

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE LAUSANNE
INSTITUT DES SOLS, ROCHES ET FONDATIONS
Laboratoire de Mécanique des Roches

Directeur : Prof. F. Descoeurdes

ETUDE COMPARATIVE DE MESURES D'INCLINOMETRIE
DANS DES VERSANTS INSTABLES

VERGLEICHSTUDIE INKLINOMETERMESSUNGEN
AN RUTSCHHAENGEN

C. Martin

Mandat de recherche 24/77
de l'Office fédéral des Routes
Rapport final - Décembre 1985

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
1. INTRODUCTION	1
2. PREMIERE SERIE DE MESURES	2
2.1 Choix des appareils	2
2.2 Description sommaire des appareils	3
2.2.1 Télécline	3
2.2.2 Digitilt	4
2.2.3 Extenso-Deflektometer ISETH	5
2.3 Implantation et équipement des forages, déroulement des mesures	6
2.4 Résultats et interprétations des mesures	7
3. DEUXIEME SERIE DE MESURES	11
3.1 Choix des appareils	11
3.2 Description sommaire des nouveaux appareils	12
3.2.1 Visomat-GBB	12
3.2.2 Hexacline, type B	13
3.3 Choix des forages et déroulement des mesures	14
3.4 Résultats et interprétation des mesures	15
4. COMMENTAIRES RELATIFS AUX DIVERS APPAREILS	17
5. AMELIORATION DE LA PRECISION DES MESURES	20
6. CONCLUSIONS	24

ANNEXES

RESUME

A la demande de l'Office Fédéral des Routes (OFR), le Laboratoire de Mécanique des Roches (LMR) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) a été chargé d'effectuer une étude comparative de la fiabilité de divers inclinomètres disponibles en Suisse, par des mesures effectuées dans des versants instables en liaison avec la construction des routes nationales.

Le chantier du Viaduc de Beckenried a été choisi pour effectuer cette étude.

Des mesures régulières ont été effectuées pendant une année au moyen de trois appareils :

- Digitilt de la maison SINCO par le bureau Dr U. Vollenweider
- Télécline de la maison Geoconsult par Geoconsult
- Extenso-Deflektometer ISETH par l'Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau (ISETH) de Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich (EPFZ).

Les résultats de cette première campagne ayant montré certaines divergences entre les appareils, il a été décidé de poursuivre l'étude dans cinq forages. Cette étude a été effectuée au moyen du Digitilt et de deux nouveaux appareils, soit :

- Digitilt par le bureau Dr U. Vollenweider
- Hexacline B de la maison Geoconsult par Geoconsult
- Visomat-GBB du bureau Grundbauberatung AG par Grundbauberatung AG.

Seules les mesures effectuées au moyen du Digitilt ont donné des résultats fiables en accord avec les mesures topographiques. Ce rapport rend compte des divers résultats de mesure, de leur analyse et de leur comparaison, et cite une méthode d'exploitation des résultats, développée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) en France, qui tient compte des erreurs affectant les mesures et permet d'améliorer la précision des résultats.

1. INTRODUCTION

L'observation des mouvements à différentes profondeurs - et surtout des mouvements horizontaux - dans des versants dont on redoute l'instabilité, peut avoir de grandes incidences sur la conception et l'exécution d'ouvrages de génie civil qui doivent y être implantés.

L'Office Fédéral des Routes (OFR) a été confronté depuis plusieurs années déjà à ce problème, dans le cadre de la construction des routes nationales et des mesures d'auscultation qui s'y rattachent.

A l'instigation de M. W. Knobel de l'OFR, le Laboratoire de Mécanique des Roches (LMR) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) fut chargé le 28 mars 1977 par le Département de l'Intérieur du mandat de recherches 24/77 : Etude comparative de mesures d'inclinométrie dans des versants instables.

Si les caractéristiques, la simplicité de mise en oeuvre et de fonctionnement des appareils disponibles sur le marché peuvent être comparées sans trop de difficultés, leur **fiabilité** est beaucoup plus délicate à tester, car on ne peut le faire de façon réaliste que in situ et seulement dans le domaine des déformations qui s'y manifestent au cours du temps.

A cet effet deux sites furent choisis pour effectuer cette étude : celui du Viaduc de Beckenried sur la N2 et celui de Pont du Ganter sur la N9. Par la suite toutefois seules les auscultations effectuées à Beckenried furent utilisées pour la comparaison.

2.2 Description sommaire des appareils

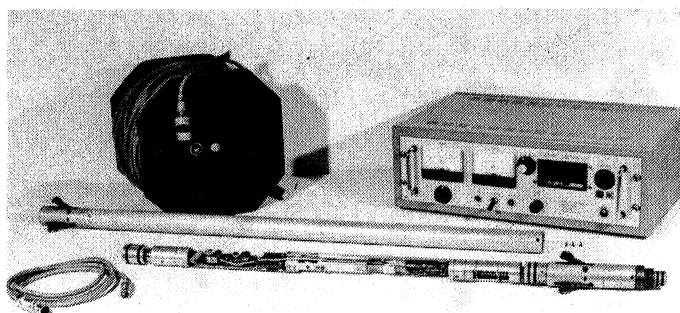
2.2.1 Télécline

Cet appareil a été développé par la maison Géoconsult pour permettre des mesures dans des forages équipés de tubes non rainurés.

La sonde est constituée de deux cylindres concentriques; le cylindre intérieur, qui renferme le pendule, peut tourner sur son axe grâce à un petit moteur commandé depuis la surface. Le cylindre extérieur est équipé de trois patins de guidage dans la partie supérieure et trois dans la partie inférieure qui le maintiennent au centre du tube.

Le pendule qui est fixé à une lame de ressort est ramené dans l'axe de la sonde par une balance électrodynamique. L'intensité du courant passant dans la balance est proportionnelle à la force de rappel qui dépend de l'inclinaison.

Lors d'une mesure, on détermine d'une part l'angle d'inclinaison et d'autre part l'azimut du plan dans lequel se trouve le pendule à l'aide d'une boussole interne à télémessure. Cela confère une certaine complexité à l'appareil mais lui permet une grande souplesse d'utilisation.



Télécline

La mesure s'effectue au moyen de deux servo-accéléromètres disposés l'un dans le plan des roulettes et l'autre dans un plan perpendiculaire. Ces servo-accéléromètres consistent en une masse flottant dans un champ magnétique et dont la position est maintenue constante par asservissement. Il sont disposés dans des boîtiers étanches qui servent d'amortisseur hydraulique. On réalise donc une mesure indirecte de l'inclinaison.

Il est possible avec cet appareil de mesurer des angles de $\pm 30^\circ$ sur la verticale.

La sonde qui a été utilisée à Beckenried a une longueur de 0.9 m et un diamètre de 45 mm.

Les mesures ont été effectuées au moyen d'un voltmètre digital.

2.2.3 Extenso-Deflektometer ISETH

L'Extenso-Deflektometer ISETH a été développé par l'Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich pour permettre de mesurer les trois composantes du vecteur déplacement, à l'intérieur d'un tube spécial, d'inclinaison quelconque.

Il ne s'agit donc pas d'un inclinomètre mais d'un déflectomètre dont le principe de fonctionnement diffère totalement de celui des deux appareils précédents.

La sonde, dont la base de mesure a une longueur de 3 m, est constituée de deux bras de 1.50 m, articulés sur cardans, qui sont déplacés au moyen d'un train de tige rigide.

A l'intérieur du tube plastique scellé dans le forage sont serties des pièces en métal dur en forme de V usinées avec grande précision.

Pour effectuer la mesure, les trois têtes de mesure de forme sphérique de l'appareil sont fixées dans les encoches métalliques au moyen d'un système de blocage commandé depuis la

Digitilt. Le deuxième forage reçut le tube spécial de l'ISETH d'environ 100 mm de diamètre avec les pièces en métal dur. Les deux tubes ont ensuite été liés au terrain par injection d'un coulis de ciment et d'argile.

Une dizaine d'auscultations, au rythme d'une série de mesure par mois, furent exécutées au moyen du Télécline et du Digitilt.

Une partie seulement des auscultations a pu être conduite parallèlement au moyen de l'Extenso-Deflektometer. Il s'agissait en effet de la première utilisation pratique de cet appareil, dont certaines maladies de jeunesse (défaut d'étanchéité, influence de la température, dérive électrique) ont dû être corrigées pendant la campagne d'essais; il n'a de ce fait pas été possible d'effectuer durant la période complète de mesure la détermination des déplacements horizontaux.

2.4 Résultats et interprétations des mesures

Nous donnons, aux annexes 1 à 4, un exemple de présentation des résultats tels qu'ils ont été établis par les divers organismes chargés des mesures :

- Annexe 1 : Géoconsult avec Télécline
- Annexe 2 : Bureau Dr U. Vollenweider avec Digitilt
- Annexes 3 et 4 : ISETH avec Extenso-Deflektometer

Pour permettre une comparaison directe entre les résultats obtenus au moyen du Télécline d'une part et du Digitilt d'autre part, nous avons reporté sur un même diagramme et à la même échelle les valeurs indiquées par ces deux appareils. Deux exemples de ces diagrammes figurent aux annexes 5 et 6.

A l'annexe 5, nous avons reporté, pour la dernière auscultation, les valeurs de déplacement d'une part selon les directions nord-sud et est-ouest pour le Télécline, et d'autre part selon les directions A et B pour le Digitilt. La direction A correspond à celle du plan défini par les deux rainures dans lesquelles se déplacent les roulettes de l'appareil, et dont

Le mécanisme de glissement, détecté au moyen du Digi-tilt, est composé d'un glissement principal affecté de glissements différentiels supplémentaires entre 16.20 et la surface.

- b) A l'opposé, les mesures effectuées au moyen du Télécline mettent en évidence une zone superficielle (0 à 11 m) caractérisée par un mouvement homogène en bloc et une zone inférieure (11 à 23 m) montrant un comportement d'abord homogène, puis progressivement affecté par des glissements différentiels.
- 3) En ce qui concerne l'azimut de la déformée maximum, elle est repérée de façon identique par les deux appareils, soit environ N 350°.
- 4) Compte tenu de la nature des terrains constituant la masse en glissement, les valeurs inclinométriques fournies par le Digitilt paraissent le mieux refléter le mécanisme réel du mouvement.

Une mesure topographique de la tête du tube inclinométrique aurait permis de lever l'incertitude relative à ces résultats. Malheureusement la direction des travaux avait omis de faire inclure ce point dans le réseau de mesures du géomètre et cette comparaison n'a pas été possible.

Pour essayer d'expliquer cette divergence, la maison Géoconsult avait émis l'hypothèse que des mouvements, de direction variable selon la profondeur, auraient pu provoquer une rotation du tubage; ce phénomène aurait pu faire croire à des mouvements, en fait inexistant, pour les mesures effectuées au moyen du Digitilt, guidé dans des rainures dont la direction varie au cours du temps. Ceci n'aurait par contre pas affecté les déterminations au Télécline, puisqu'on mesure à chaque auscultation la déviation maximale par rapport à la verticale et l'azimut du plan de déviation maximale.

Afin de contrôler cette hypothèse, la maison Géoconsult a effectué une mesure en décembre 1977 en plaçant un des patins de guidage de son appareil dans une rainure du tube et en déterminant à chaque niveau l'azimut de la direction de référence.

différences de résultats obtenus, il fut décidé d'effectuer une deuxième série de mesures dans d'autres forages équipés de tubes rainurés de la maison SINCO.

3. DEUXIEME SERIE DE MESURES

3.1 Choix des appareils

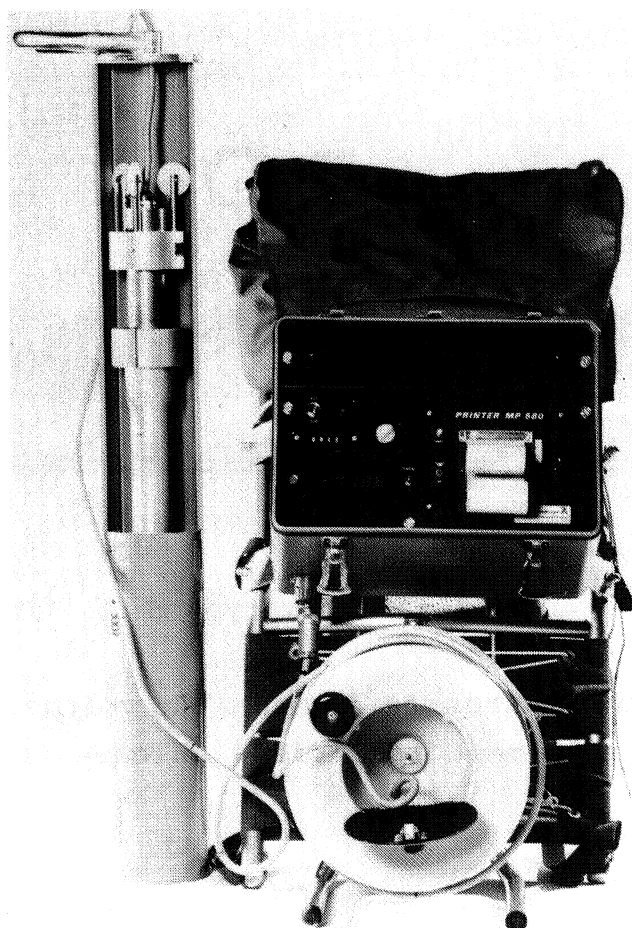
Pour cette deuxième série de mesures, il avait été convenu initialement de se limiter aux deux inclinomètres utilisés dans la première phase et de renoncer à l'emploi de l'Extensio-Deflektometer.

Cet appareil sortait en effet du cadre de l'étude qui ne devait porter que sur les appareils du type inclinomètre à l'exclusion de déflectomètres, comme cela avait été précisé dans la demande de crédit.

Des raisons financières empêchaient d'autre part l'utilisation de cet appareil; en effet, il n'était pas possible, dans le montant du crédit de recherche, d'effectuer de nouveaux forages pour les équiper du tubage spécial requis par l'Extensio-Deflektometer.

Le Dr Kapp du bureau d'ingénieurs Grundbau-Beratung AG, à St-Gall, ayant appris par le Dr Schneider qu'une étude comparative de divers inclinomètres était en cours, s'adressa à M. Knobel pour demander que l'appareil Visomat-GBB, développé avec la maison Visomat-Laier SA, soit également inclus dans l'étude comparative.

Cet appareil pouvant travailler dans les mêmes tubes que le Digitilt, il fut décidé de l'utiliser dans cette deuxième campagne de mesures.



Visomat-GBB

3.2.2 Hexacline, type B

Cet appareil a été développé par la maison Géoconsult à la suite de la première campagne de mesures, comme appareil léger et d'utilisation plus simple que le Télécline, pour les auscultations en montagne. Il fonctionne en tubes rainurés et la mesure s'opère au moyen d'un pendule asservi.

Son principe consiste à mesurer les projections des pentes sur trois plans à 120° les uns des autres, permettant une interprétation non influencée par les dérives éventuelles de l'appareil.

La sonde a un diamètre de 40 mm et une longueur de 610 mm.

La seconde auscultation eu lieu environ une année plus tard, soit au mois de juillet 1980.

3.4 Résultats et interprétation des mesures

Les résultats présentés par les divers organismes chargés des mesures sont donnés aux annexes 20 à 44 :

Annexes 20 à 24 : Digitilt du bureau Dr U. Wollenweider

Annexes 25 à 29 : Hexacline de Géoconsult

Annexes 30 à 39 : Visomat-GBB du bureau Grundbau-Beratung

Annexes 40 à 44 : Digitilt du LMR.

Pour permettre une comparaison directe entre ces résultats, nous avons reporté, aux annexes 45 à 49 sur les mêmes diagrammes et à la même échelle, les résultantes des déplacements calculés au moyen des divers appareils comme nous l'avions fait pour la première série de mesures.

Afin de ne pas surcharger ces diagrammes, nous n'avons reporté, pour le Digitilt, que les valeurs obtenues par le bureau Dr U. Vollenweider; celles-ci sont en général très proches de celles obtenues par le LMR.

On constate donc, en comparant ces résultats, des différences importantes dans les déplacements et dans la localisation des plans de glissement.

Les valeurs, indiquées par le Visomat-GBB, principalement, divergent totalement des autres valeurs et sont peu réalistes.

Le bureau Grundbau-Beratung AG a du reste renoncé, à la suite de cette campagne de mesures à l'utilisation de son appareil et il s'est équipé d'un Digitilt du même modèle que ceux du bureau Dr U. Vollenweider et du LMR.

Les résultats donnés par l'Hexacline diffèrent également fortement des valeurs du Digitilt, principalement en ce qui

Le forage No 445 n'a été pris dans le réseau topographique qu'à partir de 1981. Pour les deux forages Nos 7b et 501, qui ont subi des déplacements d'une certaine importance durant la période de mesure, la corrélation entre les valeurs des Digitilt et celles des mesures topographiques est excellente.

Pour les forages Nos 301 et 502, les déplacements en tête indiqués par le bureau Dr U. Vollenweider sont inférieurs aux valeurs calculées au moyen du Digitilt du LMR, ces dernières sont par contre très proches des valeurs topographiques et également de celles de l'Hexacline. Ces déformations restent toutefois faibles, principalement pour le forage No 301, et elles sont du même ordre de grandeur que la précision des mesures.

La déformée du forage No 7b présente une certaine analogie avec celle du forage faisant l'objet de la première série de mesures à Lätten.

Dans les deux cas, en effet, on se trouve en présence en profondeur d'un plan de glissement nettement marqué et en surface de glissements différentiels.

Il est probable que pour les résultats relatifs à la première campagne de mesures, la déformée calculée à partir des valeurs de Digitilt corresponde aux déplacements réels de la masse en glissement et que les valeurs du Télécline présentent des erreurs dans la partie supérieure du forage au-dessus du plan de glissement principal.

4. COMMENTAIRES RELATIFS AUX DIVERS APPAREILS

Sur la base des résultats obtenus au cours des deux campagnes de mesures effectuées à Beckenried, dans des glissements présentant des déplacements relativement importants, on constate que les appareils du type Digitilt à servo-accéléromètres ont donnés les meilleurs résultats.

très grande souplesse d'emploi permettant une mise en oeuvre dans des tubes quelconques rainurés ou non. La présence de la boussole à télémessure, enfin, permet de contrôler en tout temps, dans les tubes rainurés, la bonne orientation du plan de référence. Son utilisation semble toutefois relativement complexe et l'appareil reste délicat et difficilement utilisable par des opérateurs inexpérimentés.

Pour pallier ces inconvénients la maison Géoconsult a construit l'appareil Hexacline type B, pour des mesures en tubes rainurés. Cet appareil travaille dès lors sans boussole et son utilisation est plus simple que celle du Télécline. Son principe de mesure des inclinaisons dans trois plans à 120° est lui aussi ingénieux et il aurait normalement dû permettre une bonne précision des résultats.

Ce procédé aurait d'autre part dû donner la possibilité à l'opérateur de détecter facilement des erreurs de mesures directement sur le chantier (la somme des trois valeurs lues devant être constante) et, le cas échéant, de répéter immédiatement les lectures erronées. Les résultats obtenus au cours de cette deuxième campagne de mesures ont toutefois indiqué que cet appareil, testé pour la première fois sur le terrain à cette occasion, ne permettait pas des mesures fiables. Il est probable que cet appareil ait été amélioré depuis lors sans toutefois qu'une commercialisation soit envisagée.

L'autre inclinomètre de fabrication suisse, le Visomat-GBB, n'a pas été modifié à la suite des auscultations de Beckenried, le bureau Grundbau-Beratung AG ayant renoncé à l'utiliser pour le remplacer par un appareil de marque Digitilt.

En ce qui concerne l'Extensio-Deflektometer et bien que cet appareil sorte du cadre de cette étude relative aux mesures dans des versants instables au moyen d'inclinomètres, nous pouvons faire les observations suivantes.

Ce dispositif de mesures, qui a été testé pour la première fois de manière pratique lors des auscultations de 1976 et

sont équipés de servo-accéléromètres et de nombreux organismes en Suisse utilisent des sondes de marque Digitilt ou Glötzl.

Bien que les performances métrologiques de ces appareils soient élevées et que les mesures inclinométriques soient relativement simples dans leur principe, l'exploitation de celles-ci peut toutefois conduire à des résultats inexacts. Ceci provient du fait que ces mesures, comme toutes autres mesures, sont entachées d'erreurs dont on ne tient pas compte en général lorsqu'on calcule les déplacements.

Pour pallier l'imprécision du processus courant d'analyse des données inclinométriques, les Laboratoires des Ponts et Chaussées ont développé une méthode de dépouillement originale; celle-ci, qui a été mise au point par M. Virollet du Laboratoire régional de Toulouse, permet d'estimer les erreurs et d'en tenir compte lors du calcul de la déformée. Cette méthode est basée sur la double mesure en opposition à 0 et 180°, couramment utilisée avec les sondes habituelles et sur l'étude de la variation des inclinaisons plutôt que sur celle de la déformée.

Pour le traitement des données, on utilise l'angle égal à la demi-différence des valeurs mesurées dans les deux directions à la profondeur p et au temps t :

$$D(p,t) = \frac{1}{2} (\alpha_m^0 - \alpha_m^{180})$$

la demi-somme de ces valeurs :

$$S(p,t) = \frac{1}{2} (\alpha_m^0 + \alpha_m^{180})$$

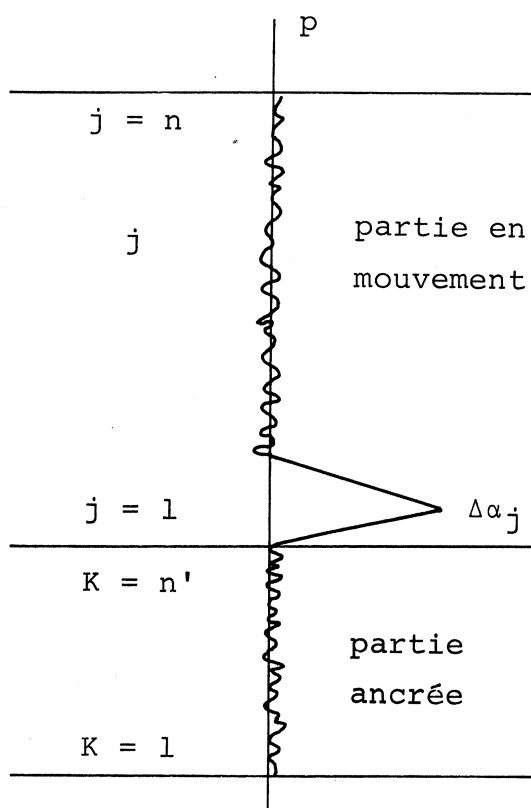
permet d'autre part de tester rapidement la qualité de la mesure.

En effet, sa valeur est à peu près constante au cours d'une mesure et il est possible de ce fait de mettre en évidence des erreurs grossières; si la valeur de S diffère sensiblement (par exemple d'une quantité > à 3 écarts types de S) de la

Variation angulaire : $\varepsilon_{\Delta d} = \pm 2.58 \times s(\Delta S) \sqrt{1 + \frac{1}{n'}}$

Déplacement : $\varepsilon_{dj} = \pm 2.58 \times s(\Delta S) \cdot a \sqrt{j + \frac{j^2}{n'}}$

dans lesquelles n' est le nombre de niveaux de mesure dans la partie ancrée et j le numéro du niveau considéré selon le schéma ci-dessous :

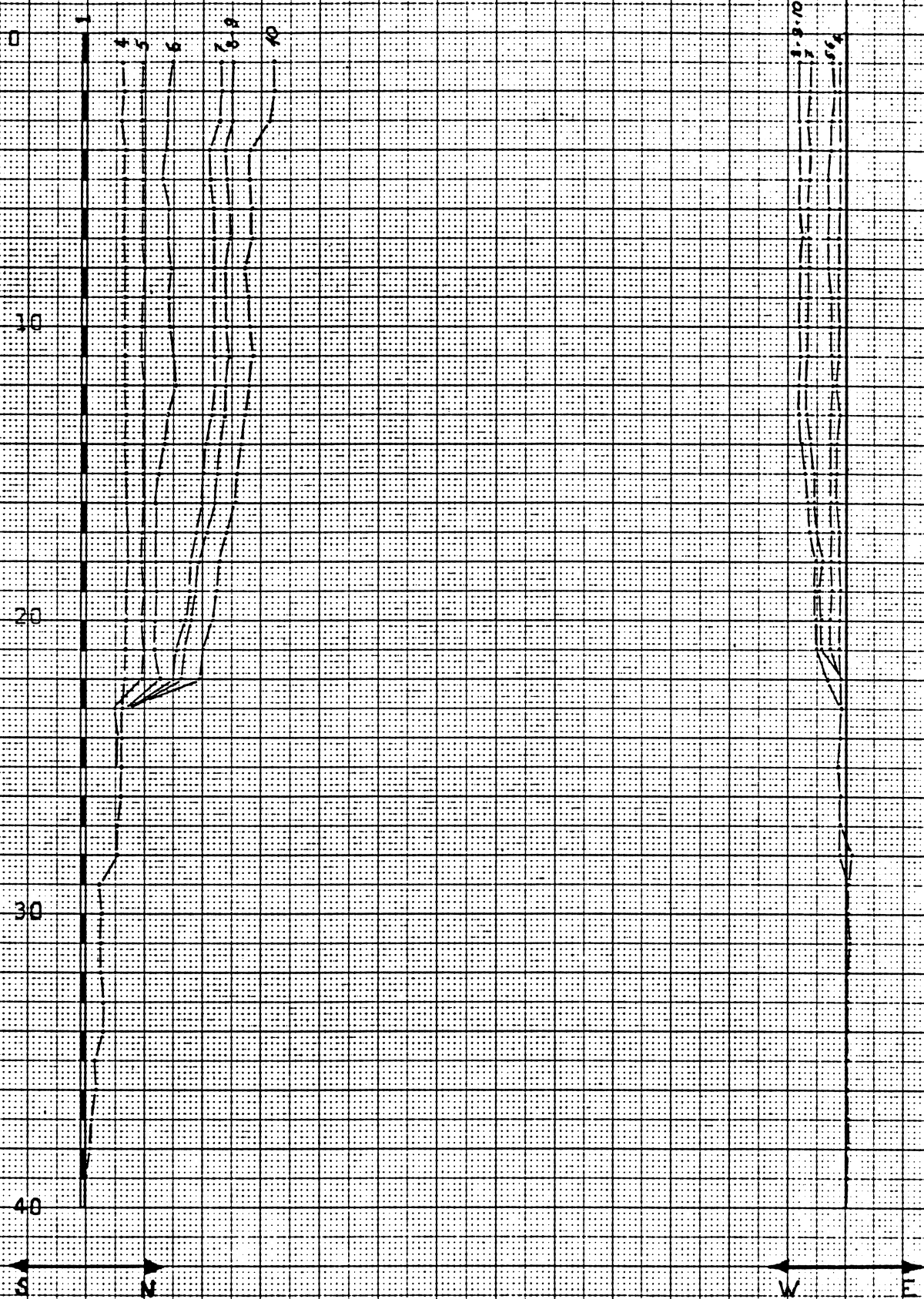


D'une façon plus générale, si on connaît expérimentalement, pour un appareillage donné l'écart type $s\Delta\alpha$ sur la mesure des inclinaisons, on peut admettre que l'intervalle de confiance sur les déplacements est proportionnel à l'expression :

$$a s\Delta\alpha \sqrt{j}$$

BECKENRIED

ETUDE INCLINOMETRIQUE



Echelle Verticale: 1/200

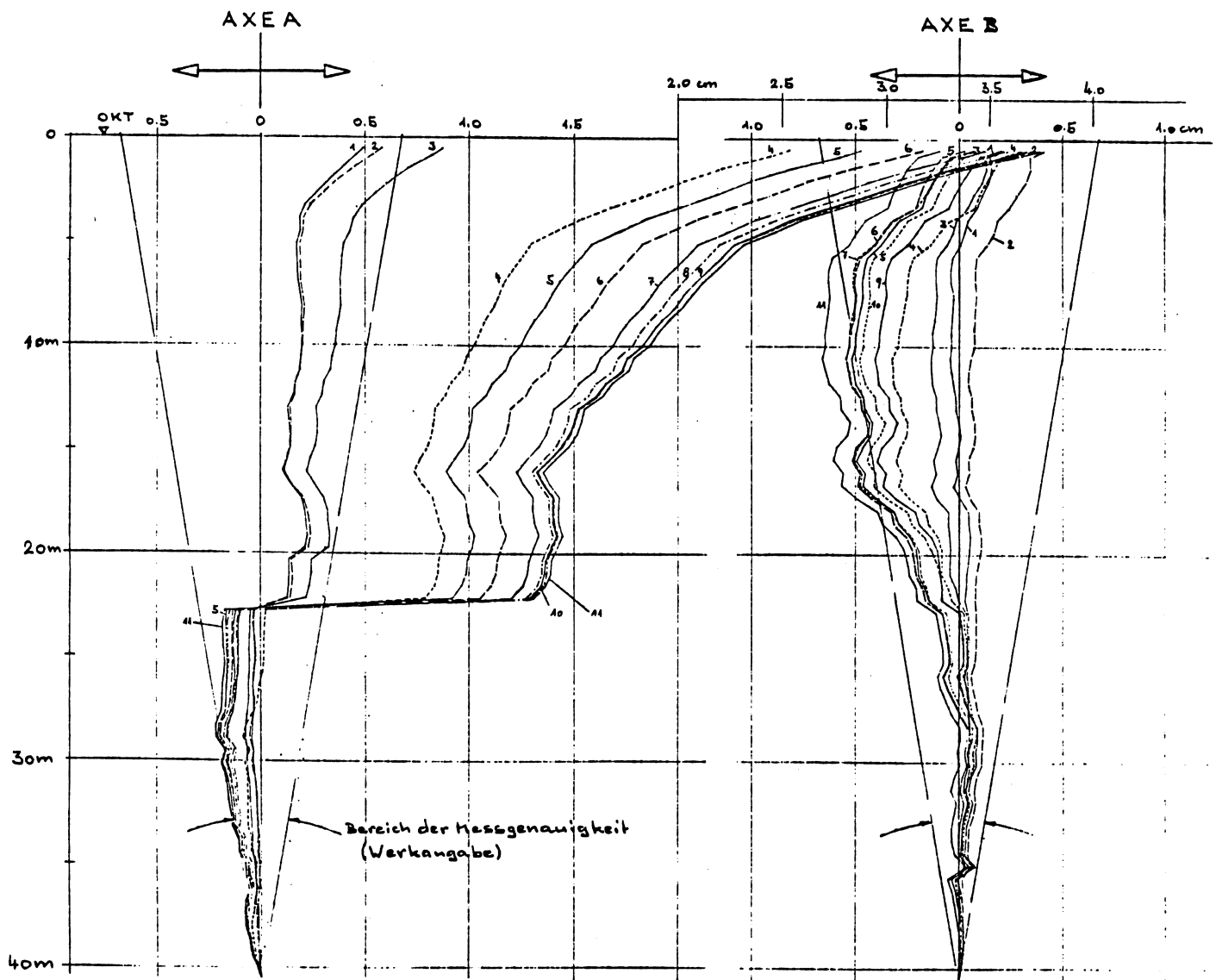
Horizontale: 1/1

ASF

LEHNENVIADUKT BECKENRIED

Inklinometrische Vergleichsmessungen

Gerät: Digitilt 50320 SINCO



Rohr eingebaut	28.4.76	10	10.12.76
Nullmessung	5.5.76	11	5.1.77
Messung 1	8.6.76		
Messung 2	5.7.76		
Messung 3	6.8.76		
" 4	7.9.76		
5	21.9.76 *		
6	6.10.76		
7	22.10.76 *		
8	9.11.76		
9	23.11.76 *		

(83 2 5, 6, 7 3)

* Auf Verlangen der Bauleitung LVB durchgeführt

Büro Dr. U. Vollenweider
Beratende Ingenieure ETH/SIA
Hegarstrasse 22, 8032 Zürich

B E C K E N R I E D

RESULTATE DER EXTENSO-
DEFLEKTOMETERMESSUNGEN

ZEITRAUM: 22.9.76 - 5.10.76

SITUATION

HAUS ACHERMANN

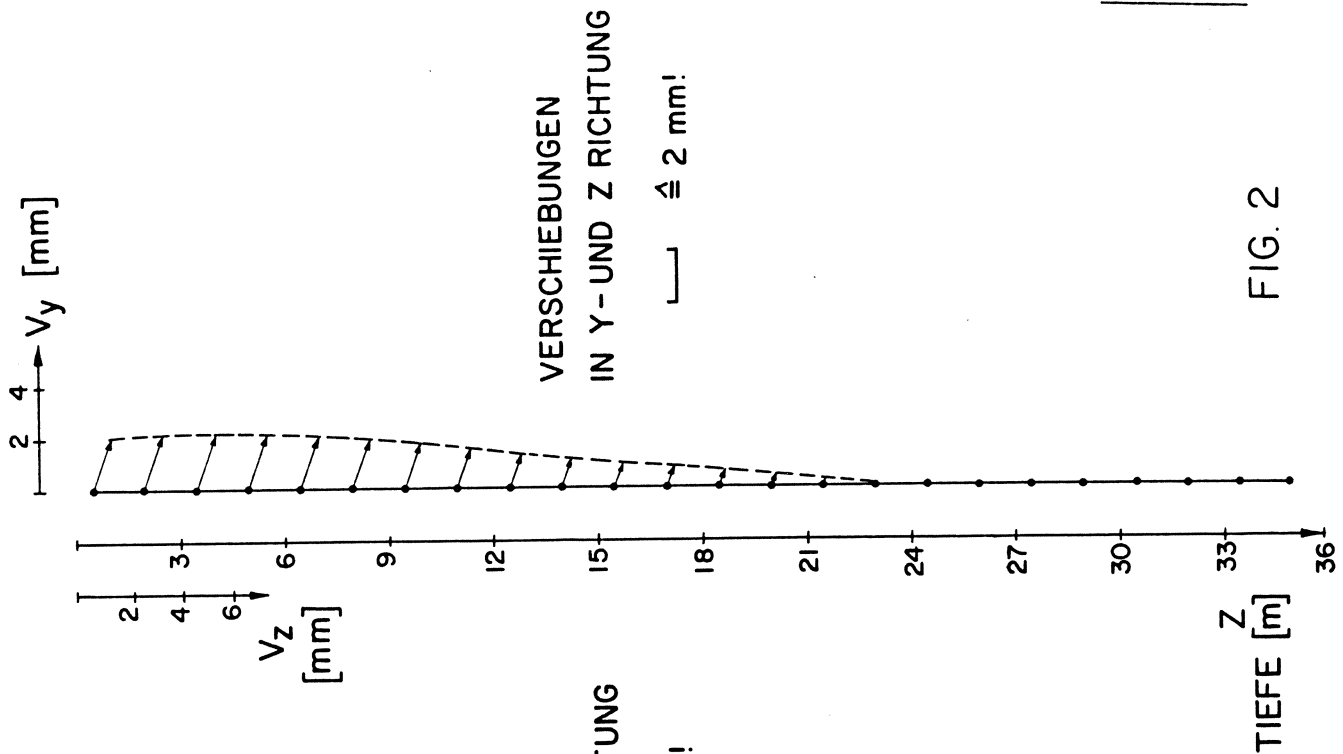
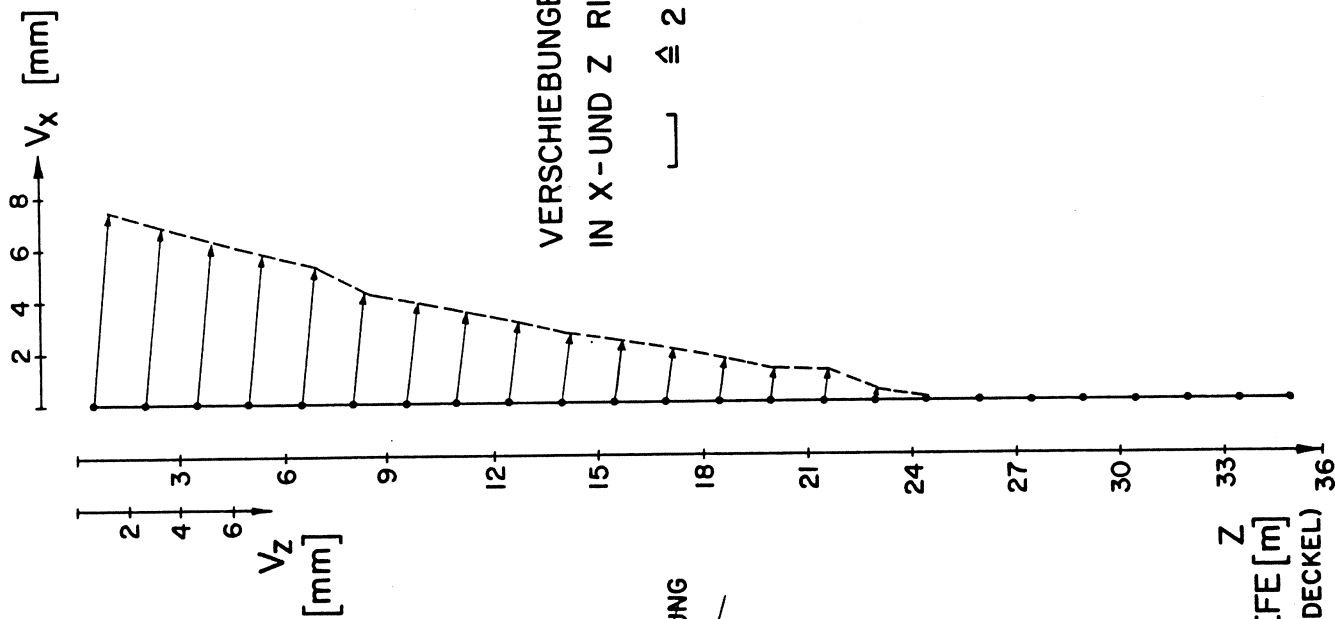
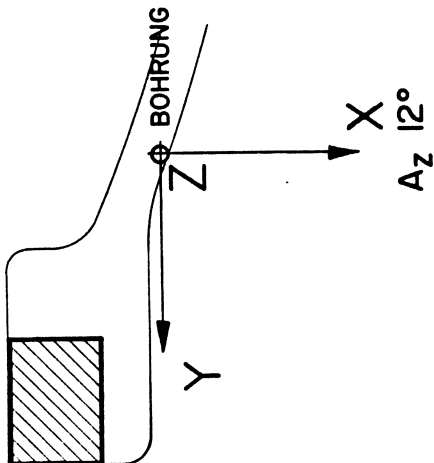


FIG. 2

FIG. 4b

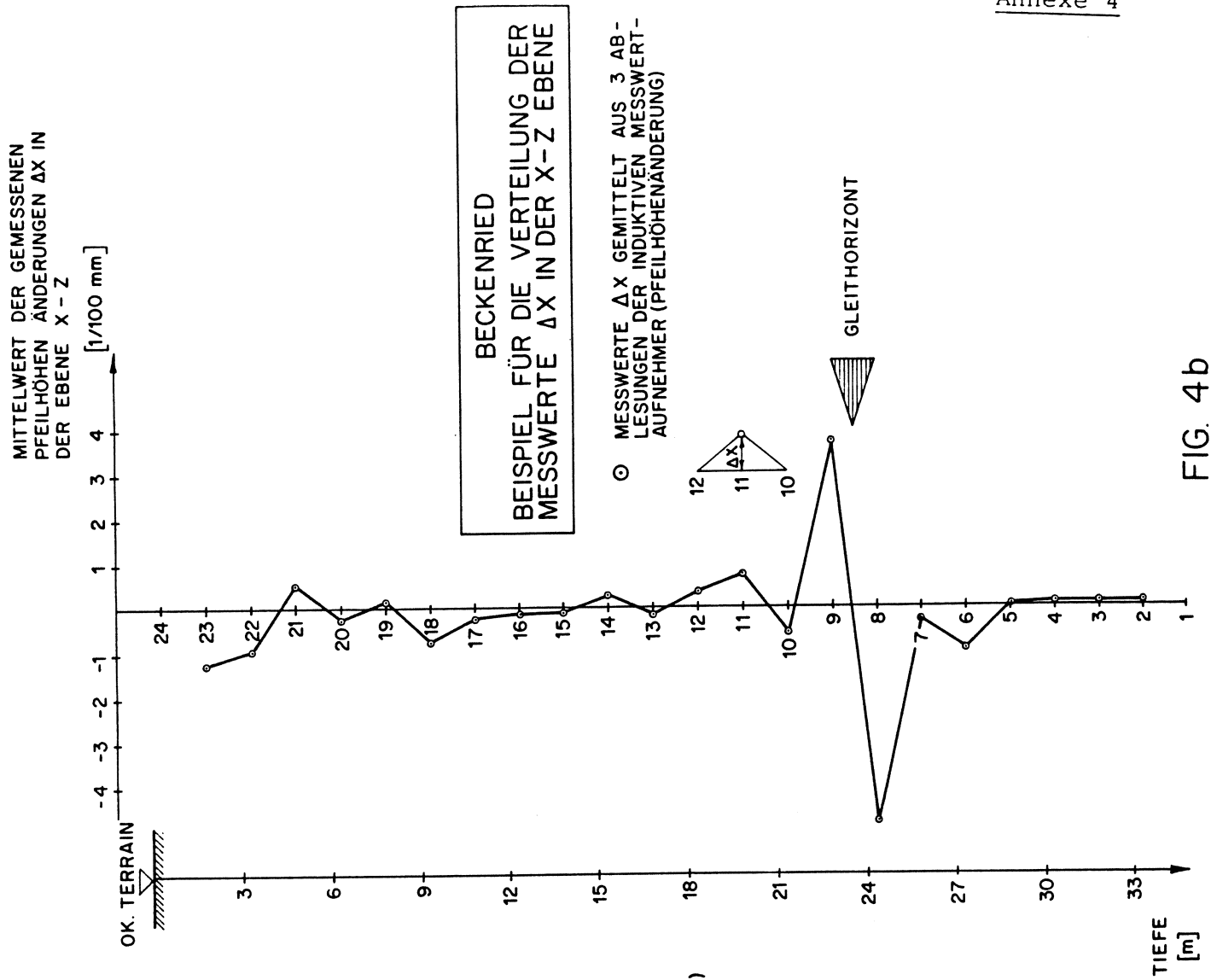
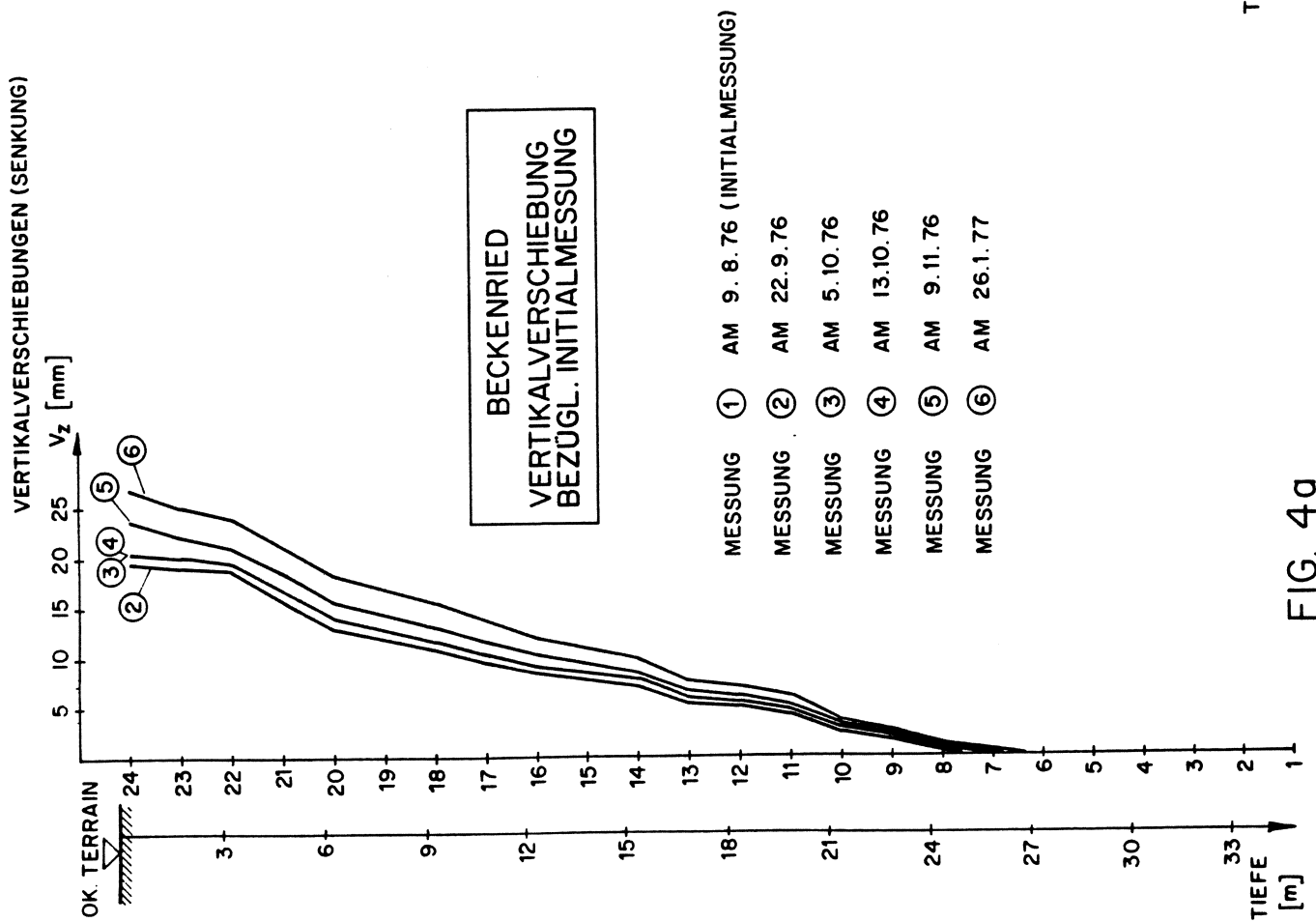


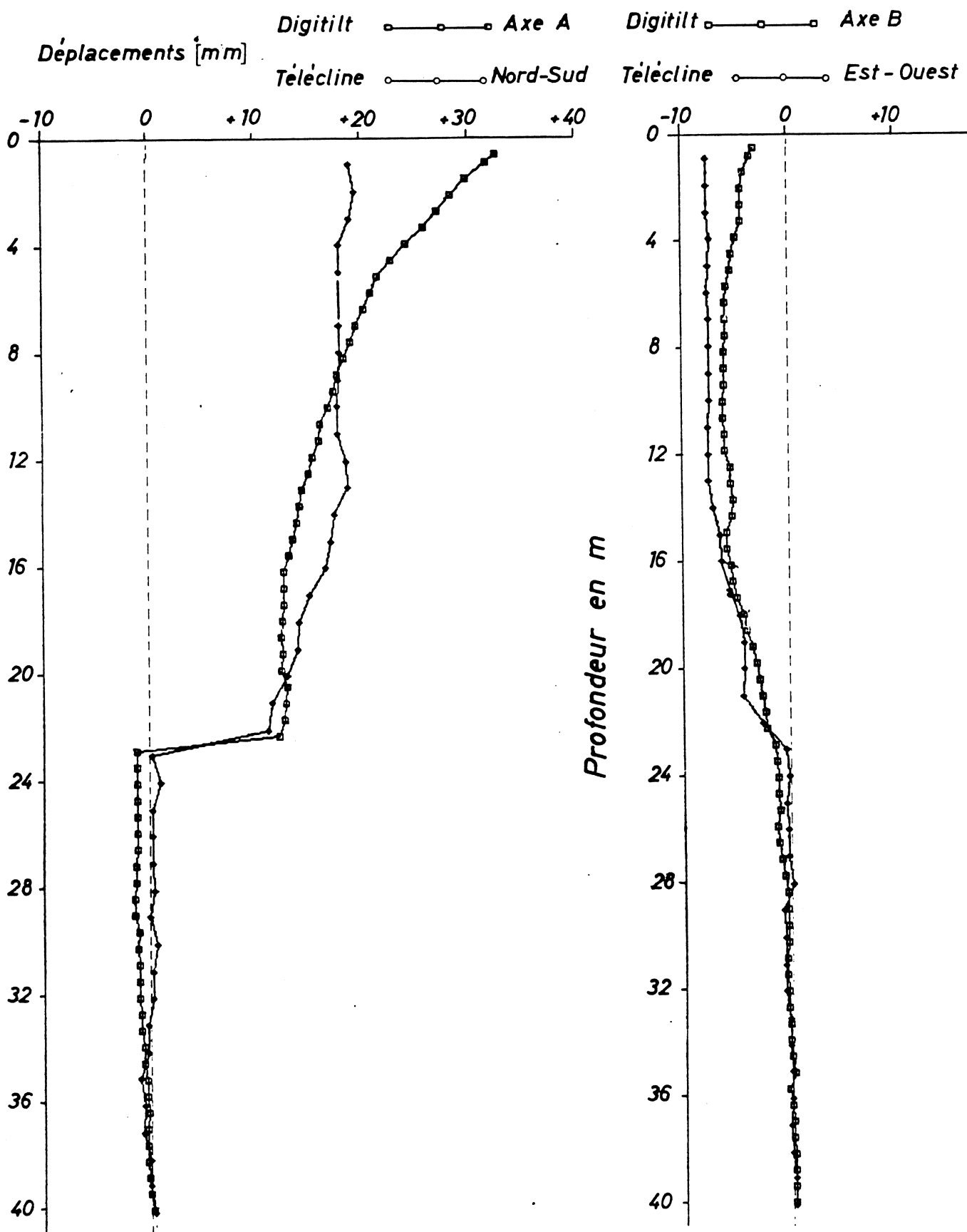
FIG. 4a

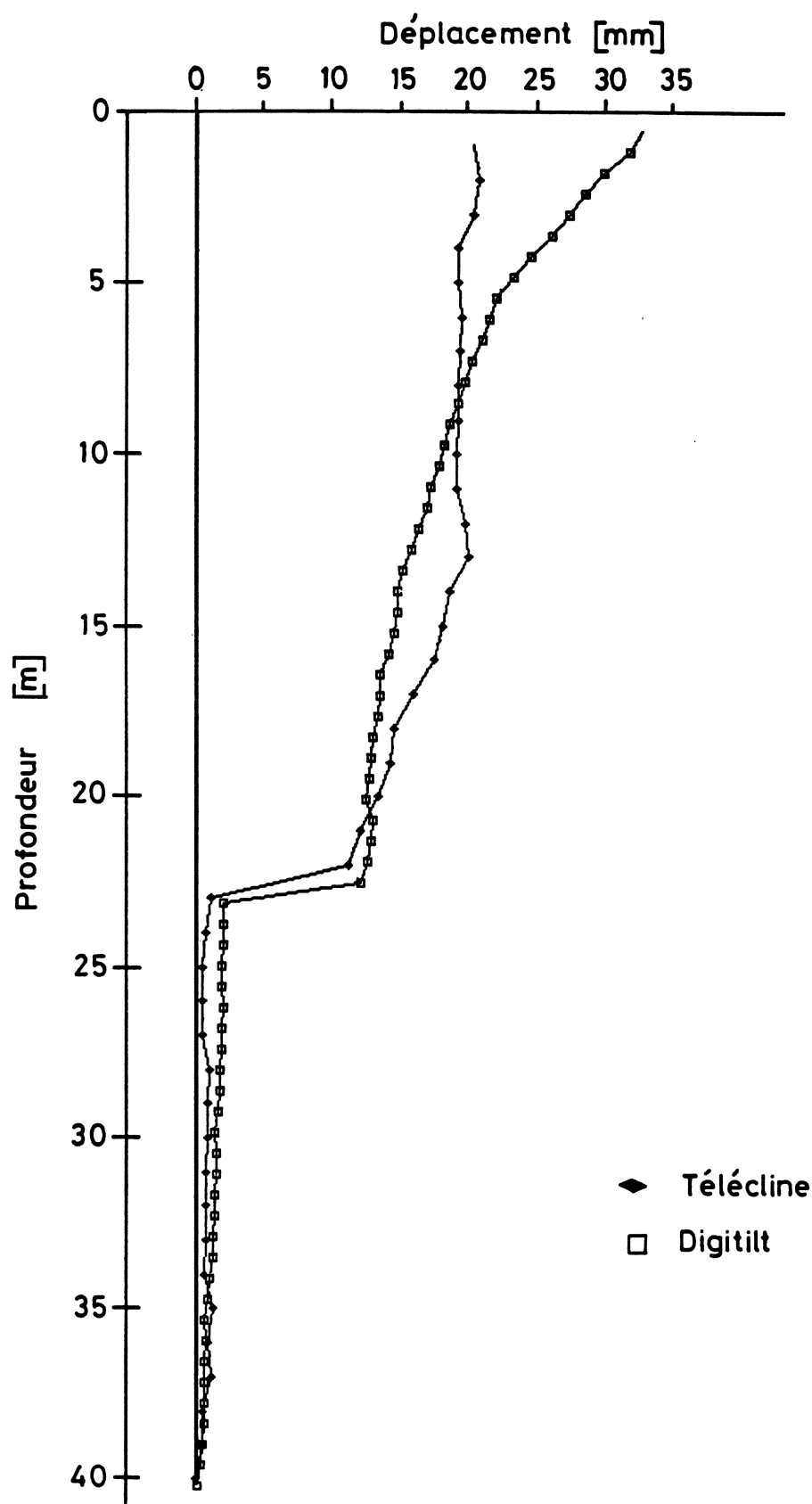


N2 VIADUC DE BECKENRIED

MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

	Digitilt	Télécline
Mesure initiale :	8-6-1976	9-6-1976
Date de la mesure :	5-1-1977	8-1-1977



MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

N2 NW

Lehnenviadukt Beckenried (Lätten)

Messstelle ASF

M 1:100

Bohrung

1

530 m ü. N.

37m bis zum Rand der bergseitigen Brücke

mm
(2 1)

30

20

10

Strasse

Digitilt

Télécline

künstliche
Schüttung

stark verlehmt Gehängeschutt

umgelagerte Moräne

stark verlehmt Gehängeschutt

alter Vegetationshorizont
umgelagerte Moräne

stark verlehmt Gehängeschutt

Bewegungshorizont nach Slope-indicator

verwittertes und versacktes Felspaket

Grundmoräne
Verwitterungszone der Felsoberfläche
Auflockerungszone der Felsoberfläche

Stadschiefer (Flysch)

510

500

490

Télécline 9.6.75 bis 8.1.77

Digitilt 8.6.76 bis 5.1.77

DR. T.R. SCHNEIDER
Beratender Geologe
Rutihofstrasse 53
8713 Uerikon ZH

BAUHERR: KANTON NIDWALDEN

OBJEKT: N 2, LEHNENVIADUKT BECKENRIED (LÄTTEN)

SONDIERUNG Nr. ASF 1

MASSTAB: 1, 50

BERICHT:

LUZERN, 1. 6. 1978

PLAN Nr.: 78 008 - 1

MEERESHÖHE: 526.61

AUSFÜHRUNGS-DATUM: 20.4. BIS 27.5. 78

PROFIL AUFGENOMMEN DURCH: GEOL. BÜRO
DR. T. R. SCHNEIDER, UERikon

BELAGE:

GEZEICHNET: E. M.

FORMAT: 30 x 116

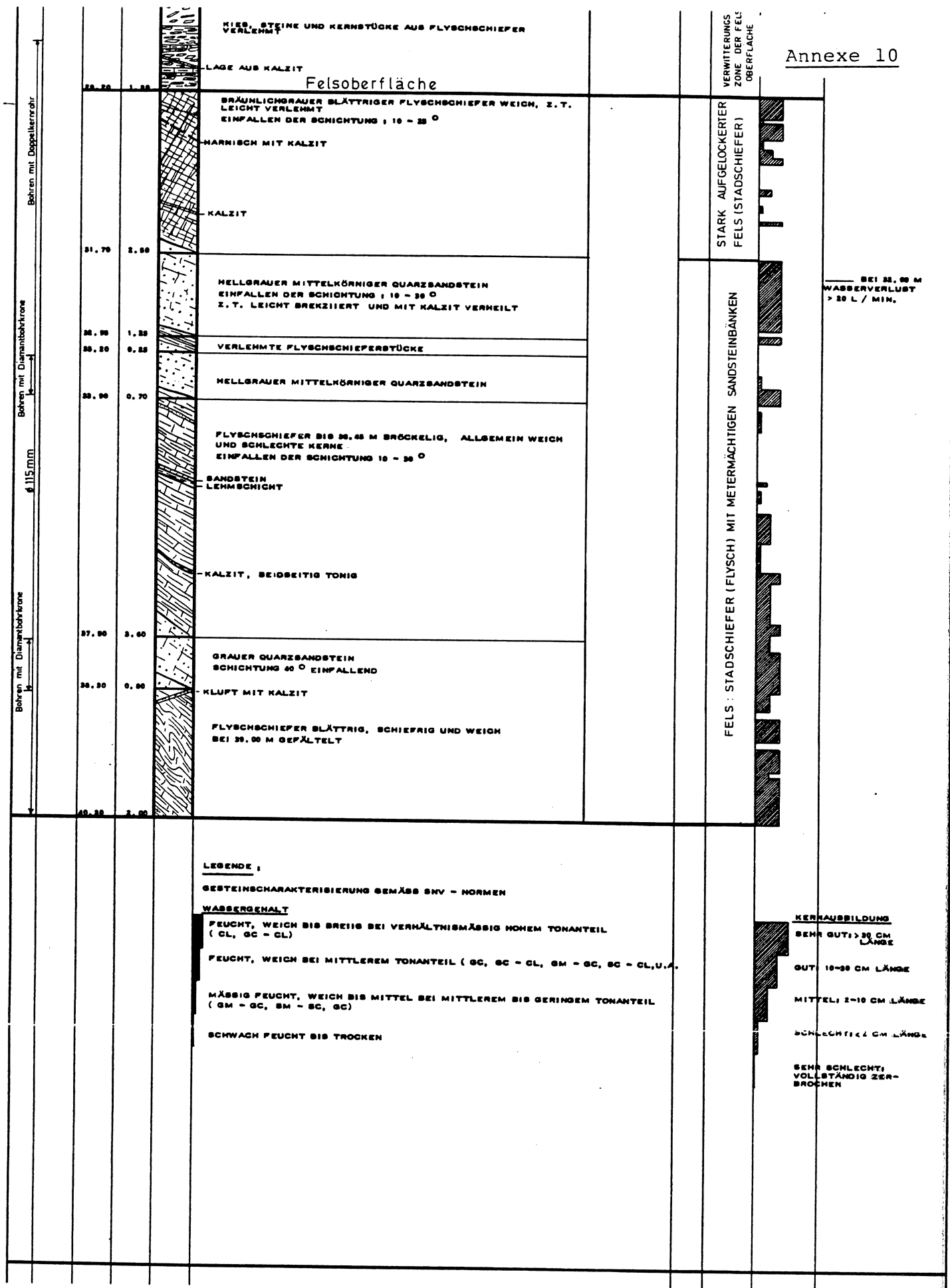
KOORD: X + 1719.50
Y + 78975.0BOHRMEISTER:
PIERO MORELLI

Gebr. Mengis Luzern

BOHRART + BOHR	HÖHEN ÜBER MEER	TIEFEN AB OK TERRAIN	SCHICHTSTÄRKE	PROFIL	BESCHREIBUNG DES AUFGESCHLOSSENEN BOHRGUTES	USCS	GEOLOGISCHE IDENTI- FIKATION	KERN - AUSBEUTE	BEMERKUNGEN	
ø 200 mm		1.00	1.00		70 - 80 0/0 KIES MIT EINZELNEN STEINEN BIS 10 CM REST : LEICHT SILTIGER SAND	GRAU	GW	STRASSEN - KOFFER	SLOPE INDICATOR	
		1.70	0.70		SILTIGER TON MIT 20 - 40 0/0 GROBKIES, WENIG SAND UND FEINKIES	BRAUNBEIGE	GC - CL			VERLEHMTER GEHÄNGE - SCHUTT MIT HOLZRESTEN
		3.25	1.55		SILTIGER TON MIT VERKOHLTEN HOLZSTÜCKEN WENIGER ALS 5 0/0 KIES, SEHR WENIG SAND		CL + OH			
		4.90	1.65		SILTIGER TON MIT VIEL KIES (40 - 60 0/0)UND WENIG SAND KOMPONENTEN: HELV. KALKE, GRÜNSANDSTEIN 1 STEIN KRISTALLIN STEINE BIS 12 CM, ECKIG REICHLICH HOLZ, STELLENWEISE TORFIG	SCHWÄRZLICH VERFÄRBT	GC - CL + OH	UMGELAGERTE MORÄNE VER - MISCHT MIT GEHÄNGESCHUTT		
		6.55	1.65		40 - 60 0/0 KIES, EINZELNE GERÖLLE (KOMPONENTEN WIE OBEN) IN TONIGER GRUNDMASSE WENIG SAND	BRAUNGRAU	GC			
		6.80	0.25		BLOCK AUS VERWITTERTEM FLYSCHSCHIEFER	GRAU	CL			
		7.10	0.30		SILTIGER TON MIT WENIG SAND UND REICHLICH BIS VIEL KIES					
		8.00	0.90		WIE OBEN, ABER WENIGER DURCHNÄSST UND MIT STEINEN AUS FLYSCHSCHIEFER UND SANDSTEIN BIS 12 CM					
		8.90	0.90		40 - 60 0/0 KIES, ECKIG BIS KANTENGERUNDET IN SILTIG- TONIGER GRUNDMASSE KOMPONENTEN: AUTOCHTHON + ALLOCHTHON		GC			
		9.80	0.90		50 - 60 0/0 KIES WIE OBEN, (VIEL MITTELKIES) IN SILTIG TONIGER GRUNDMASSE	BEIGEGRAU	GC - ML	GEHÄNGESCHUTT, VERLEHMT, LOKAL MIT UMGELAGERTEM MORÄNENMATERIAL		
		12.70	3.00		20 - 30 0/0 STEINE AUS FLYSCHSCHIEFERN BIS 15 CM & REICHLICH KIES IN SILTIG - TONIGER GRUNDMASSE KOMPONENTEN: FLYSCHSCHIEFER VON 10.60 - 10.70 M : WEICH, PLASTISCH		GC - ML			
		12.80	0.10		STEIN AUS FLYSCHSCHIEFER					
		13.70	0.90		30 - 50 0/0 KIES IN SILTIG - TONIGER GRUNDMASSE KOMPONENTEN VORWIEGEND AUTOCHTHON, UNTERGEORDNET (HAUPTSÄCHLICH MITTELKIES) AUCH ALLOCHTHON		GC - CL			
		14.05	1.15		WIE OBEN, ABER TROCKEN UND DICHT GELAGERT MIT GRÜNSANDSTEINKOMPONENTEN HOLZKOHLENSTÜCKE, WURZELN					
		15.60	0.75		STEINE BIS 17 CM AUS GRÜNSANDSTEIN (VERWITTERTER BLOCK)					
		16.05	0.45		SILTIGER TON MIT 20 - 40 0/0 KIES HOLZSTÜCKE	GRAU	GC - CL + OH	Vegetations- horizont		
		16.20	0.15		WIE OBEN, STARK HUMOS		OH+CL			
					KIES MIT REICHLICH BIS VIEL SAND UND REICHLICH FEIN- ANTEILEN		GC - SM	TT MMT		

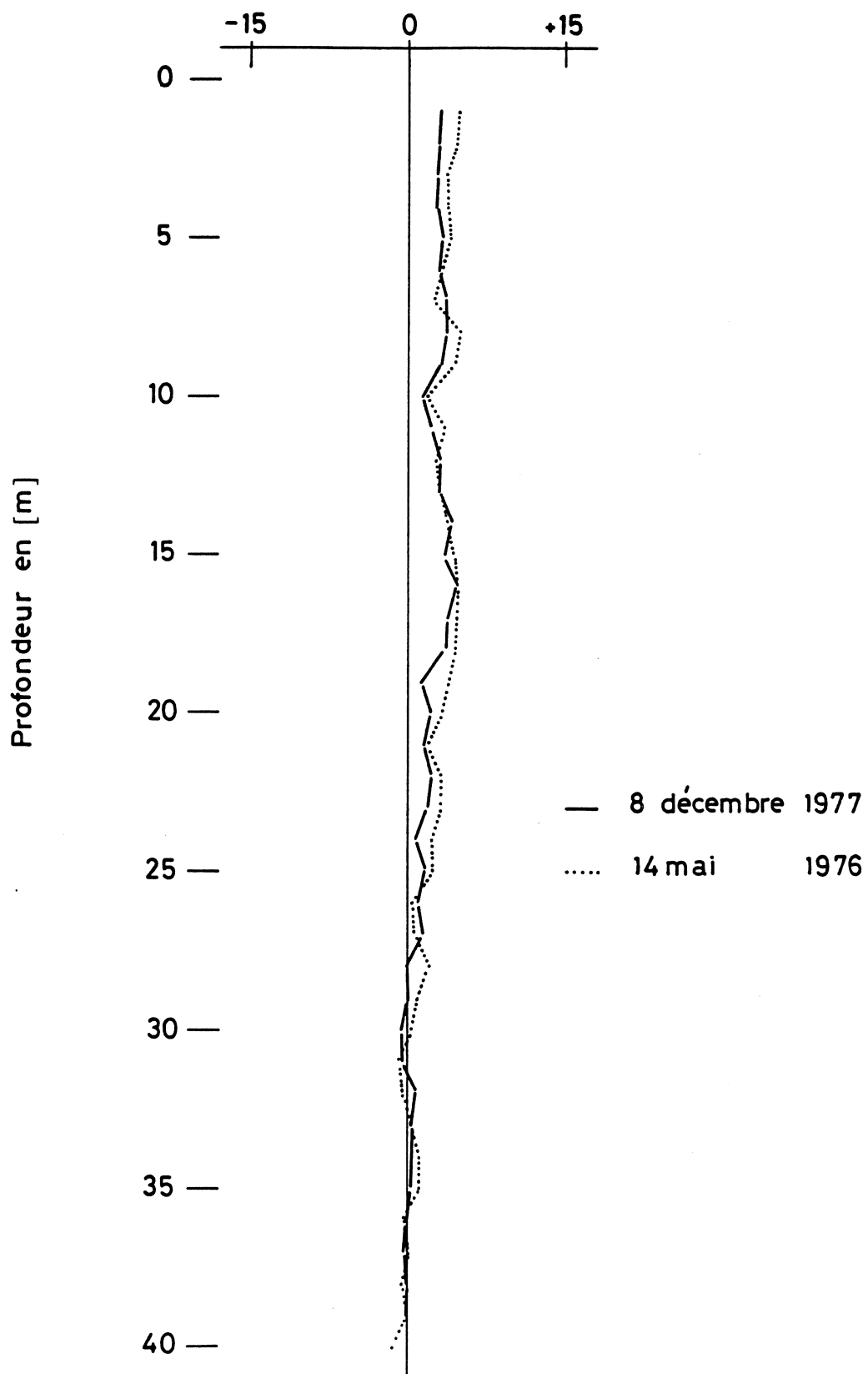
- 11.50 m GW SP 22.4.76

- 11.50 m GW SP 22.4.76



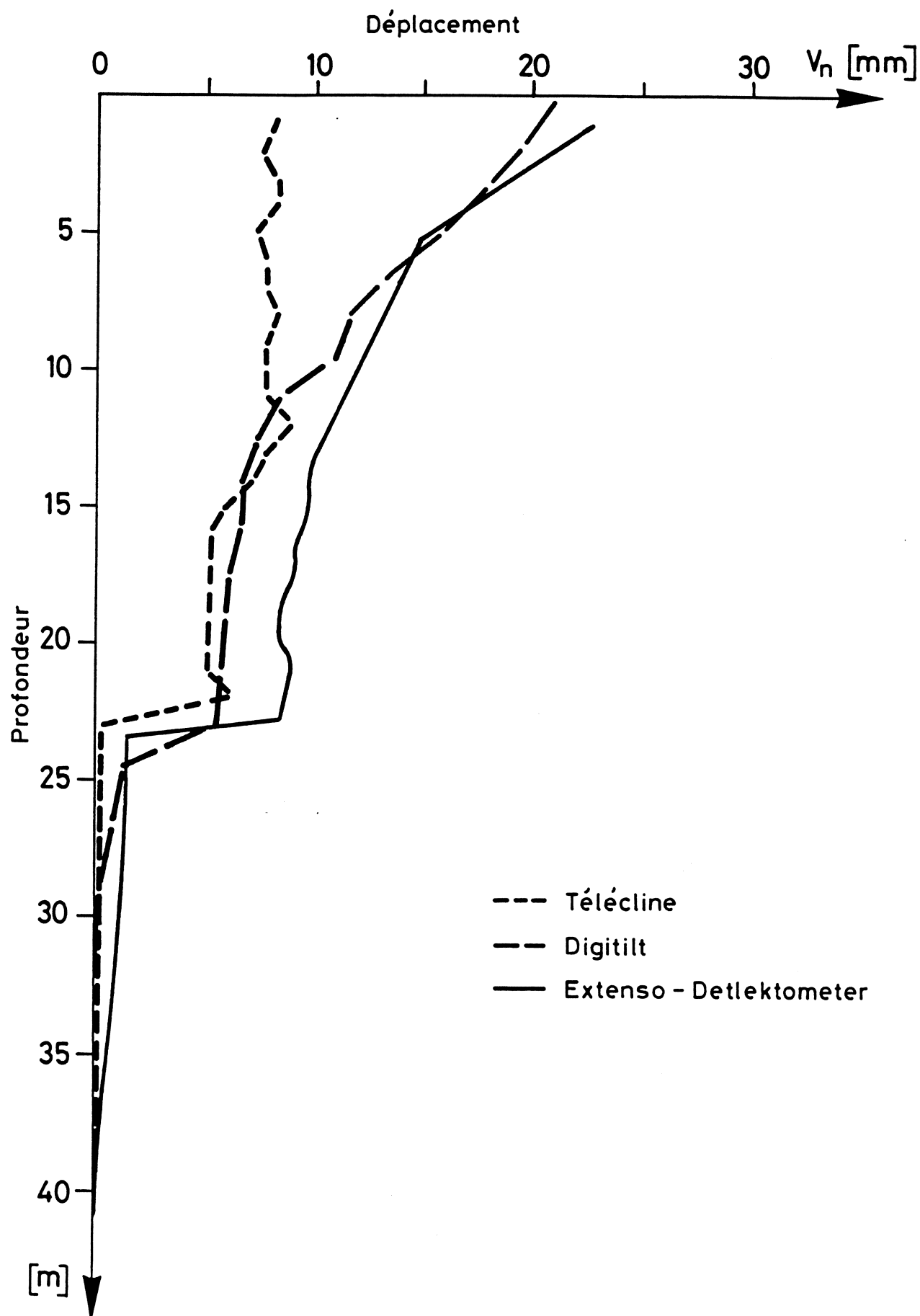
VIADUC DE BECKENRIED

Azimuth de la rainure



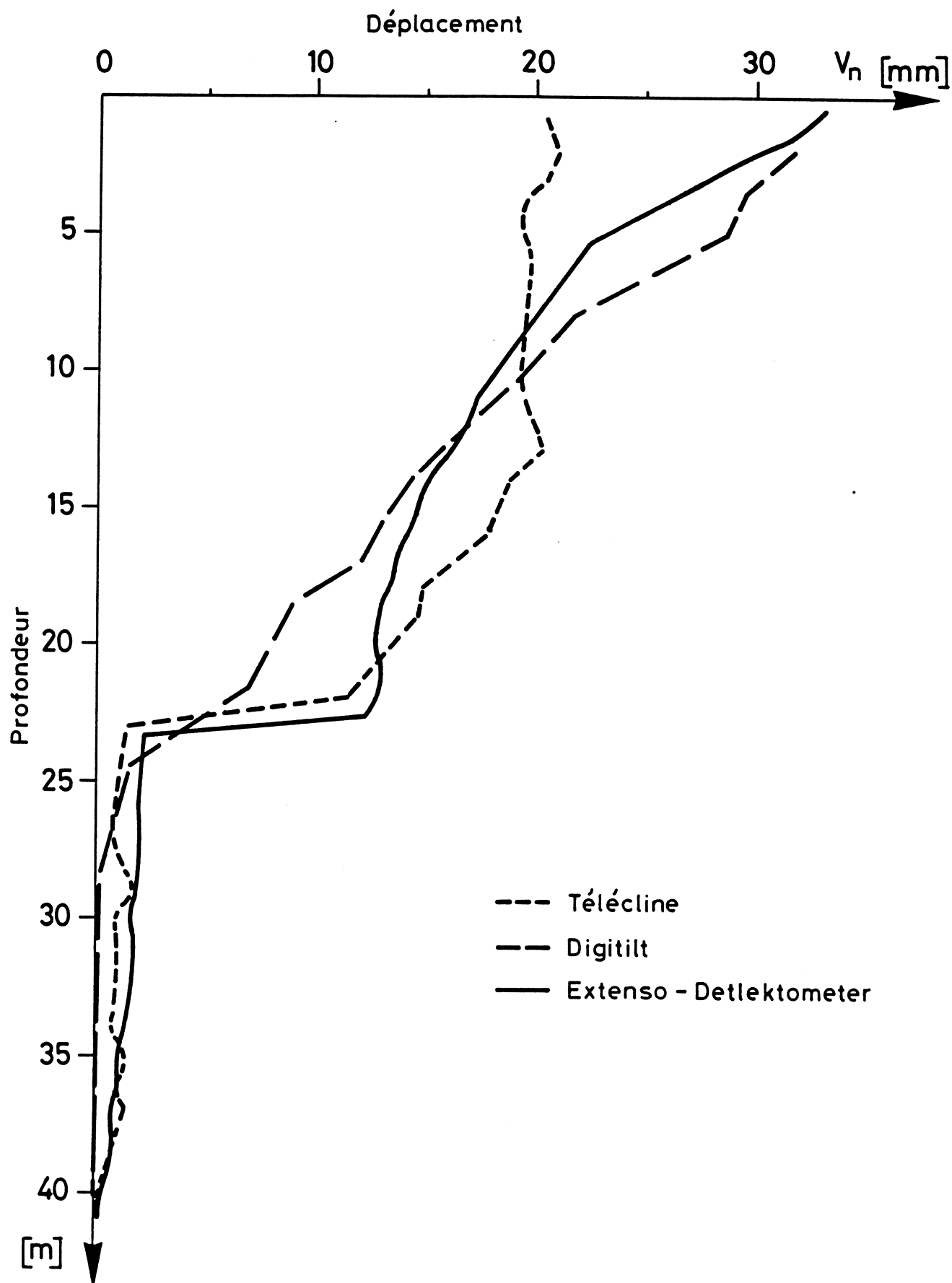
Inclinométrie Beckenried

Mesures comparatives



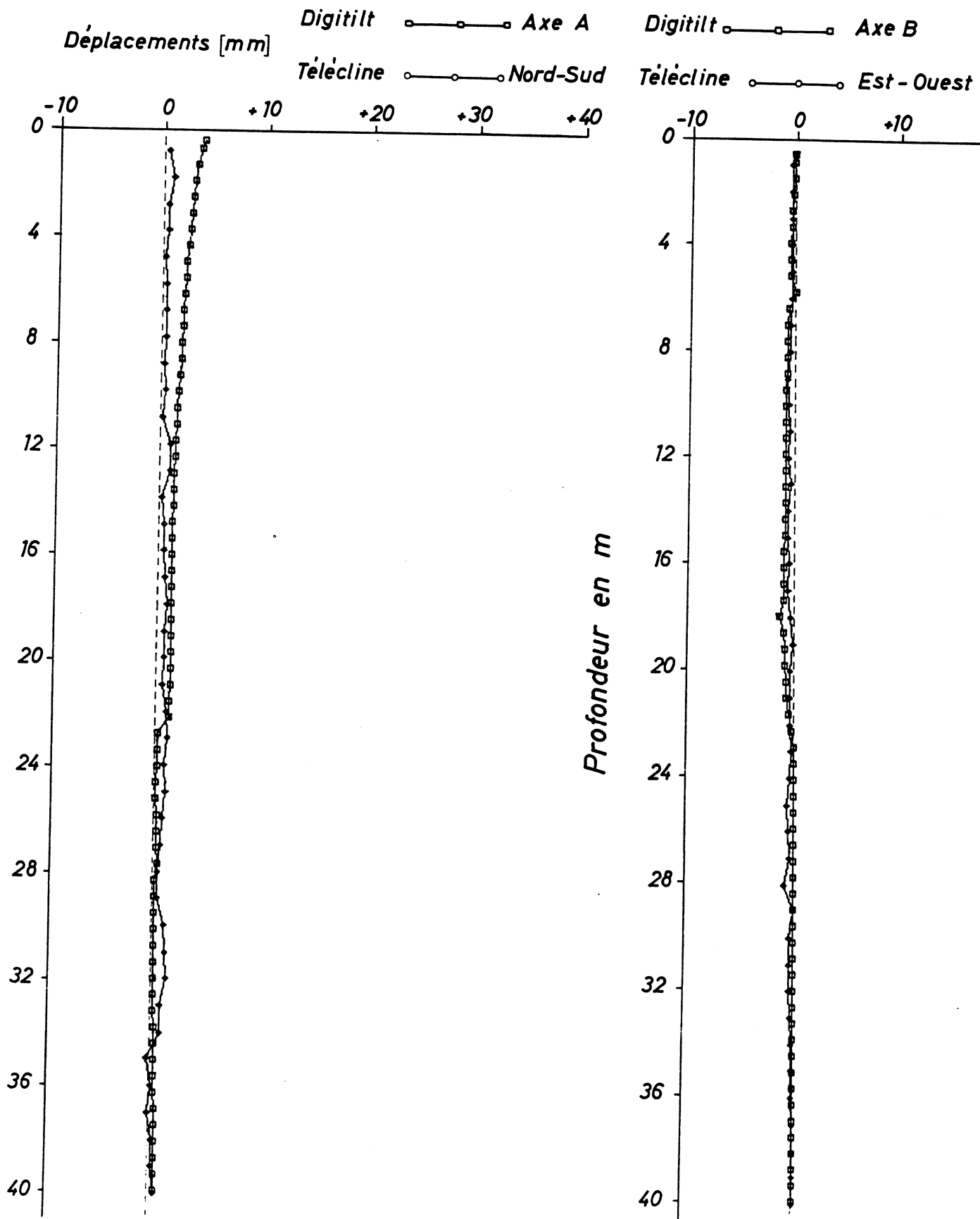
Inclinométrie - Beckenried

Mesures comparatives



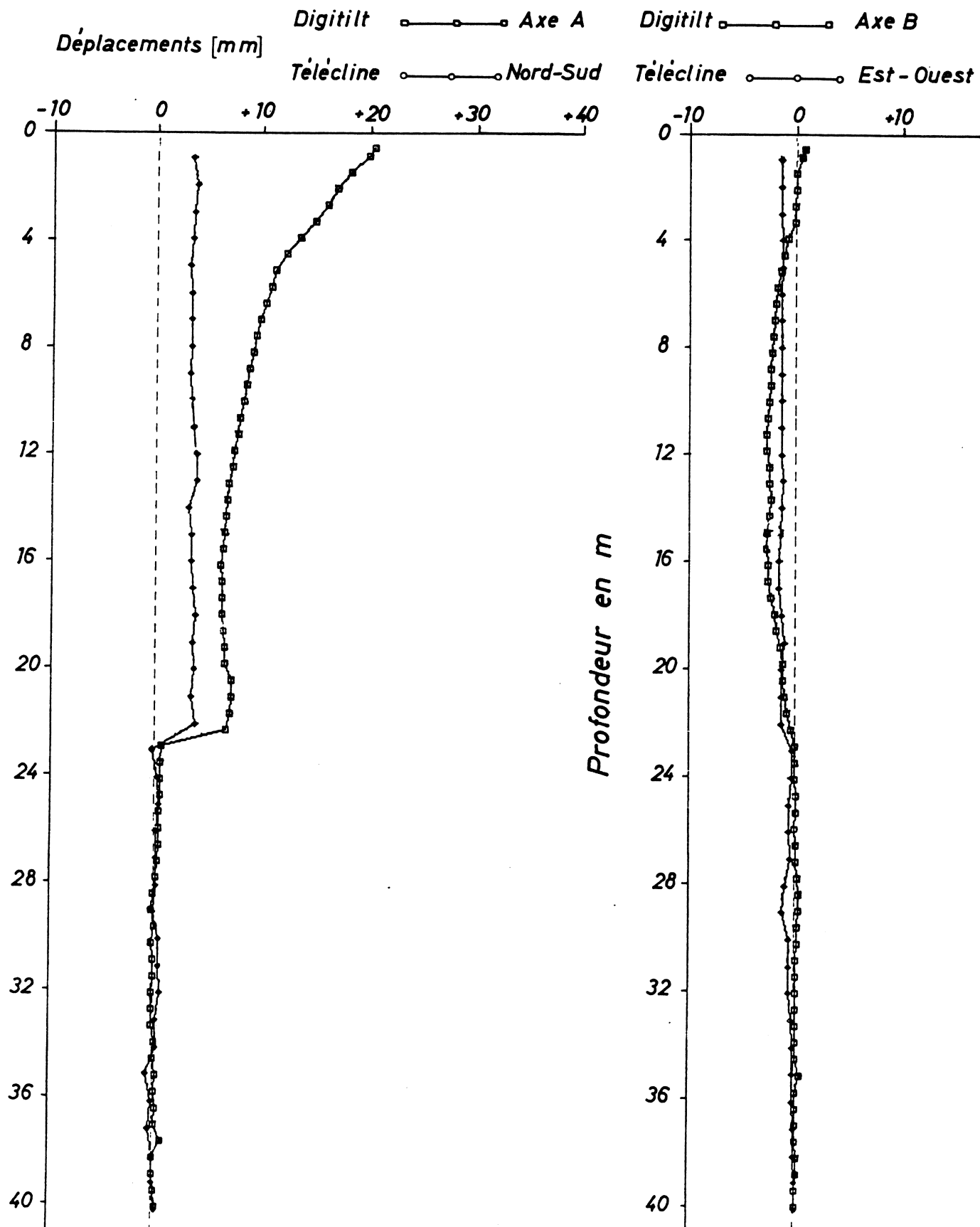
MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

Mesure initiale :	Digitilt 8-6-1976	Télécline 9-6-1976
Date de la mesure :	6-8-1976	10-8-1976



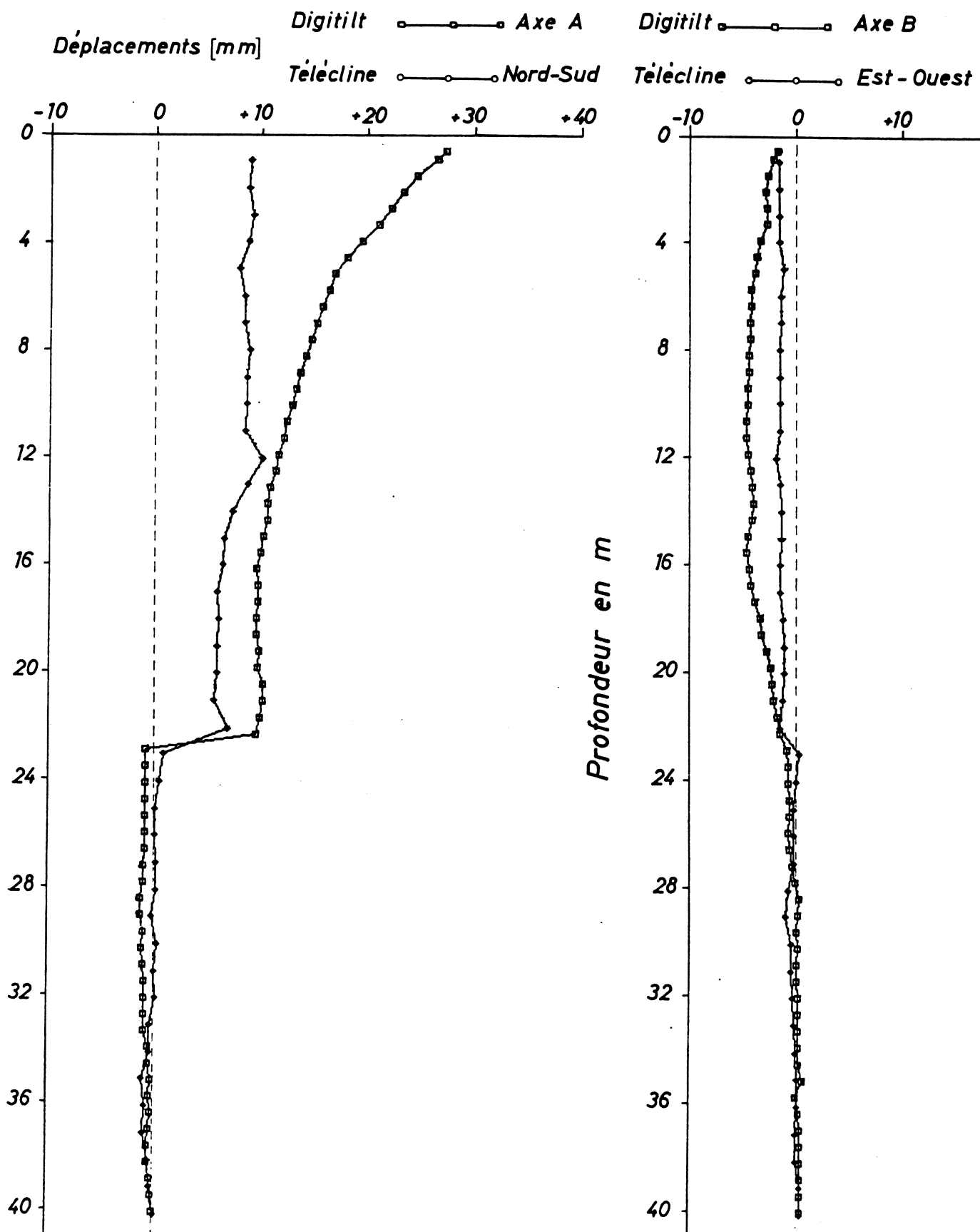
MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

Mesure initiale :	Digitilt 8-6-1976	Télécline 9-6-1976
Date de la mesure :	7-9-1976	10-9-1976



MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

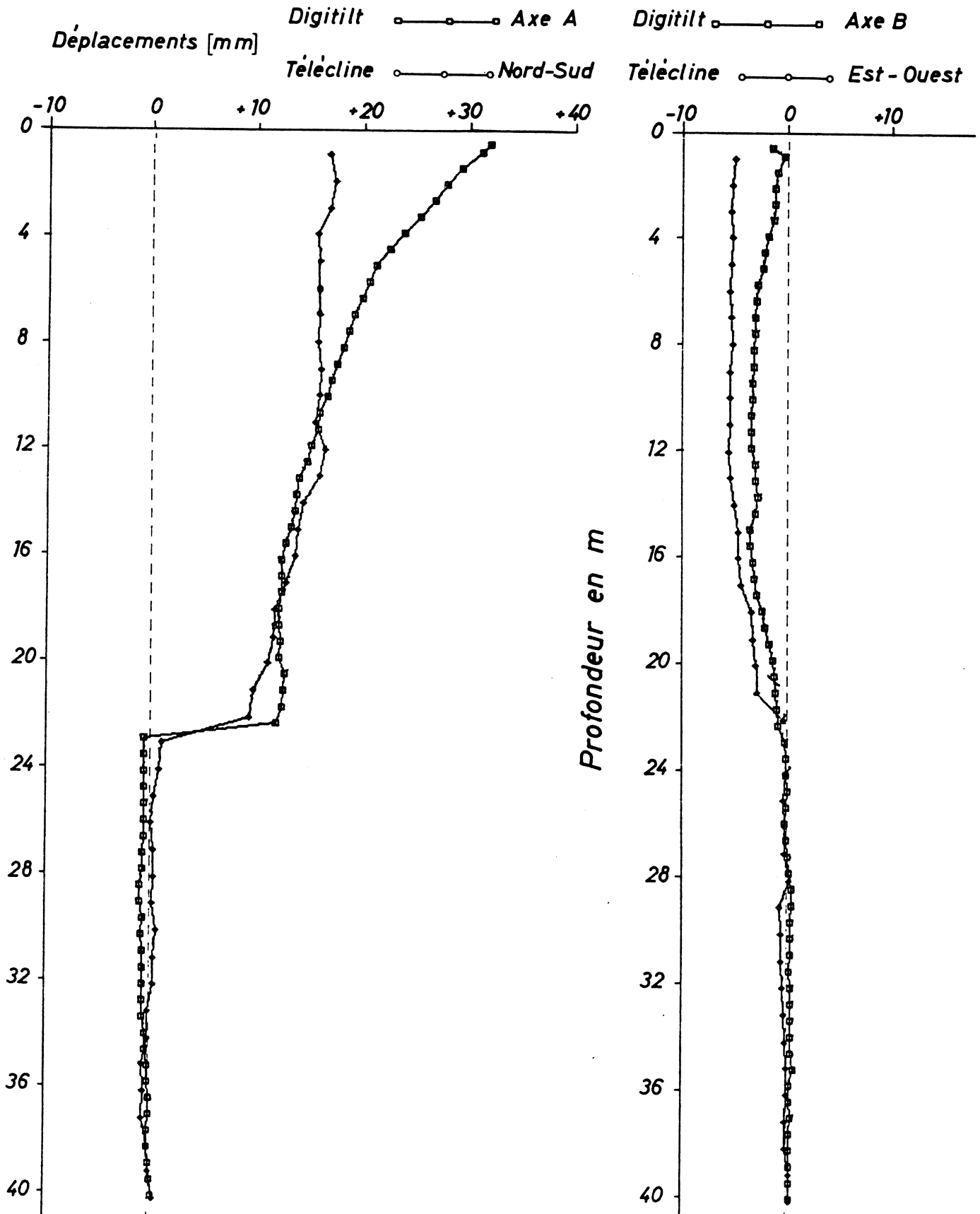
	<i>Digitilt</i>	<i>Télécline</i>
Mesure initiale :	8-6-1976	9-6-1976
Date de la mesure :	6-10-1976	10-10-1976



MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

Mesure initiale : Digitilt 8-6-1976
Date de la mesure : 23-11-1976

Télécline 9-6-1976
22-11-1976

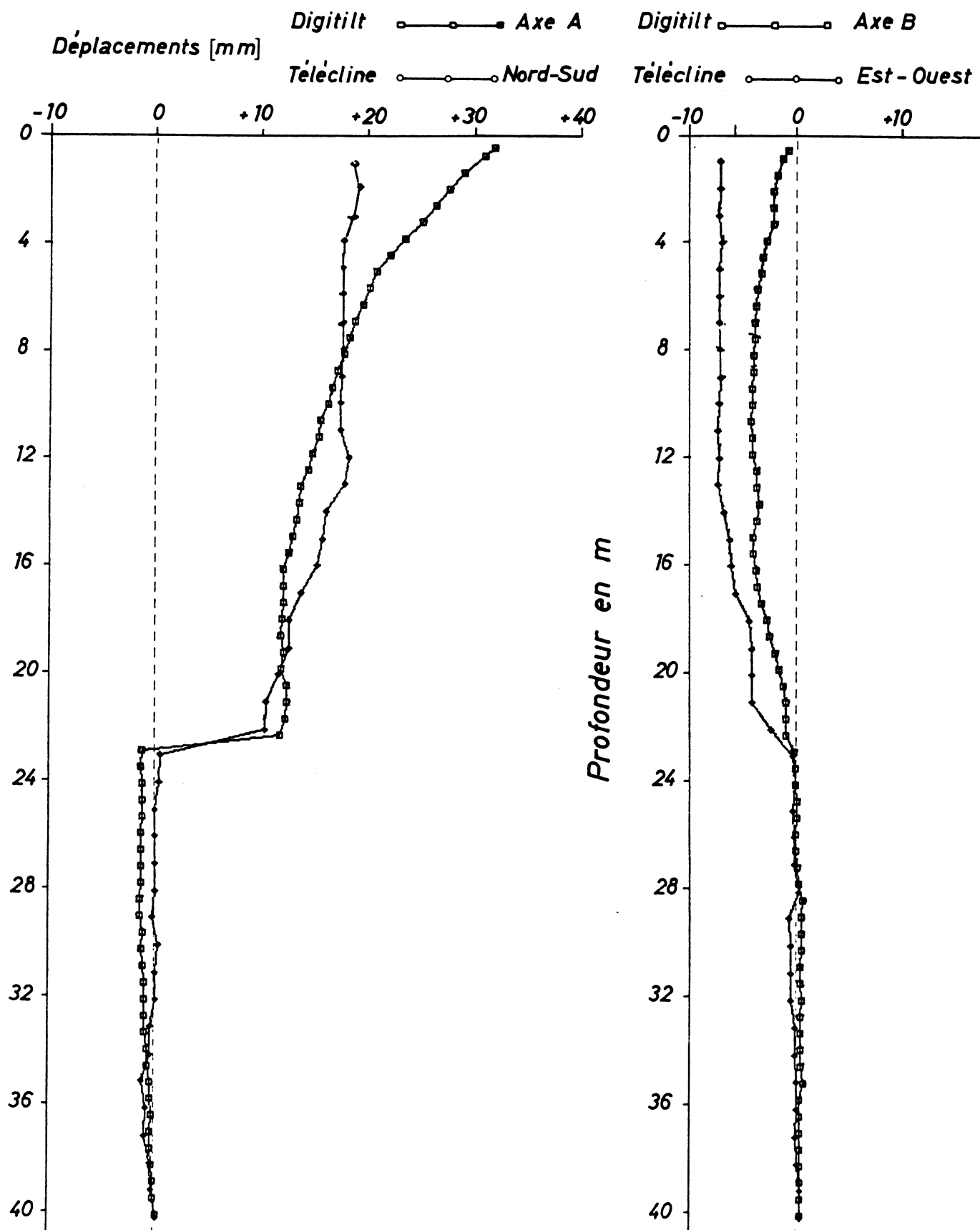


N2 VIADUC DE BECKENRIED

MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

Mesure initiale : 8-6-1976
 Date de la mesure : 10-12-1976

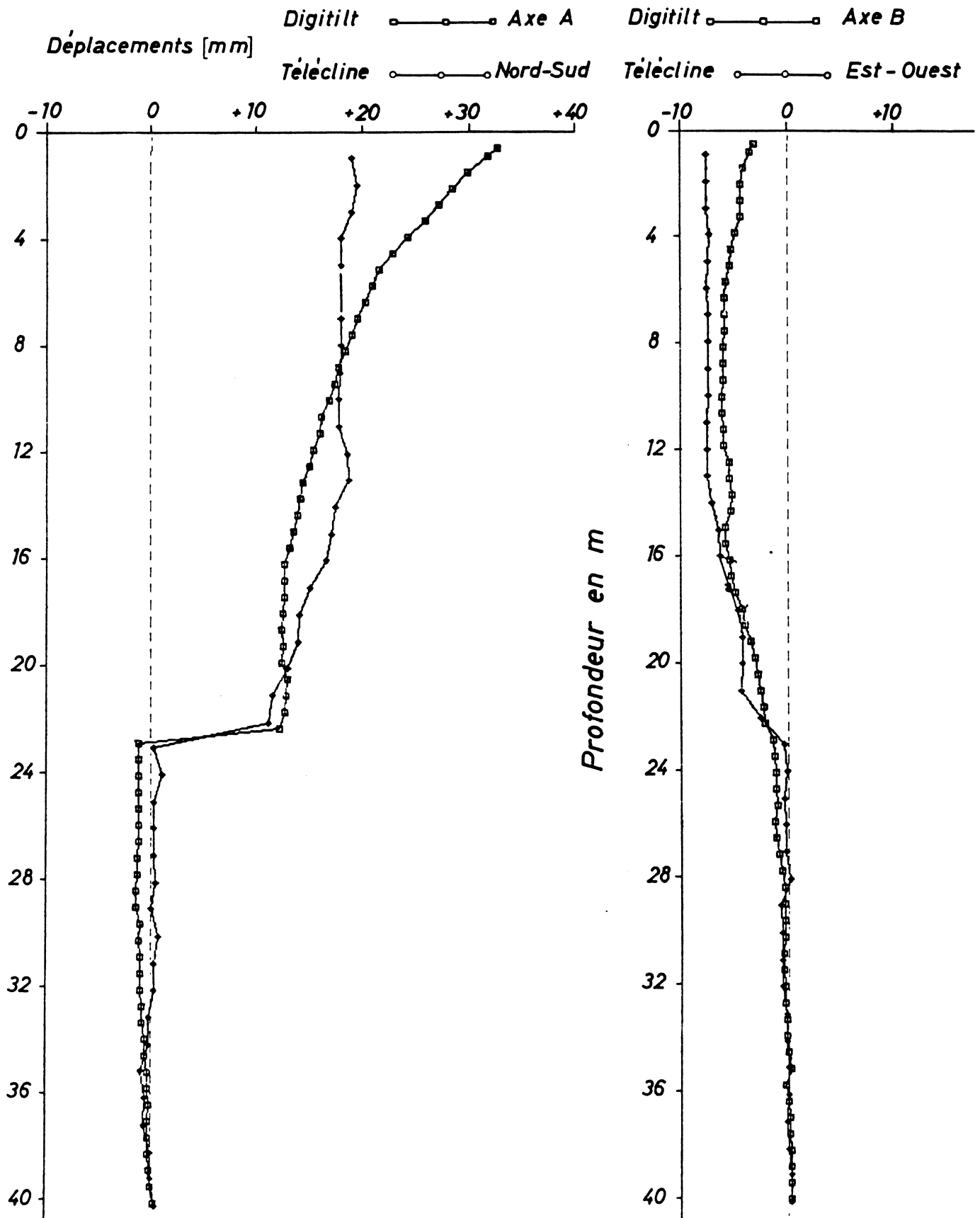
Télécline
 9-6-1976
 10-12-1976

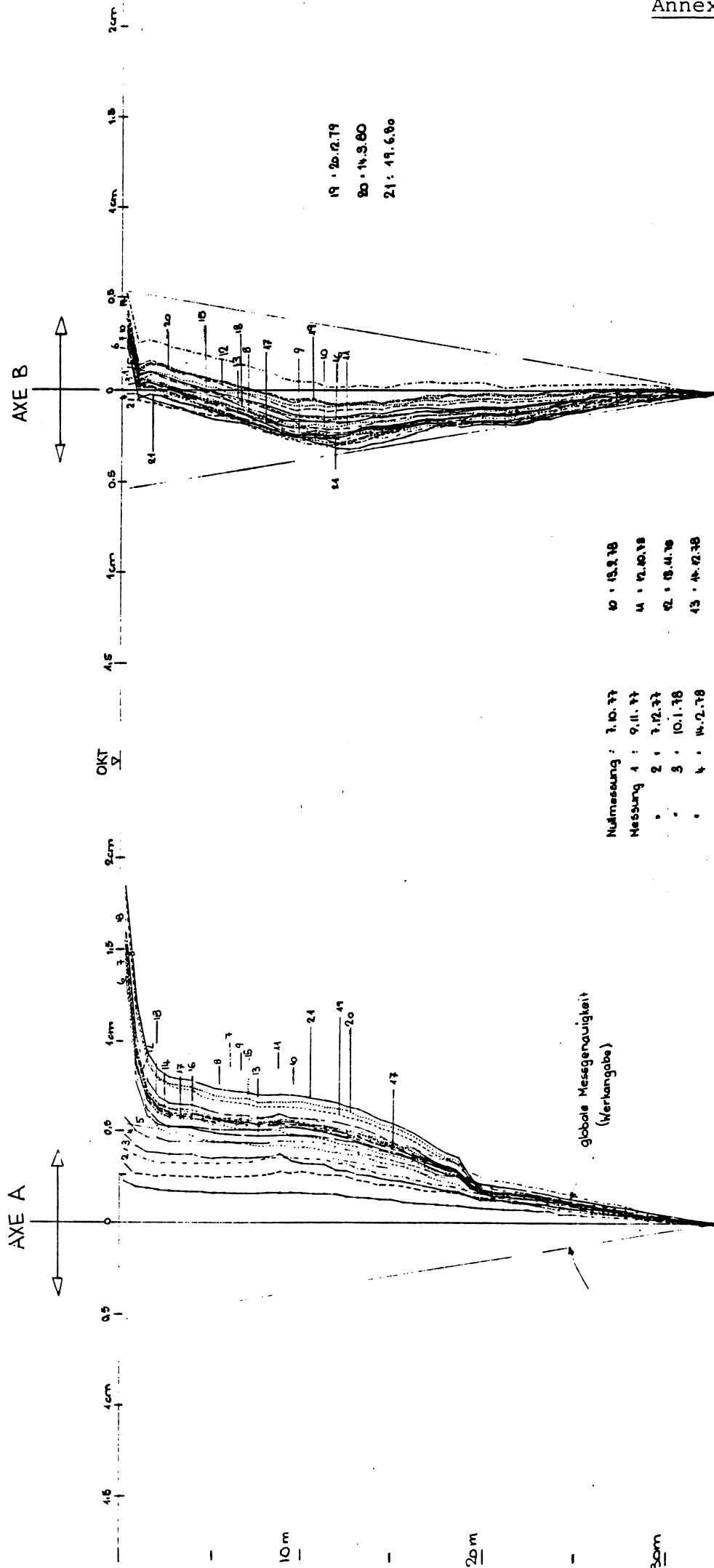


N2 VIADUC DE BECKENRIED

MESURES COMPARATIVES D'INCLINOMETRIE

	Digitilt	Télécline
Mesure initiale :	8-6-1976	9-6-1976
Date de la mesure :	5-1-1977	8-1-1977





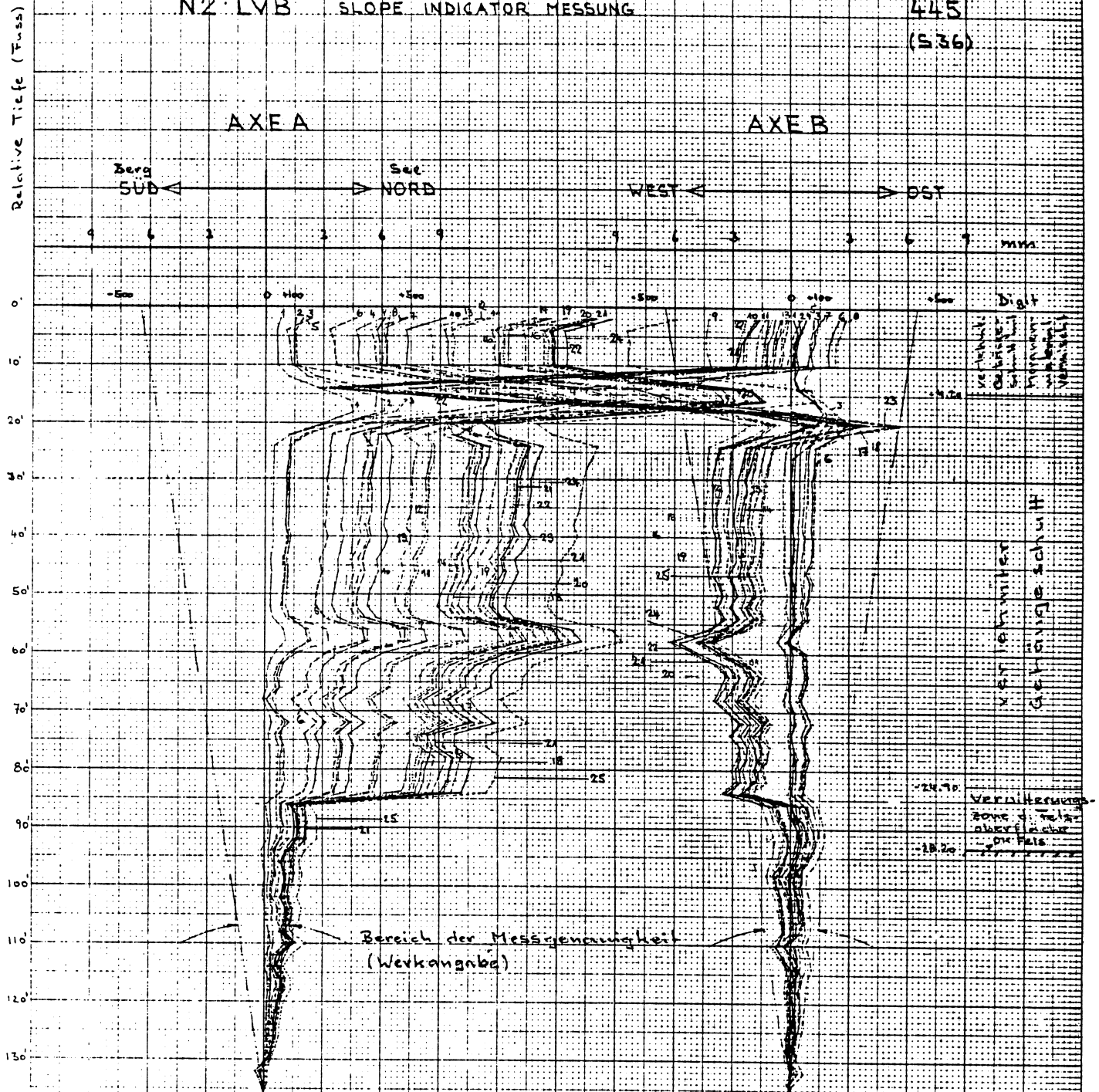
Nulbmessung :	7.10.77
Messung 1 :	9.11.77
"	2.1.78
"	3.10.78
"	4.11.78
"	5.12.78
"	6.1.79
"	7.2.79
"	8.3.79
"	9.4.79
"	10.5.79
"	11.6.79
"	12.7.79
"	13.8.79
"	14.9.79

19.12.79
20.1.80
21.1.80

Bemerkung: Zwischen Messung 5+6 erfolgen
Terraingebungsarbeiten

Büro Dr. U. Vollenwelder
Beratende Ingenieure ETH/SIA
Hegarsrass 22, 8032 Zürich

N2 LVB SLOPE INDICATOR MESSUNG

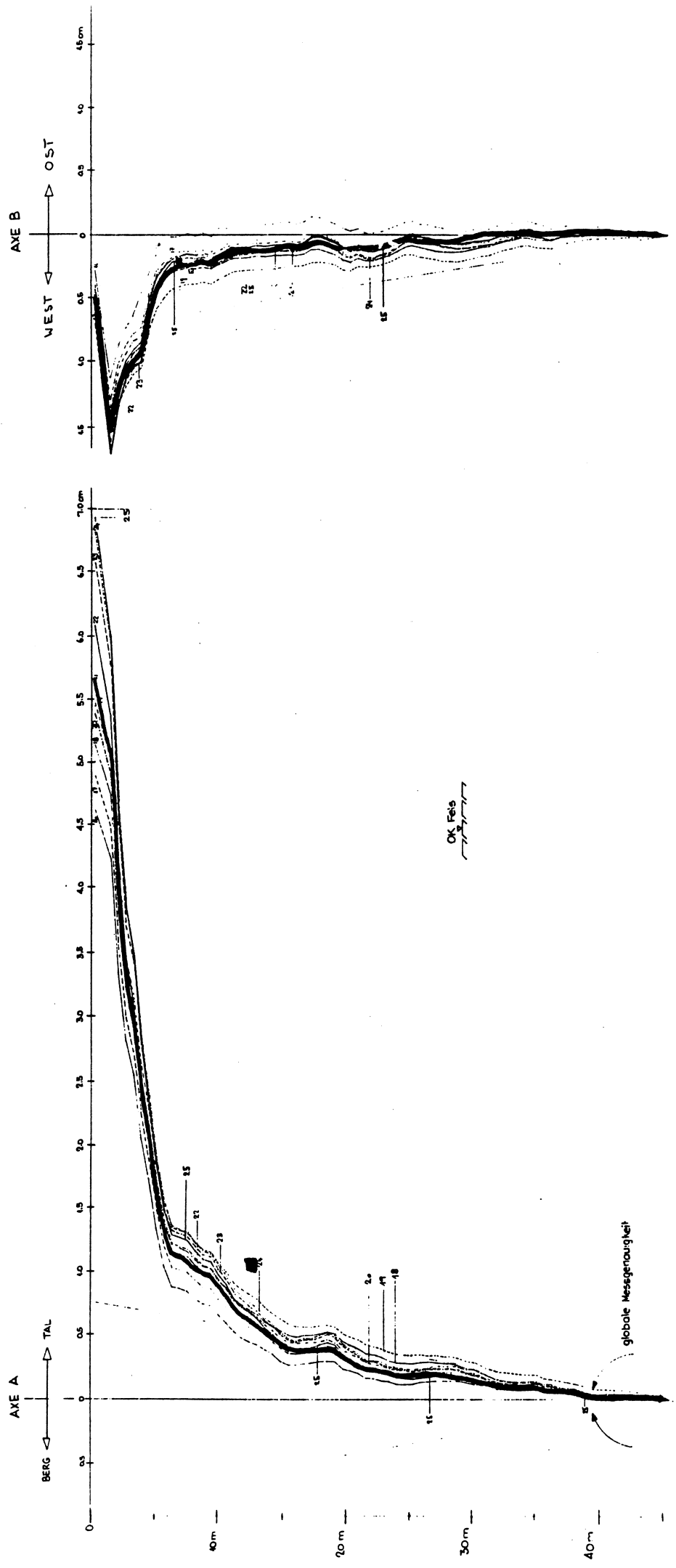
445
(536)

versetzt:	3.12.75	11	24.4.78	23.10.79
0	19.12.75	12	29.5.78	24.11.80
1	27.1.76	13	6.7.78	25.19.80
2	10.3.76	14	9.8.78	
3	26.4.76	15	11.9.78	
4	7.9.76	16	12.10.78	
5	23.11.76	17	13.11.78	
6	6.4.77	18	14.12.78	
7	8.6.77	19	14.2.79	
8	11.8.77	20	14.3.79	
9	9.11.77	21	12.6.79	
10	23.2.78	22	14.9.79	

Büro Dr. U. Vollenweider
Beratende Ingenieure ETH/SIA
Hegarstrasse 22, 8032 Zürich

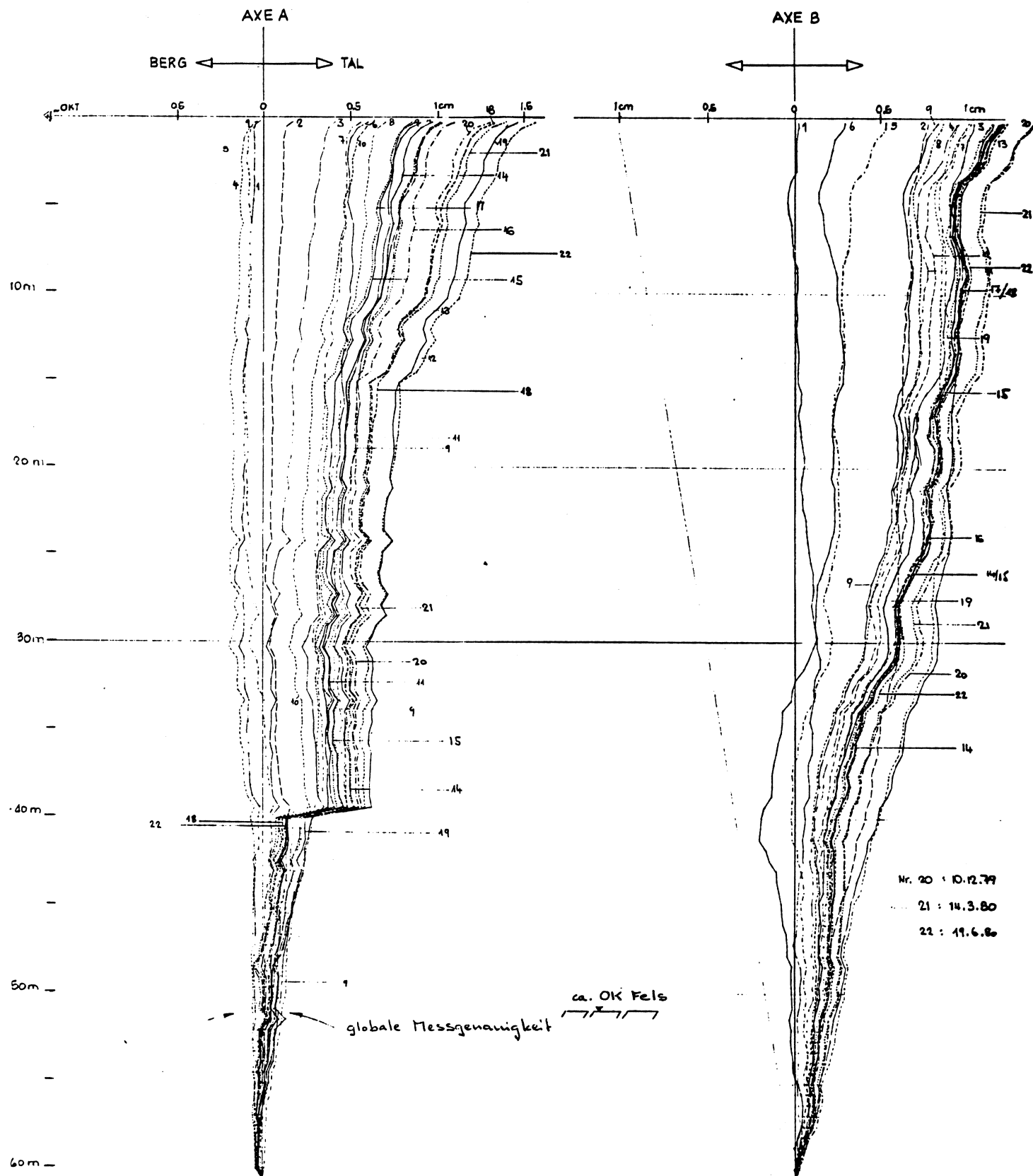
Büro Dr. U. Vollenweider
Beratende Ingenieure ETH/SIA
Hugengraben 22, 8032 Zürich

N2 LVB SLOPE INDICATOR MESSUNGEN 501 (526) (BLATT 2)



Nullmessung: 9.3.77
Messung 16: 11.9.78
17: 12.10.78
18: 13.11.78
19: 10.1.79
20: 19.3.79
21: 14.4.79
22: 14.4.79
23: 10.12.79
24: 14.3.80
25: 14.4.80

N2 LVB SLOPE INDICATOR MESSUNG

502
(533)

Nr. 20 : 10.12.79

21 : 14.3.80

22 : 19.6.80

Rohr versetzt :

Nullmessung : 9.3.77

Messung 1 : 6.4.77

Messung 2 : 2.6.77

" 3 : 7.9.77

" 4 : 7.10.77

5 : 9.11.77

6 : 23.2.78

7 : 22.3.78

8 : 24.4.78

9 : 29.5.78

10 : 10.7.78

11 : 9.8.78

12 : 11.9.78

13 : 12.10.78

14 : 13.11.78

15 : 14.12.78

16 : 14.2.79

17 : 14.3.79

18 : 12.6.79

19 : 14.9.79

Büro Dr. U. Vollenweider

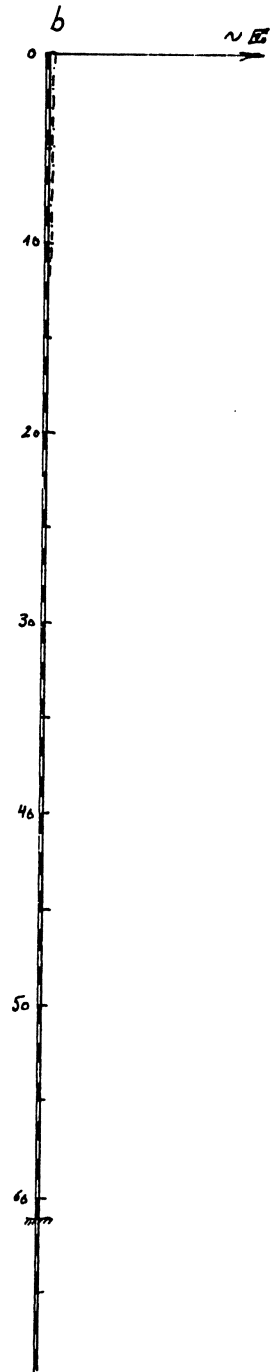
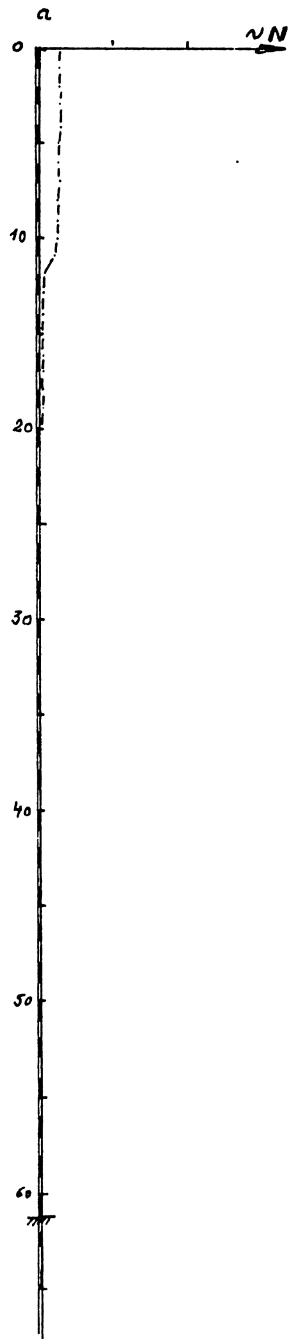
Beratende Ingenieure ETH/SIA

Hegarstrasse ??, 8032 Zürich

B E C K E N R I E D

Mesures d'inclinométrie

1979-1980

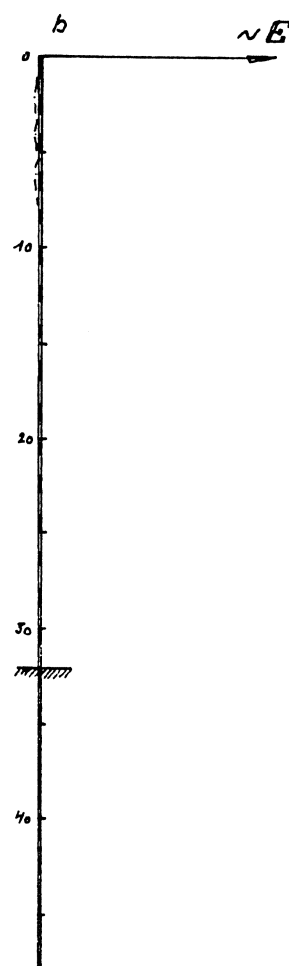
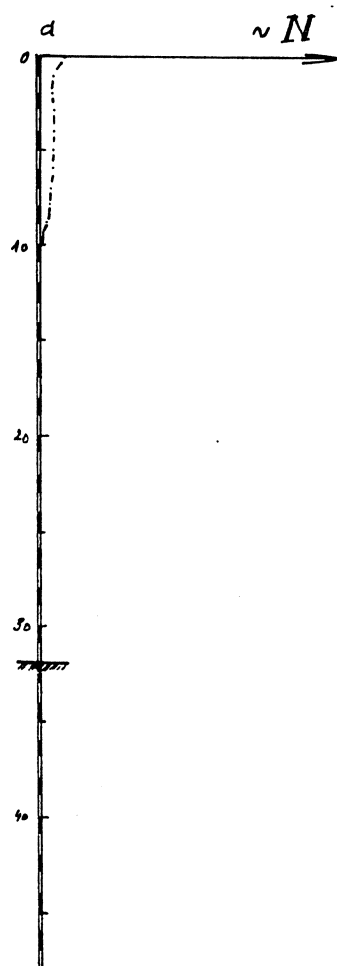


Forage No 7

B E C K E N R I E D

Mesures d'inclinométrie

1979-1980

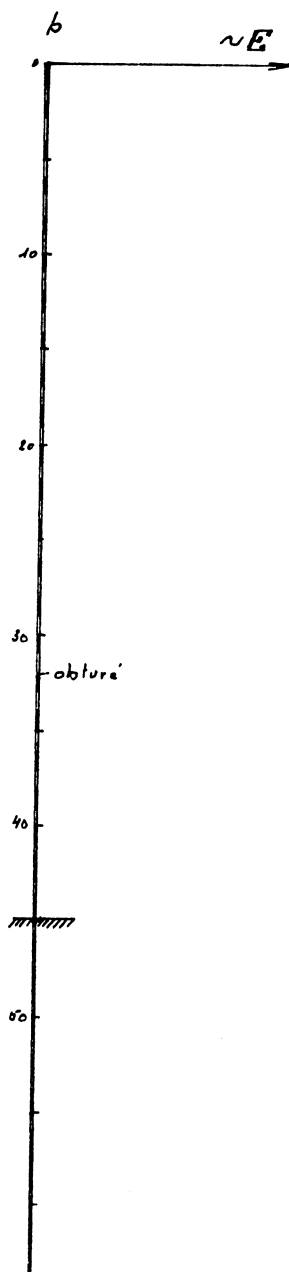
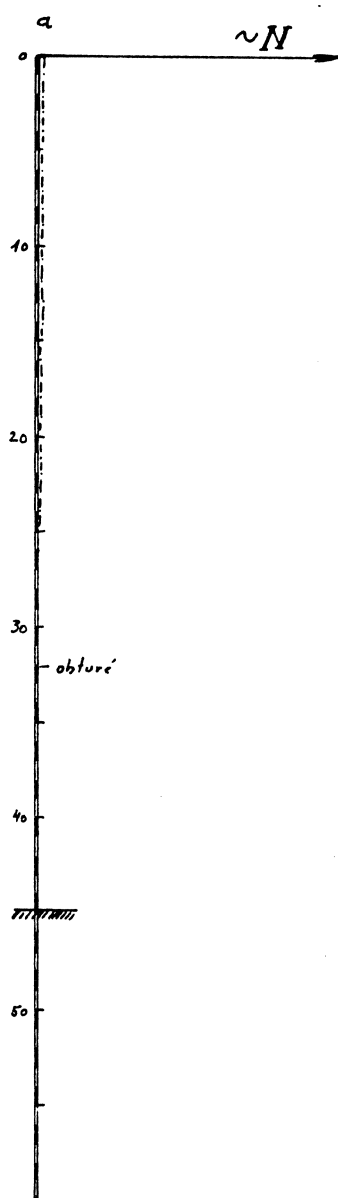


Forage No 301 A

B E C K E N R I E D

Mesures d'inclinométrie

1979-1980

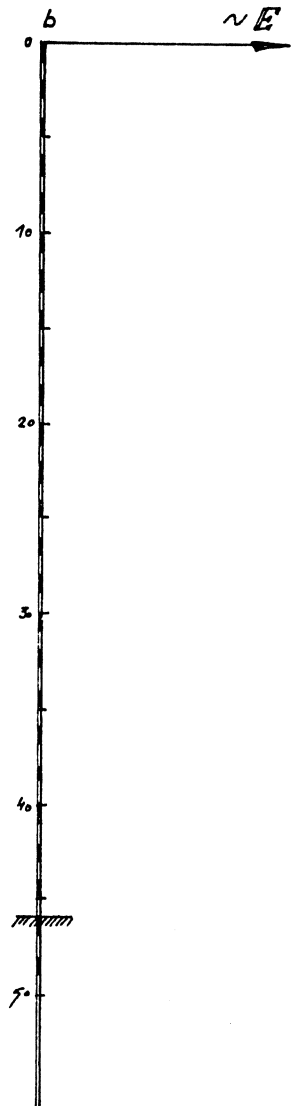
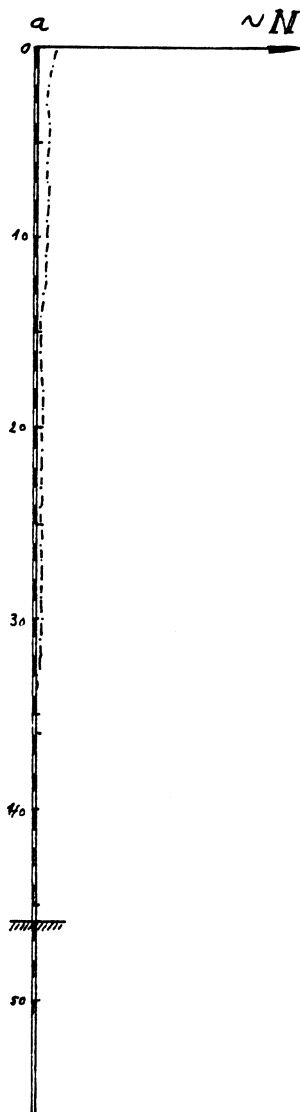


Forage No 445

D E C K E N R I E D

Mesures d'inclinométrie

1979-1980

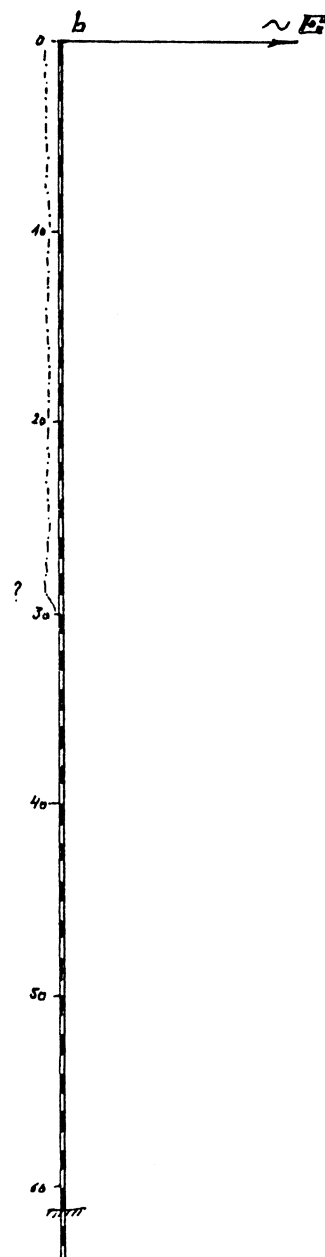
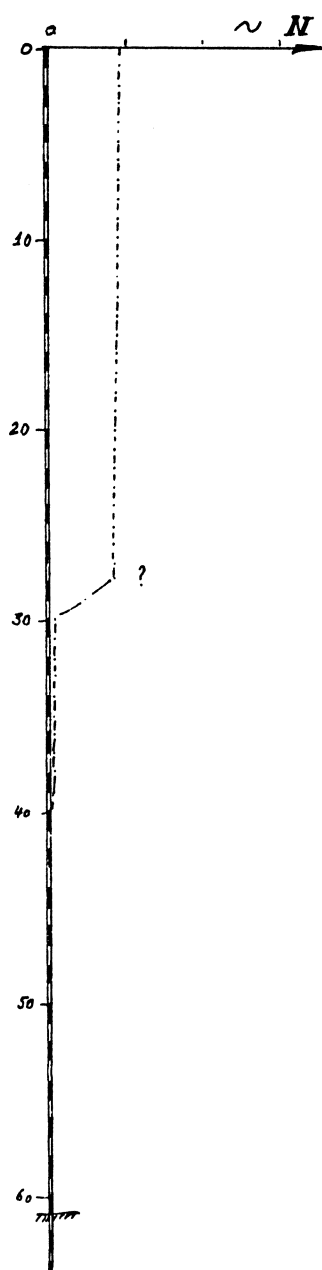


Forage No 501

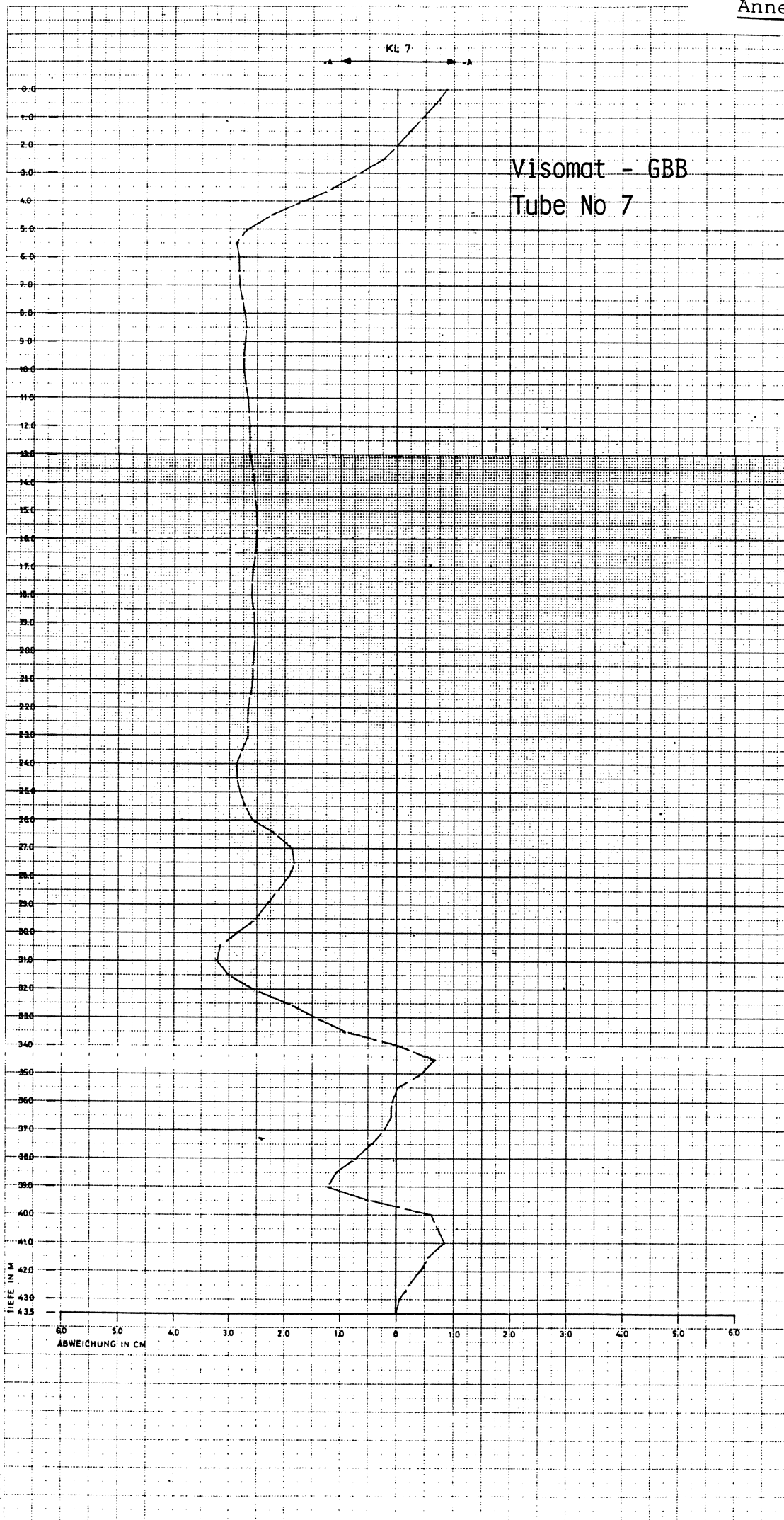
B E C K E N R I E D

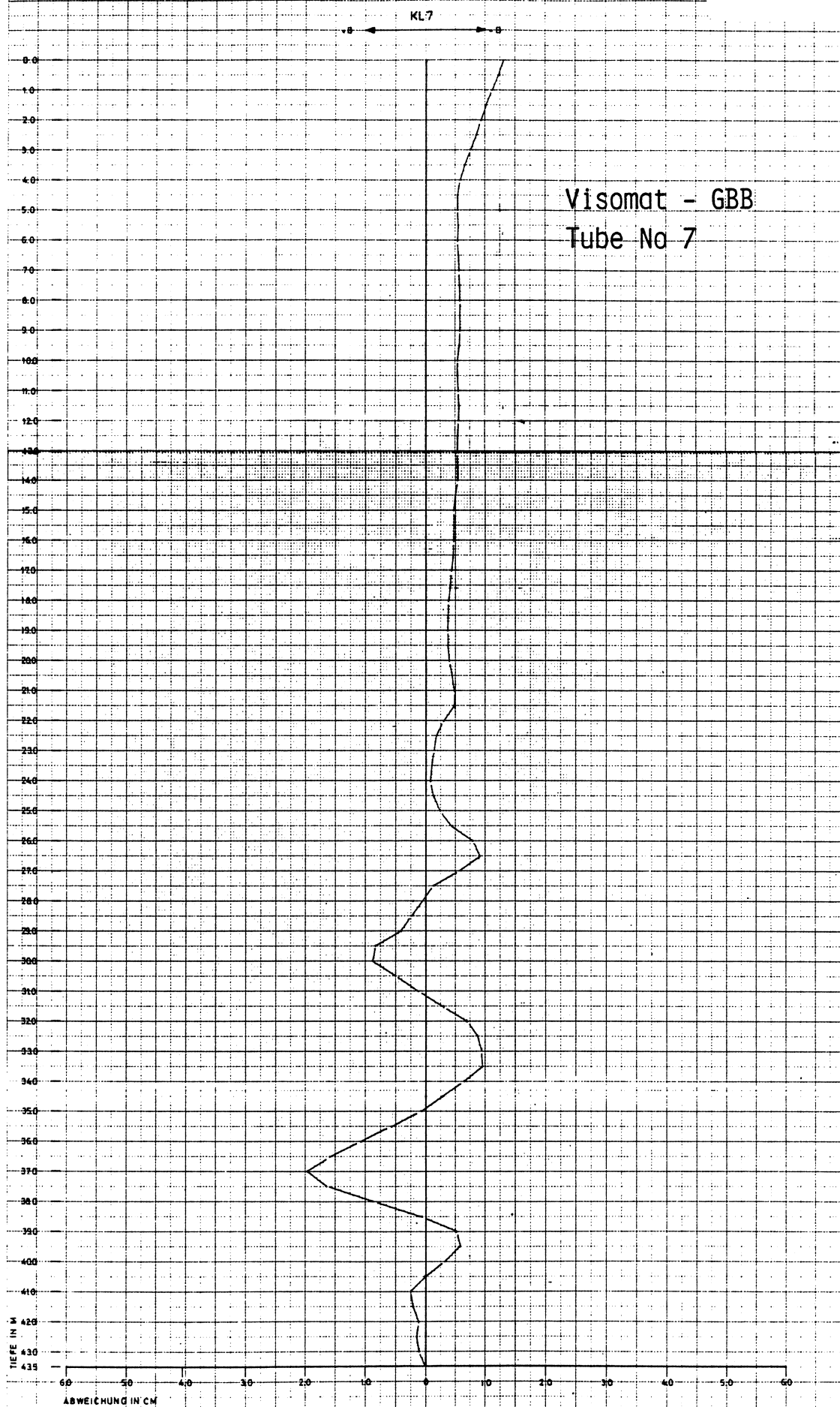
Mesures d'inclinométrie

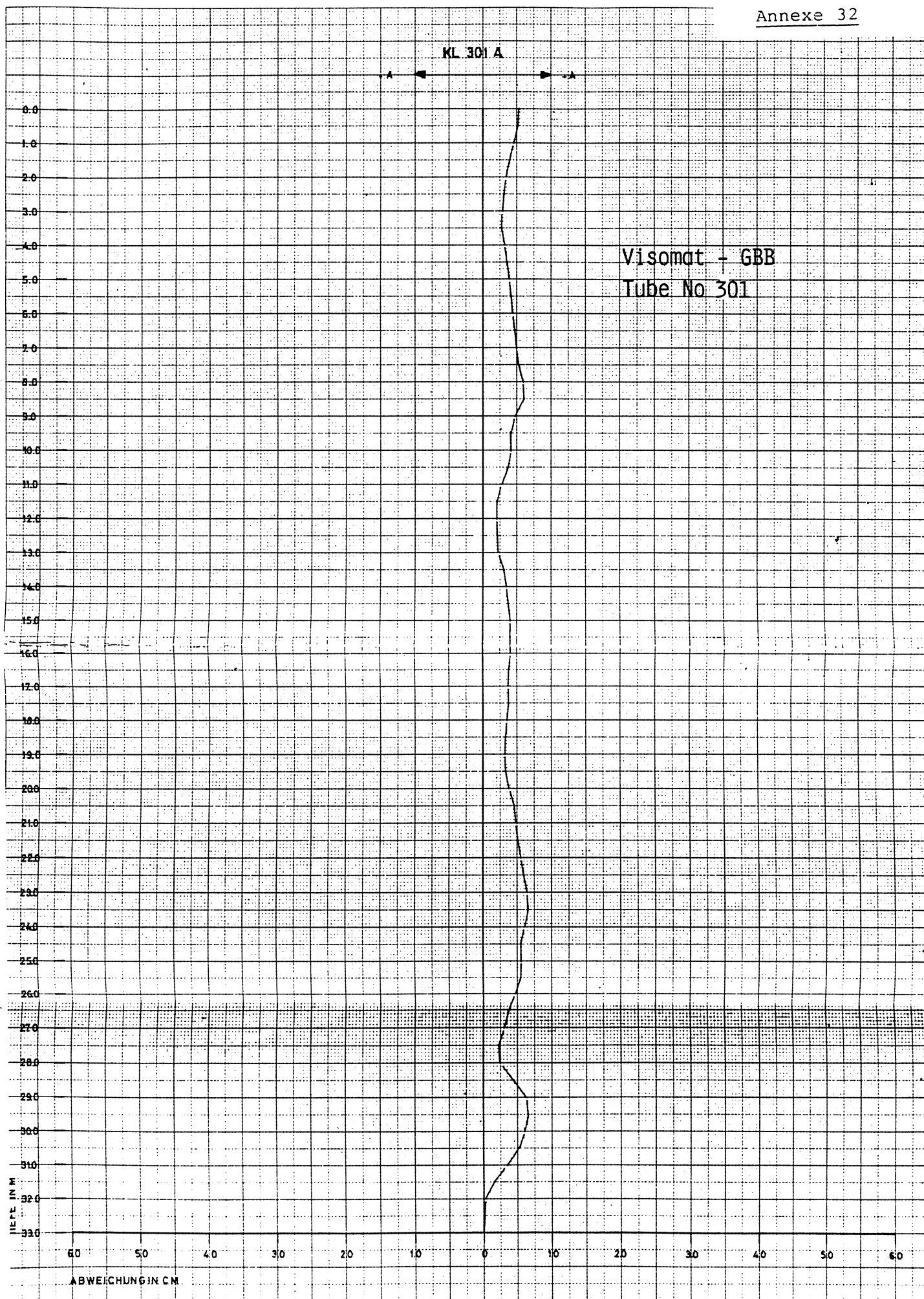
1979-1980

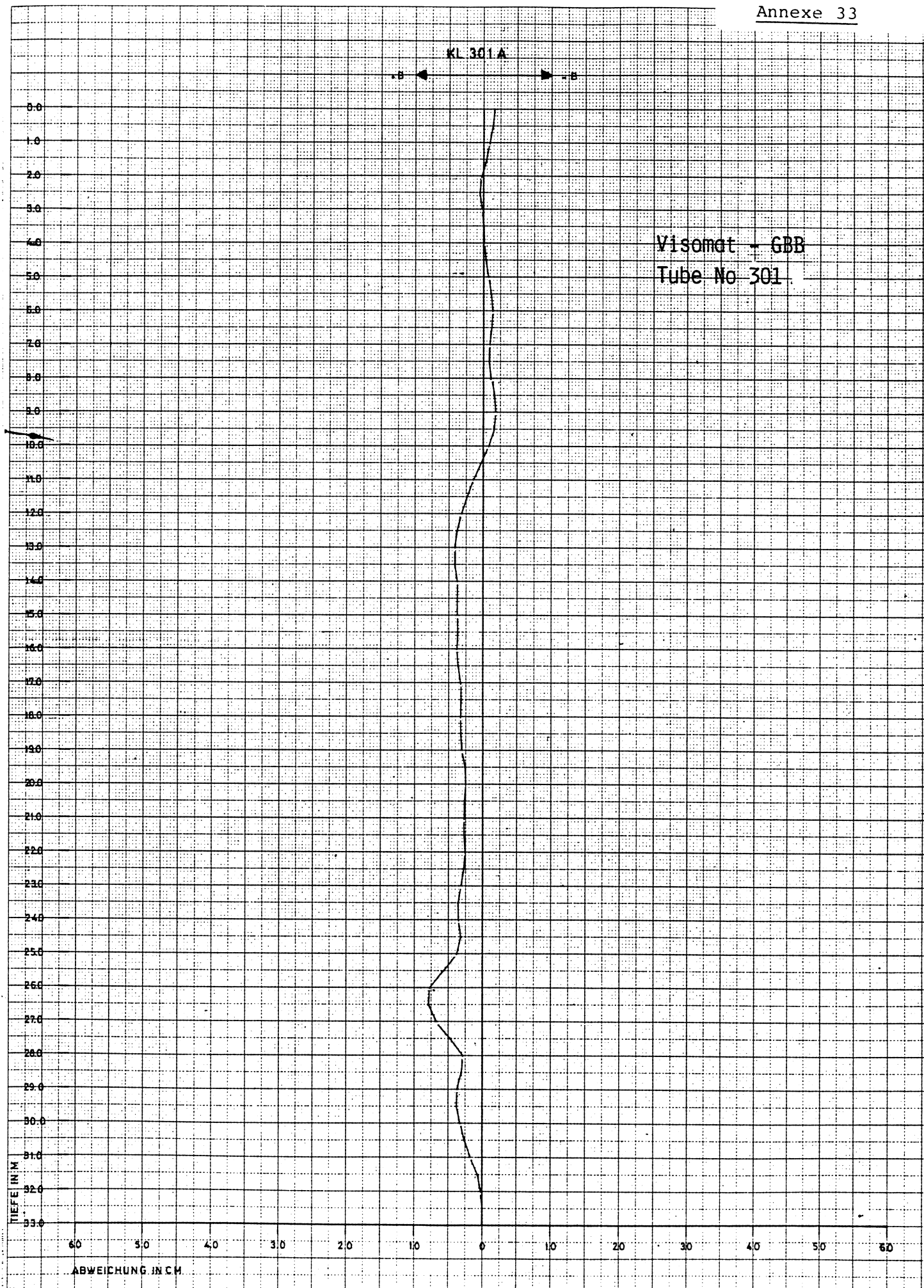


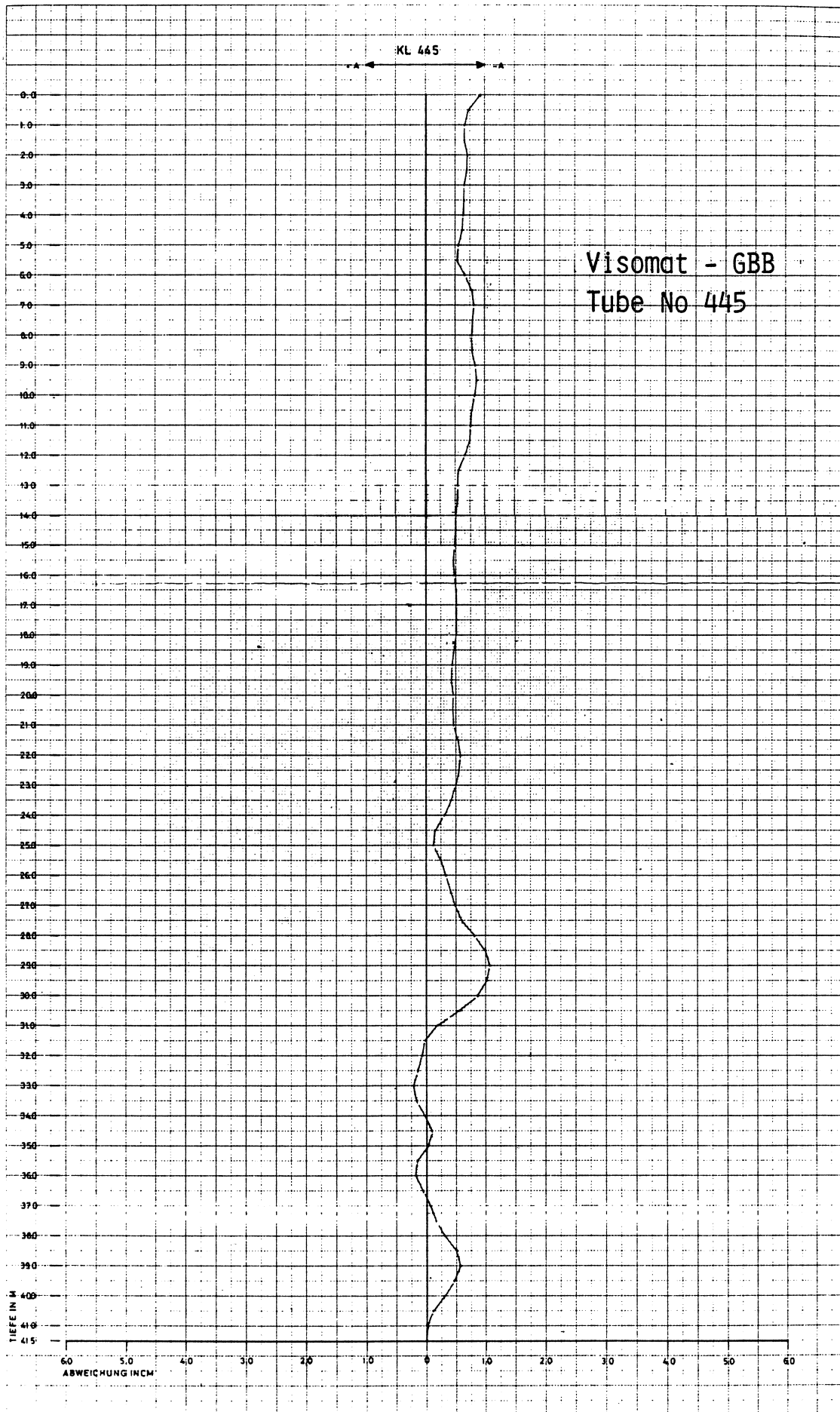
Forage No 502

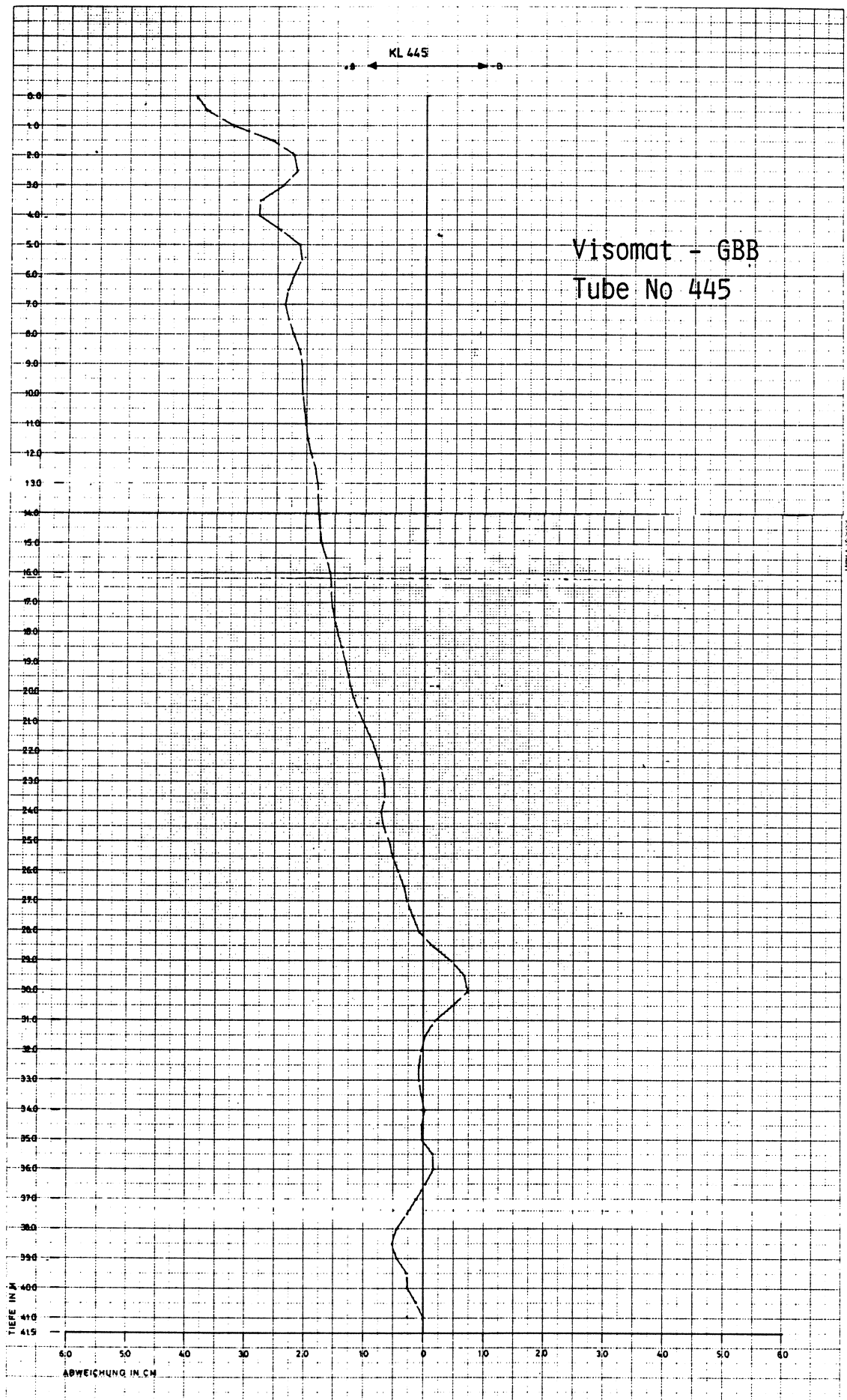


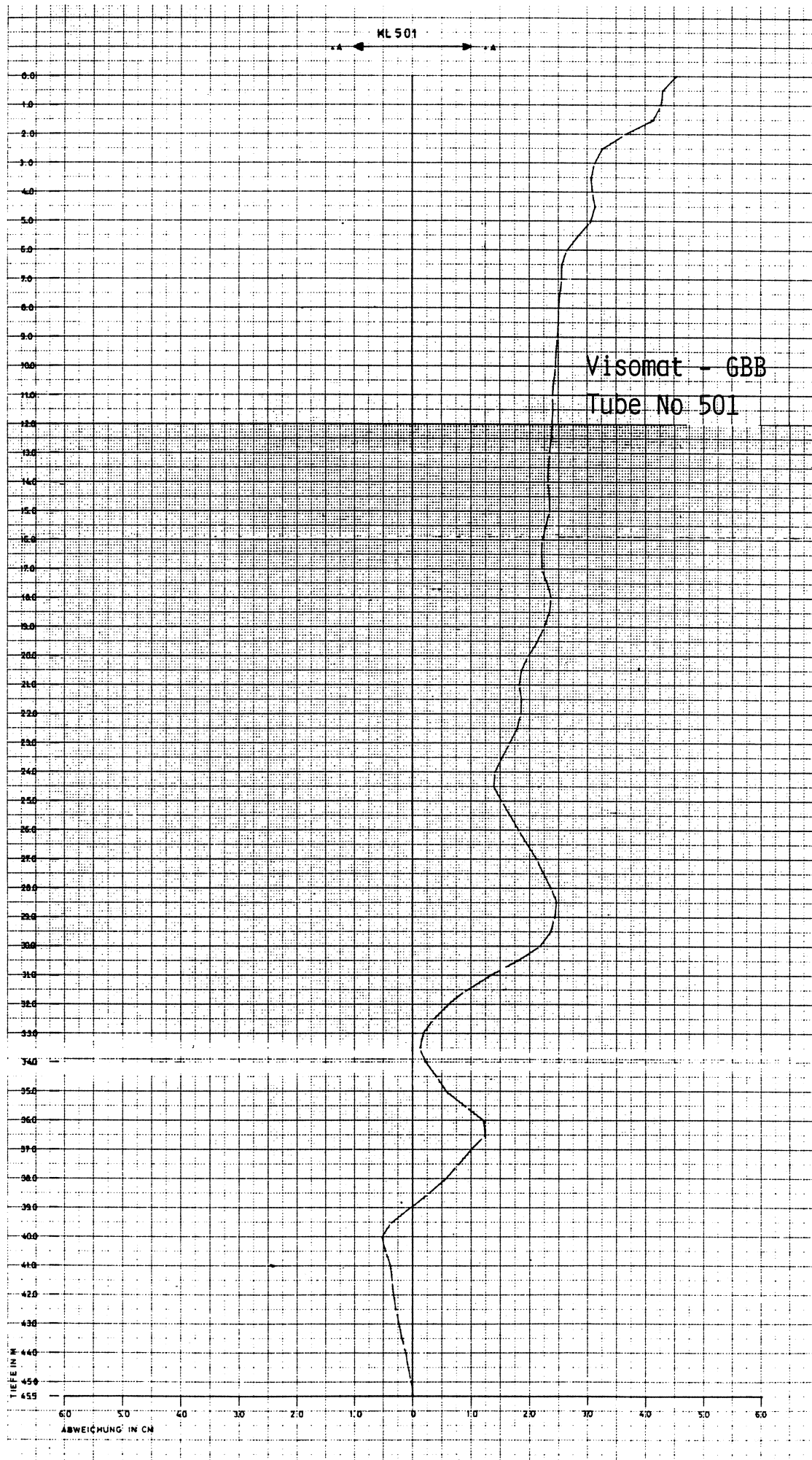


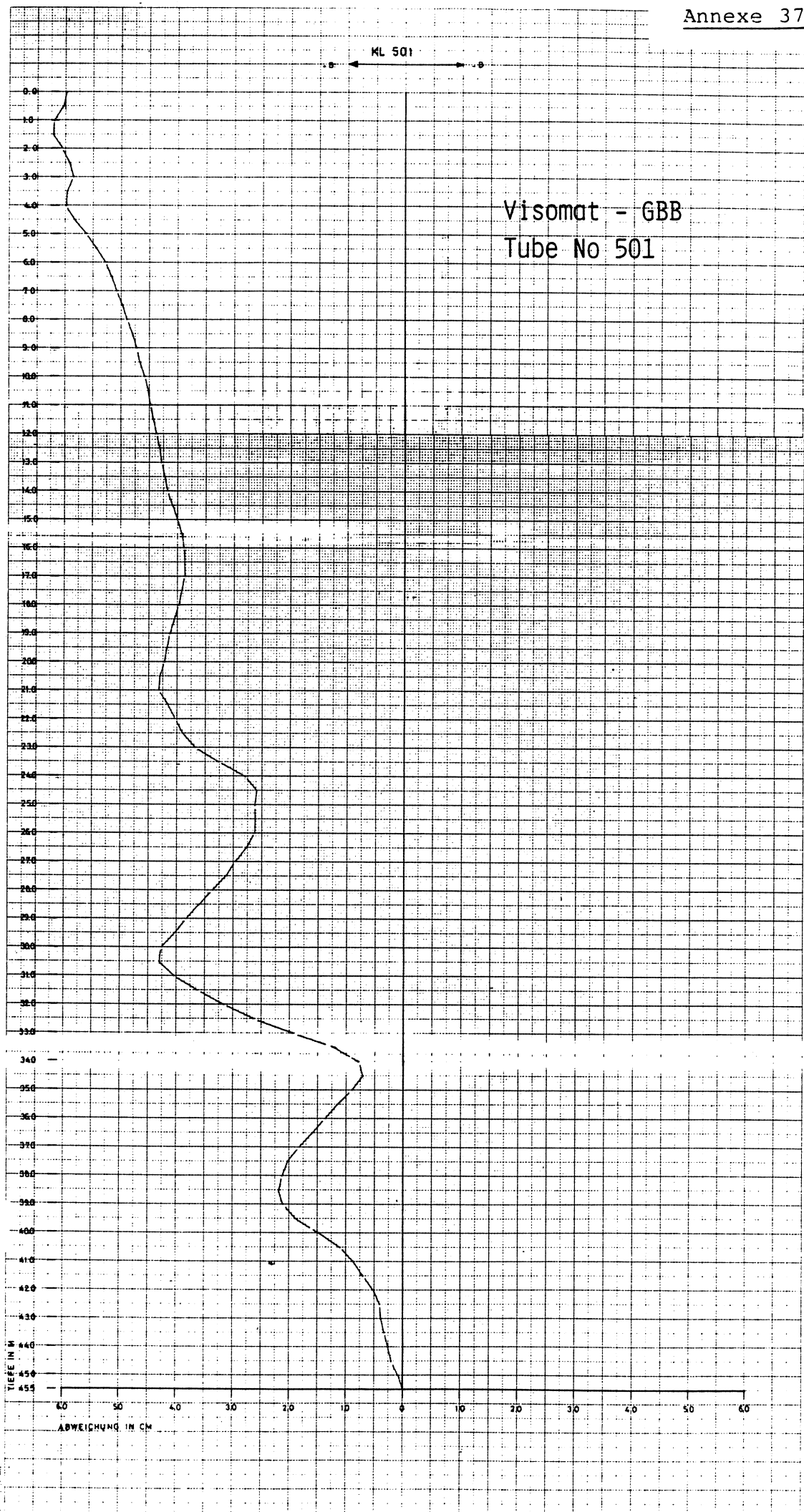


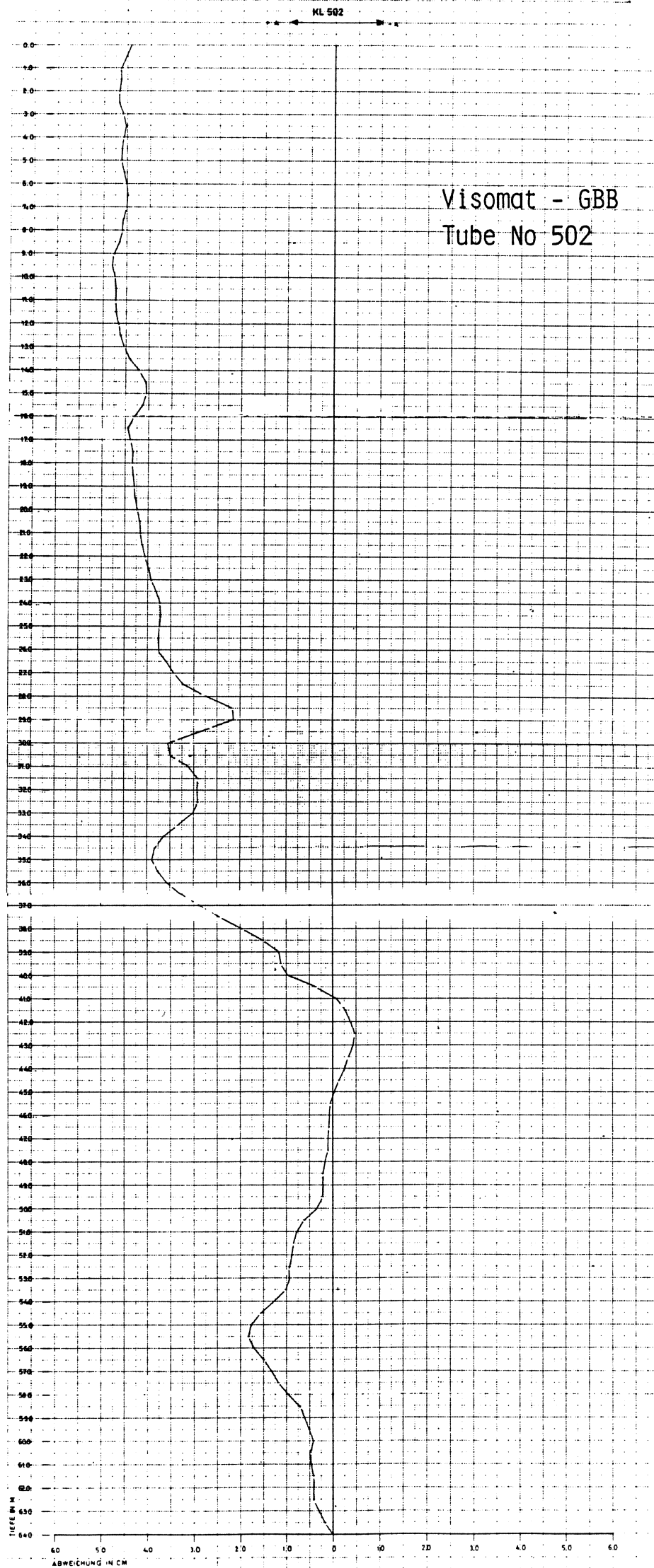


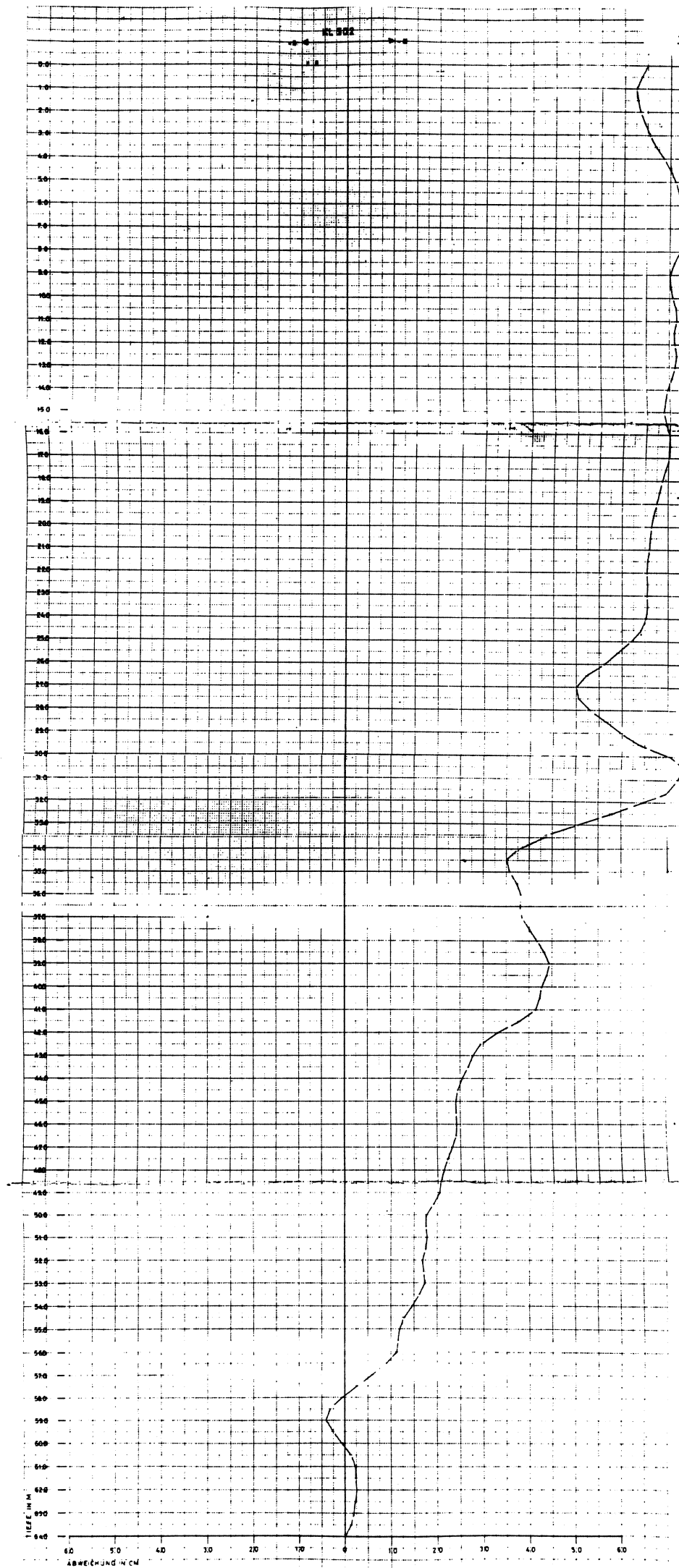










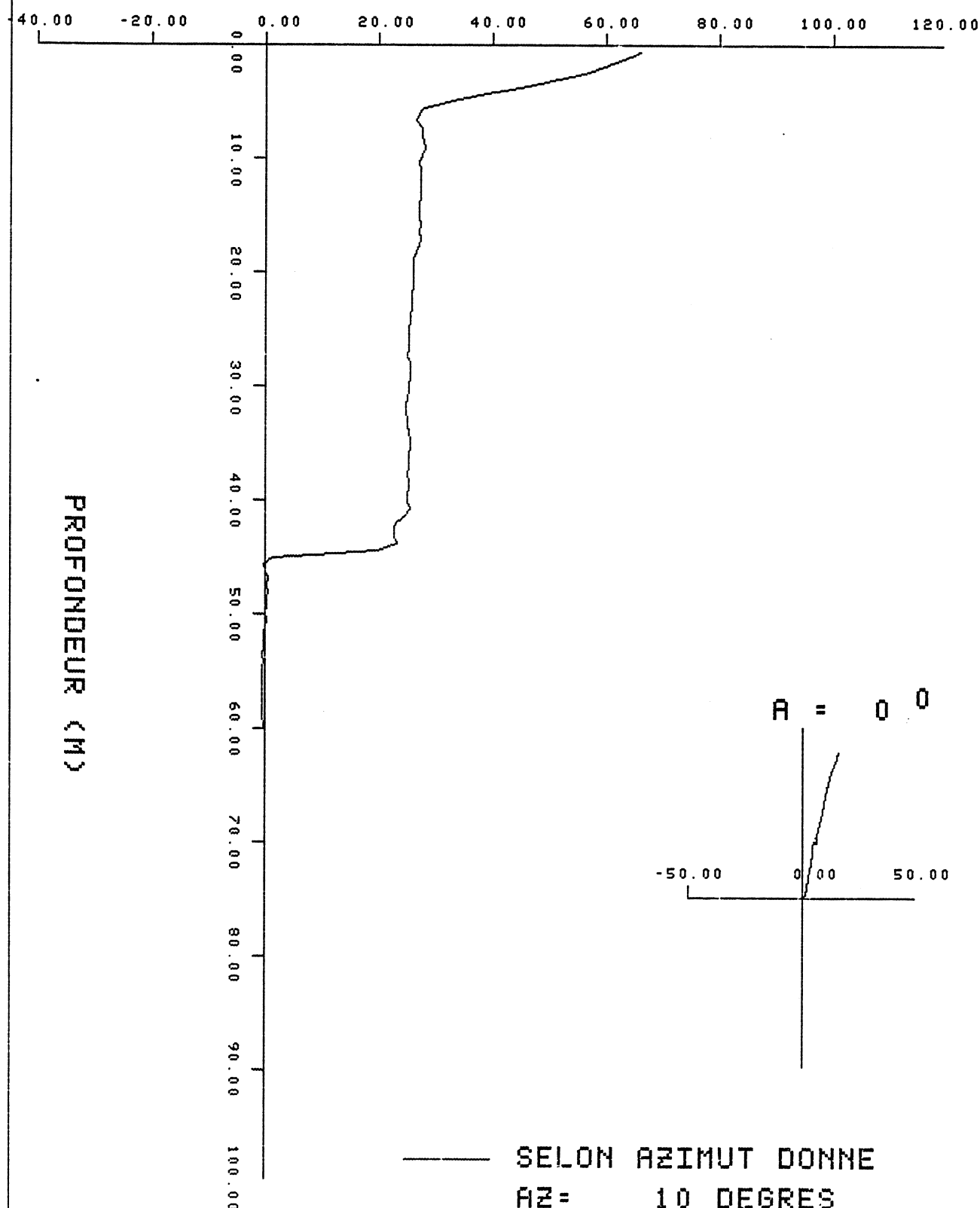


Visomat - GBB
Tube No 502

LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE DE L'EPFL
EXPLOITATION MESURES SUR TUBE NO B7

MESURES COURANTES DU 18 07 80
UTILISANT LES MESURES INITIALES DU 12 06 79

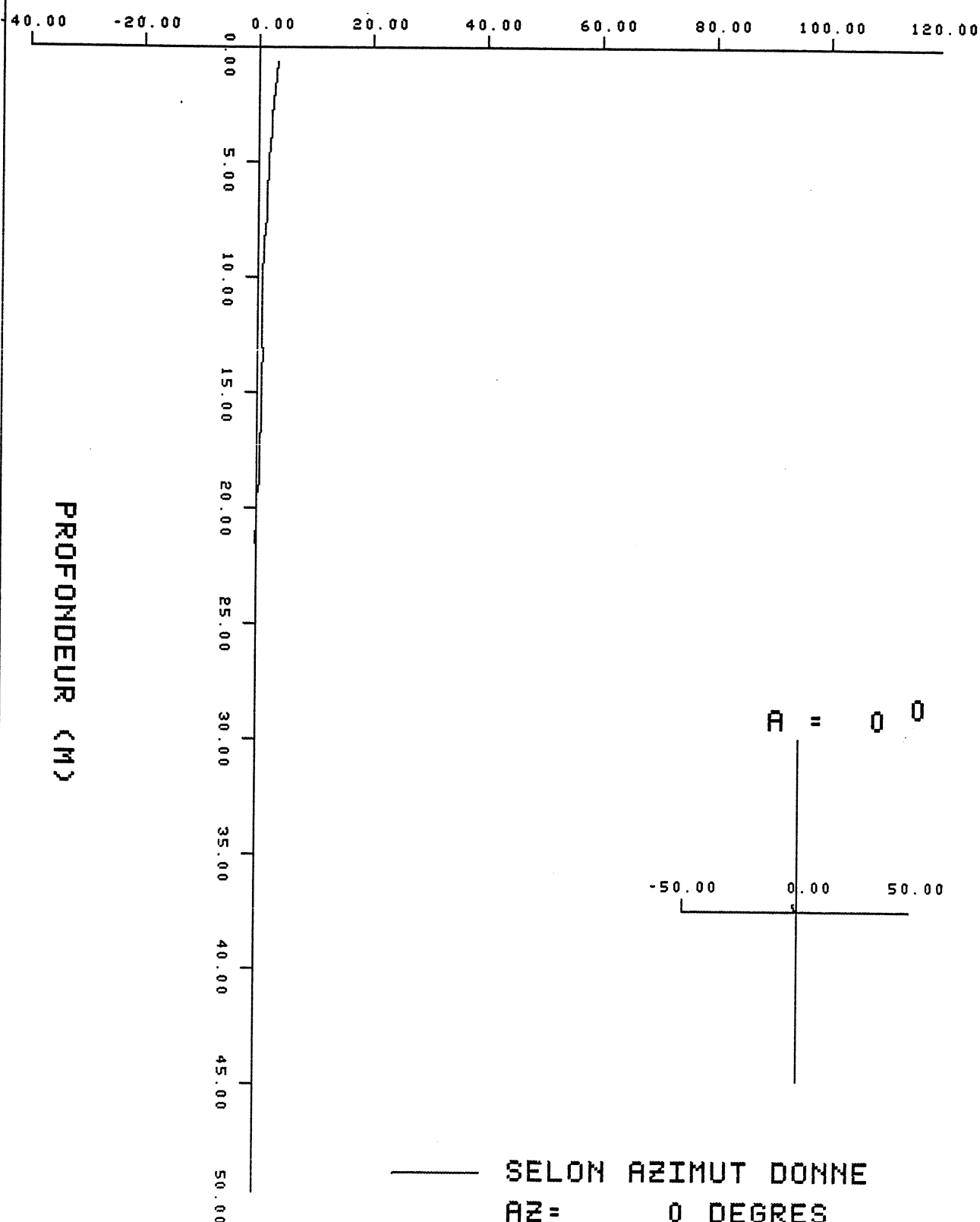
D E P L A C E M E N T S (M M)



LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE DE L'EPFL
EXPLOITATION MESURES SUR TUBE NO B301

MESURES COURANTES DU 18 07 80
UTILISANT LES MESURES INITIALES DU 12 06 79

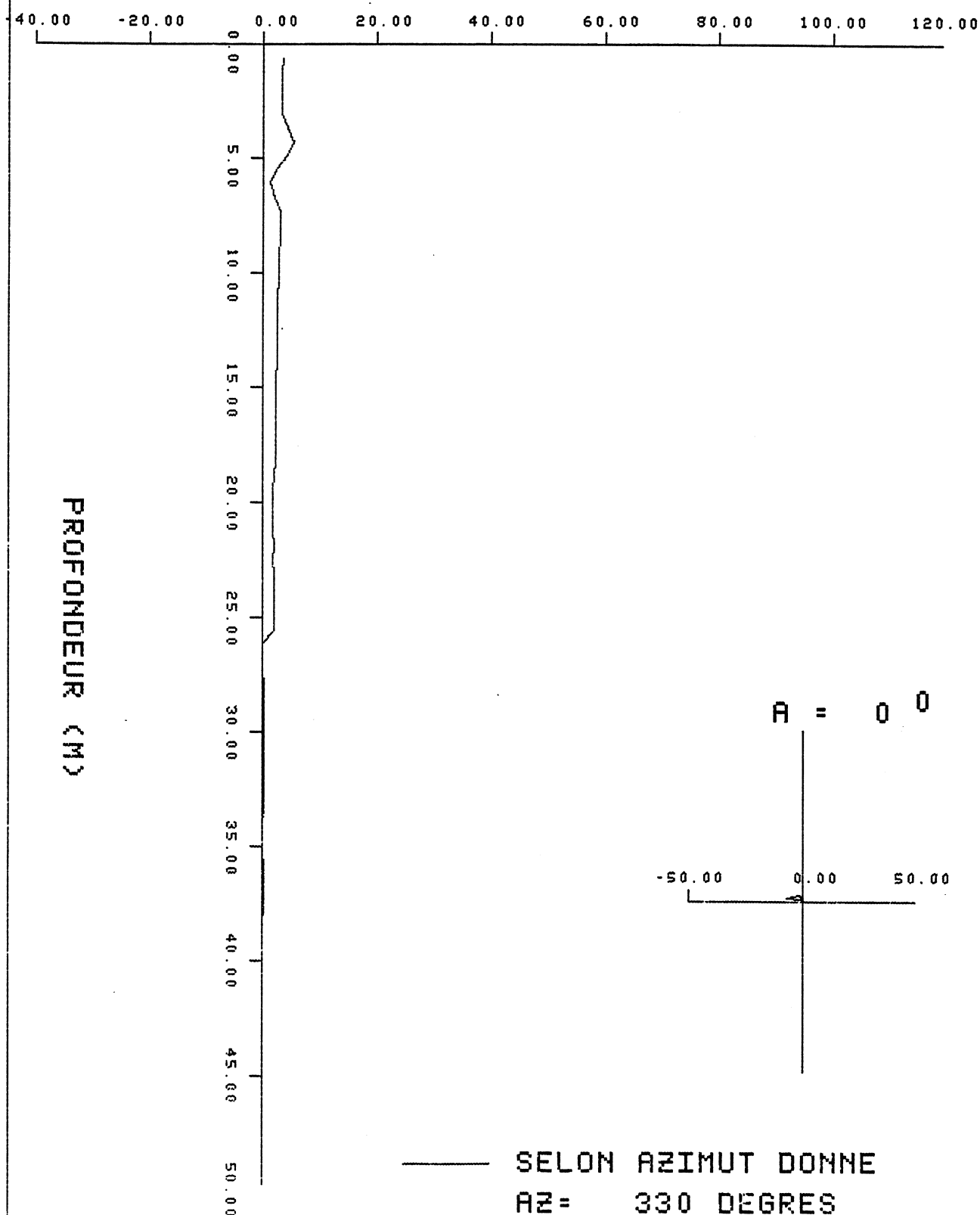
D E P L A C E M E N T S (M M)



LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE DE L'EPFL
EXPLOITATION MESURES SUR TUBE NO B445

MESURES COURANTES DU 18 07 80
UTILISANT LES MESURES INITIALES DU 12 06 79

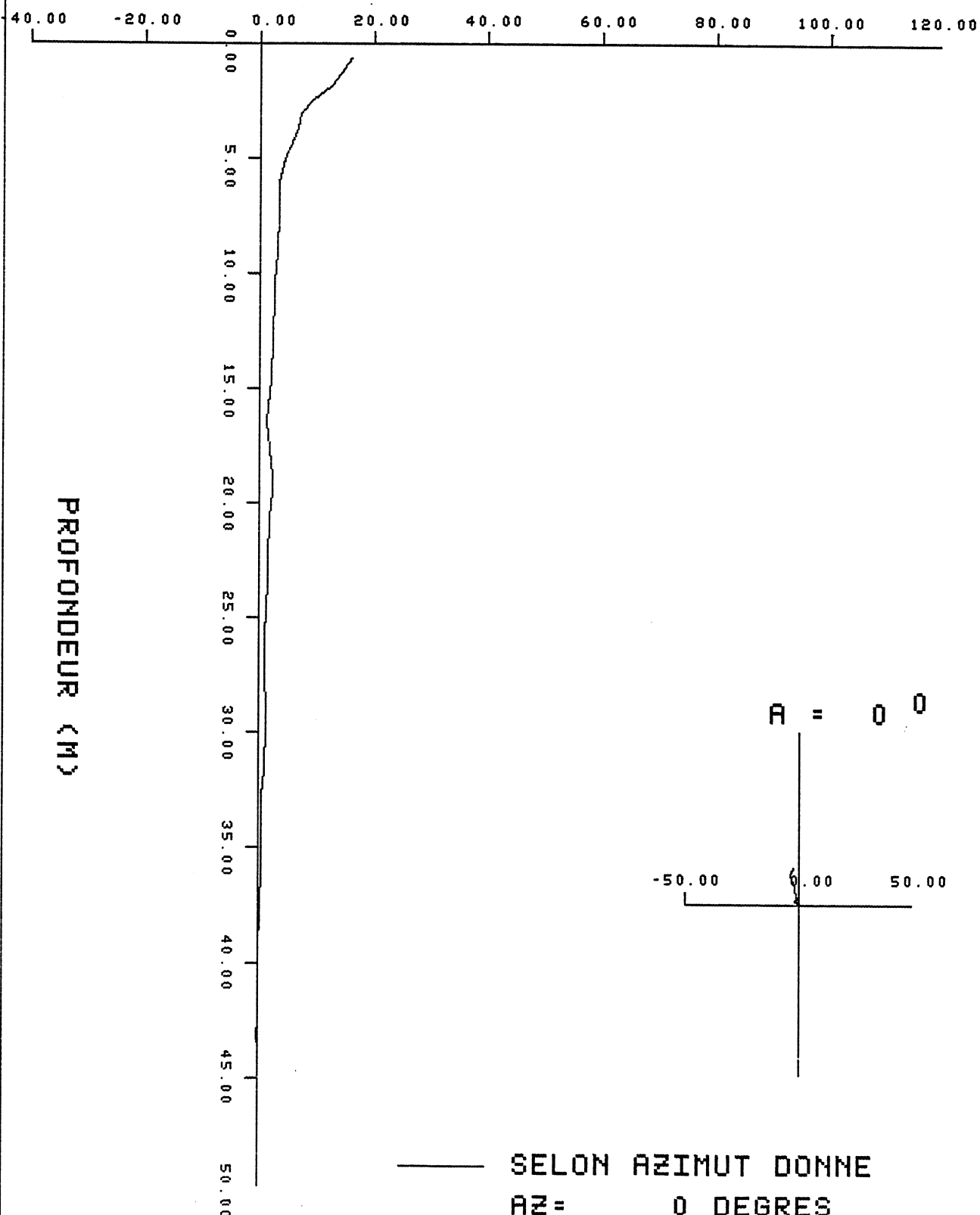
D E P L A C E M E N T S (M M)



LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE DE L'EPFL
EXPLOITATION MESURES SUR TUBE NO B501

MESURES COURANTES DU 18 07 80
UTILISANT LES MESURES INITIALES DU 12 06 79

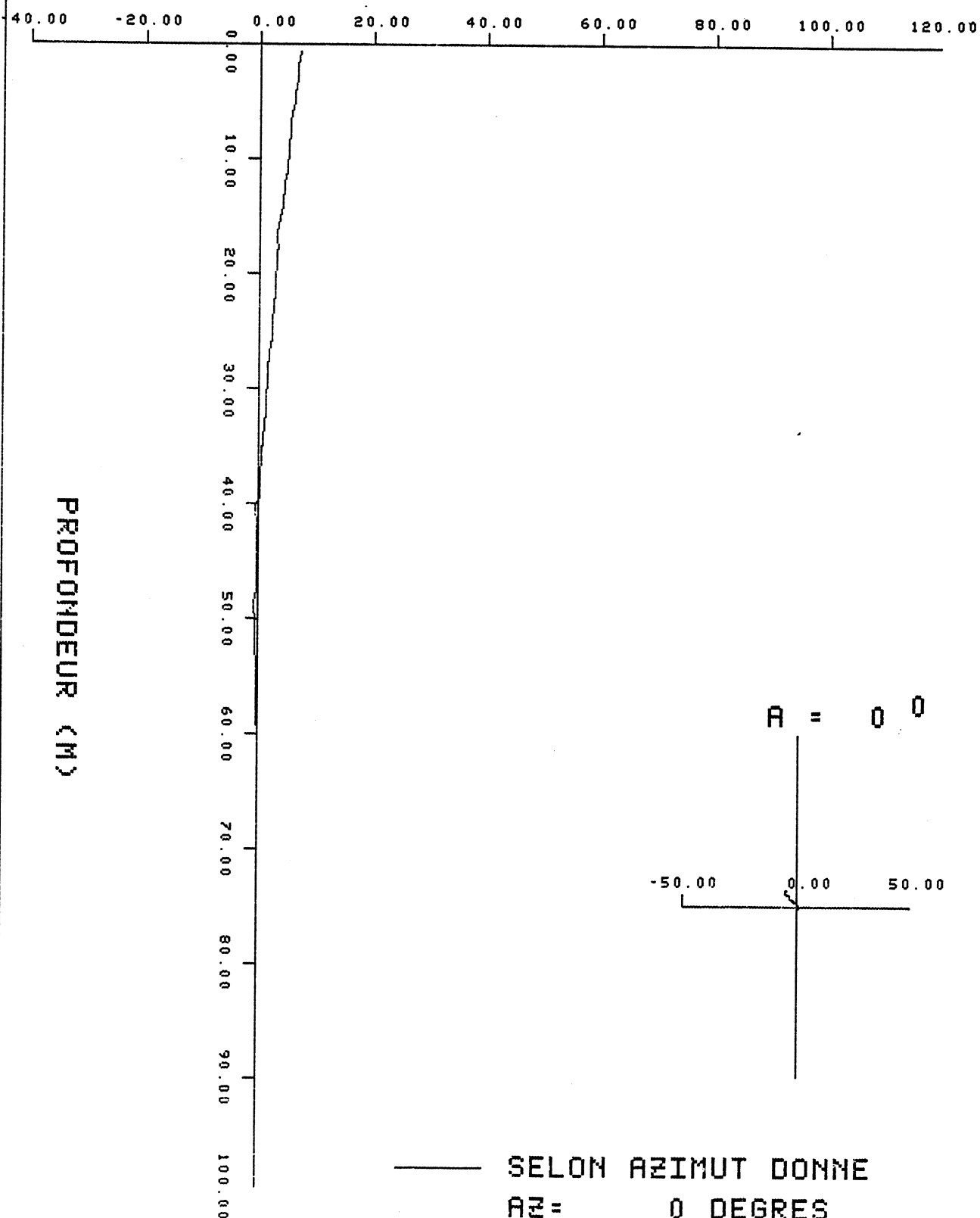
D E P L A C E M E N T S (M M)



LABORATOIRE DE GEOTECHNIQUE DE L'EPFL
EXPLOITATION MESURES SUR TUBE NO B502

MESURES COURANTES DU 18 07 80
UTILISANT LES MESURES INITIALES DU 12 06 79

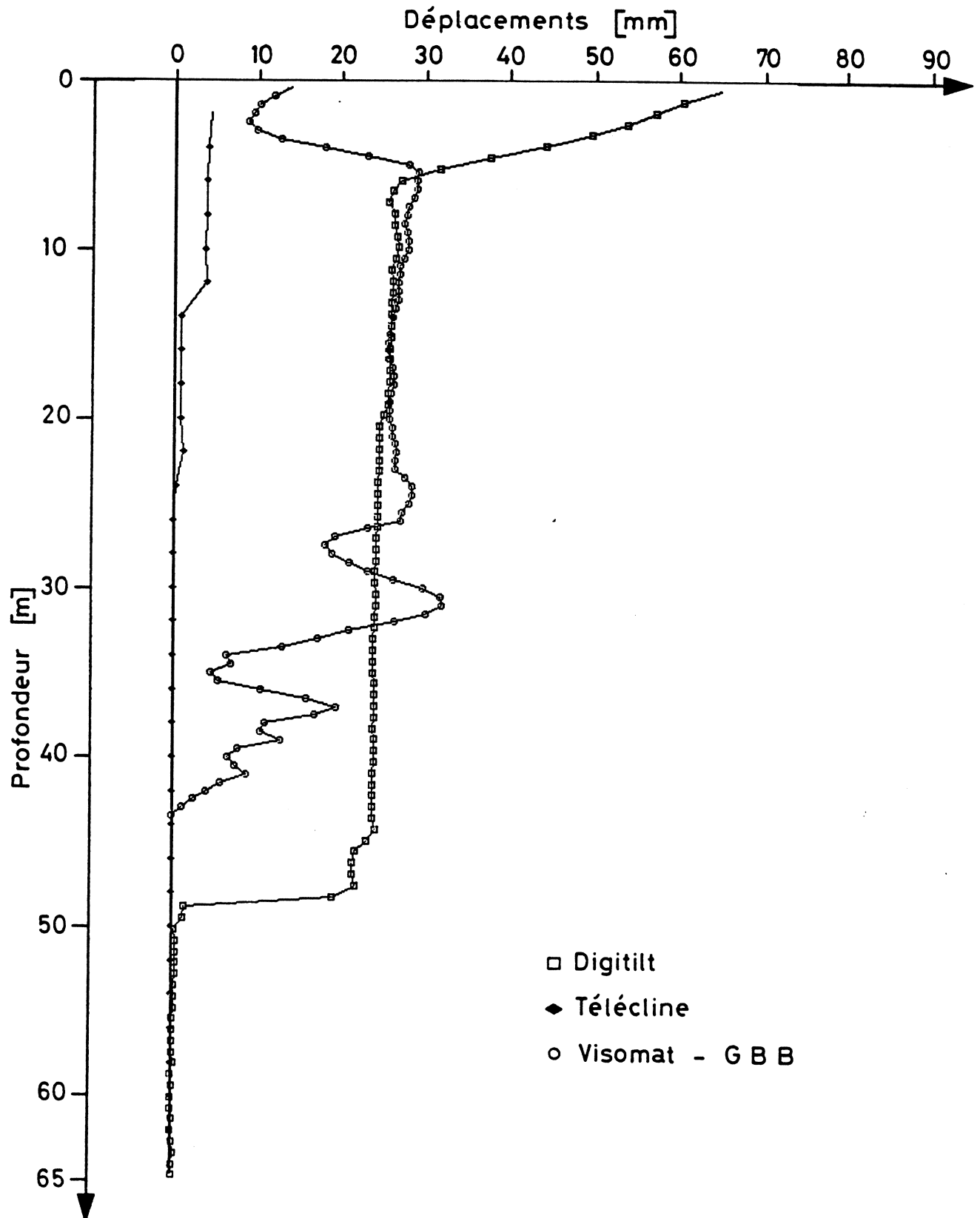
D E P L A C E M E N T S (M M)



Inclinométrie - Beckenried

Mesures comparatives

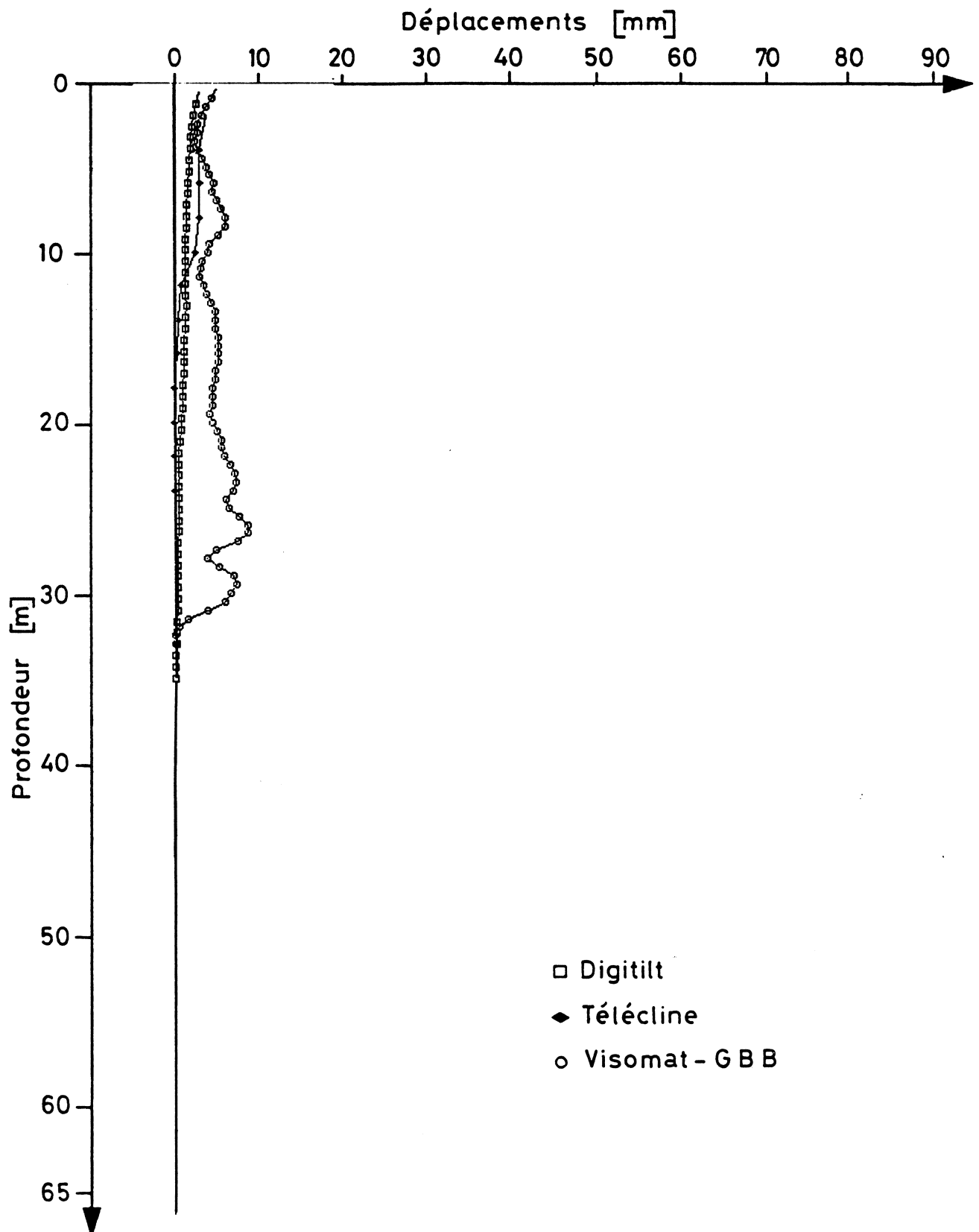
Tube n° 7



Inclinométrie - Beckenried

Mesures comparatives

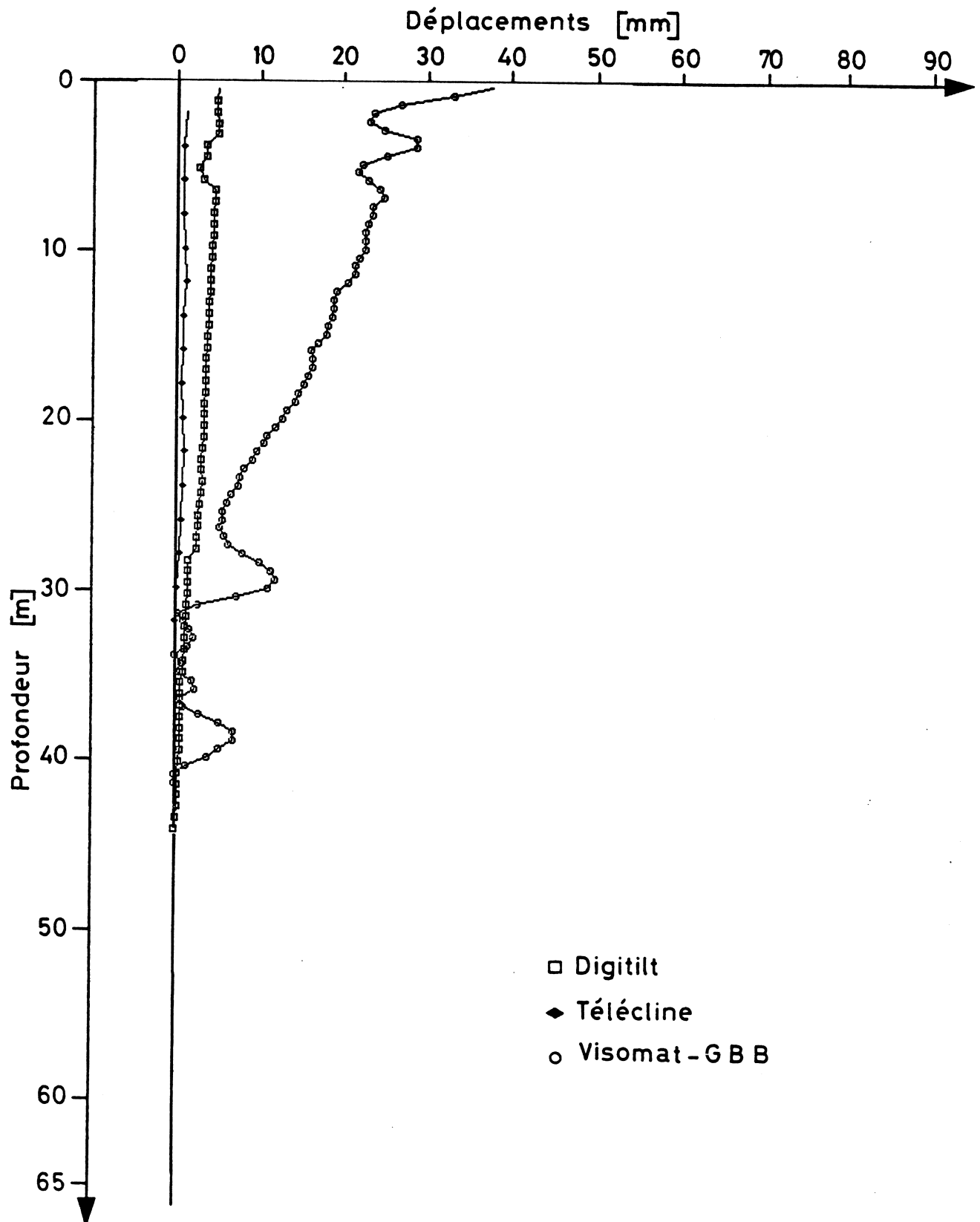
Tube n° 301A



Inclinométrie - Beckenried

Mesures comparatives

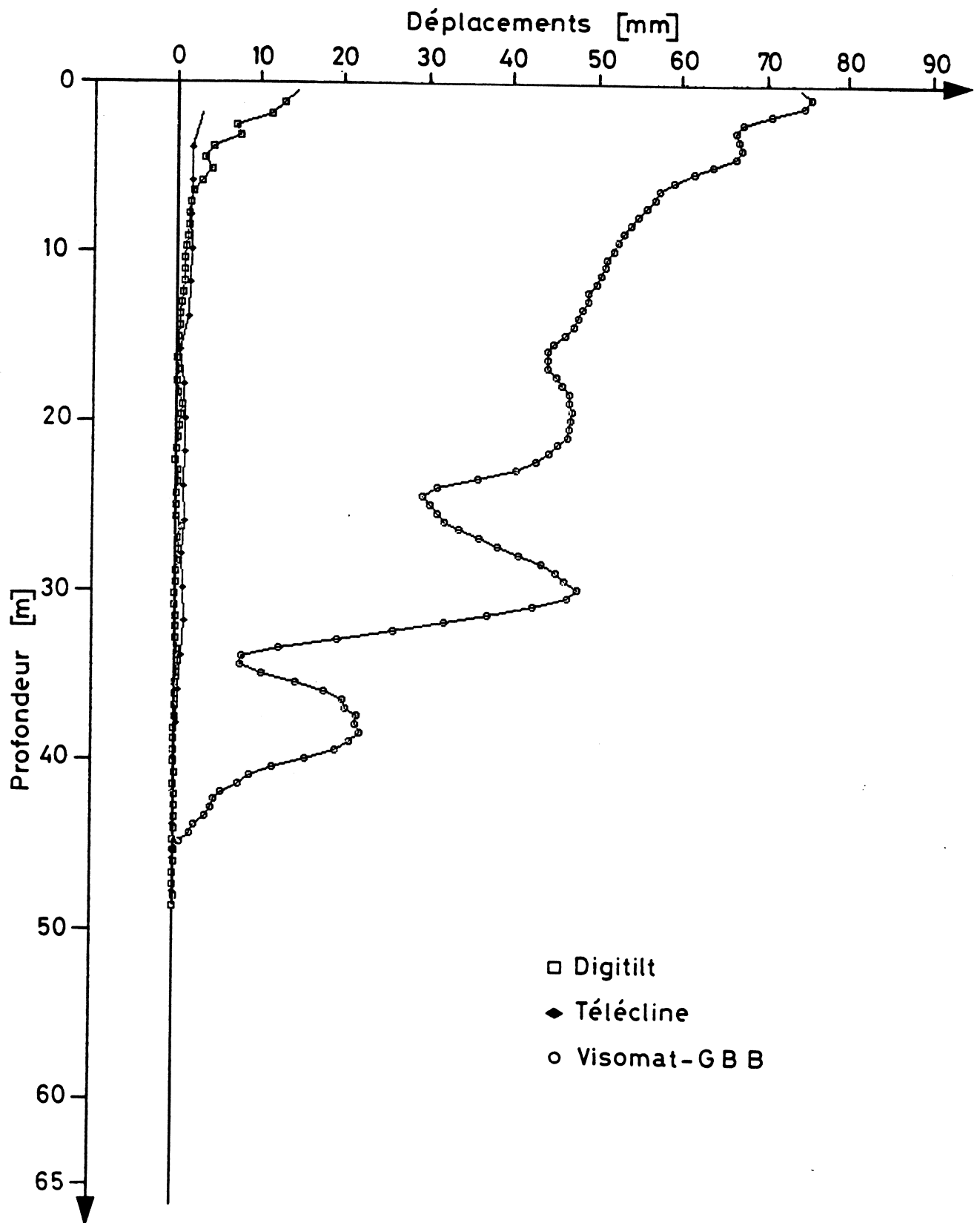
Tube n°445



Inclinométrie - Beckenried

Mesures comparatives

Tube n° 501



Inclinométrie - Beckenried

Mesures comparatives

Tube n° 502

