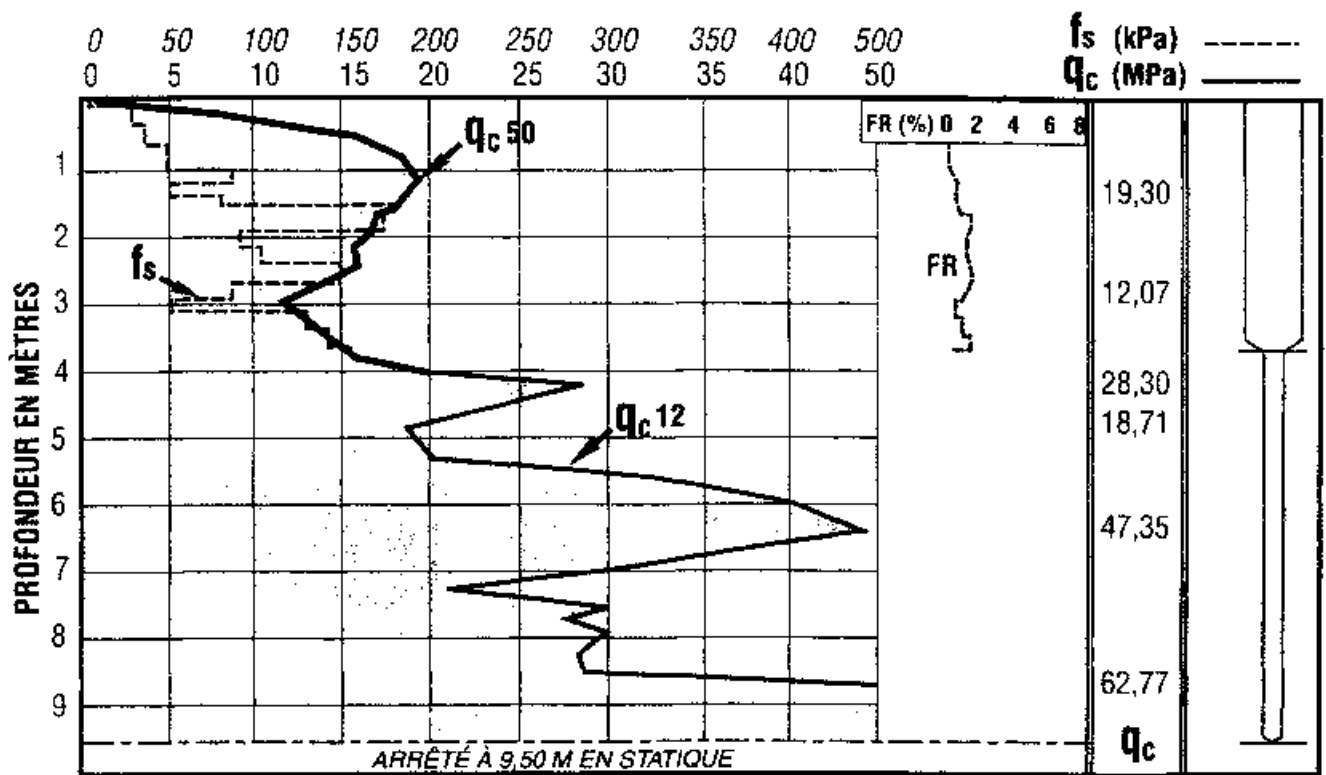


FIG. 15A. Terrain non traité.
Untreated soil.



10 Pénétration statique dans colonne ballastée (région parisienne).
Static penetration in densified stone column.

Mais le nouveau pénétromètre avec sa grande pointe de 50 cm², grâce à sa grande rigidité et à sa grande puissance, est capable de traverser la totalité des colonnes ballastées sans être dévié, ni bloqué par un gravier de grandes dimensions. On peut citer par exemple un résultat obtenu récemment en région parisienne (Fig. 15). La colonne testée est continue et d'excellente qualité :

$$12 < q_c < 47 \text{ MPa}$$

Le nouveau pénétromètre statique permet de distinguer rapidement et sûrement les colonnes mal densifiées qui doivent être reprises, et les colonnes bien densifiées qui peuvent être réceptionnées.

11

Coût des essais

L'expérience pratique de ces dernières années en France a montré que les reconnaissances faites avec le pénétromètre statique-dynamique étaient d'une manière générale beaucoup moins coûteuses que les autres méthodes souvent utilisées, tout en fournissant beaucoup plus de renseignements, puisque les mesures sont faites en continu et enregistrées tous les deux centimètres. Nous avons constaté que le prix par mètre de pénétration d'une reconnaissance est en général :

- moitié moins élevé que celui d'une reconnaissance avec des essais pressiométriques exécutés selon les règles de l'art ;
- de 30 à 33 % du coût d'un sondage carotté avec prise d'échantillons et enregistrement de paramètres.

12

Pénétration dans les graviers hollandais

A l'occasion du 12^e Congrès européen de Mécanique des Sols à Amsterdam, du 7 au 10 juin 1999, le pénétromètre AMAP'sols a été présenté aux participants. De très nombreux géotechniciens ont été intéressés par ses possibilités.

En cette même période, la Société Van den Berg de Heerenveen était confrontée à un problème difficile, dans l'Est de la Hollande, à Nijmegen. Cette ville, que les Français appellent Nimègue, est située près de la frontière allemande, à proximité du Rhin.

Pour éviter tous les désagréments dus à la neige, au givre et aux conséquences catastrophiques du dégel, le grand club de football NEC a décidé d'installer des tubes de chauffage encastrés horizontalement à 25 cm sous sa pelouse, les apports calorifiques provenant d'échangeurs de chaleur foncés verticalement à grande profondeur, et d'une pompe à chaleur. Naturellement, en été, le même système pourrait être utilisé pour « climatiser » les bâtiments ou simplement pour restituer des calories dans le sol afin de ne pas perturber son équilibre thermique global à long terme (héliogéothermie).

- Les avantages de ce système non polluant sont :
- diminution d'utilisation de combustible fossile ;
 - moins de CO₂ dans l'atmosphère ;
 - au moins 50 % d'économie sur les frais de chauffage ;
 - moins d'entretien.

Les couches du terrain, étant généralement molles aux Pays-Bas, on utilise le pénétromètre pour mettre en place les échangeurs jusqu'à la profondeur désirée. Pour ce faire, on enfonce tout d'abord des tubes fourreaux métalliques Ø 56/40 mm, avec une pointe perdue Ø 64 mm. Dans ces tubes, on introduit les échangeurs en polyéthylène Ø 30 mm. Puis on arrache les tubes fourreaux en laissant les échangeurs en place, ainsi que la pointe perdue.

Mais, à Nimègue, le terrain est constitué de sable de très grande épaisseur, comportant localement, à diverses profondeurs, soit des couches peu résistantes de loess, argile et tourbe, soit des couches de graviers denses, avec des zones indurées. L'épaisseur de ces couches intercalées peut varier de 1 à 3 ou 4 m. Il s'agit des alluvions du Rhin. La nappe phréatique, située vers 9 mètres de profondeur, peut fluctuer de plusieurs mètres.

Il avait été décidé d'utiliser deux pénétromètres statiques hollandais pour fonder ces tubes fourreaux verticalement, mais ceux-ci ont été bloqués, en certaines zones, à 16 mètres de profondeur environ sur une couche de graviers compacts du Rhin. Or, il fallait descendre impérativement à au moins 28 mètres pour avoir un écart de température suffisant pour l'eau des pompes à chaleur.

Van den Berg, qui a construit en grande partie le nouveau pénétromètre, en 1992, sachant que ce dernier était plus puissant que tous les autres pénétromètres statiques existants, a proposé d'essayer le pénétromètre français pour résoudre son problème.

Non seulement le nouveau pénétromètre a permis d'atteindre la profondeur prescrite de 28 mètres, mais il a pu, en outre, enfonce sans difficulté, alternativement en statique et en dynamique quand cela était nécessaire, les tubes fourreaux Ø 56/40 mm jusqu'à 40 mètres de profondeur. Cela a constitué un grand succès qui, en outre, est plus favorable pour la température de l'eau recherchée (11° à 28 m et 12° à 40 m). La pointe perdue de Ø 64 mm est pourvue d'un clips qui retient le polyéthylène Ø 30 mm lors de la remontée du tube Ø 56/40 mm.

C'est ainsi qu'en juin 1999, le nouveau pénétromètre a pu enfonce, dans des délais très courts, 44 tubes de 40 mètres dans les graviers compacts du Rhin qui avaient souvent bloqué, vers 16 mètres, les autres appareils.

Le succès de ce pénétromètre, dans le pays qui a vu la naissance de la pénétration et son large développement, méritait d'être signalé aux lecteurs de la RFG, car il confirme les résultats exceptionnels obtenus par cet appareil dans les graviers du Rhône et autres rivières des Alpes.

Précisons qu'un essai de pénétration statique mécanique a été réalisé pour déterminer les caractéristiques des différentes couches alluvionnaires du Rhin. Il est représenté sur la figure 16. Il met en évidence les faits suivants :

1. la pointe mécanique Ø 80 mm, donnant $q_{c,80}$, a été bloquée à 15,50 m sur le toit des graviers denses du Rhin qui avait arrêté initialement les tubes fourreaux sensiblement à cette profondeur ;

2. la pointe mécanique Ø 39 mm, donnant $q_{c,39}$, a atteint sans difficulté, en statique, 40 m de profondeur.

Les graviers du Rhin, entre 15,50 m et 18,50 m, ont pour caractéristiques pénétrométriques :

$$18 < q_{c,39} < 46 \text{ MPa}$$

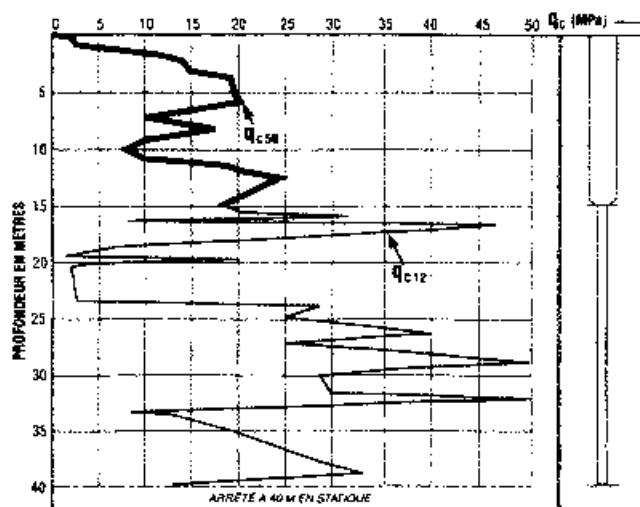


FIG. 16. Pénétration statique dans les graviers sableux denses du Rhin à Nimègue.
Static penetration in very dense sandy gravel in Nijmegen.

Il n'est donc pas étonnant que le fonçage initial des fourreaux provisoires des échangeurs de chaleur, équipés d'une pointe perdue Ø 64 mm, n'ait pu, compte tenu de l'effort de pointe et du frottement latéral total, être poursuivi jusqu'à 40 m de profondeur par les pénétromètres locaux.

Cette expérience de Nimègue montre que ces derniers n'ont pas été utilisés dans leur domaine d'application classique où ils conservent toutes leurs qualités.

Remarque :

Dans le cas d'un terrain pollué en surface, si l'on doit recourir au forage d'un avant-trou pour la mise en place d'échangeurs de chaleur, il faut, afin d'éviter la transmission de la pollution aux couches profondes, utiliser des techniques spéciales qui sont bien connues aujourd'hui mais onéreuses.

Naturellement, foncer alors des tubes fourreaux équipés d'une pointe perdue, à l'aide d'un pénétromètre, constitue une méthode sûre et beaucoup plus économique.

Conclusion

Les résultats présentés ci-dessus montrent que trois importantes conclusions peuvent être tirées.

- 1) Le nouveau pénétromètre statique-dynamique permet d'atteindre des pénétrations record dans les sols denses ou compacts, qu'ils soient pulvérulents ou cohérents.
- 2) Toutes les variations de résistance sont très bien mises en évidence, aussi bien dans les sols denses ou moyennement denses que dans les sols très compressibles.
- 3) Une reconnaissance à l'aide du nouveau pénétromètre statique-dynamique correspond au meilleur rapport qualité/prix.

Il est évident que ce nouveau pénétromètre statique-dynamique permet, par la large gamme des

pointes pouvant être utilisées, de reconnaître des sols, même très résistants, d'une manière efficace et rapide. Ses déplacements et sa mise en place sont grandement facilités par le chenillard et ses vérins (Fig. 2).

Par ailleurs, il met à la disposition de l'utilisateur le piézocône et l'environcône qui permettent de recueillir des données complémentaires extrêmement utiles dans certains cas particuliers et notamment dans la lutte

antipollution, ainsi que dans la détermination des terrains liquéfiables sous l'action des séismes [Robertson, 1995; Robertson *et al.*, 1998].

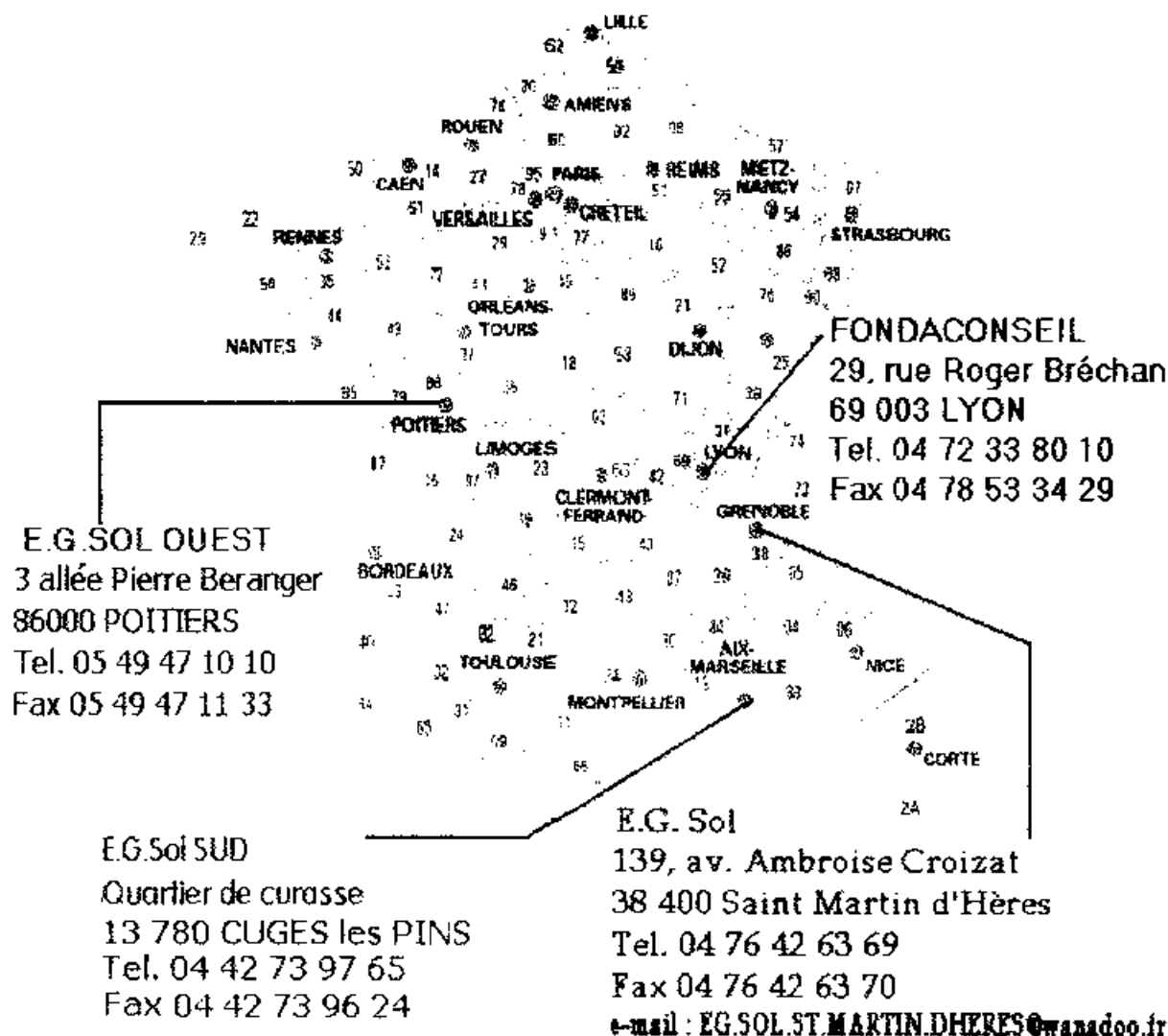
Nul doute que cet appareil ne soit appelé à un large développement, non seulement en France mais également dans de nombreux autres pays, car il constitue, à notre avis, un grand progrès de la technique de pénétration en 1999.

Bibliographie

- [1] Begemann H.D.S. - « The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile » 6th CFMSE, Montreal, vol. 1, 1975, p. 17-20.
- [2] Schmertmann J.H. - « Static cone penetrometer for soil exploration », *Civil Engineering*, vol. 37, n° 6, 1967, p. 71-73.
- [3] Mitchell J.K., Brandon T.L. - « Analysis and use of CPT in earth quake and environment engineering », ISC'98, 1998, p. 69-97.
- [4] Sanglerat G. - « It took 2 000 years of penetration testing to arrive at the AMAP'sols static-dynamic penetrometer ». Symposium on Development in Geotechnical Engineering, Bangkok, 1994, p. 101-105.
- [5] Sanglerat G., Petit-Maire M., Bardot F., Savasta P. - « Additional test results of the AMAP'sols static-dynamic penetrometer » CPT'95, Linköping (Sweden), 1995, vol. 2, p. 85-91.
- [6] Sanglerat G. - *The penetrometer and soil exploration*. Second enlarged edition, Amsterdam, New York, Elsevier, 1979, 448 p.
- [7] Sanglerat G., Olivari G., Cambou B. - *Practical Problems in SMFE*. Vol. 1. Physical characteristics of soils, plasticity, settlement calculations, interpretation of *in situ* tests. Amsterdam, Elsevier, 1984, 283 p.
- [8] Robertson P.K. - « Application of CPT to evaluate liquefaction potential » CPT'95, Linköping (Sweden), vol. 3, 1995, p. 57-79. Swedish Geotechnical Society.
- [9] Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. - *CPT in geotechnical practice*, New York, Blackie Academic, 1998, 312 p.
- [10] Robertson P.K., Weide C.E. - « Evaluation cyclic liquefaction potential using the CPT », *Canadian Geotech.*, 335, 1998, p. 442-459.

E.G.SOL - FONDA CONSEIL

**EXPERTISE
CONTROLE CHANTIER
GLISSEMENT DE TERRAIN
GEOLOGIE - GEOTECHNIQUE
MAITRISE D'ŒUVRE GENIE CIVIL
HYDROGEOLOGIE - ASSAINISSEMENT
ENVIRONNEMENT - ETUDE D'IMPACT - EAU**





Mesure selon recommandations internationales et NORMES FRANCAISES

PENETRATION STATIQUE DYNAMIQUE LOURDE

Capacité d'enfoncement : 220 kN

Mesure statique jusqu'à 150 MPa

PIEZOCÔNE - Mesures "in situ"
Pression interstitielle et dissipation

ENVIROCÔNE - Mesures "in situ"
pH potentiel REDOX et température



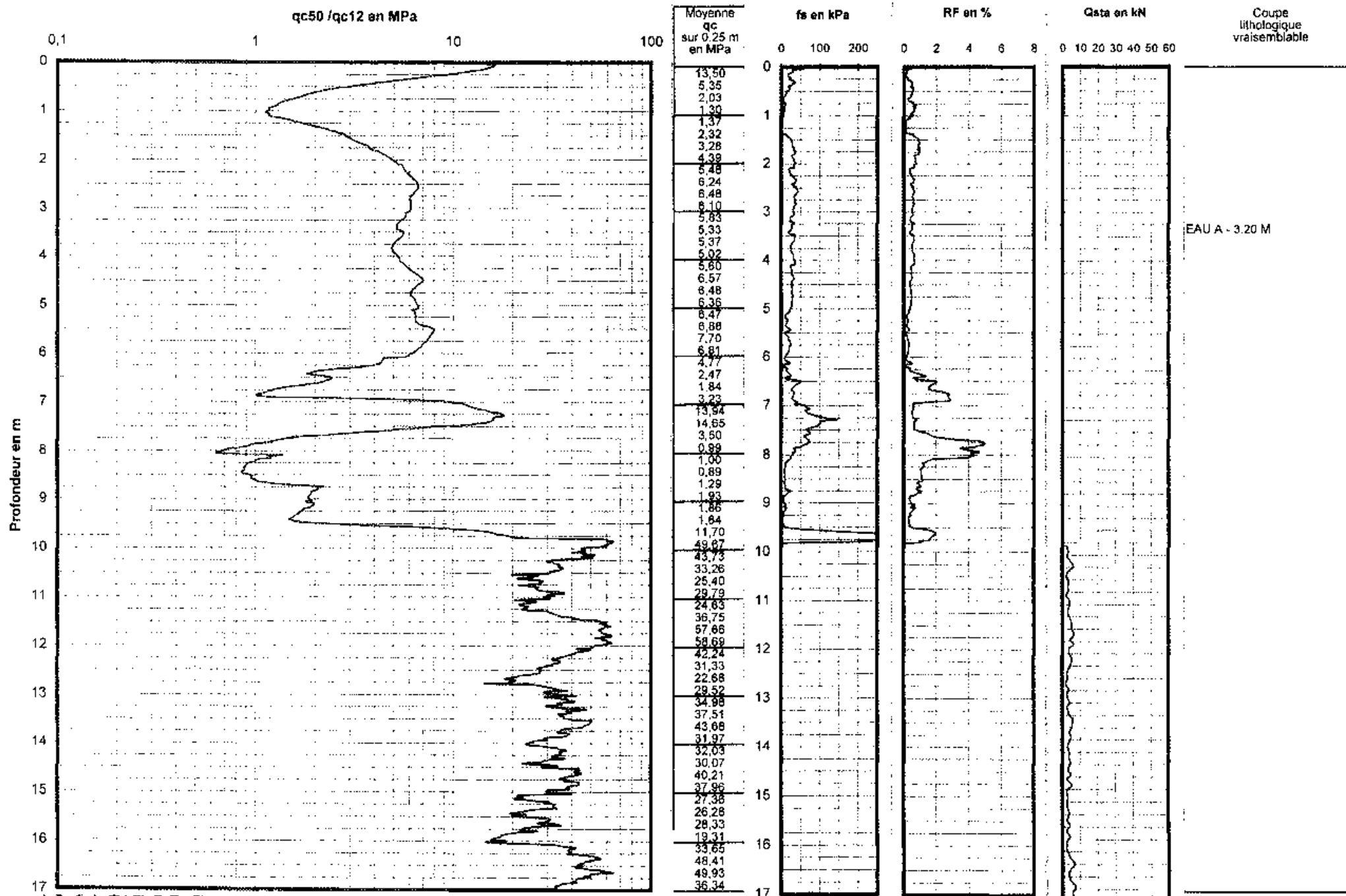
APPENDIX 2

Sondeerresultaten AMAP'sols DS1 t/m DS10

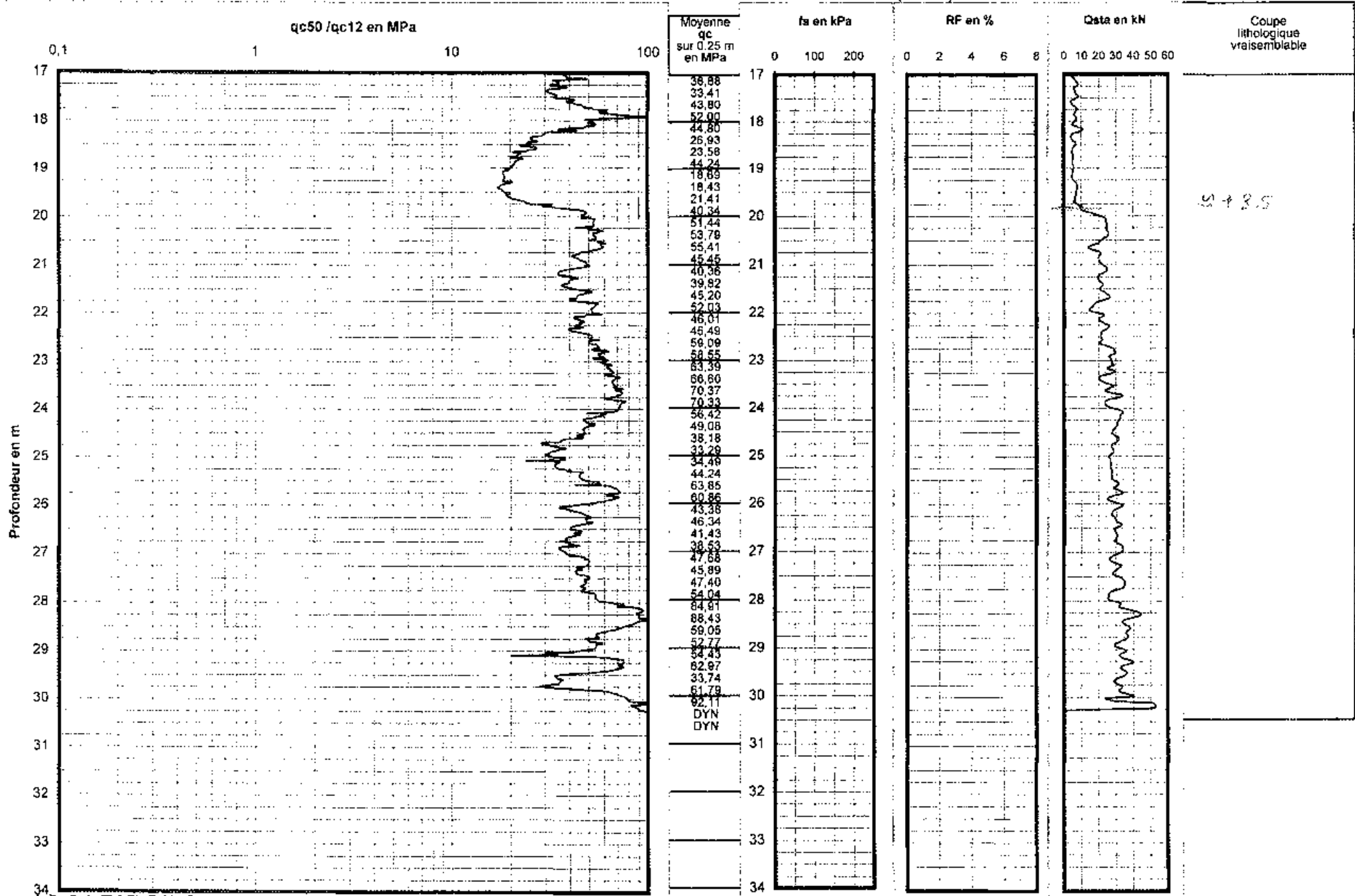
MV : 22.33 + MAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 30.74 M EN DYNAMIQUE (Refus)

9 Janvier 2002



1 (4/1)

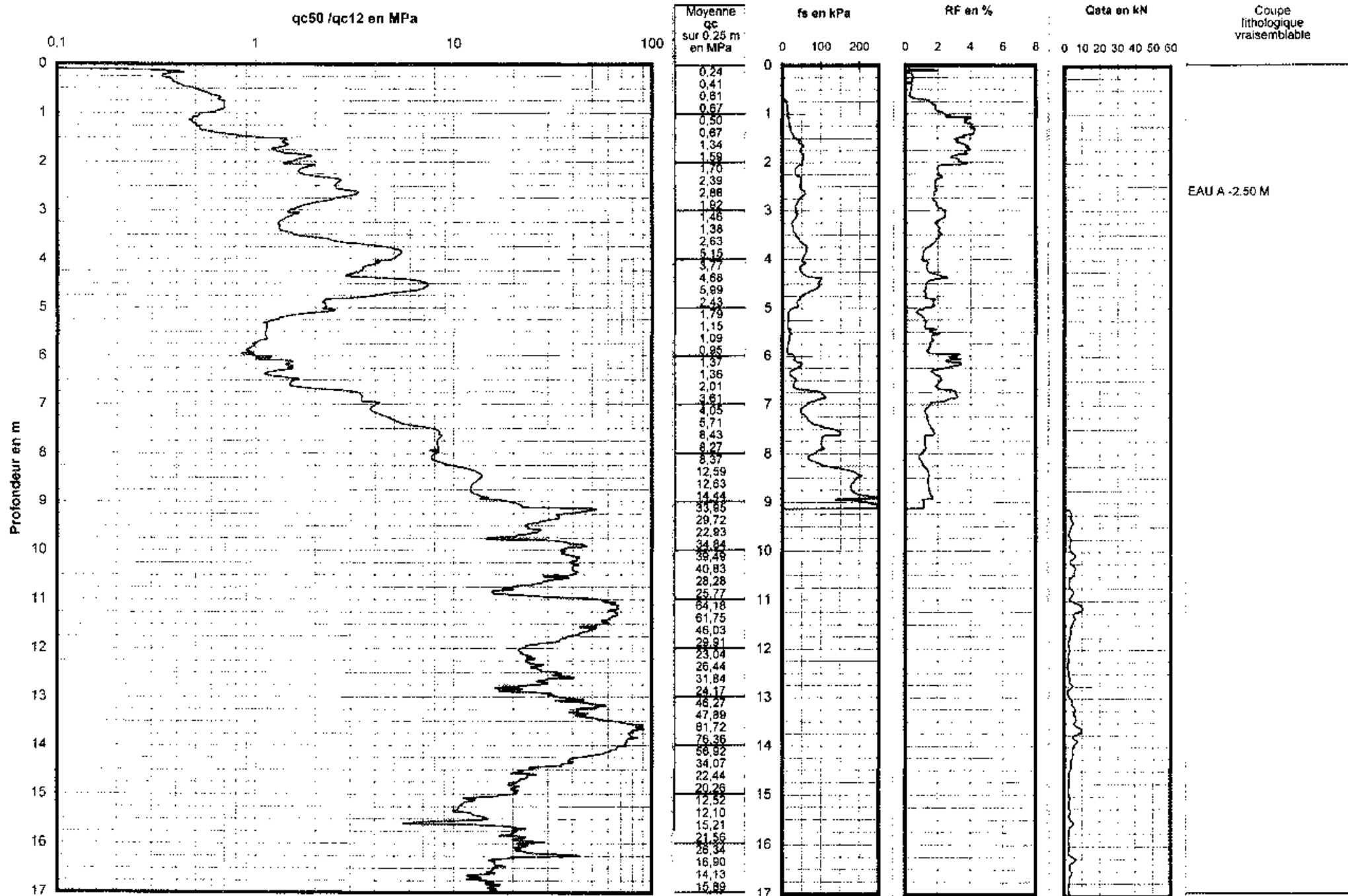


MV = 23.10 + MAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
 SONDAGE ARRETE A 33.70 M EN DYNAMIQUE (Refus)

2 (1/2)

20 Décembre 2002

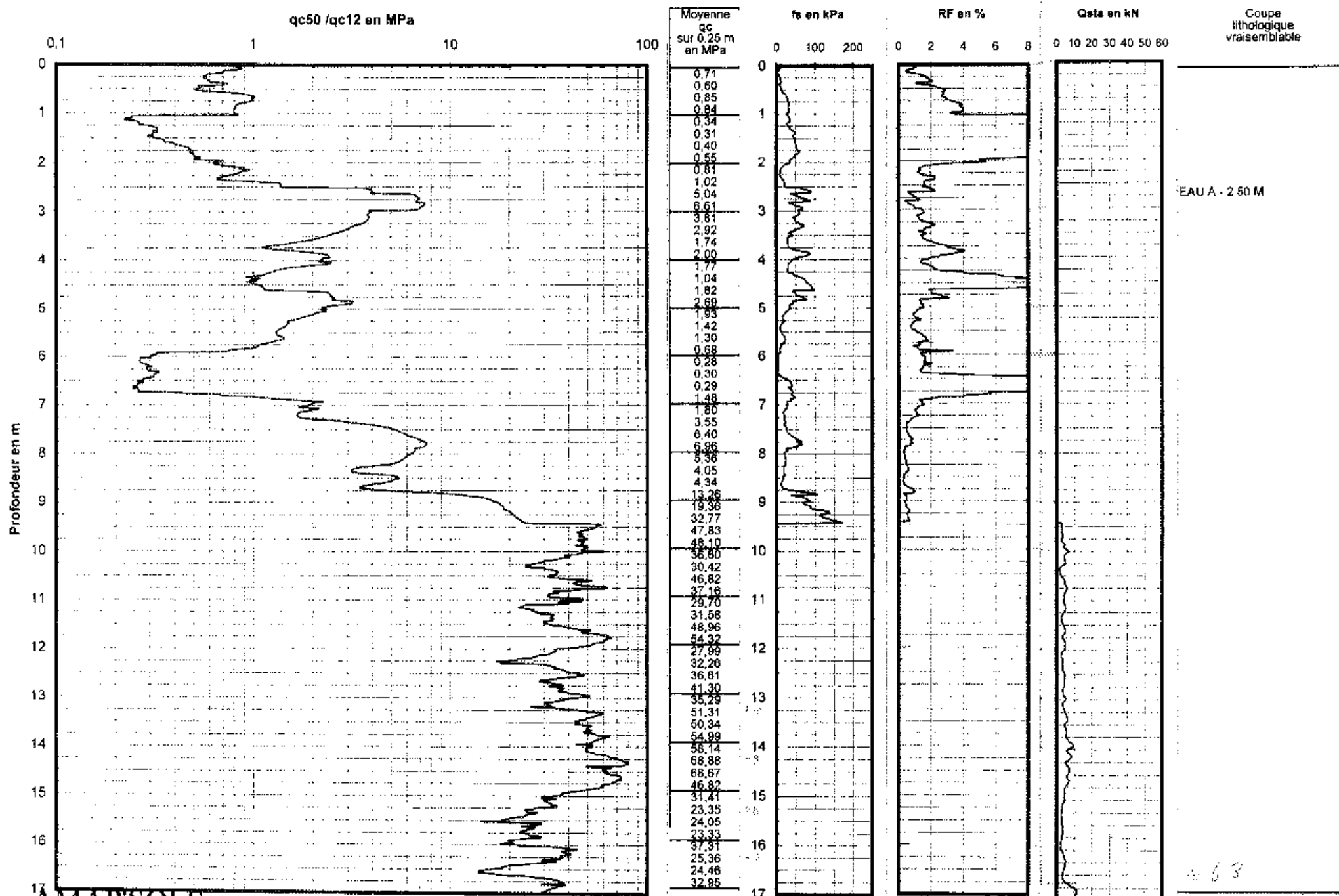


MO = 22.97 + NAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 19.78 M EN DYNAMIQUE (Refus)

3 (1/2)

20 Décembre 2002

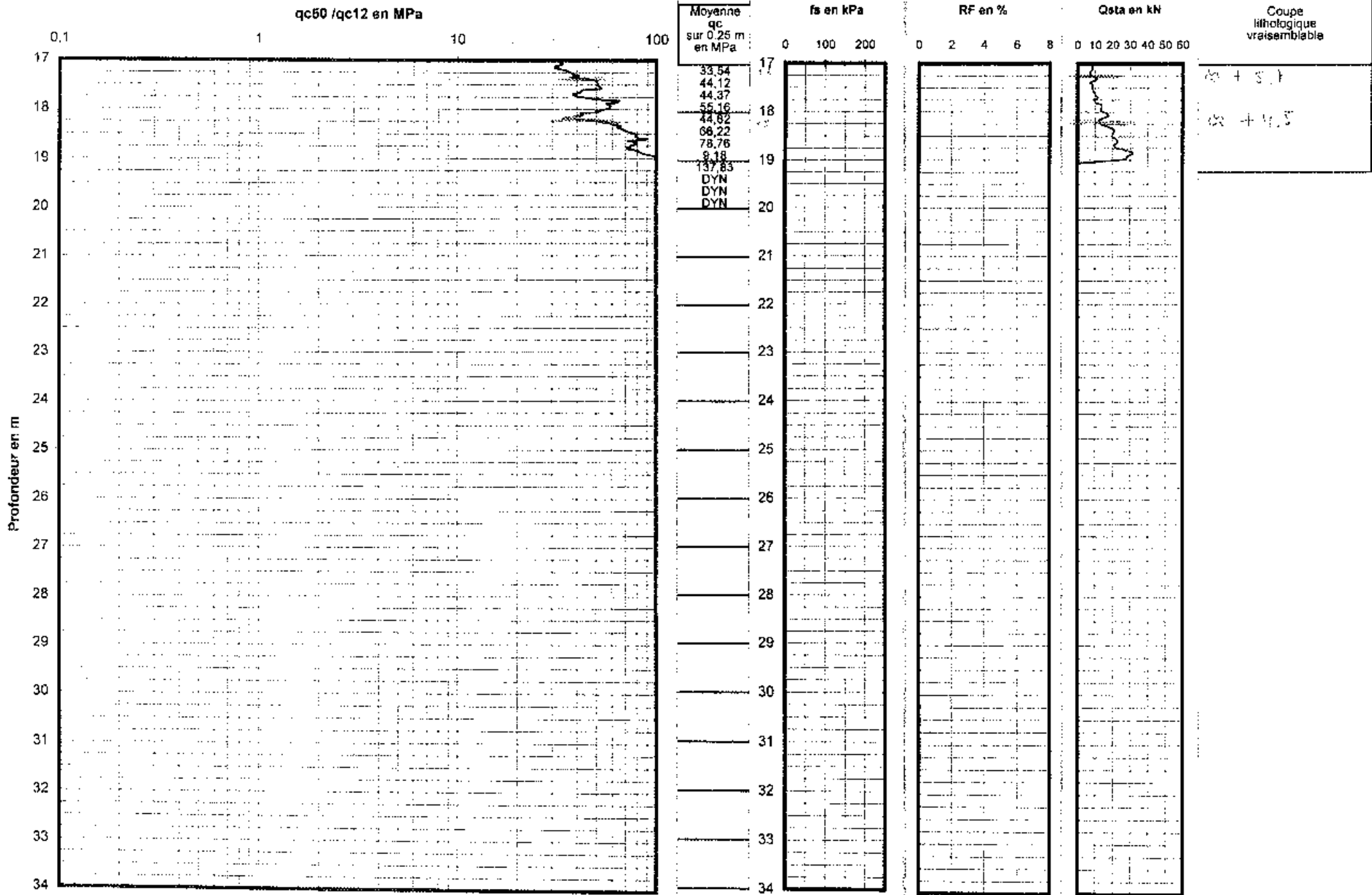


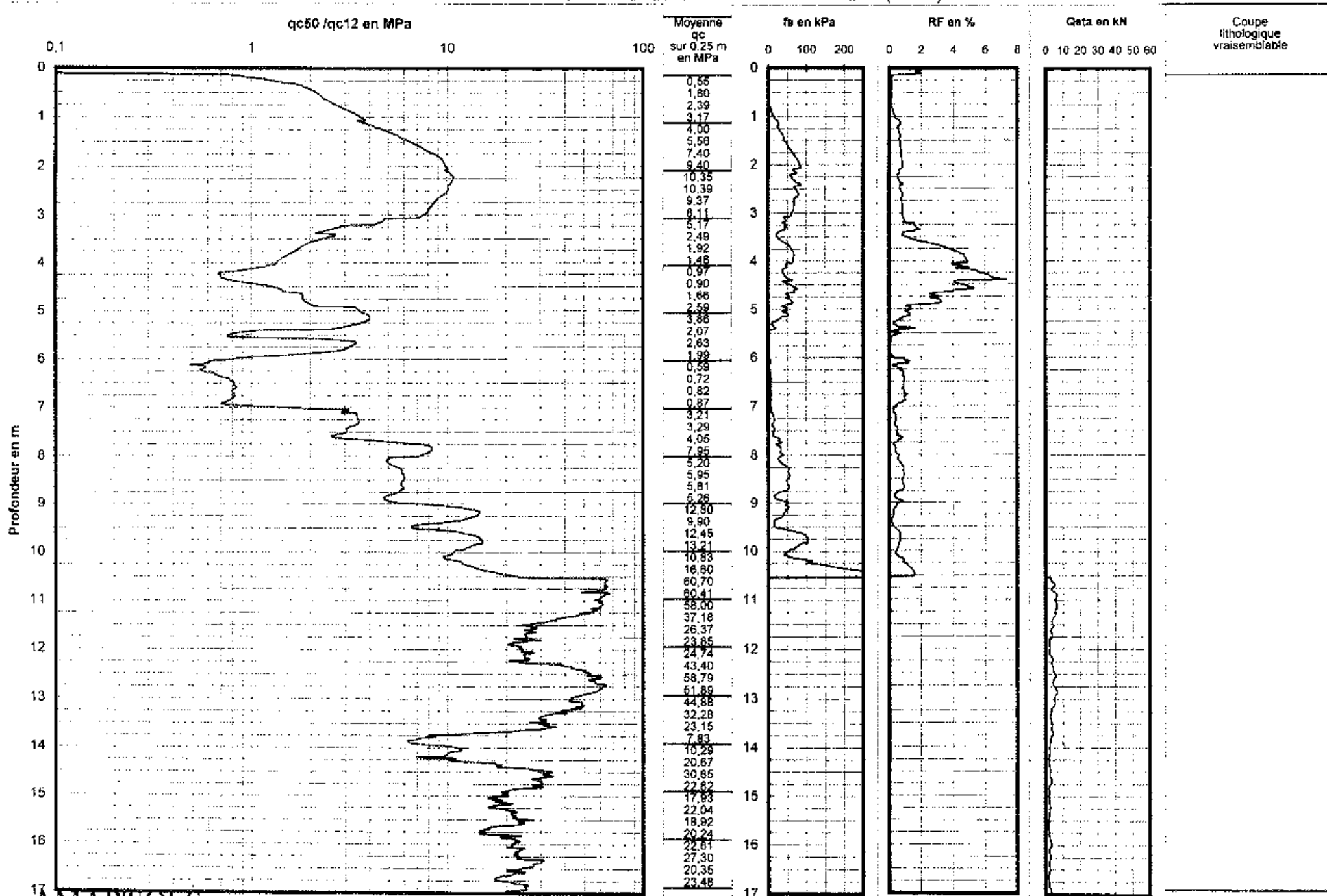
AV 22.93 + NAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 19.78 M EN DYNAMIQUE (Refus)

3 (2/2)

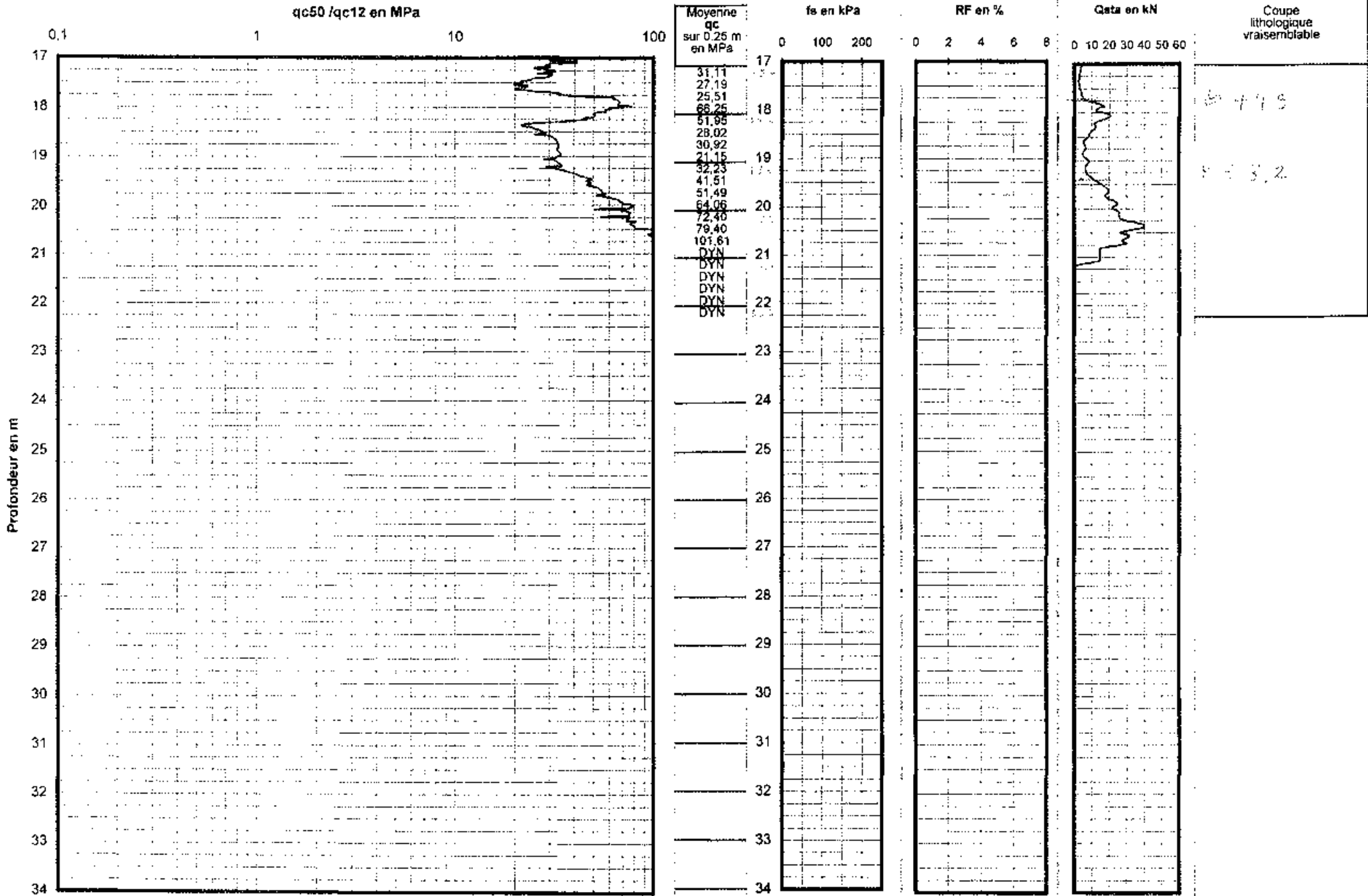
20 Décembre 2002





M = 22.66 + NAP

4 (3/2)

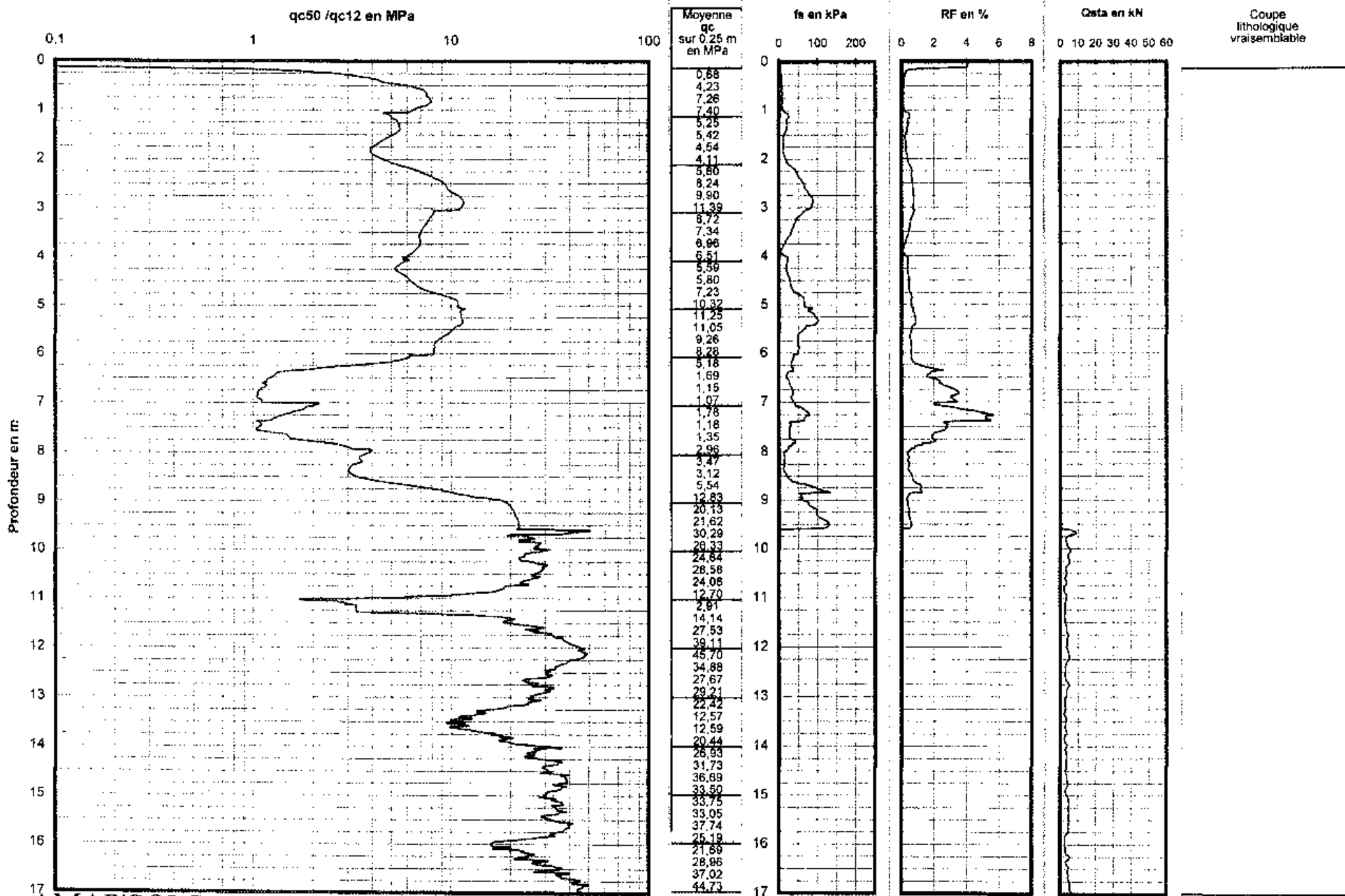


MW = 23.69 AMAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 27.48 M EN DYNAMIQUE (Refus)

23 Décembre 2002

5(1/2)

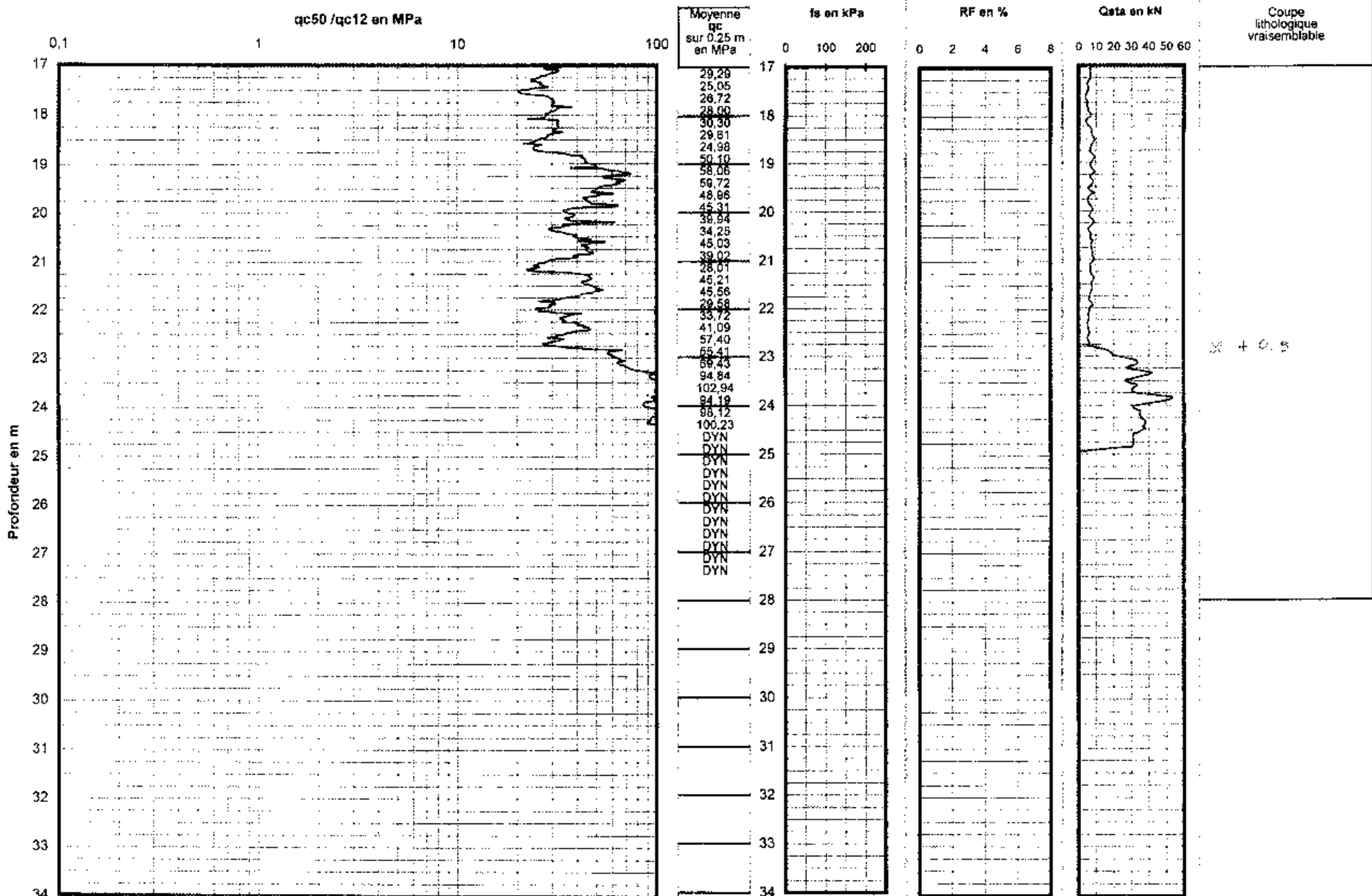


MV = 23.67 + NAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 27.48 M EN DYNAMIQUE (Refus)

5 (2/2)

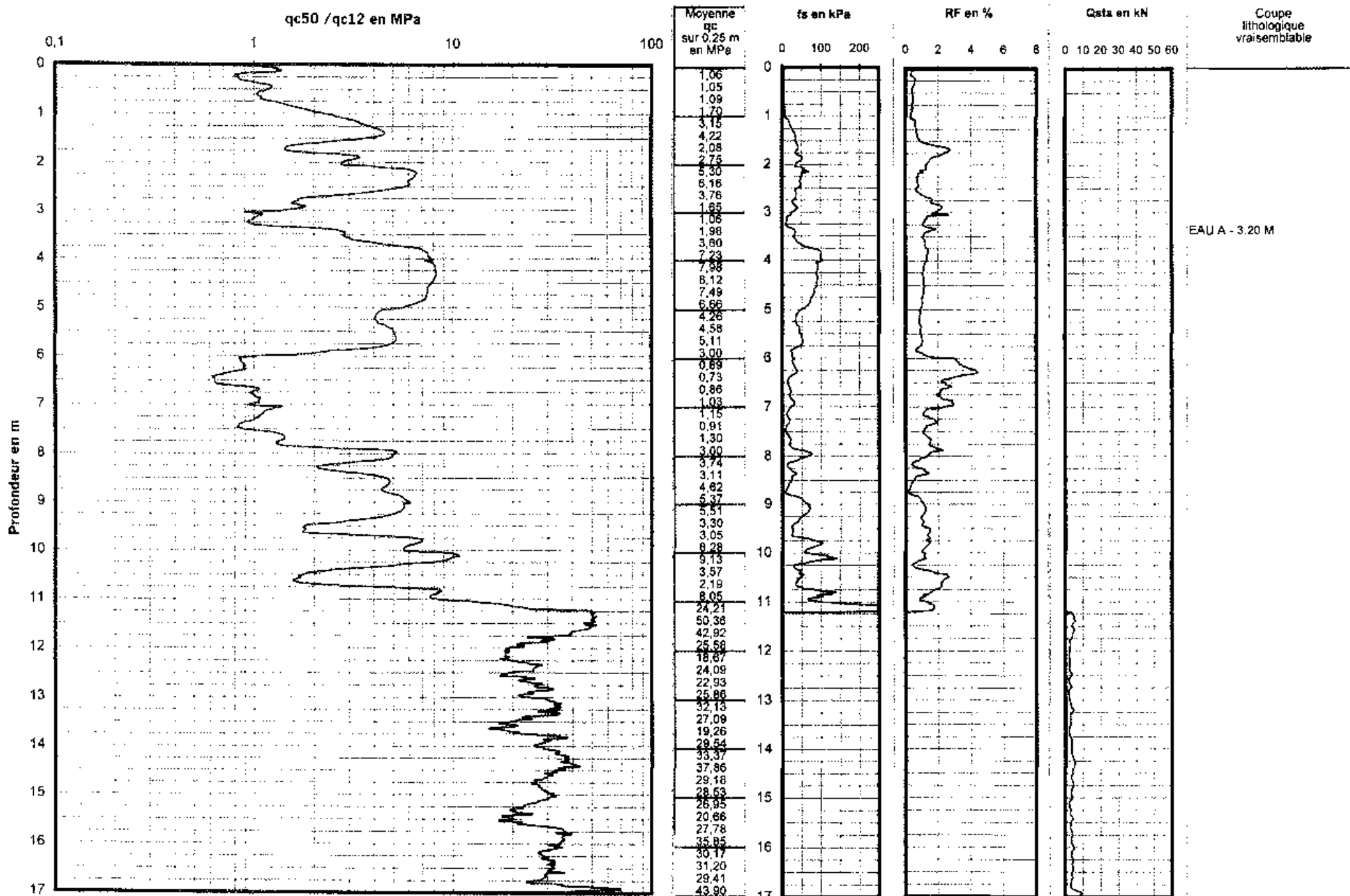
23 Décembre 2002



PMV = 22.93 + NAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 26.62 M EN DYNAMIQUE (Refus)

6 (1/2)



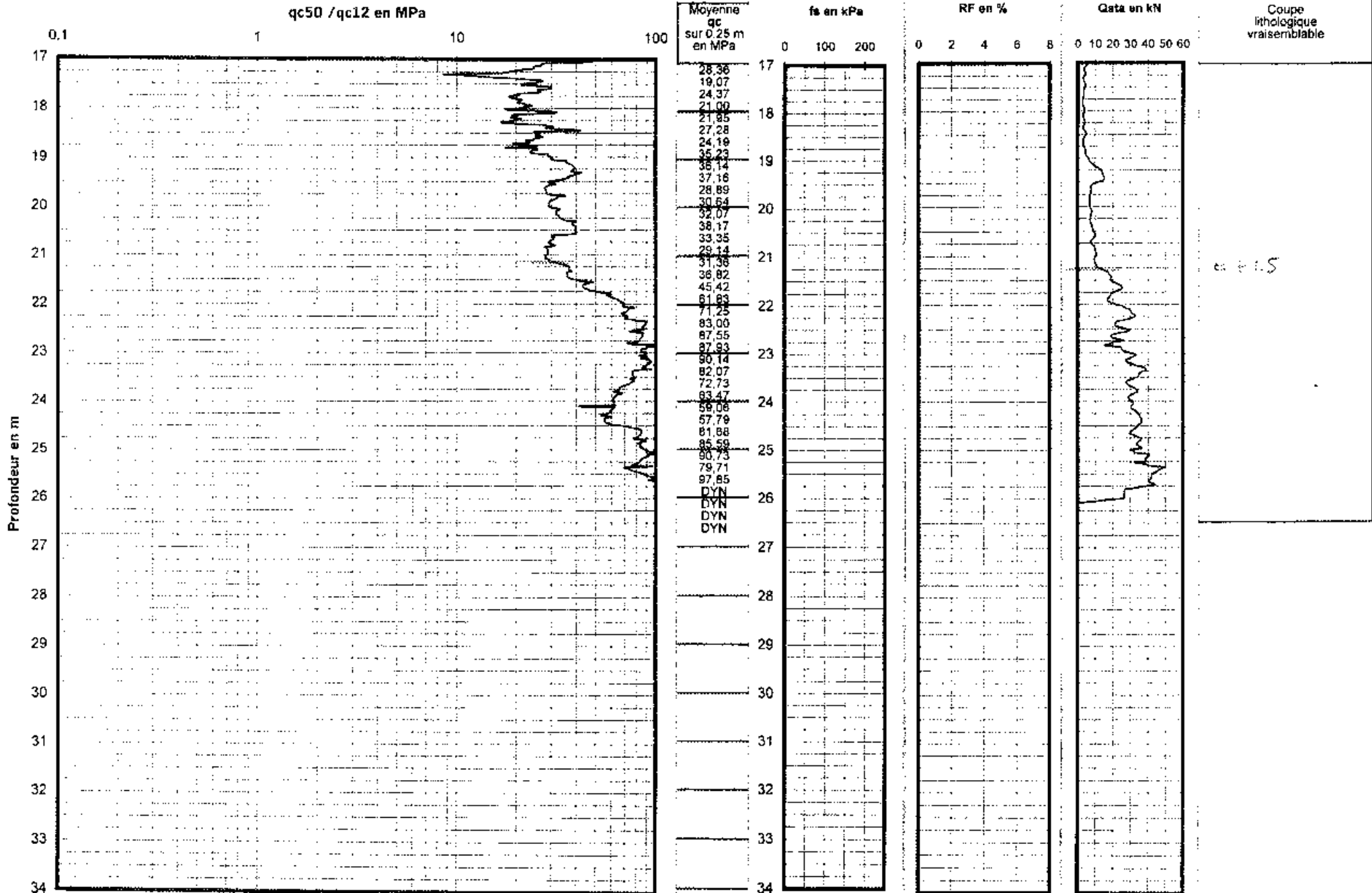
MU = 22.33 + NAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²

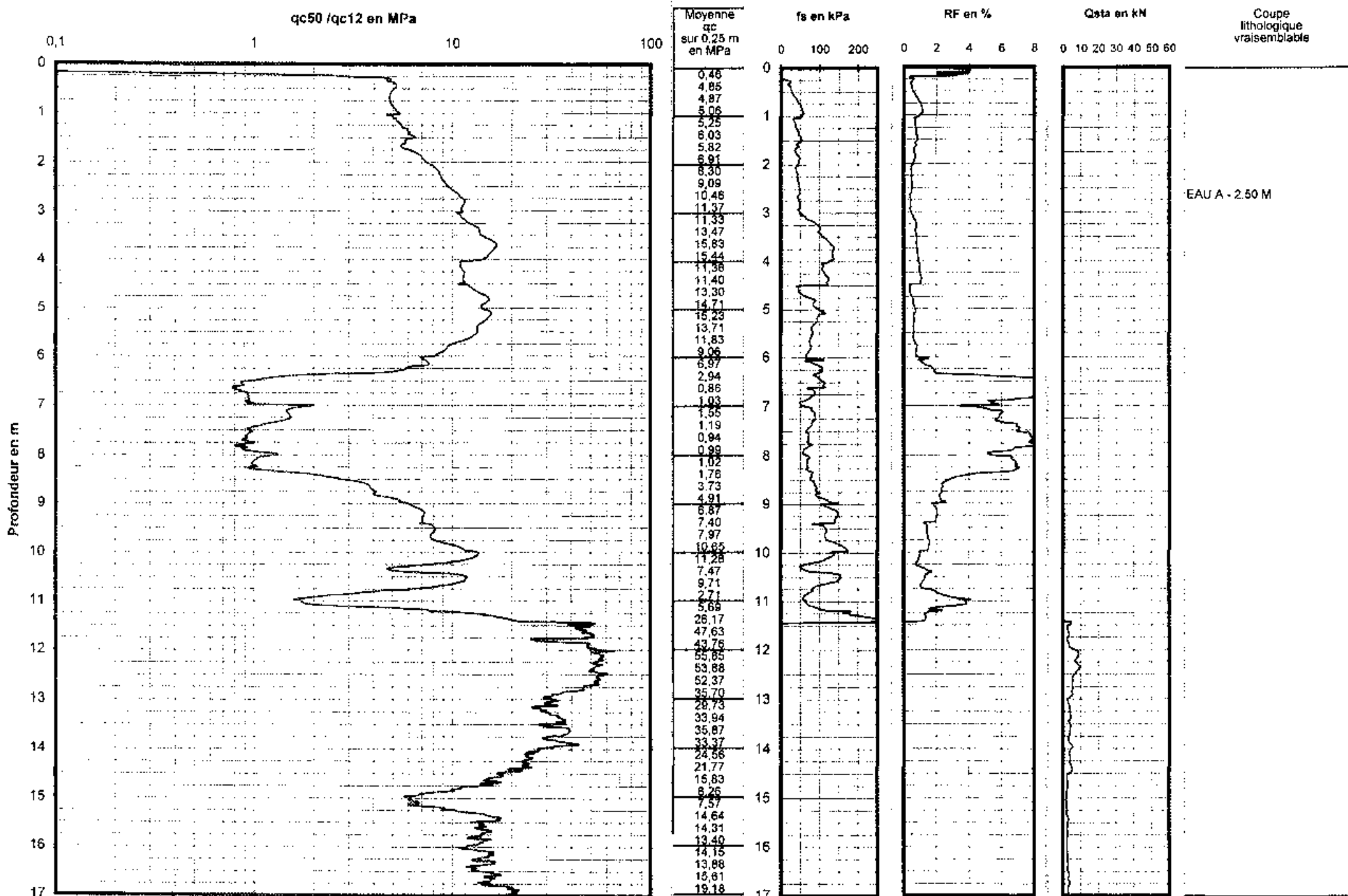
SONDAGE ARRETE A 26.62 M EN DYNAMIQUE (Refus)

7 Janvier 2002

6 (2/2)



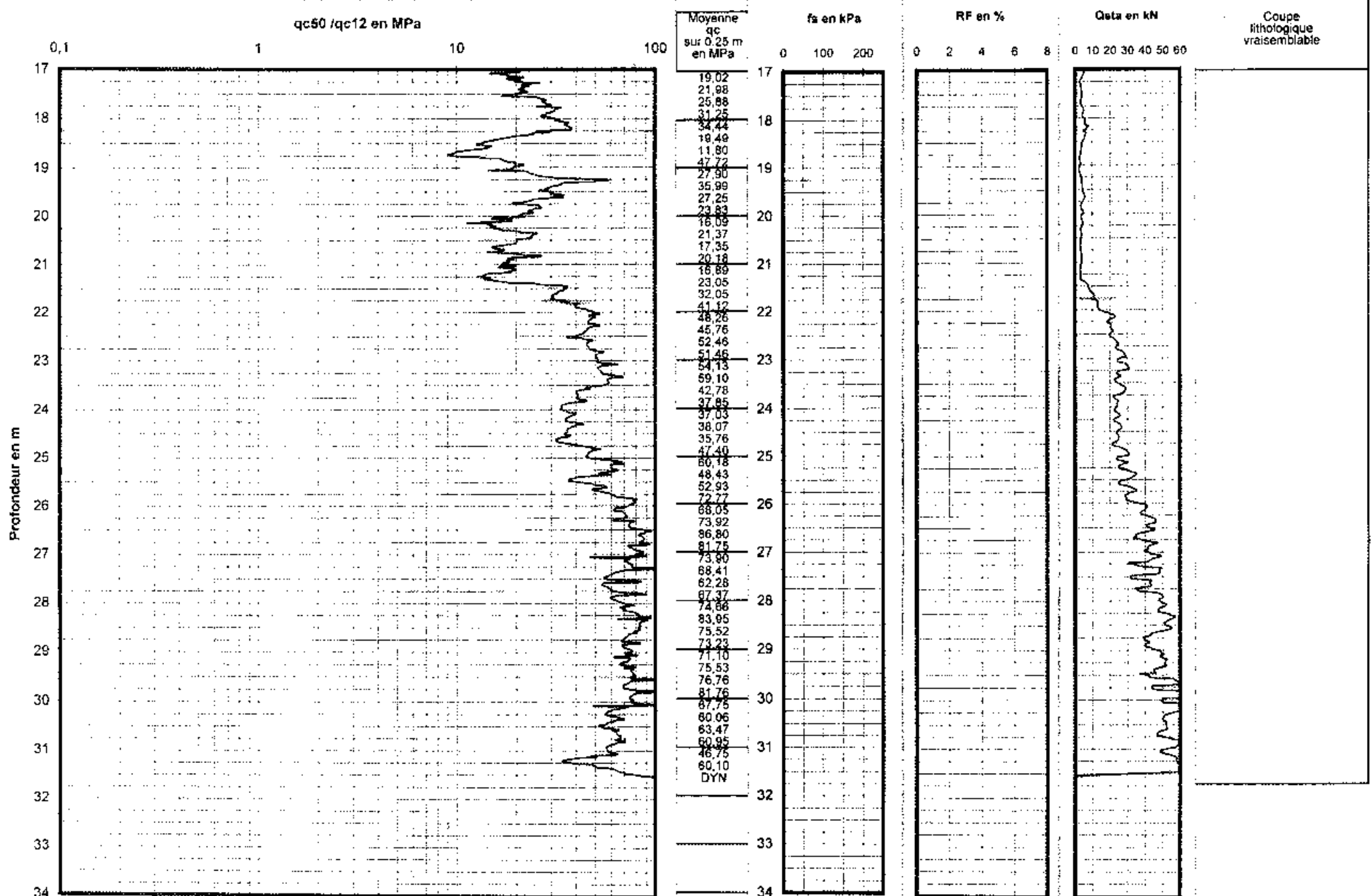
7 (1/2)



DWG: 23.73 - MAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 31.58 M EN DYNAMIQUE (Refus)

7 (2/2)



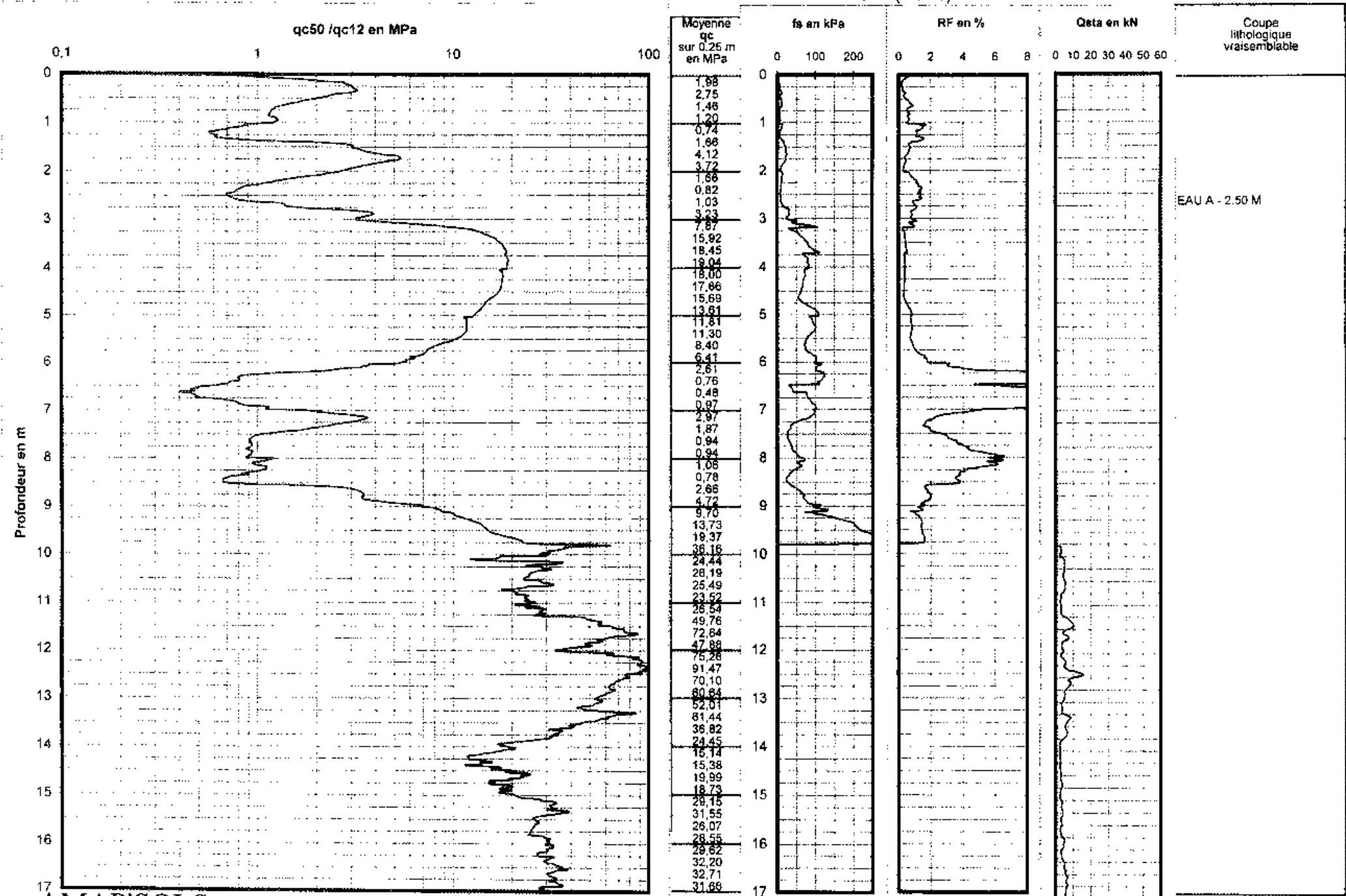
TUNNEL

RV = 23.4% - NAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 24.44 M EN DYNAMIQUE (Refus)

8 (1/2)

21 Décembre 2002

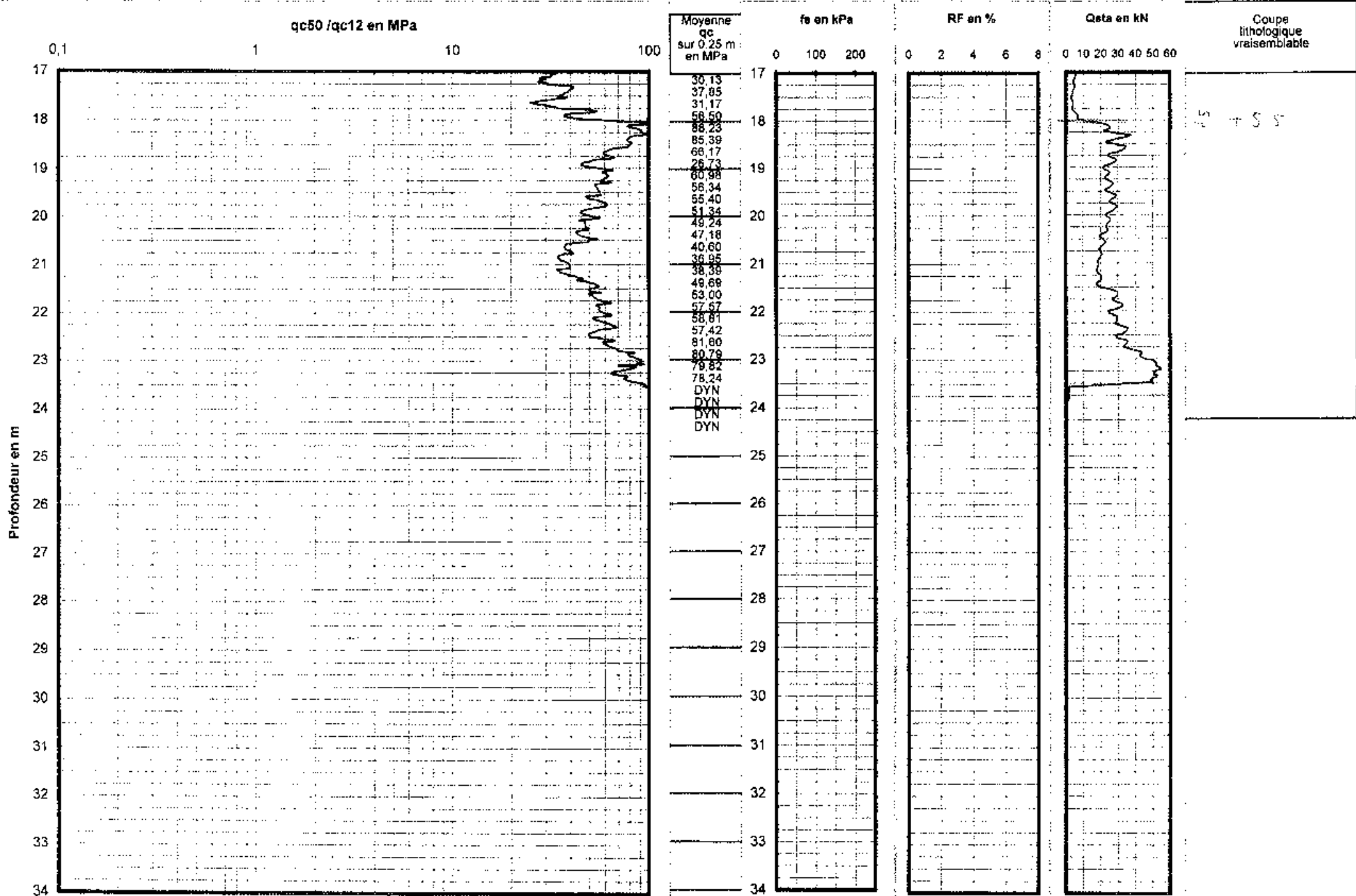


12/12 = 23.48 + MAP

Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²
SONDAGE ARRETE A 24.44 M EN DYNAMIQUE (Refus)

8 (4/12)

21 Décembre 2002



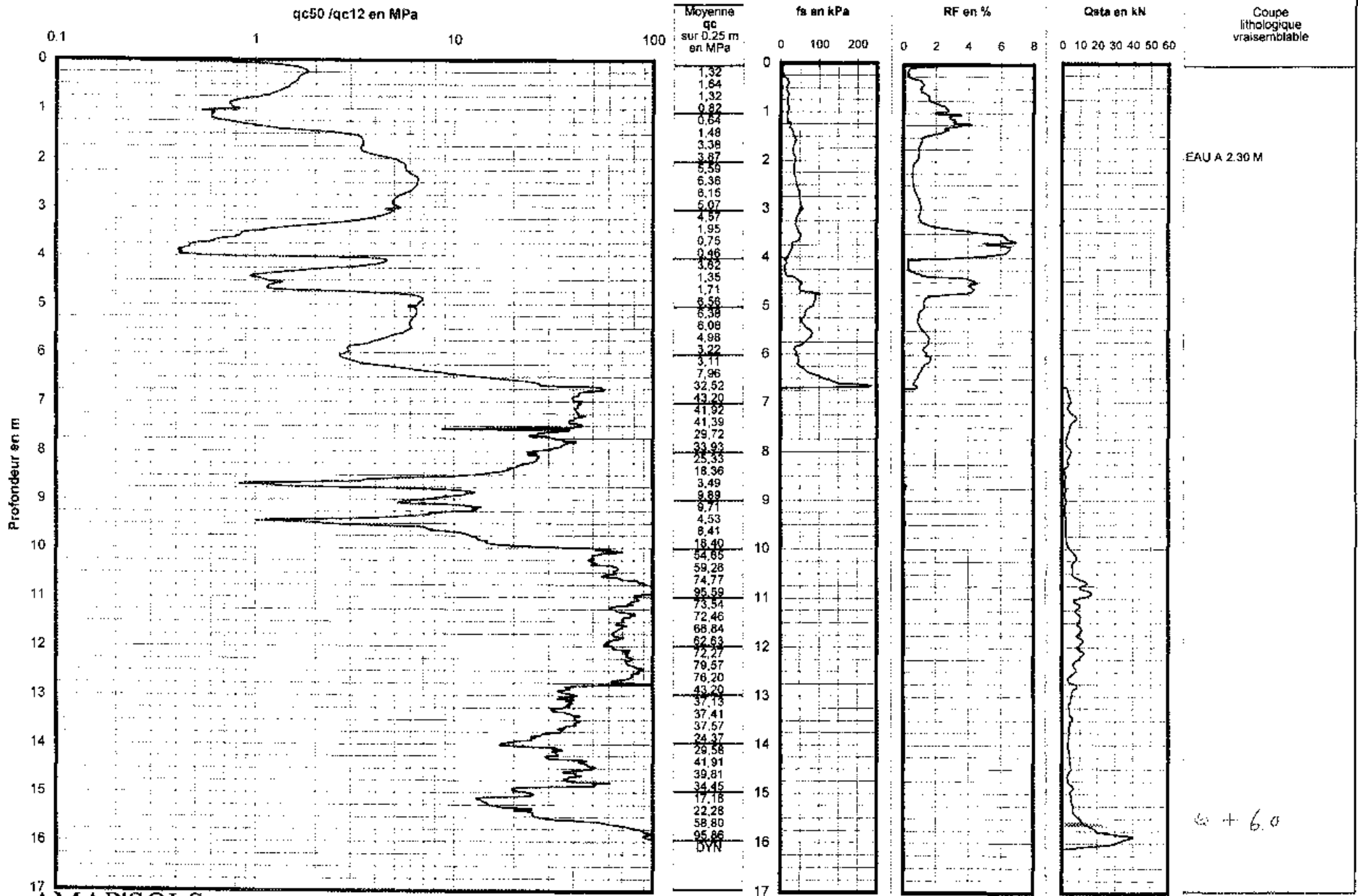
RCV = 21.68

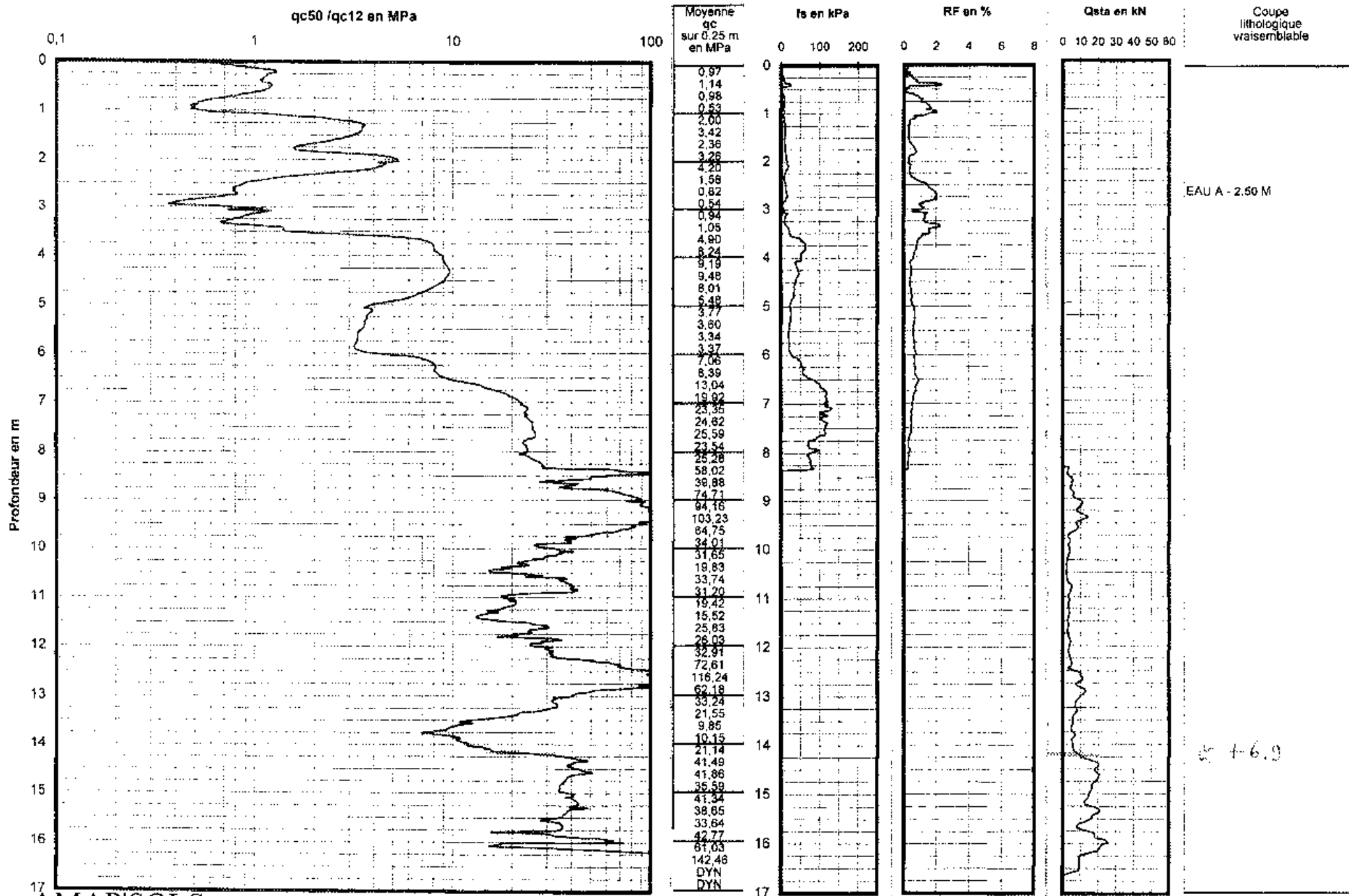
Cône AMAP'SOLS 50 cm² et 12 cm²

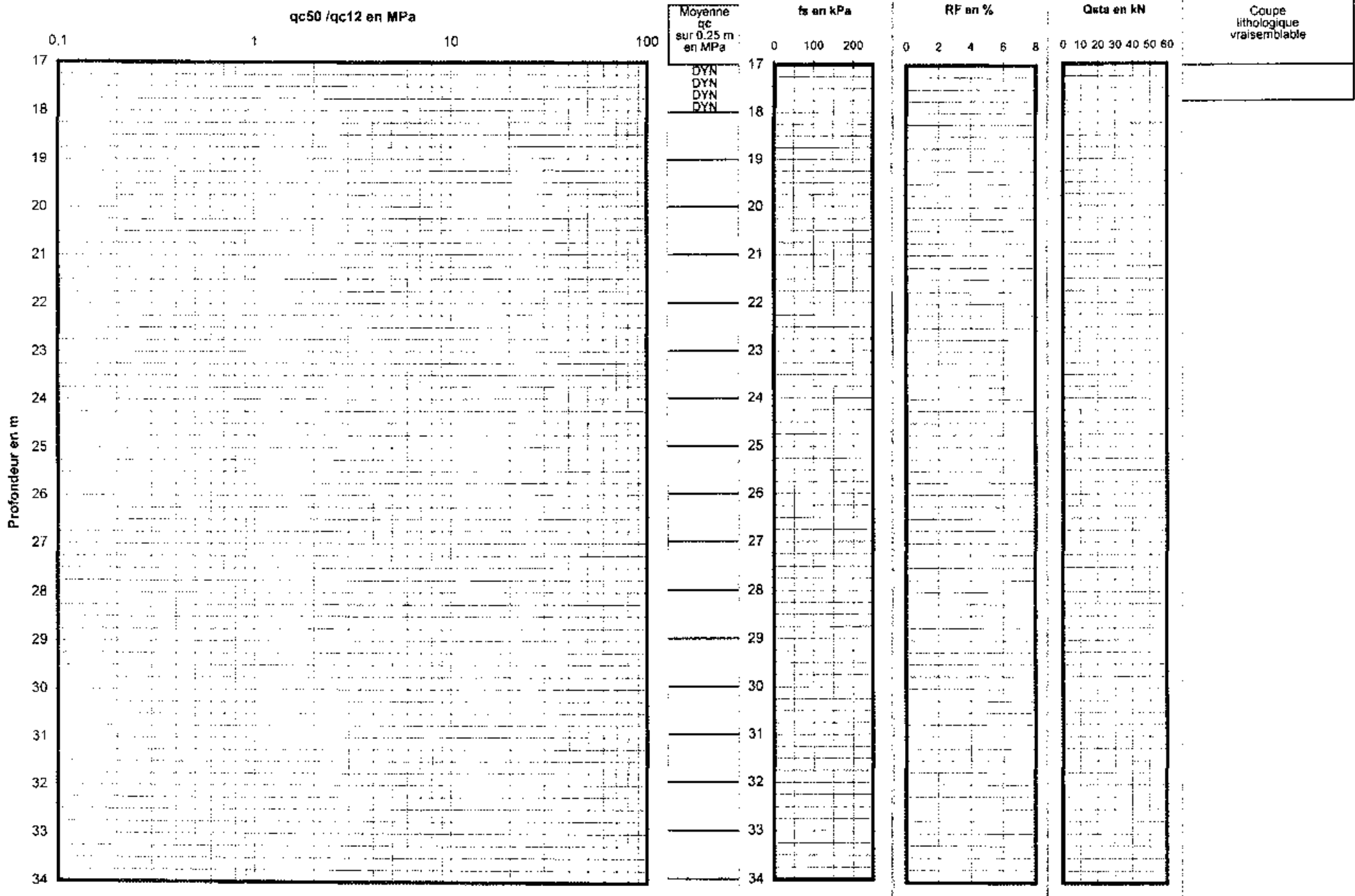
SONDAGE ARRETE A 16.22 M EN DYNAMIQUE (Refus)

9 (10)

8 Janvier 2002







APPENDIX 3

Rapport AMAP'sois Bordereau d'envoi de documents

Ateliers de chenilles

AMAP'SOLS

Métrétre maximum

ESSAIS DE PENETRATION STATIQUE DYNAMIQUE LOURDE AMAP'SOLS

Capacité d'effort total d'enfoncement $Q_t = 220\text{kN}$

BREVET EUROPEEN N° 92420438

CONTRAT D'INNOVATION ANVAR N° A9212445 V

RECORD ACTUEL DE PROFONDEUR

EN STATIQUE A 82,16m

Application spécifique: PIEZO-CONE et ENVIRO-CONE

Conformité de construction suivant directives 89/392/CEE

FICHE TECHNIQUE

Utilisation de toute section de cône entre 10 cm^2 et 100 cm^2

- **MESURES ET ENREGISTREMENT NUMERIQUE**
des données tous les 2 cm (qc, fs, Q_t , Q_{sta})
sur carte mémoire avec diagrammes directs lors de l'essai en visualisation des efforts en temps réel.
- **MESURE STATIQUE** selon recommandations
internationales et Normes Françaises (NFP 94 113)

*Sol à structure fine, granulaire, sableux,
sableux-graveleux à peu caillouteux*

Cône électronique et mécanique normalisé de 10 cm^2
qc (résistance à la pénétration du cône) de 50 MPa à 100 MPa
Mesure de frottement unitaire et effort total (fs, Q_t)

- **MESURE STATIQUE** notamment sur Région
RHONE-ALPES et toutes régions en **TERRAIN DUR**

*Tous types de sols à structure fine, granulaire ou grossière,
sableux-graveleux, caillouteux à blocs ou de remblais hétérogènes*

Cône mécanique de 44 à 50 cm^2 et cône central télescopé de 12 cm^2

- **Cône de 50 cm^2** : qc maxi: 30 MPa
 Q_t : effort total de pénétration en kN
fs: frottement latéral unitaire local en kPa
Rf: rapport en %
- **Cône de 12 cm^2** : qc' maxi: 150 MPa
 Q_t' : effort total de pénétration en kN
 Q_{sta} : effort total de frottement latéral à l'arrachement en kN (>200kN)

- **MESURE DYNAMIQUE** notamment sur région
RHONE-ALPES, avec contrôle statique à 150 MPa
tous les 25 cm

- **Cône de 12 cm^2** :
qd: résistance dynamique de pointe > 1000 MPa
 Q_{sda} : effort total de frottement latéral à l'arrachement (kN)

- **PIEZOCONE** selon recommandations internationales
et Normes Françaises (NFP 94 119)

- **Cône de 10 cm^2** :
Mesure de u (pression interstitielle) et qc, Q_t , fs, Rf
Mesure de dissipation (T50 - T100)

AMAP'SOLS SA au capital de 650 000 F

9, rue Jacques Prévert - 32570 ST-JEAN

Tel: 05 62 21 07 95 - Téléc: 05 62 21 07 96

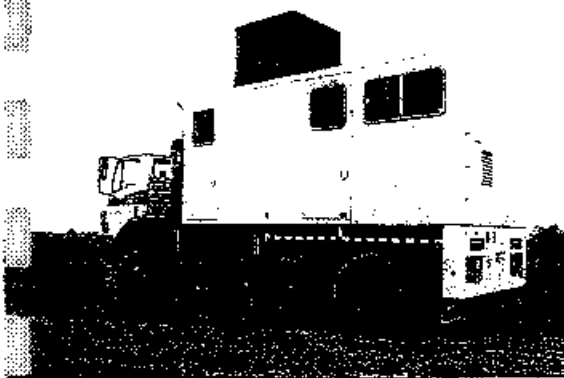


Fig. 1 - Vue générale de véhicule AMAP'SOLS

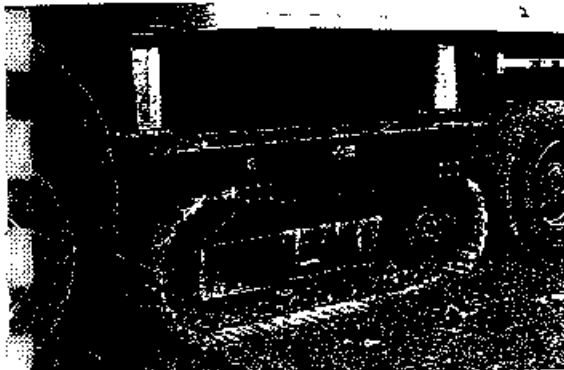


Fig. 2 - Vérification de modifications sur table de chenille



Fig. 3 - Vue du escarot hydraulique et des appareils de mesure de pénétration statique-dynamique AMAP'SOLS



Fig. 4 - Vue de l'appareil de mesure de pénétration statique-dynamique AMAP'SOLS



PENETRATION STATIQUE DYNAMIQUE LOURDE

TERMINOLOGIE ET SYMBOLES

1- PENETRATION STATIQUE (sondes mécaniques ou électroniques)

* Cône électrique normalisé 10 cm²

* Cônes en application RHONE-ALPES (grosse sonde 50 cm²)

Q_t : Effort total de pénétration en kN (force totale pour enfoncer dans le sol le train de tige avec cône à la base)

Q_c : Effort total sur le cône en kN

q_c : Résistance à la pénétration du cône (obtenue à la base du cône)

$$q_c \text{ (MPa)} = \frac{Q_c}{A_c} \text{ (effort total sur le cône)} \\ \text{(surface de la base du cône)}$$

Q_{st} : Effort total de frottement latéral

Force obtenue par différence entre l'effort total de pénétration Q_t et l'effort total Q_c sur le cône $Q_{st} \text{ (kN)} = Q_t - Q_c$

Q_s : Effort de frottement latéral local

f_s : Frottement latéral unitaire local

$$f_s \text{ (kPa ou MPa)} = \frac{Q_s}{A_s} \text{ (force } Q_s \text{ nécessaire à l'enfoncement du manchon de frottement)} \\ \text{(surface latérale du manchon)}$$

R_f : Rapport de frottement

$$R_f \text{ (%) } = \frac{f_s}{q_c} \text{ (Frottement latéral unitaire local)} \\ \text{(Résistance de pénétration du cône)}$$

I_f : Indice de frottement

$$I_f = \frac{q_c}{f_s}$$

* Cône en application RHONE-ALPES (sonde centrale de 12 cm²)

Q_t' : Effort total de pénétration en kN

q_c' : Résistance à la pénétration du cône en MPa

Q_{sta} : Effort total de frottement latéral à l'arrachement en kN en pénétration statique

R_{ft} : Rapport de frottement total en %

2- PENETRATION DYNAMIQUE (Sondes mécaniques de 10 et 12 cm²)

Q_d : Résistance dynamique de pointe en MPa

Q_{sda} : Effort total de frottement latéral à l'arrachement en kN en pénétration dynamique



9, rue Jacques Prévert
42570 ST-HEAND
Tél. 33-4-77-30-92-88
Fax : 33-4-77-30-46-71
E. Mail : amapsols@wanadoo.fr
Site : www.sageret.fr/amapsols

*Atelier Mobile d'Auscultations
par Pénétration des Sols*

**FICHE EXPLICATIVE : INFORMATION ET SIGNES INSCRITS DANS LA
COLONNE OBSERVATIONS DES BORDEREAUX DE SONDRAGE**

- ..P : Caillouteux Petits
.P : Quelques Petits Cailloux
ooM : Caillouteux Moyens
oM : Quelques cailloux Moyens
..oP+M : Caillouteux Petits avec quelques Cailloux Moyens
ooOM+G : Caillouteux Moyens avec quelques Gros Cailloux Galets ou Blocs
O G : Quelques Gros Cailloux Galets ou Blocs
// : Gravier
//O : Gravier avec Galets
Rien : Aucun Cailloux ou élément rencontré pendant la pénétration dans les Sables, Limons, Argiles, etc...
Craq : Craquements rencontrés pendant la traversée de Galets ou de Blocs
Criss : Crissements rencontrés pendant la pénétration dans les zones Caillouteuses ou de Gravier
Cru : +/- Cru Pas de Matériau ou plus ou moins dans les zones Caillouteuses et de Gravier

Il est important dans ce cas de surveiller le frottement pour l'interprétation du diagramme

Vides : Pendant la traversée de Gravier avec Galets Blocs étant tenu par aucun matériau

Nota : Ces observations pouvant se rencontrer également dans la traversée de Remblais divers Ne signifiant pas la présence de Cailloux, Galets, Blocs, mais d'éléments inconnus.



9 rue Jacques Prévert 42570 St HEAND
Tél : 04.77.30.92.88 Fax : 04.77.30.46.71

APPAREIL N° A		CHANTIER SW ALDEN NL		SONDAGE N° 1		
prof	N° oc	1080	Tunnel	prof	oc	
m			DATE : 09/10/2003	m		
		OBSERVATIONS	T Ngt Chemia			
	9	011			28	11 0 Grog
	2,6	Rien			39	11 0
	1,4				34	11 0
1m	1			14m	22	11 0
	1,5				30	11 0
	2,8				42	11 0
	3,7				36	11 0
2m	4,8			15m	38	11 0
	5,6				23	11 0
	6,5				25	11 0
	6				22	11 0
3m	6			18m	15	11 0
	5,2				50	11 0
	5,5				41	11 0
	4,8				65	11 0
4m	5,1			17m	32	11 0
	6				33	11 0
	6,7				33	11
	6	011			61	11 0 Grog
5m	6,4	Rien		18m	53	11 0
	6,2				30	11 0
	7,8				23	011
	7,1				19	0 Expo
6m	6			19m	18	0 Rien
	3,5				17	
	2,2				17	
	1				24	
7m	12	011		20m	54	
	17	11 0 Grog			50	
	7	11 0			51	
	1,1	011			46	
8m	0,4	Rien		21m	49	
	0,6				38	
	0,7				46	
	1,8				44	
9m	1,6			22m	45	
	1,4				44	
	2,4				52	
	1,9	11			57	
10m	45	11 0 Grog	209,80m 22 R 61	23m	63	
	29	11 0			63	
	28	11 0			73	
	24	11 0			73	
11m	30	11 0		24m	69	
	23	11			47	
	53	11 0 Grog			43	
	59	11 0			28	
12m	51	11 0		25m	38	
	32	11 0			37	
	26	11 0			58	
	19	11 0			67	
13m	41	11 0		26m	44	



APPAREIL N°A		CHANTIER SWALMEN. NL		SONDAGE N° 2	
prof	OC	Tunnel		prof	OC
m		DATE: 20/12/02		m	
OBSERVATIONS		OBSERVATIONS		Pénétrométrique	
				SONDEURS: JB, MB	
				OBSERVATIONS	
	0,3				42 110 Grog.
	0,4				33 80 Grog.
	0,6				39 110 ?
1m	0,4			14m	68 110 }
	0,4				38 110 }
	1,3				25 110 } - sableux
	1,2				19 110 } ± CV
2m	1,3			15m	17 110 }
	1,6				8,3 Rien
	2,5				9,2 m. T
	3,3				18 110 Grog.
3m	1,3			18m	23 110 }
	1,2				20 110 }
	1,5				14 110 } ± CV
	4,6				14 110 }
4m	4,6			17m	13 110 }
	3,2				16 110 }
	7,2				23 110 }
	3,6				60 110 } + sableux
5m	2			18m	44 110 }
	2				16 m. T
	1				42 110 Grog.
	0,8				35 110 ?
6m	0,8			19m	28 110 }
	1,3				20 Rien
	1,3				41
	3,2				53
7m	3,2			20m	57
	4,3				58
	8				64
	8				78
8m	8,2			21m	63
	10				65
	13				83
	12				84
9m	15			22m	88
	23				81
	22				68
	15				67
10m	35			23m	62
	40				71
	34				63
	10				68
11m	58			24m	68
	8				85
	54				70
	26				53
12m	13			25m	53
	23				44
	34				38
	13				42
13m	65			26m	53



APPAREIL N° A			CHANTIER SWALLEN. NL			SONDAGE N° 2 suite		
prof	TPa	Nos	Tunnel			prof	ac	Pénétrométrique
m	ac		DATE: 20/12/02			m		SONDEURS VB-MB
			OBSERVATIONS					OBSERVATIONS
	38							
	36							
	60							
27m	72					14m		
	88							
	65							
	43							
28m	53					15m		
	53							
	46							
	43							
29m	43					16m		
	47							
	46							
	62							
30m	67					17m		
	78							
			DY 3054					
31m			3076 PDG 180 PADG	83,40	18m			
			3102 PDG 180 PADG	90,80				
			3176 PDG 13890 PADG	73,20				
			3252 PDG 83 20 PADG	78,80				
32m			3370 PDG 14230 PADG	85,80	19m			
			3202 PDG 13650 PADG	82,70				
			3276 PDG 14470 PADG	88,70				
			3252 PDG 180 PADG	91,20				
33m			2776 PDG 180 PADG	82,70	20m			
			3302 PDG 180 PADG	87,60				
			3376 PDG 13660 PADG	88,80				
			3352 PDG 180 PADG	103,10				
34m					21m			
			Refus en dynamique 370					
35m					22m			
			Ø 36 DB 5860/3330					
			Ø 80 DB 6550/4360					
10m					23m			
			Sable limoneux à limon sablonneux					
			de teneur élevée à gaise					
11m					24m			
			RAN à ± 1,50m					
12m					25m			
13m					26m			



APPAREIL N°A		CHANTIER SUBLITEAU N°2		SONDAGE N°3	
prof	Paq OC	No80	DATE: 20.12.2002	prof	OC
m	OBSERVATIONS		m	OBSERVATIONS	
	0.5			68	110
	0.4			67	110
	0.9			63	40
1m	0.7		14m	54	40
	0.2			75	40
	0.2			58	110
	0.4			44	110
2m	0.2		15m	32	40
	0.3			28	110
	3.4			13	110
	6.7			23	40
3m	6.6		16m	38	110
	3.4			13	0.7
	2.0			39	11
	1			32	0.7
4m	2.2		17m	32	0.7
	0.4			42	0 qd éléments
	0.8			57	0 staves
	2.5			55	0
5m	3		18m	30	0
	1.3			62	0.7
	1.4			67	0.7
	0.8			72	0 espace
6m	0.5		19m	62	0 espace
	0.08				
	0.04				
	0.06				
7m	0.2		20m		
	1.4				
	5.2				
	7.3				
8m	6.7		21m		
	3.5				
	5.2				
	5				
9m	16		22m		
	22				
	60	110 Grog Ø80 36L en 24 R60			
	44	110			
10m	45	110	23m		
	75	110			
	29	110 Grog			
	56	110			
11m	35	110	24m		
	97	110			
	32	110			
	65	110			
12m	35	110	25m		
	18	110			
	45	110			
	33	110			
13m	42	110	26m		

- sableux
± cou

9 éléments
staves

espace
espace

19.76 PD6 A80 PA06 96.40
PA06 102.80

Requ en dynamique s. 19.70m

PA 06 98.70

Ø36 Ø6 Mo, 40/114, 10 vibrations
Ø80 Ø6 68.40/36.80

Sable limoneux de teinte beige

Ponce avec passes fines
Pau à ± 2,30m

- sableux
+ silt.



9 rue Jacques Prévert 42570 St BEAND
Tél : 04.77.30.92.88 Fax : 04.77.30.46.71

APPAREIL N° A		CHANTIER SWALDEN NL		SONDAGE N° 4	
prof	N ^o QC	Tunnel		Pénétrométrique	
m	1080	DATE: 07/01/2003	prof	QC	SONDEUR S DB - FG
		OBSERVATIONS TUV (gite)	m		OBSERVATIONS
	1,2	Rien		38	11 0 Cng
	2,1			28	11 0
	2,6			8,3	o n
1m	3,6		14m	10	o épave
	4,6			8,3	o
	6,5			32	11 0 Cng
	9			28	11 0
2m	10		15m	18	11 0
	11			18	11 0
	10			21	11 0
	8,4			14	11 0
3m	7,3		18m	21	11 0
	2,6			21	11 0
	2			19	11 0
	1,5			34	11 0
4m	1,2		17m	34	11 0
	0,3			30	11 0
	1,2			18	11 0
	1,6			44	11 0
5m	3,4		18m	60	o n épave
	3,4			33	o
	3,4			28	o
	3			32	o
6m	0,5		19m	33	o
	0,4			33	o
	0,6			50	lien
	0,6			65	
7m	1,6		20m	77	
	3,3			77	
	2,7			92	
	7,3			113	
8m	7		21m	21,02m	PO6 180
	5,5			21,26m	PA 06 88,20
	5,6			21,52m	PA 06 89,60
	5,3			21,78m	PA 06 127,10
9m	5,1		22m	22,02m	PA 06 125,30
	13	o n		22,28m	PO6 180
	8	o			PA 06
	15	o			
10m	12	o	23m		réf. en dynamique à 22,26m
	13	11 0 Cng			casé
	23	11 0			Ø 36 D6 38,40 / 27,20
	63	11 0			Ø 80 D6 65,40 / 36,30
11m	62	11 0	24m		
	50	11 0			
	28	11 0			
	23	11 0			
12m	21	11 0	25m		
	23	11 0			
	52	11 0			
	61	11 0			
13m	42	11 0	25m		

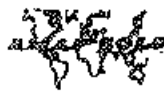
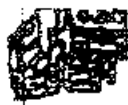


9 rue Jacques Prévert 42570 St BEAND
Tél : 04.77.30.92.38 Fax : 04.77.30.46.71

APPAREIL N° A		CHANTIER SWALMEN. N.L		SONDAGE	
prof	QC	Tunnel		prof	QC
m		DATE: 23/09/02		m	
OBSERVATIONS				Pénétrométrique	
				SONDEURS VB. MB	
OBSERVATIONS				OBSERVATIONS	
	21.30	P.DG 180	P.A.DG 132,90		
	22.30	P.DG 180	P.A.DG 137,70		
	23.30	P.DG 180	P.A.DG 137,10		
14m	02	P.DG 180	P.A.DG 139,80	14m	
	27.30	P.DG 180	P.A.DG 138,40		
		27.48	P.A.DG 142,20		
15m				15m	
		Refus en dynamique			
		à 27,48m			
16m				16m	
		Ø 180 DG 7140/47,80			
17m		Ø 36 DG 142,90/132,90		17m	
18m		Tubériaux câble limonette à		18m	
		limon câble de pointe acier			
		à 5 m			
19m				19m	
20m		Bouche/Bouche acier		20m	
21m				21m	
22m				22m	
23m				23m	
24m				24m	
25m				25m	
26m				26m	



APPAREIL N° A		CHANTIER SWALMEN. N.L		SONDAGE N° 6	
prof	OC	DATE: 3/01/03	prof	OC	Pénétrométrique
m		OBSERVATIONS	m		SONDEURS FG. NB
	110a	Tunnel			
	11080	T.N.V (y/k)			
	0.8	lim		33	11 0 Lag + calhaus
	1			15	11 0 - calhaus
	1.2			24	11 0
1m	2.2		14m	28	11 0 ± calhaus
	3.8			37	11 0 + calhaus
	3			32	11 0
	4.7			23	11 0 ± calhaus
2m	2.6		15m	32	11 0
	6.4			21	11 0
	5.3			15	11 0
	1.6			36	11 0
3m	1.3		16m	29	11 0
	0.8			28	11 0
	2.7			29	11 0
	5.8			23	11 0
4m	2.7		17m	47	11 0 ± Coire
	8			16	11 0
	7.5			18	11 0
	7.2			18	11 0
5m	5.2		18m	20	11 0
	3.9			18	11 0
	4.8	o n		25	11 0
	4.6	.		23	11 0
6m	0.8	lim	19m	29	11 0
	0.7			39	11
	0.4			26	o n Espace
	0.7			26	.
7m	0.2		20m	27	lim
	0.8			31	
	0.7			38	
	1.1			27	
8m	4.7		21m	26	
	1.8			33	
	4.4			43	
	6.1			55	
9m	5.8		22m	73	
	4.6			75	
	1.5			75	
	6.4			84	
10m	5.6	o n	23m	88	
	4.2	11		90	
	1.3	lim		73	
	7	11 0 Lag		67	
11m	9	11 0	24m	65	
	50	11 0		56	
	46	11 0		75	
	31	11 0		83	
12m	18	11 0	25m	73	
	20	11 0		80	
	17	11 0		92	
	17	11 0		105	TY 25.82
13m	28	11 0	26m	26.02	PO6 180 FAD6 81.20



APPAREIL N° A		CHANTIER SWALDEN NL		SONDAGE N° 6 (suite)	
prof	AP OC	DATE: 07/01/03		prof	OC
m		OBSERVATIONS	TYN (gde)	m	
	1080				
1m				14m	
2m				15m	
3m				16m	
4m				17m	
5m				18m	
6m				19m	
7m				20m	
8m				21m	
9m				22m	
10m				23m	
11m				24m	
12m				25m	
13m				26m	

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99



APPAREIL N° A		CHANTIER S.W. KLITEN		N.L.		SONDAGE N° 7	
prof	npa oc	1080	Tunnel	prof	oc	Pénétrométrique	
m			DATE : 18.12.2002	m		SONDEURS J.B & V.B	
		OBSERVATIONS Pavé / Avant trou				OBSERVATIONS	
	33	Rien			17	110	Grag - sableux
	5				20	110	
	4,8				28	110	
1m	5,3			14m	26	110	
	5,5				22	110	
	6	no π			16	110	
	6,1	∞			9,2	//	
2m	7,5	∞		15m	1,2	∞	
	8,6	∞			9,2	110 Grag	
	9,6	∞			12	110	
	11	∞			12	110	
3m	11	Rien		16m	M	110	
	12				10	110	
	14				16	110	
	16				13	110	
4m	14			17m	17	110	+ sableux
	11				19	110	
	12				18	110	
	15				27	110	
5m	14			18m	33	110	
	15				24	110	
	13				12	∞ π	
	10				M	Rien	
6m	8			19m	17	110	Grag
	5,3	//			57	110	
	0,7	Rien			29	110	
	0,7				16	110	
7m	0,7			20m	21	110	
	1,3				15	110	
	0,7				18	110	
	0,7				18	110	
8m	0,4			21m	16	110	
	0,6				10	110	
	3				38	110	+ sableux
	1				35	∞ π	
9m	5,2			22m	51	∞	épaisse
	6,8				50	Rien	
	8				39		
	8				48		
10m	M			23m	52		
	6,4				55		
	13				46		
	6				40		
11m	1,3			24m	35		
	1,4	110 Grag			38		
	4,8	110	Ø 6 M, 42m R R 64		33		
	4,7	110			63		
12m	5,4	110		25m	60		
	5,0	110			53		
	5,3	110			68		
	6,4	110			61		
13m	7,2	110		26m	67		



APPAREIL N° A		CHANTIER SWALTEAU		N.L.		SONDAGE N° 8	
prof	N ^o ac	N ^o bo	Tunnel		prof	ac	Pénétrométrique
m			DATE: 21/12/2002	prof	ac	SONDEURS	F15 et V15
			Abat froid ramière	m		OBSERVATIONS	
	3	oo II			57	110	Crq.
	2	o			42	110	
	1,4	Rien			34	110	
1m	1,4			14m	18	110	± cru
	0,5				13	110	cru
	3				21	110	
	5,2				16	110	
2m	2,5			15m	21	110	
	0,9				32	110	
	0,6				24	o II	
	1,5				21	o	
3m	3,2			16m	28	//	
	14	o II			27	110	Crq.
	18	o			34	110	
	19	o			24	110	
4m	18	o		17m	28	110	
	18	o	épais		32	110	
	17	Rien			33	110	
	14				33	110	
5m	13			18m	29	110	
	12				98	110	
	10				88	o II	
	7,2				62	o	
6m	5	oo II		19m	62	o	épais
	0,6	Rien			54	o	
	0,3				66	o	
	0,4				60	o	
7m	0,9			20m	53	o	
	2,4				57	o	
	0,7				53	o	
	0,7				33	o	
8m	0,6			21m	38	o	
	0,7				62	Rien	
	0,5				52		
	3,2				58		
9m	5,2			22m	60		
	12				64		
	15				63		
	23	110	Crq.		66		
10m	28	110	Ø 80 9,78 26 R 65	23m	93		
	28	110			84		
	23	o II			125		
	20	110	Crq. ± cru				
11m	21	110		24m			
	28	110					
	68	110	+ sableux				
	34	110					
12m	62	110		25m			
	83	110					
	82	110	± cru				
	63	110					
13m	56	110		26m			

Matériau sable
limoneux = Arg. lim.
fine
Ø CR = 2,50m

04 23 58

23,76 PDS 180 PADS 93,60
24,02 PDS 180 PADS 97,20
24,76 PDS 180 PADS 121,30

Refuser d'augmenter à 26,46 m
Ø 36 26 119,90 / 103,60
Ø 90 26 66,60 / 26,10



9 rue Jacques Prévert 42570 St HEAND
Tél : 04.77.30.92.88 Fax : 04.77.30.46.71

APPAREIL N° A		CHANTIER SWALDIEN NL		SONDAGE N° 9	
prof	Pa oc	Tunnel		Pénétrométrique	
m	1080	DATE : 08/01/2003	prof	oc	SONDEUR S DB-FG
OBSERVATIONS TNU selon			OBSERVATIONS		
	1,7	Rim	31	110	Caq ± Ca
	1,4		42	110	
	0,9		33	110	
1m	0,7		14m 21	110	Ca
	0,6		35	110	± cailler
	3,2		49	110	± cailler
	3,3		59	110	
2m	5		15m 23	110	
	5,7		23	110	
	6,4		50	110	
	5,2		98	110	± épau
3m	5,2		16m 113	110	Rim DY 16,06m
	3,2				PAD 6 81,90
	0,7				alpha dynamique 16,24m
	0,3				
4m	1,1		17m		Ø 36 DG 99,50 / 161,20
	2,2				
	1				Ø 80 DG 64,40 / 31,80
	4,1				
5m	6,3		18m		
	6,1				
	5,7	11			cailler limonose : quantité qui force
	3,7	Rim			manille à pression angulaire
6m	2,4		19m		raison
	3,9				± limon beige
	1,4	110 Caq			Ca ± 2,30m
	5,7	110			Ø 80 668m 17 R 57
7m	4,1	110	20m		
	4,3	110			
	4,2	110			
	3,4	110			- cailler
8m	2,6	110	21m		
	2,3	110			
	3,5	110			
	1,1	110			
9m	4,2	Rim	22m		
	3,2	11			Ca
	5,8	Rim			
	1,3				
10m	7,0	110 Caq	23m		
	5,1	110			
	6,4	110			
	10,0	110			± Ca
11m	8,6	110	24m		
	7,2	110			
	6,7	110			
	6,7	110			
12m	6,3	110	25m		
	8,0	110			
	8,6	110			
	10,1	110			
13m	3,7	110	26m		



APPAREIL N° A		CHANTIER SWARMEN		SONDAGE N° 10	
prof	P/A OC	Tunnel		prof	OC
m	1080	DATE : 13/12/2002	prof	OC	SONDEUR S 108 - VS
		OBSERVATIONS	m		OBSERVATIONS
	1.1	Rien		38	o T
	1.2	"		16	o
	0.5	"		75	o
1m	0.5	"	14m	13	o
	3.3	"		45	o épaisseur
	2.9	"		43	o
	1.5	"		35	o
2m	5.2	"	15m	38	s
	2.7	"		44	Rien
	0.7	"		27	
	0.6	"		28	
3m	0.8	"	16m	31	
	0.6	"		131	
	1.4	"		16.52	PRG 180 PADG 103.30
	3.7	oo T		16.16	PRG 180 PADG 95.20
4m	2.2	o	17m	17.02	PRG 180 PADG 109.50
	3.3	Rien		17.26	PRG 180 PADG 104.30
	8	"		17.52	PRG 180 PADG 113.80
	6.6	"		17.76	PRG 180 PADG 107.70
5m	3.6	"	18m	17.92	PADG 116.10
	3.5	"			Refus en dynamique à 17.92m.
	3.2	"			
	3.1	"			
6m	4.4	"	19m		
	7	"			
	4	"			
	16	oo T			
7m	22	"	20m		
	24	"			
	25	110 Grog			ø 80 DS 67.70/43.80
	24	110			
8m	24	110	21m		ø 36 DGR 15.20/113.50
	28	110			
	44	110			Vibrations
	40	110			
9m	30	110	22m		
	43	110			
	35	110			
	42	110			
10m	33	110	23m		
	22	110			
	24	110			Matériaux Sabloux beige
	3.2	110			
11m	18	oo T	24m		
	18	Rien			
	23	110 Grog			Rouche mouille à 17.70 m
	18	110			
12m	24	110	25m		
	48	110			Cap à ± 2.50m
	122	110			Infus FUGRO
	123	110			
13m	30	110	26m		

APPENDIX 4

ADDITIONAL RESULTS OF THE AMAP'sols

STATIC-DYNAMIC PENETROMETER

by :

G. SANGLERAT⁽¹⁾, M. PETIT-MAIRE⁽²⁾, F. BARDOT⁽³⁾ and P. SAVASTA⁽⁴⁾

AMAP'sols
Pénétration Statique lourde (220 kN)
Piézocone Environcone
So au capital de 650 000 F
9 rue Jacques Prévert
42570 SAINT-HEAND
Tél. 04 77 30 92 88
Télécopie. 04 77 30 46 71

ABSTRACT : The new high performance AMAP'sols static-dynamic penetrometer has been performing well in France for the last three years. It was designed in Lyon in cooperation with Van Den Berg in Holland. It allows the use of various types of cone tips for static penetration, such as standard electronic 10 cm² cone equipped with the friction sleeve as well as the piezocone, the Van Den Berg environmental cone and the cone with mechanical, telescopic transmission with surfaces from 12 to 50 cm². This penetrometer is capable of penetrations over 100 meters and can withstand cone tip resistance up to 140 MPa. Whenever the static cone meets refusal, further penetration may be achieved by dynamic penetration generated on the rods by the action of a very powerful hydraulic hammer. This has provided penetrations through layers which had never been completely traversed with the heaviest of other types of static-dynamic penetrometers. This paper presents results obtained with the AMAP'sols penetrometer adapted with different types of cones in various soil types commonly encountered in areas in and around Lyon and Le Havre, France.

1. INTRODUCTION

A summary of the development of the penetrometer was presented in 1994 (ref.1). Emphasis was placed on the static-dynamic penetrometer, invented in France in 1950. Eventual developments in 1967, in Lyon, permitted ever deeper penetrations of dense or gravelly soils (ref.2).

Both the purely static and purely dynamic penetrometer types have advantages and drawbacks (ref. 3). The French developed the static-dynamic penetrometer in order to combine the advantages and eliminate the short comings.

In 1992, the AMAP'sols, truck mounted, static-dynamic penetrometer was developed which went into field trials, thereby providing its great advantage, in terms of deeper penetration, for use in many different soil types and conditions.

Preliminary test results obtained in the city of Lyon were then presented and showed a penetration of 15 m into dense sandstone substratum (ref.1). This penetration by penetrom-

eter of any other kind had never before been achieved.

Since then, at another site in Lyon, penetration was achieved through 21 m of dense, sandy gravel alluvium followed by 24 m into dense grey-tan sandstone. This stands as a penetrometer record in this kind of soil. This type of soil investigation is less expensive than the usual method of sampled bore hole.

2 - THE AMAP'sols STATIC-DYNAMIC PENETROMETER

2.1 Principle of operation

In 1992, geotechnical engineers in Lyon and Saint-Etienne conceived a new static-dynamic penetrometer equipped with mechanical cone tip to improve this type of soil exploration.

The important improvements brought about consisted of :

(1) Expert agréé par la Cour de Cassation, Lyon
(3) FONDA CONSEIL, Lyon

(2) P.-D.G. d'AMAP'sols, Saint-Héand, Loire
(4) SETSOL, Veaux, Bouches-du-Rhône

Static mode : totally automatic operations, penetration at 2 cm/sec with continuous numeric recording every 2 cm on memory board with simultaneous drawing of the cone resistance diagrams in real time. This allows for instantaneous control of the penetration.

The records and evaluations are transmitted by modem to the office which permits rapid engineering interpretation of the test results to evaluate the soil parameters needed for the determination of soil bearing capacities and settlements (ref. 4, 5 and 6).

Dynamic mode : the old fashion way of driving a probe by a free falling hammer was replaced by a very powerful, fast-action hydraulic hammer (see fig.1), with adjustable energy, capable of going through extremely dense layers and penetrate into red bedrock.

Installation : the penetrometer is mounted on 6x6 Mercedes truck, of 260 kN.

The leveling of the truck, to insure true vertical penetration, is done automatically by five hydraulic jacks controlled by electronic sensors. Four of the jacks bear on retractable track of the truck which is an auxiliary propulsion mechanism (see fig. 2).

The cat-like tracks insure fast and easy mobility on soft soil terrains where conventional trucks would bog down. They are a patented device of Van Den Berg of the Netherlands who has a great experience with the static penetrometer over many years. His high degree of technical expertise in hydraulic systems and the recording of data has lately contributed to the success of the device.

The name AMAP'sols means "*Ateliers Mobiles d'Auscultation par Pénétration des Sols*" (Mobile Soil Testing Unit by Penetration).

2 Characteristics

This penetrometer offers the possibility of all manners of penetration into soils for specific purposes. It can push all the known measuring tips varying from 10 to 50 cm², be they of the mechanical or the electronic types such as piezocones and others.

Usually, static penetration is done either with a 50 cm² mechanical tip equipped with a skin friction sleeve of 250 mm in length, or with a 44 cm² tip and a 200 mm sleeve.

Fig.1 - View of the hydraulic hammer and measuring equipment for the static-dynamic penetration of AMAP'sols

Fig.2 - General view of the AMAP'sols truck

In the static mode, the following measurements are made :

q_c : cone resistance (up to 30 MPa)

f_s : skin friction, which permits calculation of the friction ratio, FR

Q_{st} : total resistance to penetration (up to 220 kN)

When refusal is met at 30 MPa with the 44 or 50 cm² tip in a hard soil layer, static penetration may be continued with a 12 cm² tip not equipped with a friction sleeve. The static cone resistance of the 12 cm² tip can reach 140 MPa. When refusal is met, dynamic penetration is used.

It is obvious that at this level of stress, the evaluation of the ultimate shear strength of soils no longer translates into significant physical meanings.

So, dynamic penetration is used only to get through dense soil layers.

For additional information, every 25 cm, a static test is performed up to 140 MPa (which is very high and well above the capacity of any other static penetrometer). Each time that $q_c < 140$ MPa, the static penetration mode is employed. A sound alarm is triggered every time any of the load limits are reached for each of the tubing configurations.

In the event of a sudden drop of tip resistance, the dynamic driving mechanism automatically stops instantaneously at the upper boundary of the less resistant layer. This prevents the penetration to occur without any measurements made of the softer layer.

2.3 Other uses

The penetrometer accepts different cone tips, such as the piezocone and the envirocone of Van Den Berg (ref.7).

In each of these two cases, the computer programs used are those defined by Van Den Berg.

Depending on its manner of use, the piezocone can measure q_c , f_s as well as pore water pressures.

With the envirocone, the following measurements, besides q_c , are made possible :

- Soil conductivity
- H⁻ and O⁺⁺ concentration
- Redox potential
- Temperatures
- pH and porewater pressure

This range of utilization brings about a considerable improvement of the resources available to study environmental and waste management problems, thanks to the quality of the data obtained.

3 - LE HAVRE HARBOR

The operation of the AMAP'sols penetrometer 12 cm² cone tip, in its static mode, is different than that of the classical electric cone of 10 cm². Therefore it was necessary to prove the reliability of the cone tip calculated values by comparing them with the 10 cm² electrical and 50 cm² mechanical cone tips.

The comparative tests were made easy due to the fact that any one of the three cone types could be used for a soil foundation study in Le Havre (France).

These interesting results were obtained in the sedimentary deposits at the delta of the Seine river, in the Le Havre autonomous harbor.

Fine sandy and silty soils with some peat and gravelly layers are present.

Initially, two soundings with the AMAP' sols were made to 37 and 31 m. Down to a depth from 12 to 15 m, the large 50 cm² cone tip was used followed thereafter by the 12 cm² when denser soils had to be penetrated.

Subsequently and for comparative testing purpose, AMAP 1 was repeated in AMAP 4 using the traditional electrical 10 cm² cone. The results are superimposed on the diagram presented in fig.3. Correlations are very good between the electric sounding method and both the large and small AMAP'sols cone tips. Therefore, the following conclusions can be drawn :

- For all practical purposes, the same results are obtained whether the 10, 12 or 50 cm² cone is used. It is obvious that the larger cone has the tendency to smooth out the crests of the diagram due to the presence of gravels or the dips showing thin layers of soft soils.

- These results prove the validity of the method, using the small AMAP'sols cone (12 cm²).



Fig.1 - View of the hydraulic hammer and measuring equipment for the static-dynamic penetration of Amap'Sols

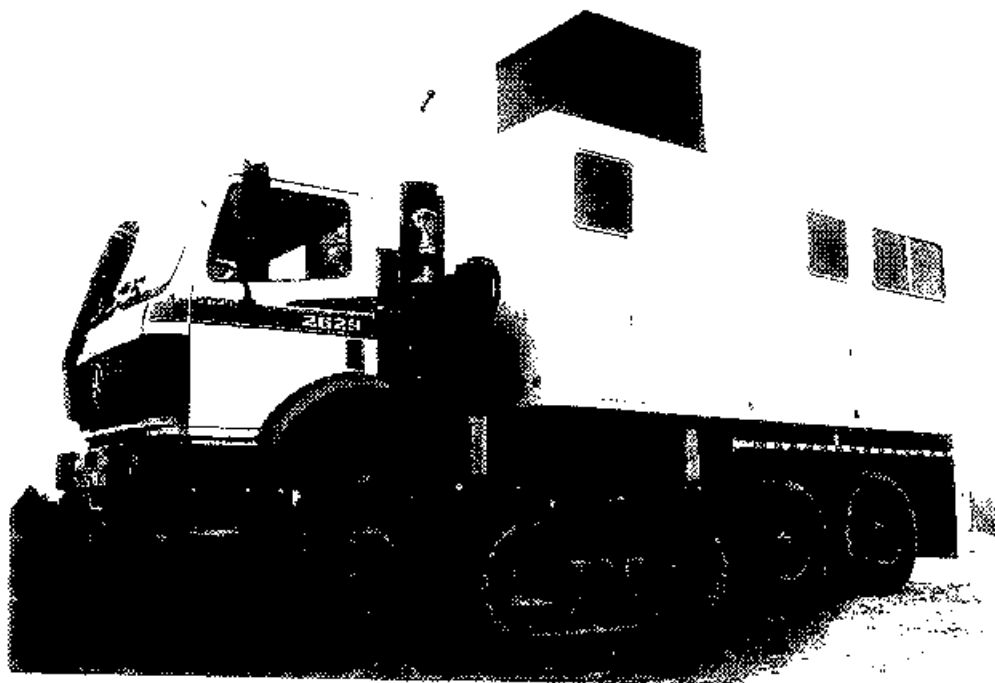


Fig.2 General view of the Amap'Sols truck

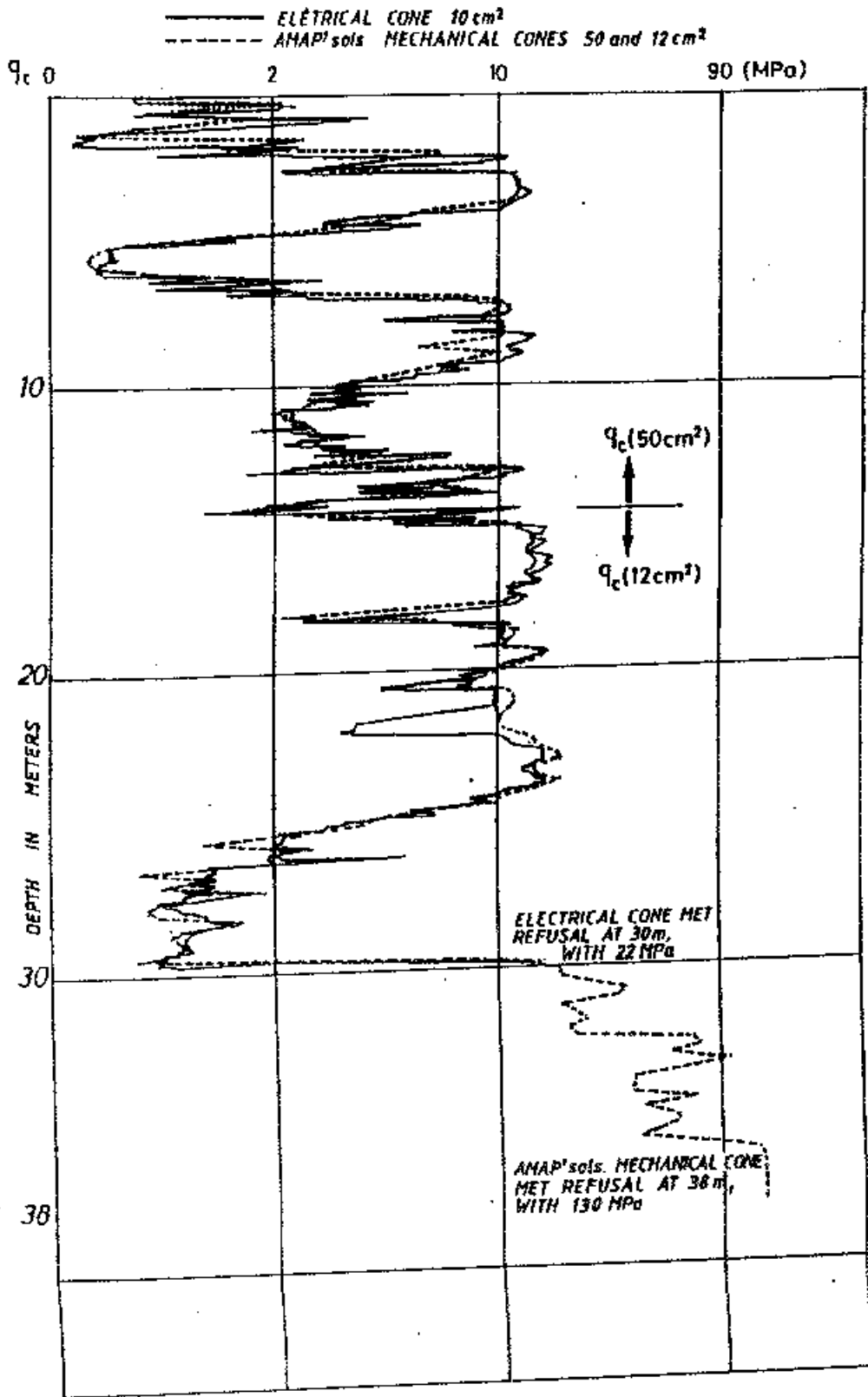


Fig.3 - Comparison of penetration diagrams in Le Havre harbor

4 - BRIDGE NEAR CHAMONIX

A three-span bridge was constructed in 1993 over the Arve river, in Cluses Marnaz, near Chamonix. The hyperstatic spans were 19, 32 and 19 meters. Following a soil investigation made with two pressuremeter soundings of 30,50 and 33 meters, it was decided to resort to metal piles deriving their support in lateral friction. Their length were calculated at 25 m into loose sandy soils interspersed with silt lenses, at times very organic. An important artesian condition had been detected between 20 and 26 m deep in a medium dense gravelly sand layer. During the pile driving operation, it was found necessary to increase the pile length by 13 m and subsequently, by an additional 20 m after two additional pressuremeter soundings of 55,50 and 65 m. This gave a total pile length of 58 m. The initial soil exploration had only penetrated to 33 m. Whereas the added pile length proved satisfactory for the support of the right abutment as well as for the two middle supports, it turned out inadequate for the left bank which underwent important deformations. A subsequent investigation initiated by a lawsuit was made to determine what remedial measures had to be undertaken.

Consequently, four static-dynamic penetrometer tests were made with the AMAP'sols penetrometer in order to determine the geotechnical characteristics of the soils through which the piles had been driven as well as those existing below the pile tips. These new tests reached the following depths :

on the left bank :

AMAP 1 = 70 m, AMAP 2 = 82 m

on the right bank :

AMAP 3 and AMAP 4 = 75 m.

None met refusal.

They were made with the large cone tip (50 cm²) with lateral friction measurements on a special friction sleeve down to the depths listed below :

20 m in AMAP 1

42 m in AMAP 2

38 m in AMAP 3

39 m in AMAP 4

Figure 4 presents the diagram of the AMAP 2 penetration.

Based on the information thus collected, the bridge was closed for a period of 4 months while

improvements were made to the left embankment. These consisted of removing 6 m of soil fill and replacing it with a light weight expanded polystyrene fill material and the installation of 8 vertical drains extending into the artesian aquifer.

5. DYNAMIC PENETRATION

It has been known for a long time that dynamic penetration into saturated cohesive soils should be avoided (ref.8). In other soil conditions however, this type of penetration is admissible even though the major and delicate problem then is to translate the penetration data into penetration resistance values of the conventional dynamic type, such as obtained by the Dutch formula, for example, which may be open to further discussion. This interpretation is made unnecessary with the data from the static-dynamic AMAP'sols penetrometer. Thanks to its great capacity and when used with the 12 cm² cone tip, soils with static resistances of up to 140 MPa may be penetrated. The dynamic mode therefore is only used to get through extremely dense soils which, once traversed, can be abandoned to return to the static mode of penetration, as soon as the resistance drops back down below 140 MPa. Consequently whenever the static penetration is over 140 MPa it is no longer of concern to evaluate the dynamic resistance or to translate the data into allowable bearing stresses. This is an important feature of the AMAP'sols penetrometer.

6. COST OF AMAP'sols TESTS

Practical experience over the last two years of operation of the AMAP'sols penetrometer shows that soil investigations made with this manner are less expensive than any other methods.

In France, the unit rate per meter of penetration of the typical AMAP'sols investigation is half as expensive as that of a good quality pressuremeter sounding and its cost is only about 30 to 33 % that of a soil boring with sampling or drilling parameters.

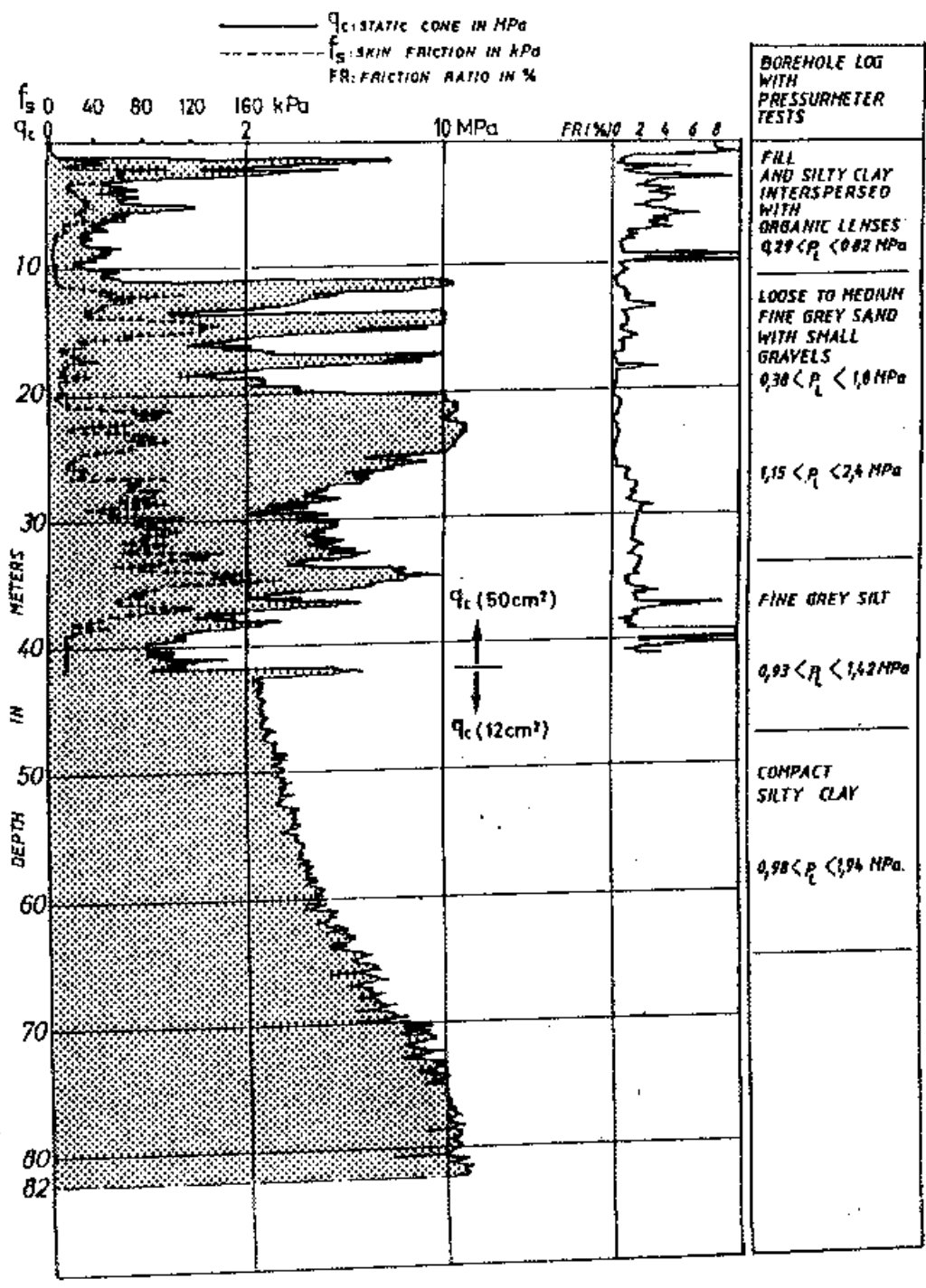


Fig.4 - Penetration diagram of the AMAP'sols static-dynamic penetrometer for the Cluses Marnaz bridge near Chamonix

7. CONCLUSIONS

This paper presents data which lead to the following three important conclusions, observed in France.

Record penetrations in dense or hard soils are achieved.

The important details of stratigraphy in dense and medium dense and soft and medium stiff soils remain in evidence.

The static-dynamic method of soil investigation with the AMAP'sols device is considerably more cost effective than any other traditional method of investigation soils.

REFERENCES

- 1-Sanglerat, G. 1994.
It took 2000 years of penetration testing to arrive at the AMAP'sols static-dynamic penetrometer.
Proceedings Symposium on Development in Geotechnical Engineering, Bangkok. pp 101 to 105.
- 2-Sanglerat, G., 1979.
The penetrometer and soil exploration.
Second enlarged edition, 488 p., Amsterdam, New-York : Elsevier.
- 3-Stetanoff, G., Sanglerat, G., Bergdal, U., Melzer, K.J., 1988. *Dynamic Probing (DP) International Reference Test Procedure.*
ISOPT-1. Orlando, Rotterdam : Balkema, pp 53-70.
- 4-Sanglerat, G., Girousse, L., Bardot, F., 1977.
Settlement predictions of buildings based on the static penetrometer data.
Fifth Southeast Asian Conference on Soil Engineering : 27-40. Thai Watana Panich Press.
- 5-Sanglerat, G., Olivari G., Cambou B., 1984.
Practical Problems in Soil Mechanics and Foundations Engineering.
Vol.I *Physical Characteristics Soils, Plasticity, Settlement Calculation, Interpretation of in situ Test.* 283 p.

Vol. II *Wall and Foundation Calculations and Slope Stability.* 253 p. Amsterdam : Elsevier.

- 6-Gielly, J., Lareal P., Sanglerat, G., 1969.
Correlation between in situ penetrometer test and the compressibility characteristics of soils.
Conference on in situ Investigation in Soils and Rocks. pp 167-172 and 189-191. London.
- 7-Lunne, T., Eidsmoen, T.E., Powell, J.J.M., Quaterman, R.S.T., 1986.
Piezcone testing in overconsolidated clays.
39th Canadian Geotechnical Conference on in situ Testing and Field Behaviour. Ottawa.
- 8-Sanglerat, G. 1976.
Utilisation pratique des diagrammes de pénétration.
Revue Technica. Mars-Avril. pp. 4-12. Lyon.



APPENDIX 5

Mechanisch sonderen

Het mechanisch sonderen wordt in Nederland nog toegepast voor het sonderen in zeer vaste bodemlagen waarbij het risico voor beschadiging van elektrische conussen relatief groot is. Onder andere in Limburg vindt toepassing van de mechanische conus in de grindige bodem regelmatig plaats.

Bij een mechanische sondering wordt de druk die door de grond op de conus wordt uitgeoefend door de binnenstangen overgebracht naar het bovengrondse meetelement. Het meetelement zet de druk om in een elektrisch signaal dat wordt geregistreerd. Bij een elektrische sondering wordt de druk die door de grond op de conus wordt uitgeoefend gemeten door het direct boven de conus geplaatste meetelement. De meetwaarde wordt door een kabel geleid naar het bovengrondse registratiesysteem.

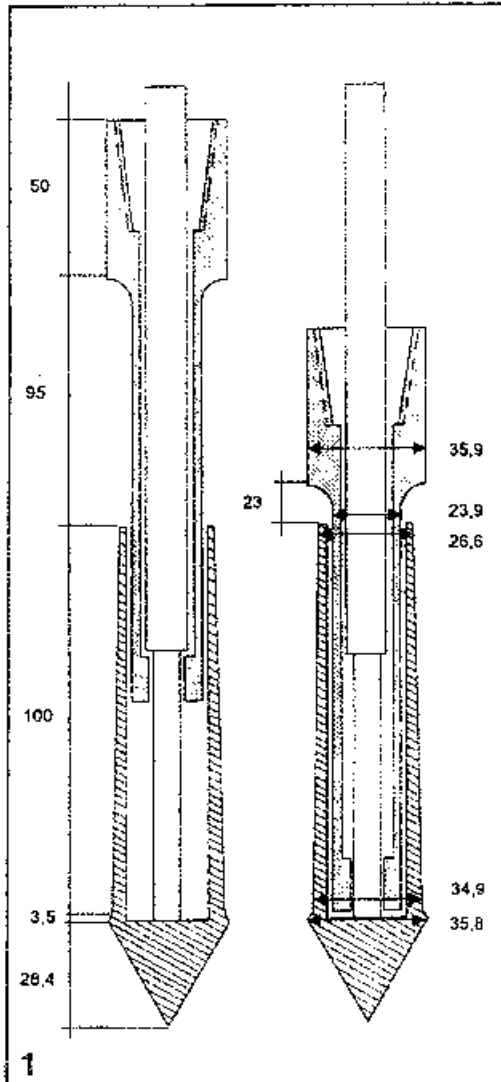
Door Fugro wordt de mechanische conus volgens figuur 1 toegepast. Het puntoppervlak van de conus is 10 cm^2 (gemeten over een vlakke doorsnede aan de punt). De slaglengte is bij de in Maastricht toegepaste conus teruggebracht van 72 mm naar ca 20 mm.

Het sondeerproces zelf wordt continue uitgevoerd waarbij de mantelbuizen en de binnenstang tegelijk wordt weggedrukt. De meetkop is dan zo uitgevoerd dat de mantelbuizen door het huis worden weggedrukt en de binnenstangen door het meetlichaam (figuur 2). De lengte van de binnenstangen is dan zodanig gekozen dat de conus ongeveer de helft van de slaglengte is uitgeschoven. Tijdens het wegdrukken bewegen stangen en buizen niet ten opzichte van elkaar. Althans niet meer dan de beweging die wordt veroorzaakt door de ongelijke samendrukking van mantelbuizen en binnenstangen. Er wordt gebruik gemaakt van een elektrisch meetinstrument bovenop de binnenstang die wordt aangesloten op een recorder waarmee een continue registratie van de conusweerstand kan worden waargenomen. De meetdata worden bij elke 25 mm voortgang opgeslagen.

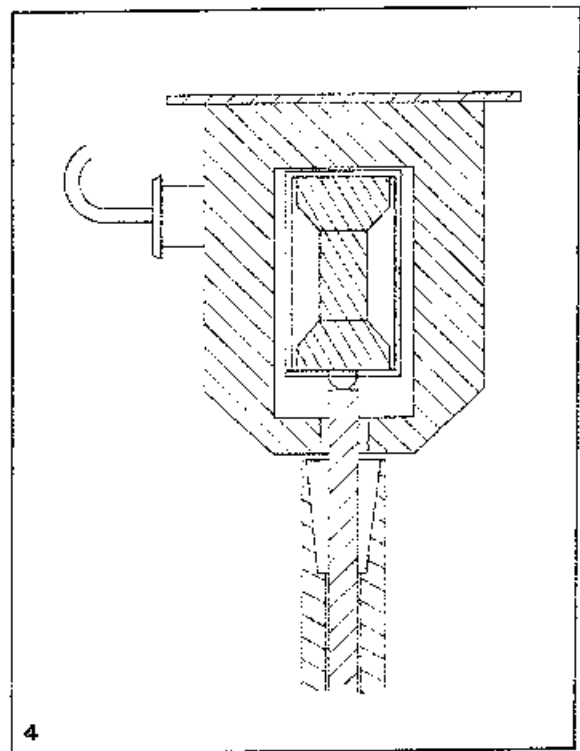
Het is niet gebruikelijk om correcties toe te passen op de gemeten conusweerstand voor vergelijking met de volgens de NEN gemeten conusweerstand met de elektrische conus.

Literatuur

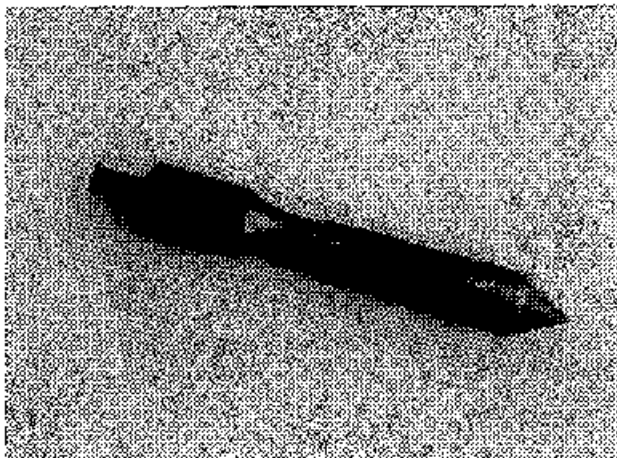
Sondeersymposium 1977, Fugro



Figuur 1 (uit sondeersymposium 1977)



Figuur 2 (uit sondeersymposium 1977)



Figuur 3