

Département fédéral des transports, des communications et
de l'énergie

Office fédéral des routes

**SUPERSTRUCTURES STABILISEES AU CIMENT
LORS DE GEL ET DEGEL**

(Rapport final - 1ère partie)

**Zement-stabilisierter Oberbau
unter Frost- und Taueinwirkung**

(Schlussbericht - 1. Teil)

**Laboratoire de mécanique des sols de
l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne**

J.-M. Despond, T. Martinenghi

Travail de recherche No 28/82

Juillet 1985



TABLE DES MATIERES

	Page
1. MANDAT, OBJECTIFS ET MOYENS DE LA RECHERCHE	1
1.1. Mandat et objectifs	1
1.2. Moyens de la recherche	2
1.3. Programme général de la recherche	2
1.4. Contenu du présent rapport	3
2. DESCRIPTION DU MODELE	4
2.1. Matériaux et géométrie	4
2.2. Champs et axes d'essai	5
2.3. Appareils de mesure	5
3. RECHERCHE DES MATERIAUX POUR LA STABILISATION	7
3.1. But des études	7
3.2. Choix des matériaux	7
3.3. Etudes réalisées en laboratoire	8
3.4. Stabilisation choisie	9
4. CONSTRUCTION DU MODELE	10
4.1. Sol d'assise	10
4.2. Couche de drainage	12
4.3. Fondation	12
4.4. Revêtement bitumineux	13
4.5. Réfection du champ 3	13
4.6. Post-compactage à l'orniéreur	16
5. ESSAIS SUPPLEMENTAIRES EN LABORATOIRE	17
5.1. Objectifs	17
5.2. Essai de gonflement	17
5.3. Résistance sur carottes	18
6. ESSAIS DE CHARGE SANS CYCLE THERMIQUE	20
6.1. Objectifs	20
6.2. Description	20
6.3. Essais de charge avec une plaque de 300 mm	20
6.4. Essais de charge avec deux plaques de 300 mm	21
6.5. Mesures de la déformation de la stabilisation	23
6.6. Mesures à l'interface limon - stabilisation	24
7. CYCLES DE GEL - DEGEL	26
7.1. Conditions imposées	26
7.2. Paramètres mesurés	27
7.3. Résultats des mesures	30

ANNEXES

2. DESCRIPTION DU MODELE

- 2.1 Plan de la fosse d'essai
- 2.2 Coupes de la fosse d'essai
- 2.3 Emplacements des systèmes de mesure
- 2.4 - 2.7 Descriptions des systèmes de mesure

3. RECHERCHE DES MATERIAUX POUR LA STABILISATION

- 3.1 Caractéristiques des matériaux testés en laboratoire
- 3.2 - 3.3 Détermination de la teneur en ciment du mélange choisi

4. CONSTRUCTION DU MODELE

- 4.1 - 4.2 Caractéristiques des matériaux mis en place

5. ESSAIS SUPPLEMENTAIRES EN LABORATOIRE

- 5.1 Caractéristiques des éprouvettes pour l'essai de gel
- 5.2 Gonflements
- 5.3 Variations de γ , w et Δh en fonction de w_{in}
- 5.4 Résistance des carottes

6. ESSAIS DE CHARGE SANS CYCLE THERMIQUE

- 6.1 Disposition des comparateurs pour l'essai de charge avec une plaque
- 6.2 - 6.26 Essais de charge sur la stabilisation
- 6.27 Disposition des comparateurs pour l'essai de charge avec deux plaques
- 6.28 - 6.35 Essais de charge sur la stabilisation
- 6.36 - 6.40 Essais de charge sur le revêtement
- 6.41 - 6.48 Influence du revêtement (charge - décharge)
- 6.49 - 6.52 Influence du sable
- 6.53 Disposition des jauges de déformation
- 6.54 - 6.55 Résultats des jauges de déformation
- 6.56 Disposition des appareils à l'interface limon - stabilisation
- 6.57 - 6.59 Résultats des mesures à l'interface limon - stabilisation

ANNEXES (suite)

7. CYCLES DE GEL - DEGEL

70.1	Disposition des points de mesure en surface
71.1	Résumé des mesures sur le champ No 1 - essai 12E
71.2 - 71.4	$\theta = f(t)$
71.5	$\theta = f(z)$
71.6	$\theta = f(t, z)$
71.7	$\psi = f(t)$
71.8	$\psi = f(z)$
71.9	$\sigma_z = f(t)$
71.10 - 71.11	$\sigma_z = f(z)$
71.12	$\gamma = f(z)$
71.13 - 71.14	$\Delta\gamma = f(z)$
71.15	$w = f(z)$
72.1 - 72.15	Idem que 71. pour le champ No 2 - essai 12E
73.1 - 73.15	Idem que 71. pour le champ No 3 (- 73.11), essai 12E
74.1 - 74.15	Résumé des mesures sur le champ No 1 - essai 22E
75.1 - 75.15	Idem que 74. pour le champ No 2 - essai 22E
76.1 - 76.15	Idem que 74. pour le champ No 3 (- 76.11), essai 22E

1. MANDAT, OBJECTIFS ET MOYENS DE LA RECHERCHE

1.1. MANDAT ET OBJECTIFS

Par sa lettre du 28 mars 1979, le Département Fédéral de l'Intérieur mandatait le Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL (LMS) pour réaliser un deuxième essai sur modèle en vraie grandeur. Le thème principal de ce mandat est l'étude de l'influence du milieu ambiant (gel et dégel) sur la force portante des sols au niveau de la forme de la chaussée, de manière à améliorer les critères de choix des coefficients de portance nécessaires au dimensionnement de la superstructure. Le premier mandat (9/79) a été complété par un crédit de poursuite des travaux (28/82).

La construction et l'instrumentation du modèle de chaussée impliquent des moyens très importants qui ont été utilisés pour mener à bien des recherches complémentaires, en particulier la résistance à l'orniérage et à la fatigue des revêtements bitumineux. Cette recherche, qui est réalisée par le Laboratoire des voies de circulation de l'EPFL (LAVOC) fait partie du même mandat de recherche, mais les résultats seront donnés dans un rapport séparé.

Le premier essai a été entrepris sur une chaussée de type conventionnel, constituée d'un revêtement bitumineux sur une couche de grave pour fondation d'épaisseur variable. Les résultats de ce premier essai sont donnés dans les trois parties du rapport final établi par le LMS aux mois de novembre 1979, juin 1981 (No OFR 33) et d'avril 1984 (No OFR 79).

Le deuxième essai est exécuté sur une chaussée constituée d'un revêtement bitumineux, dont l'épaisseur est du même ordre de grandeur que pour le premier essai, sur une couche de grave stabilisée d'épaisseur variable.

1.2. MOYENS DE LA RECHERCHE

Le tronçon de route utilisé pour les mesures a été construit dans la Halle Fosses de l'EPFL à Ecublens. Cette construction, ainsi que ses installations, sont décrites dans la première partie du rapport final de novembre 1979 et dans un article paru dans la revue "Route et Trafic" No 8, 1978.

1.3. PROGRAMME DE LA RECHERCHE

Les recherches ont été divisées en plusieurs phases principales dont les différentes étapes sont décrites ci-après en respectant l'ordre chronologique de leur accomplissement.

- a) Etudes préliminaires : Recherche et choix des matériaux devant constituer la superstructure de la chaussée, détermination des caractéristiques nécessaires pour la stabilisation;
- b) Construction du modèle;
- c) Essais d'orniérage par le LAVOC;
- d) Reconstruction partielle de la superstructure du modèle;
- e) Essais de charge sans cycle thermique dans le but d'étudier le comportement mécanique du milieu stratifié constitué par les couches successives de la chaussée;
- f) Exécution de cycles thermiques avec application de charges sur le modèle, dans le but d'observer l'évolution de la force portante de la chaussée en période de gel et de dégel.

1.4. CONTENU DU PRESENT RAPPORT

Ce premier rapport contient les résultats bruts des études préliminaires, des mesures faites lors de la construction du modèle et de sa reconstruction partielle. Il comprend aussi les résultats bruts des essais de charge sans cycle thermique et ceux des essais de perte de portance, correspondant aux étapes a), b) et d) à f) décrites au paragraphe précédent.

Les essais d'orniérage exécutés par le LAVOC font l'objet d'un rapport séparé.

L'analyse de toutes les mesures enregistrées au cours de ces essais fera l'objet d'un rapport de synthèse qui est en préparation.

2. DESCRIPTION DU MODELE

2.1. MATERIAUX ET GEOMETRIE

Le modèle est semblable à celui exécuté pour le premier essai ("Influence du milieu ambiant sur la force portante d'une chaussée", Mandat No 25/76). Ses différents composants sont, du bas vers le haut :

- 80 mm de gravier de granulométrie 8 - 30 mm, qui assure la répartition de l'eau d'alimentation de la nappe sur toute la surface de la fosse;
- une natte anticontaminante placée sur le gravier (Bidim);
- le sol d'assise de la chaussée est un limon de lavage de la gravière de Biolley-Orjulaz (toute cette infrastructure a été conservée du modèle précédent);
- l'épaisseur de limon a été augmentée à 1.58 et 1.75 m en fonction de l'épaisseur de la superstructure qui est plus faible;
- 50 mm de sable, de granulométrie 0 - 3 mm, comme drainage sur le champ No 3;
- la stabilisation au ciment (CP normal), granulométrie 0 - 50 mm. Son épaisseur théorique est de 0.3 m sur le champ No 1 et de 0.25 m sur les deux autres champs; à cause de la mise en place manuelle, celle-ci n'est pas constante.
- le revêtement bitumineux formé de 70 mm d'enrobé HMT25 et de 50 mm de tapis AB16, mais vu l'irrégularité de la surface de la couche stabilisée, l'épaisseur du HMT varie entre 60 et 120 mm.

Le massif d'essai a été enveloppé latéralement d'une isolation de polystyrène de 80 mm d'épaisseur.

Les annexes 2.1 à 2.3 représentent en coupe et en situation la géométrie du modèle et donnent l'emplacement des appareils qui s'y trouvent.

2.2. CHAMPS ET AXES D'ESSAI

Pour cet essai, seuls les trois champs qui sont dans la zone d'action de l'installation de réfrigération ont été utilisés. Sur chacun de ces champs, trois axes sont définis sur les positions possibles du cadre de chargement. Ces axes sont appelés "axes contraintes" ou "axes déplacements" selon les capteurs qui les équipent. Chacun des axes est repéré par une lettre définie sur les annexes 2.1 et 2.2.

2.3. APPAREILS DE MESURE

A chaque appareil est alloué un numéro formé de quatre chiffres caractérisant le type de capteur, le champ où il est placé et sa position dans le champ. Ces appareils sont positionnés sur les annexes 2.1 à 2.3 et décrits dans les annexes 2.4 à 2.7.

2.3.1. Thermomètres (type pt100)

Chacun des trois champs est équipé de 10 thermomètres à résistance, étanches. Huit se trouvent dans le massif, un à la surface du revêtement et le dernier au-dessus du champ pour enregistrer la température de l'air.

2.3.1. Tensiomètres (type Soilmoisture)

Dans les couches supérieures du limon, on a posé cinq, cinq et trois tensiomètres, respectivement pour les champs Nos 1, 2 et 3, à peu près au même niveau que les thermomètres, pour comparer les températures et les dépressions en un même point.

2.3.3. Capteurs de déplacement (type Bison)

Sur les axes "déplacements" sont placés 10 ou 11 capteurs électromagnétiques, répartis entre le radier et la surface (11 : axes A, B, D et E; 10 : axes H et I).

2.3.4. Capteurs de déformations (développés au LMR)

Sur l'axe "déplacements" du champ No 3, dans le limon et la couche de stabilisation, sont posés radialement et tangentielllement, sur trois niveaux, des capteurs de déformations, utilisés pour la mesure des déformations horizontales.

2.3.5. Capteurs de contraintes (type Glötzl)

Les axes "contraintes" renferment des capteurs de pression totale à circuit d'huile. A partir d'une profondeur d'environ 1.2 m jusqu'au niveau inférieur de la stabilisation se trouvent respectivement cinq, quatre et trois capteurs dans les champs Nos 1, 2 et 3. Le même nombre de cellules se trouve excentré de 0.3 m par rapport à ces axes.

2.3.6. Capteurs de contraintes (type Cambridge)

Sur l'axe "contraintes" du champ No 2, trois jauges de contraintes à mesure électrique sont placées à l'interface limon - stabilisation. Elles mesurent les contraintes normales et tangentiellles présentes à ce niveau.

2.3.7. Nucléodensimètre (type Seaman)

Cet appareil a été utilisé pour les contrôles en surface lors du montage du modèle. Il permet de connaître le poids volumique apparent et la teneur en eau dans une hémisphère de 0.2 m de diamètre.

2.3.8. Nucléodensimètre (type Troxler)

Chaque champ est équipé de ce système de mesure du poids volumique apparent en fonction de la profondeur. Deux tubes en aluminium permettent de descendre une source radioactive et un récepteur dans le sol; par une courbe d'étallonnage, on peut déterminer le poids volumique apparent aux différents niveaux.

3. RECHERCHE DES MATERIAUX POUR LA STABILISATION

3.1. BUT DES ETUDES

Les études réalisées avant la mise en place de la stabilisation devaient servir à :

- choisir un matériau à stabiliser qui correspond à une grave de mauvaise qualité, avec un pourcentage de fins élevé;
- déterminer la teneur en ciment à utiliser pour stabiliser le sol choisi.

3.2. CHOIX DES MATERIAUX

3.2.1. Critères de choix

Selon les objectifs de la recherche entreprise, les caractéristiques souhaitées du matériau étaient les suivantes :

- la granulométrie devait être étendue, avoir un degré d'uniformité (CU) grand et une courbure (CC) proche de 1;
- la quantité d'éléments fins ($\varnothing < 0.02$ mm) devait être de l'ordre de 20 % du poids total;
- enfin, l'indice de plasticité (I_p) devait être inférieur ou égal à 6.

Ce matériau devait donc être une grave gélive pouvant être stabilisée sur place.

3.2.2. Provenance des matériaux

Pour trouver un matériau qui corresponde à ces exigences, le LMS a fait des prélèvements dans plusieurs gravières de la Suisse romande, souvent sur des matériaux écartés par les exploitants parce que trop sales.

N'ayant pas de résultats satisfaisants, des mélanges ont été entrepris, notamment entre la grave de Biolley-Orjulaz et un limon de lavage de Sergey. Deux de ces mélanges présentaient les caractéristiques espérées.

3.3. ETUDES REALISEES EN LABORATOIRE

Les essais effectués en laboratoire sur tous les matériaux portaient sur les caractéristiques granulométriques. Les résultats sont résumés dans l'annexe 3.1. Pour deux des mélanges grave - limon, des essais plus complets ont été entrepris :

- dosage en ciment selon la norme SNV 670'376
- stabilité au gel selon la norme SNV 670'376

3.3.1. Limites de consistance

La moitié environ des échantillons examinés satisfaisait aux exigences demandées sur les limites de consistance. L'indice de plasticité des mélanges choisis finalement était très voisin de 6.

3.3.2. Granulométrie

Les mélanges entre le limon du lac de décantation supérieur de Sergey et la grave de Biolley ont donné les meilleurs résultats :

- bonne quantité d'éléments fins
- CU élevé
- CC proche de 1

3.3.3. Dosage en ciment

Pour déterminer le dosage en ciment, la procédure a été la suivante :

- compactage de la fraction $\phi < 10$ mm pour déterminer la courbe Proctor avec trois teneurs en ciment différentes (3, 6 et 9 %);

- stockage pendant sept jours à une humidité $> 75 \%$ et une température de 20°C ;
- imbibition des éprouvettes pendant quatre heures;
- écrasement des éprouvettes et report graphique des résultats;
- choix de la teneur en ciment pour une résistance de $2500 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$;
- détermination du dosage en ciment de la fraction totale.

Les résultats de ces essais sont donnés sur les graphiques des annexes 3.2 et 3.3.

Pour la partie fine des deux mélanges retenus, on trouve deux teneurs en ciment différentes (7.6 et 8.6%), qui correspondent pour la fraction totale à 100 et $115 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.3.4. Stabilité au gel

La stabilité au gel de tels mélanges, selon la norme SN 670 376, a été vérifiée.

Quatre éprouvettes ont été compactées à l'optimum Proctor avec la teneur en ciment choisie. Après le repos de sept jours dans la chambre humide, deux éprouvettes ont été écrasées et les deux autres placées dans le congélateur, pour subir quinze cycles de gel - dégel - bain d'eau, en raison de 17 heures à -20°C , trois heures à l'air libre, 18 à 22°C , et quatre heures dans l'eau à la température ambiante. Après ce traitement, elles ont été écrasées.

3.4. STABILISATION CHOISIE

Le mélange obtenu pour la fondation stabilisée était composé de :

- 50% de limon de Sergey, en poids, et
 - 50% de grave de Biolley, en poids,
- plus :
- $115 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de ciment et
 - 8.7% d'eau.

4. CONSTRUCTION DU MODELE

4.1. SOL D'ASSISE

4.1.1. Réalisation

Le démontage du premier modèle n'a été effectué que jusqu'au niveau inférieur de la fondation, ce qui a permis de garder la plus grande partie du massif précédent.

L'infrastructure a été complétée par deux couches de 0.12 à 0.14 m de limon de Biolley-Orjulaz, le procédé de pose étant identique à celui utilisé lors du premier essai.

4.1.2. Instrumentation

Tous les instruments qui se trouvaient au niveau supérieur du limon et dans la fondation ont été remplacés.

Pour s'assurer de leur bon fonctionnement, ils étaient auscultés régulièrement dès leur pose.

4.1.3. Caractéristiques géotechniques

Avant et lors de la mise en place des deux couches de limon supplémentaires, plusieurs mesures ont été effectuées. Les paramètres mesurés ont été :

- le coefficient CBR : 573 poinçonnements avec la sonde Farnell;
- le poids volumique apparent et la teneur en eau mesurés au nucléodensimètre Seaman : trois mesures par axe;
- la teneur en eau obtenue par séchage d'échantillons : aux mêmes endroits que les mesures avec le nucléodensimètre.

Les valeurs moyennes représentant l'état du limon dans sa partie supérieure sont reportées dans le tableau No 1 :

Caractéristiques mesurées	Nbre de mesures	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation [%]
Coefficient CBR [%]	573	7.9	2.4	30.6
Poids volumique au nucléodensimètre [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	63	21.5	0.9	4.2
Teneur en eau au nucléodensimètre [%]	63	17.3	2.0	11.6
Teneur en eau par séchage [%]	63	14.3	2.2	15.4

Tableau 1 : Mise en place du limon - Moyenne des mesures de contrôle

4.1.4. Portance de la forme de l'infrastructure

Après la constitution de la forme de l'infrastructure, la portance a été contrôlée par des essais de plaque M_E lents selon les paliers de charge suivants :

20 - 50 - 100 - 150 - 200 - 50 - 100 - 150 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$

Le tableau No 2 résume les résultats :

Caractéristiques mesurées	Nbre de mesures	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation [%]
M_{E1} [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]	12	29'500	5'000	16.9
M_{E2} [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]	12	181'800	40'300	22.2

Tableau 2 : Moyenne des essais de portance sur l'infrastructure

4.2. COUCHE DE DRAINAGE

Une couche de sable de 50 mm d'épaisseur, de granulométrie 0 - 3 mm, a été placée au champ No 3 sur la forme de l'infrastructure.

Des rigoles ont été prévues pour l'écoulement de l'eau vers l'extérieur du massif. Le but d'un tel drainage était d'étudier son influence sur la dissipation des pressions interstitielles dans la partie supérieure du limon, lors du dégel, et de comparer ces résultats à ceux du champ No 2 où la fondation est de même épaisseur, mais sans drainage.

4.3. FONDATION

4.3.1. Pose de la stabilisation

Afin de reproduire le mieux possible les conditions normales de mélange d'une stabilisation au ciment, plusieurs stations de malaxage ont été contactées, mais aucune n'était disposée à traiter un matériau avec autant d'éléments fins. Il a donc fallu avoir recours à un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 75 l qui fut loué à une entreprise et amené à la Halle Fosses. De ce fait, la pose a nécessité quatre jours.

La fondation de 0.35 m a été posée en deux couches, respectivement de 0.17 et 0.18 m, pour pouvoir compacter convenablement chaque couche sur toute son épaisseur.

4.3.2. Caractéristiques géotechniques

Pendant la pose, plusieurs contrôles et essais ont été exécutés sur le matériau mis en place, notamment :

- teneurs en eau à la pose : plusieurs échantillons
- granulométrie : 2 par jour

- compactage de trois éprouvettes Proctor : 2 fois par jour
- résistance à la compression simple des éprouvettes Proctor après 7 jours
- contrôles d'homogénéité : plusieurs fois par jour
- poids volumique apparent et teneur en eau après compactage

Les caractéristiques des matériaux mis en place, le fuseau granulométrique, ainsi que les résultats des essais Proctor et de compression simple sont reportés dans les annexes 4.1 et 4.2.

4.4. REVETEMENT BITUMINEUX

Le revêtement a été posé à la finisseuse selon les méthodes habituelles de chantier. Les deux couches ont une épaisseur variable pour combler les différences du niveau supérieur de la stabilisation (± 30 mm), dues à la pose par petites quantités.

Le revêtement se compose de 60 à 120 mm d'enrobé HMT25 et de 50 mm de tapis AB16.

4.5. REFECTION DU CHAMP No 3

Le champ No 3 a fait l'objet, pendant plusieurs mois, d'une campagne de mesures avec l'orniéreur, effectuée par le Laboratoire des voies de circulation (LAVOC). Cet essai a simulé le passage de plusieurs millions de camions et a entraîné la dégradation du revêtement et, probablement, de la fondation stabilisée. Pour cette raison, la réfection du champ No 3 s'est imposée.

4.5.1. Recherche des matériaux

Pour reconstituer le même mélange que celui déjà mis en place, il a été nécessaire d'effectuer plusieurs prélèvements de limon à la gravière de Sergey.

Deux mélanges d'essai, composés de la grave 0 - 50 mm de Biolley-Orjulaz et du limon choisi, ont donné des courbes granulométriques qui s'inscrivent dans le fuseau déterminé lors de la première mise en place de la stabilisation.

Les critères suivants ont été vérifiés pour le choix des matériaux :

- granulométrie étendue
- degré d'uniformité (CU) grand (~ 300)
- courbure (CC) proche de 1 (~ 1.2)
- quantité d'éléments fins ($\phi < 0.02$ mm) de l'ordre de 20 % (~ 19.0)
- indice de plasticité (IP) inférieur ou égal à 6 (~ 4.5 %)

Ces valeurs étant sensiblement les mêmes que celles obtenues pour les mélanges précédents, il a été décidé de garder le même pourcentage de ciment et la même teneur en eau.

4.5.2. Sol d'assise

Après enlèvement du revêtement, de la stabilisation et du sable, on a procédé à plusieurs essais de contrôle dont les résultats sont résumés et comparés à ceux obtenus avant les essais d'orniérage, dans le tableau No 3 :

Caractéristiques mesurées	Avant orniérage				Après orniérage			
	Nbre de mesures	Moyenne	Ecart type	Coeff. variat. [%]	Nbre de mesures	Moyenne	Ecart type	Coeff. variat. [%]
Poids volumique au nucléodensimètre [kN·m ⁻³]	9	22.4	0.6	2.6	12	21.6	0.9	4.2
Teneur en eau au nucléodensimètre [%]	9	16.6	1.3	7.6	12	17.4	0.8	4.8
Teneur en eau par séchage [%]	9	13.3	0.9	6.7				
Coefficient CBR [%]	84	10.1	1.1	11.3	116	8.9	3.5	39.2
M _{E1} [kN·m ⁻²]	4	26'700	5'050	19.0	4	19'700	7'300	37.2
M _{E2} [kN·m ⁻²]	4	155'900	20'200	13.0	4	66'000	9'300	14.1

Tableau 3 : Comparaison des résultats des essais effectués sur le limon du champ No 3

4.5.3. Stabilisation

La pose de la stabilisation, 0.25 m en une couche, a été effectuée en une seule journée. Un malaxeur à axe vertical à été loué pour obtenir un mélange homogène et sans perte d'éléments fins.

Lors de la pose, plusieurs contrôles ont été exécutés sur les matériaux mis en place, notamment :

- teneur en eau au four à microondes
 - contrôle d'homogénéité
 - calcul du pourcentage des fins
- } plusieurs contrôles
- compactage de trois éprouvettes Proctor
 - contrôle de la granulométrie
- } 2 fois
- contrôle de teneur en eau et du poids volumique apparent par le nucléodensimètre
- } 18 mesures

Les résultats de ces essais sont résumés dans les tableaux Nos 4 et 5.

Caractéristiques mesurées	Matin			Après-midi		
	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation [%]	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation [%]
Teneur en eau [%]	10.4	-	-	11.1	-	-
Poids volumique [kN·m ⁻³]	20.6	0.25	1.2	21.8	0.29	1.3
Poids volumique apparent [kN·m ⁻³]	18.6	0.25	1.3	19.7	0.23	1.2
Teneur en eau finale [%]	12.8	0.64	5.0	10.9	0.38	3.5
Résistance [MN·m ⁻²]	1.91	0.41	21.5	2.16	0.37	17.1

Tableau 4 : Résultats des essais Proctor

Caractéristiques mesurées	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation [%]
Teneur en eau [%]	11.2	0.7	6.4
Poids volumique apparent humide [kN·m ⁻³]	21.5	1.2	5.4
Poids volumique apparent sec [kN·m ⁻³]	19.3	1.0	5.2

Tableau 5 : Résultats des mesures au nucléodensimètre Seaman sur la stabilisation

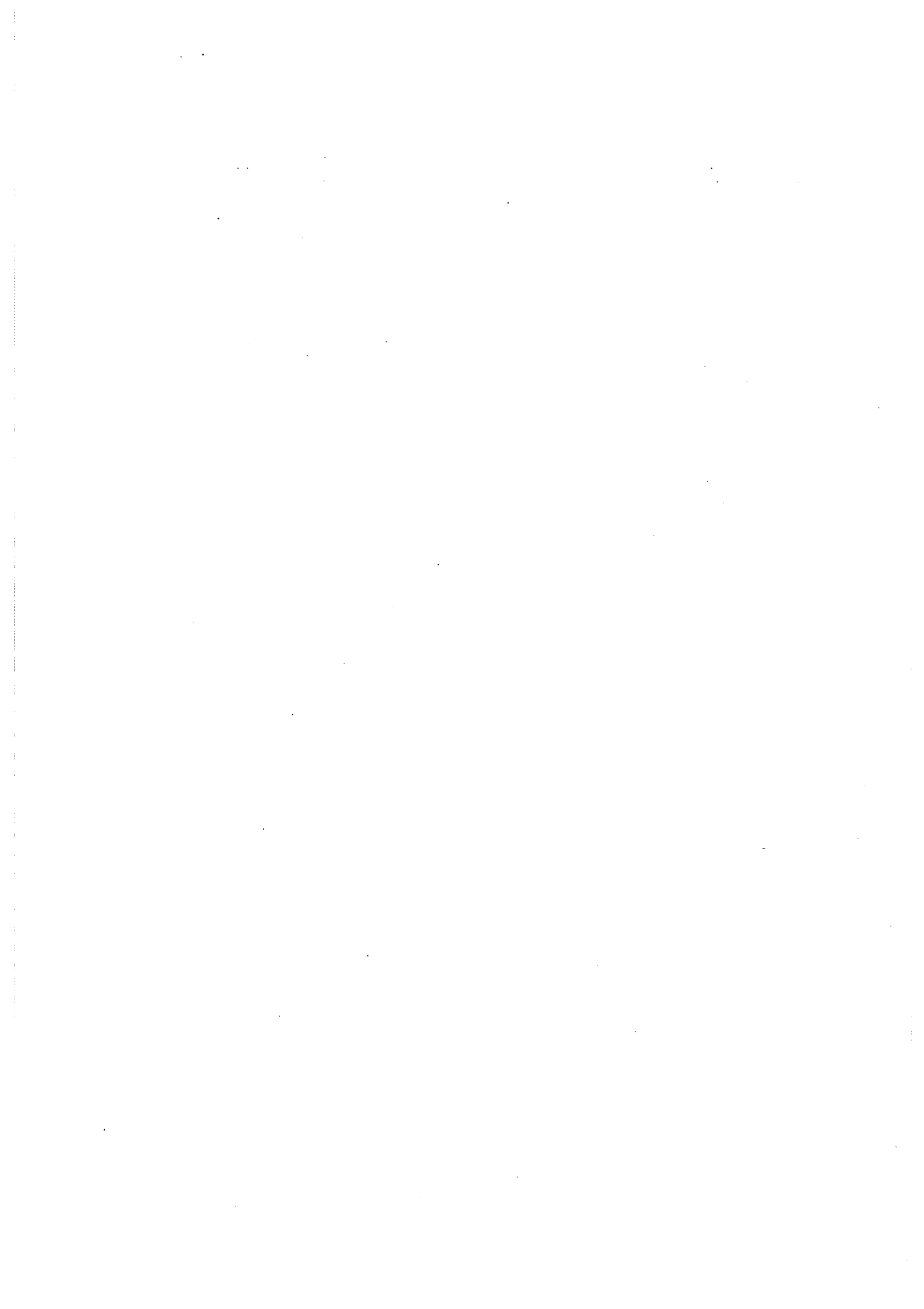
4.5.4. Appareils de mesure

Pour ne pas trop remplir d'appareils cette couche de stabilisation, lors de la réfection, le nombre de jauges de déformation (JD) a été diminué de 24 à 18. Deux sont placées dans le limon, huit au niveau inférieur de la couche et huit au niveau supérieur.

Les autres appareils tels que thermomètres et cellules Bison ont été placés comme précédemment.

4.6. POST-COMPACTAGE A L'ORNIEREUR

Après la pose du revêtement, un post-compactage a été réalisé avec l'orniéreur chargé à 80 kN sur l'essieu, à raison de 800 passages par largeur de roue. Ce post-compactage avait pour but de provoquer le vieillissement de la chaussée.



5. ESSAIS SUPPLEMENTAIRES EN LABORATOIRE

5.1. OBJECTIFS

Deux essais supplémentaires ont été effectués en laboratoire :

- gonflement sur petites éprouvettes
- contrôle de la résistance sur carottes prélevées dans le modèle

pour mieux connaître les caractéristiques de notre stabilisation, surtout du point de vue de la résistance au gel et de la résistance mécanique.

5.2. ESSAI DE GONFLEMENT

L'essai a été exécuté pour comparer les gonflements des éprouvettes du mélange, stabilisé et non stabilisé, à des teneurs en eau différentes.

Pour cet essai ont été utilisés les moules de 56.4 mm de diamètre et de 100 mm de hauteur, dont les parois ont été revêtues d'une feuille d'acétate légèrement graissée pour éviter les frottements. Le compactage a été effectué manuellement en trois couches avec un pilon de 0.8 kg et une hauteur de chute de 305 mm. Les teneurs en eau optimales ont été calculées à partir des essais de compactage effectués séparément pour les deux matériaux tamisés à 10 mm. Les teneurs en eau des éprouvettes, compactées par groupes de trois, correspondaient à l'optimum et à ± 2 %. Les courbes Proctor, ainsi que les caractéristiques de ces éprouvettes, sont résumées dans l'annexe 5.1.

Les éprouvettes stabilisées ont été déposées dans une chambre humide pendant sept jours avant d'être placées, la base dans l'eau, dans l'armoire de réfrigération avec les éprouvettes non stabilisées, fabriquées juste avant. Après une imbibition de quatre heures à température ambiante, celle de l'air a été baissée à 0°C et celle de l'eau

à 5°C. Chaque jour, la température de l'air était baissée de 5°C, jusqu'à -20°C, et ensuite maintenue assez longtemps pour permettre une stabilisation du gonflement.

Dans l'annexe 5.2 sont données les courbes de gonflement. Le tableau No 6 résume le gonflement moyen pour les différentes teneurs en eau.

Mélange	Eprouv.	w _{init.} [%]	w _{final} [%]	$\left(\frac{\Delta H}{H}\right)_{117 \text{ h}}$ [%]	$\left(\frac{\Delta H}{H}\right)_{375 \text{ h}}$ [%]
stabilisé	1 - 3	9.2	14.2	4.2	7.5
	4 - 6	11.2	13.5	5.5	12.2
	7 - 9	13.2	14.5	10.2	15.2
non stabilisé	10 - 12	8.6	15.1	35.7	56.0
	13 - 15	10.6	14.0	31.7	46.9
	16 - 18	12.9	14.2	25.3	28.7

Tableau 6 : Gonflement moyen des éprouvettes soumises au gel, après 117 et 375 heures, selon la teneur en eau

Dans le graphique de l'annexe 5.3 sont comparés les poids volumiques apparents, les teneurs en eau finales et les gonflements de ces éprouvettes.

5.3. RESISTANCE SUR CAROTTES

Après la pose du revêtement, quatre forages ($\varnothing = 100 \text{ mm}$) ont été exécutés sur le champ No 1, et deux sur les autres champs, pour les mesures de densité en profondeur avec une sonde à rayons γ . Les carottes de grave stabilisée prélevées ont été traitées et écrasées par le LAVOC et ont donné les résistances contenues dans l'annexe 5.4 et résumées dans le tableau No 7.

Caractéristiques mesurées	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation [%]
Poids volumique apparent [kN·m ⁻³]	20.0	0.55	2.8
Résistance à la traction [kN·m ⁻²]	614	151	24.6

Tableau 7 : Caractéristiques des huit carottes de grave stabilisée

6. ESSAIS DE CHARGE SANS CYCLE THERMIQUE

6.1. OBJECTIFS

La série d'essais de charge présentée ci-après devait nous permettre d'étudier et de comparer les distributions des contraintes et des déformations de la fondation d'une chaussée formée d'une grave stabilisée, avec les valeurs obtenues dans le premier modèle (fondation traditionnelle) et avec celles mesurées après la pose du revêtement.

6.2. DESCRIPTION

Les efforts statiques ont été appliqués par une plaque circulaire de 300 mm de diamètre ou par un couple de plaques circulaires de même diamètre. Lors des essais, afin de répartir la pression de contact sur la stabilisation et éviter un poinçonnement local, un coussin de néoprène de 50 mm d'épaisseur était intercalé entre la plaque et la fondation, dont la surface était réglée avec du sable. Pour chaque essai, les déformations en surface ont été mesurées par des comparateurs fixés sur deux poutres en bois reposant à l'extérieur de la fosse. Les axes "déplacements" ayant donné peu d'information lors des essais sur le modèle précédent, on a utilisé, sur chaque champ, l'axe "contraintes" pour ces essais de charge.

6.3. ESSAIS DE CHARGE AVEC UNE PLAQUE DE 300 MM DE DIAMETRE

Le programme comptait cinq chargements différents sur chaque champ :

- mise en charge et décharge pour des charges comprises entre 0 et $0.9 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$;
- mise en charge par paliers de 0 à $0.9 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-2}$, décharge par paliers;
- même essai, mais avec moins de paliers;

- 10 cycles de charge - décharge 0 - 0.6 MN·m⁻²;
- 10 cycles de charge - décharge 0 - 0.8 MN·m⁻².

La disposition des points de mesure, ainsi que les résultats des déformations superficielles et des contraintes dans la massif sont reproduits dans les annexes 6.1 à 6.16.

Lors de la réfection du champ No 3, l'axe G a été chargé de la même façon aussi sur le revêtement; les résultats sont reproduits dans les annexes 6.17 à 6.26.

6.4. ESSAIS DE CHARGE AVEC DEUX PLAQUES DE 300 MM DE DIAMETRE

6.4.1. Sur la fondation

L'interprétation de ce type d'essai, effectué sur le modèle composé d'une fondation traditionnelle, a montré que les deux plaques pouvaient remplacer d'une façon satisfaisante les roues jumelées d'un camion. Pour cette raison, on s'est limité à ce montage qui est beaucoup plus simple à manipuler. Une seule série de charges a été effectuée sur les axes "déplacements".

Les emplacements des points de mesures, ainsi que les diagrammes des déflexions sont donnés dans les annexes 6.27 à 6.35.

6.4.2. Sur le revêtement

Le montage et les charges pour cet essai sont les mêmes que ceux des essais effectués directement sur la stabilisation.

Pour les essais avec deux plaques, un axe "déplacements" par champ a été chargé, et deux lors de la remise en état du champ No 3.

Les déformations mesurées sont données dans les annexes 6.36 à 6.40.

6.4.3. Comparaison des essais de charge avec double plaque

Dans le modèle de fondation traditionnelle en grave, un seul essai avec la double plaque avait été effectué sur le revêtement.

Sur le modèle actuel, ce type d'essai a été effectué sur les trois champs et à différents niveaux.

Le tableau No 8 donne les épaisseurs du modèle sous les axes chargés.

Modèle	Axe	No de l'essai	Epaisseurs			
			Limon [m]	Sable [mm]	Fondation [mm]	Revêtement [mm]
I	J	1	1.48		400	120
II	A	2a	1.65		350	
	B	2b	1.65		350	
	D	3a	1.75		250	
	E	3b	1.75		250	
	H	4a	1.70	50	250	
	I	4b	1.70	50	250	
	B	5	1.65		350	150
	E	6	1.75		250	150
Réfection du champ No 3	H	8a	1.70	50	250	
	I	8b	1.70	50	250	
	H	9a	1.70	50	250	150
	I	9b	1.70	50	250	150

Tableau 8 : Epaisseurs des matériaux composant le modèle pour les différents essais de charge

La comparaison des essais effectués avant et après la pose du revêtement est faite dans les annexes 6.41 à 6.48; dans les annexes 6.49 à 6.52 sont comparés les essais sur les champs Nos 2 et 3 pour montrer l'influence du sable sur les déformations.

6.5. MESURES DE LA DEFORMATION DE LA STABILISATION

6.5.1. Appareil de mesure

L'utilisation d'un appareil avec une résolution de 1.10^{-6} de déformation relative était envisagé pour mesurer les déformations dans la grave stabilisée, qui a une grande rigidité. A cet effet, une cellule expérimentale a été développée au Laboratoire de Mécanique des Roches (LMR) qui permet d'intégrer sur 30 cm la déformation de la stabilisation avec la précision requise. L'appareil se présente sous la forme d'un piston se terminant par un ressort sur lequel sont collées deux jauges de contrainte qui permettent de transformer leurs déformations en grandeurs électriques utilisables.

Une gaine en polyvinil protège la tige lors de la mise en place, et évite les frottements de la grave pendant les déformations.

6.5.2. Dispositions des appareils

La pose de 23 appareils de ce type (18 lors de la réfection) a été prévue dans la couche stabilisée du champ No 3 sur l'axe "contraintes" (G). Pour avoir le plus de renseignements, ils ont été placés, comme on peut le constater dans l'annexe 6.53, en différentes positions :

- sur deux niveaux (trois par la suite)
- radialement et tangentielllement
- à différentes distances du centre

6.5.3. Essais de charge et résultats

En plus de ceux normalement prévus pour cet axe, deux types d'essais ont été exécutés sur ces appareils :

- le premier avec la plaque de $\varnothing = 300$ mm en position fixe sur le centre de l'axe G, avec mesure sur tous les appareils,

- le deuxième avec la même plaque, mais en la déplaçant le long de l'axe G, avec mesure sur les appareils 5, 6, 17 et 18.

Comme paliers de charge, on a choisi la série suivante :

0 - 0.2 - 0 - 0.4 - 0 - 0.6 - 0 - 0.8 - 0 [MN·m⁻²]

Les résultats de ces essais sont résumés dans les annexes 6.54 et 6.55.

6.6. MESURES A L'INTERFACE LIMON - STABILISATION

6.6.1. Appareils mis en place

Sur l'axe "contraintes" du champ No 2 ont été placés plusieurs capteurs qui servaient à une étude plus détaillée de l'interface limon - stabilisation, étude effectuée en collaboration avec un doctorant du LMS. Ces appareils étaient répartis comme suit :

- dans le limon :
 - 2 capteurs de contraintes, type Glötzl, positionnés horizontalement (2203 et 2213)
 - 1 capteur de contraintes, type Glötzl, positionné verticalement (G1)
 - 2 capteurs de déplacements, type Bison, à axe horizontal (B4 et B5)
- à l'interface
 - 3 capteurs de déplacements, type Bison, à axe vertical : limon (B1) - interface (B2) - stabilisation (B3)
 - 3 capteurs de contraintes, type Cambridge (C34, C35 et C36), au niveau de l'interface
- dans la stabilisation
 - 2 capteurs de déplacements, type Bison, à axe horizontal (B6 et B7)
 - 1 capteur de déformation (JD1), posé radialement.

Le positionnement de ces appareils et leur niveau sont donnés dans l'annexe 6.56.

6.6.2. Essais de charge et résultats

Sur cet axe, on n'a pas effectué de série spéciale, les valeurs mesurées sont celles des séries de charges prévues pour les axes "contraintes". Les résultats de ces essais : contraintes horizontales et verticales, contraintes de cisaillement à l'interface et les déplacements verticaux sont donnés dans les annexes 6.57 à 6.59.

7. CYCLES DE GEL - DEGEL

7.1. CONDITIONS IMPOSEES

7.1.1. Températures

La température du fond de la fosse (2.0 m) a été gardée constante pendant toute la durée des essais à 4°C, sauf pendant deux jours dans l'essai 22E où, à cause d'une panne au système de refroidissement, elle a augmenté jusqu'à 18°C.

La température à la surface, par contre, a été changée de façon à faire pénétrer le gel assez rapidement à travers la fondation, et ensuite à garder le front de gel plus ou moins à la même profondeur. Pour le dégel, elle a été augmentée par paliers successifs.

La figure No 1 schématise les températures imposées à l'air lors de ces deux premiers essais.

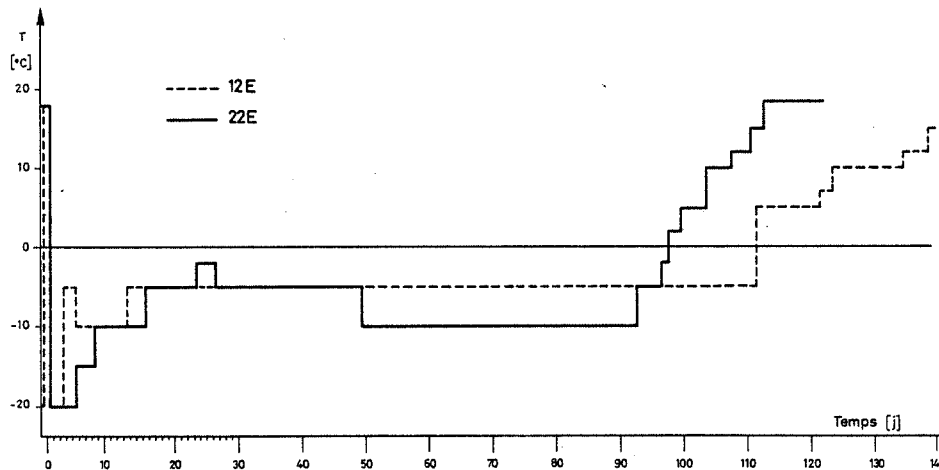


Fig. 1 : Variations imposées à la température de l'air

7.1.2. Charges

L'emplacement du vérin dynamique a été choisi sur le champ No 2 parce que la variation des résultats par rapport à l'essai précédent ne dépendait que d'un seul paramètre : le type de fondation. C'est donc au milieu de l'axe E qu'ont été posées les deux plaques de 300 mm de

diamètre simulant les roues jumelées d'un poids lourd. La charge sur cet ensemble était réglée à 40.8 kN pour l'essai 12E, respectivement 81.6 kN pour l'essai 22E, et elle était appliquée avec un cycle de deux secondes.

Cette charge a été appliquée pendant deux périodes distinctes :

- la période de gel (0 - 36ème jour, 1er - 25ème jour), c'est-à-dire jusqu'au moment où les déformations élastiques étaient de l'ordre de 0.05 mm,
- la période de dégel (118 - 143ème jour, 98 - 122ème jour), soit quelques jours après l'inversion de la température et jusqu'à la fin de l'essai.

7.1.3. Niveau de la nappe

Le niveau de la nappe phréatique a été gardé constant à 1.5 m pendant toute la durée de l'essai.

7.2. PARAMETRES MESURES

Les paramètres mesurés lors des essais ont été :

- les températures,
- les tensions capillaires,
- les déformations superficielles permanentes,
- les déformations superficielles élastiques,
- les déformations superficielles élastiques selon la norme SN 670'362 (seulement pour l'essai 22E),
- les déformations volumiques,
- le poids volumique apparent,
- la teneur en eau.

Dans l'annexe 70.1 sont donnés les emplacements des sondages et ceux des mesures effectuées en surface; ceux des autres appareils étant donnés dans les annexes 2.1 à 2.3.

Les annexes —.1 donnent en résumé quelques valeurs mesurées pendant les deux essais.

Note : Pour faciliter la comparaison entre les différentes annexes des deux essais, une notation particulière a été choisie :

Essai 12E : Annexes 71.—, 72.— et 73.—
pour les champs Nos 1, 2 et 3

Essai 22E : Annexes 74.—, 75.— et 76.—
pour les champs Nos 1, 2 et 3

7.2.1. Températures

Les températures de l'air et du massif ont été enregistrées automatiquement plusieurs fois par jour (4 - 8), de façon à pouvoir suivre le déplacement de l'isotherme 0°C.

Certains thermomètres n'ont pas fonctionné correctement pendant la première partie de l'essai 12E à cause de mauvais contacts à l'entrée de l'enregistreur.

7.2.2. Tensions capillaires

Les valeurs des tensions capillaires ont été lues une fois par jour normalement ou plusieurs fois aux moments critiques, c'est-à-dire au début du gel du limon et au dégel.

7.2.3. Déformations superficielles permanentes

Pour la mesure de ces déformations, trois poutres en bois étaient placées en travers de la fosse sur les axes B, E et H, qui supportaient respectivement 3, 12 et 3 comparateurs.

Sur les axes non chargés (B et H), ils se situaient à ± 2.00 m et $- 0.17$ m par rapport à l'axe de la fosse, tandis que pour l'axe chargé, ils avaient les positions suivantes : ± 0.99 , ± 0.71 , ± 0.49 , ± 0.33 , ± 0.23 et ± 0.17 .

Les déformations superficielles ont aussi été mesurées par un nivellement de précision, effectué sur les axes B, D et H à + 0.17 m par rapport à l'axe de la fosse.

Pour exécuter ces mesures, il était nécessaire d'arrêter pendant quelques minutes le vérin dynamique.

7.2.4. Déformations superficielles élastiques

Ces déformations ont été mesurées grâce aux comparateurs placés sur l'axe chargé, E, pendant le fonctionnement du vérin.

Pendant l'essai 22E, ces déformations ont été mesurées aussi selon la norme SN 670'362 avec une charge de 50 kN et un cycle de charge de deux minutes. Les mêmes mesures ont été effectuées avec un cycle de deux secondes.

7.2.5. Déformations volumiques

Ce sont les déformations mesurées entre plusieurs plans horizontaux délimités par les cellules Bison.

Une partie de ces lectures pendant l'essai 12E n'est pas directement utilisable à cause d'une défaillance de l'appareil de mesure.

7.2.6. Poids volumique apparent humide

L'appareil Troxler de mesure en profondeur a permis de mesurer le poids volumique apparent humide sur les axes C, F et G à - 1.2 m de l'axe de la fosse.

Les mesures ont été exécutées tous les pouces (24.5 mm) entre 0.4 et 1.2 m.

7.2.7. Teneur en eau

Après avoir carotté le revêtement et la fondation, des sondages à percussion dans le limon ont permis le prélèvement d'une carotte de 100 mm de diamètre. Les valeurs de w ont été obtenues par séchage d'échantillons d'environ 50 mm de hauteur.

Pour l'essai 12E :

- teneur en eau naturelle : sondages S4, S5 et S6, effectués quelque temps après l'essai
- teneur en eau à l'état gelé : sondages S1, S2 et S3, effectués peu avant le dégel

Pour l'essai 22E :

- teneur en eau naturelle : sondages S4, S5 et S6, effectués avant l'essai
- teneur en eau à l'état gelé : sondages S10, S11 et S12, effectués peu avant le dégel

7.3. RESULTATS DES MESURES

7.3.1. Présentations des diagrammes

Pour le premier cycle de mesures (12E), les graphiques des annexes 71.1 à 73.15 et pour le deuxième (22E), les graphiques des annexes 74.1 à 76.15 donnent les valeurs suivantes pour les trois champs :

- les températures pour différentes profondeurs pendant toute la durée de l'essai (annexes -.2 à -.4);
- les températures dans le massif pour quelques jours spécifiques (annexes -.5);
- les isothermes 0 et $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (annexes -.6);
- les succions en fonction de l'évolution de l'essai (annexes -.7);
- les succions dans le massif (annexes -.8);

- les déformations superficielles données par les mesures avec les comparateurs, le nivellement de précision, le cumul des déformations internes du massif et les déflexions élastiques sur l'axe chargé (annexes -.9);
- les déformations du massif en fonction de la profondeur, dans le cas de bon fonctionnement de l'appareil (annexes -.10 et -.11);
- les poids volumiques apparents du massif (annexes -.12) et leurs variations (annexes -.13 et -.14), mesurés au début de l'essai, lors du gel maximum et après celui-ci;
- les teneurs en eau en fonction de la profondeur (annexes -.15).

7.3.2. Courbes des températures

On peut constater que les variations de la température de l'air n'influencent pratiquement que la température de surface.

Le fait que certains thermomètres n'aient pas fonctionné correctement au début du premier essai a amené à augmenter la température de l'air trop tôt; c'est pour cette raison qu'il y a une discontinuité dans les représentations graphiques des températures, et que la descente de l'isotherme 0°C n'est pas régulière dans sa première partie.

Dans le deuxième essai, la température de l'air n'a pas suivi constamment la température imposée, à cause d'un problème de réglage de l'installation; de même entre le 73 et le 76ème jour, le fond de la fosse a subi un réchauffement qui a fait remonter l'isotherme 0°C, mais sans porter préjudice à l'essai.

7.3.3. Succions

Ce n'est que lorsque le front de gel a rejoint le niveau du limon qu'on constate les premières variations de la tension capillaire. Les succions près du front de gel croissent très rapidement pour baisser aussi rapidement lors du gel de la sonde. On peut remarquer une augmentation régulière de la tension capillaire à partir de la nappe jusqu'au front de gel.

7.3.4. Déformations superficielles

Les différents moyens de mesure de ces déformations donnent des valeurs qui sont à peu près égales. L'influence de l'humidité sur le bois des poutres explique en partie ces différences dans les courbes.

On remarque que pendant que l'isotherme 0°C était dans le revêtement et dans la fondation, aucun gonflement ne s'est produit; ensuite, il y a eu un gonflement assez rapide qui correspond à la période où la température de l'air était à - 10°C et pour finir, le gonflement est devenu plus lent, mais régulier quand la température était de - 5°C.

Lors de l'augmentation de la température, pendant une période de "réaction", le gonflement s'est stabilisé pour tomber en peu de temps à des valeurs presque nulles ou faiblement négatives. Même l'axe chargé ne subissait aucun tassement remarquable dans l'essai 12E, dans le deuxième essai, on a constaté un tassement final d'environ 10 mm, mais qui ne correspond apparemment pas à une perte de portance.

Les déformations élastiques représentées montrent que le gel dans le limon rend cette couche beaucoup moins déformable et par conséquent diminue la cuvette due à la charge.

7.3.5. Déformations volumiques

Les cellules Bison du bas du modèle n'ont pas fonctionné correctement pendant une partie du premier essai. Mais ce sont les mesures sur les couches supérieures qui nous intéressent le plus, et celles-ci sont utilisables.

Les courbes données en annexe montrent les déformations volumiques calculées en reajustant les valeurs mesurées en surface, à partir des mesures de nivellement.

Si on regarde les gonflements des différentes couches, on constate qu'elles augmentent d'épaisseur l'une après l'autre en fonction de la descente de l'isotherme 0°C.

7.3.6. Mesures du poids volumique apparent humide

Le poids volumique apparent humide du modèle n'est pas constant en fonction de la profondeur, il varie entre 18 et 23 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ à l'état naturel.

Les mesures avec la sonde à rayon γ a permis de contrôler la variation du poids volumique apparent pour différentes périodes. Cette variation correspond en principe à une augmentation ou une diminution de la teneur en eau.

A partir des diagrammes présentés, on peut dire que les plus grandes variations se sont effectuées dans la couche la plus proche de la fondation pendant le premier essai, et un peu plus en profondeur pendant le deuxième, avec probablement la formation de plusieurs séries de lentilles de glace.

7.3.7. Teneurs en eau

Les teneurs en eau obtenues par séchage d'échantillons de carottes confirment les mesures effectuées avec le nucléodensimètre. Pour le premier essai, c'est dans la partie supérieure du limon dans les champs Nos 1 et 2, entre 0.1 et 0.2 m, que les lentilles se sont formées. Dans le champ No 3, on a constaté une augmentation de la teneur en eau du sable, mais aucune lentille de glace dans le limon, ce qui peut expliquer le faible gonflement de ce champ.

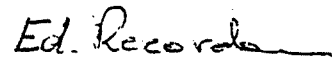
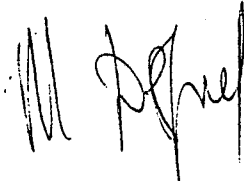
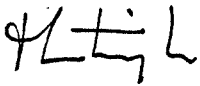
Pour le deuxième essai, on a constaté des lentilles de glace dans les trois champs et à une profondeur plus grande que dans le premier, soit entre 0.30 et 0.40 m.

* * *

Les travaux de recherche (mesures, contrôle et exploitation des essais), ainsi que la majeure partie de la rédaction du présent rapport ont été réalisés par T. Martinenghi, ingénieur au LMS.

Les Ingénieurs chargés de l'étude:

Le Professeur responsable:



T. Martinenghi

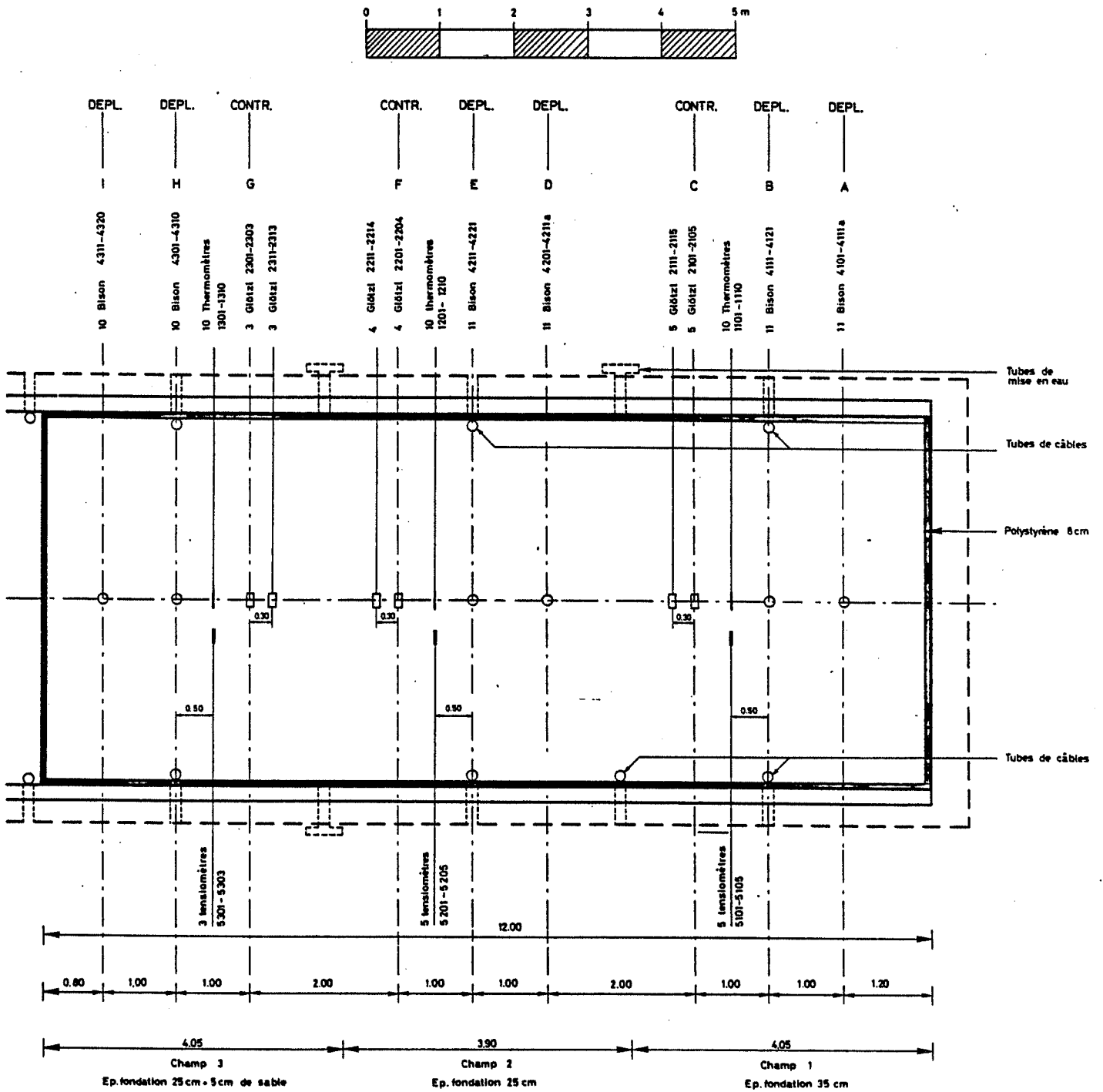
J.-M. Despond

E. Recordon

FOSSE D' ESSAIS

APPAREILS ET
PLAN DE CHARGE

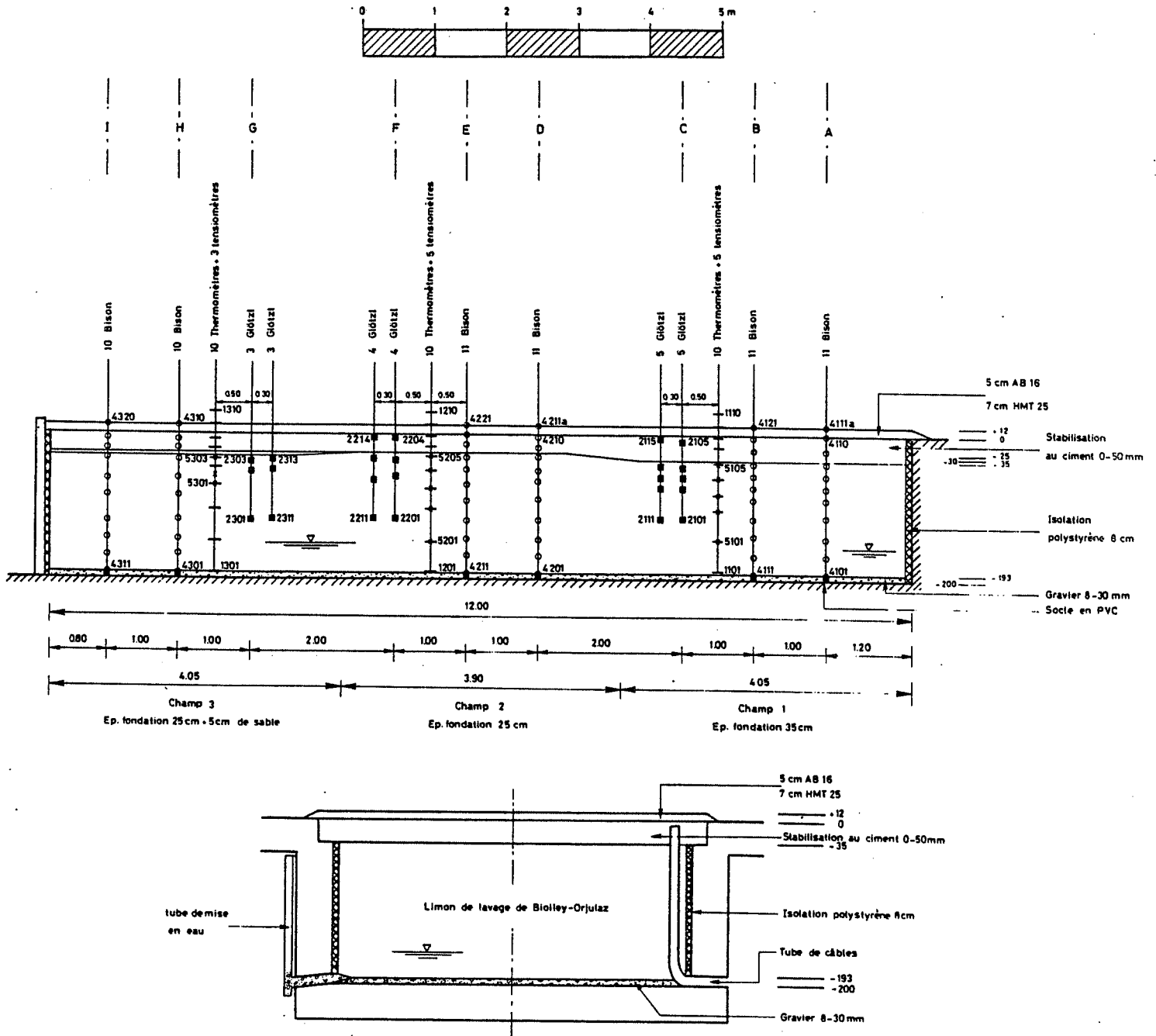
SITUATION



FOSSE D'ESSAIS

APPAREILS ET
PLAN DE CHARGE

COUPES

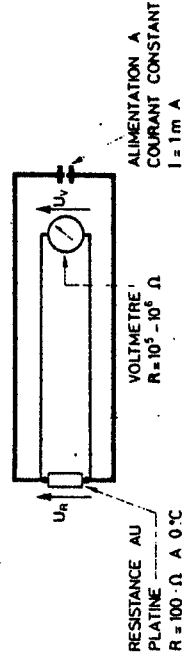


THERMOMETRE A RESISTANCE



- ETANCHEITE
- ENROBAGE EN CERAMIQUE
- TUBE DE PROTECTION
- BOURRAGE THERMIQUEMENT CONDUCTEUR
- RESISTANCE AU PLATINE
- CABLE BLINDE, ETANCHE A 4 CONDUCTEURS

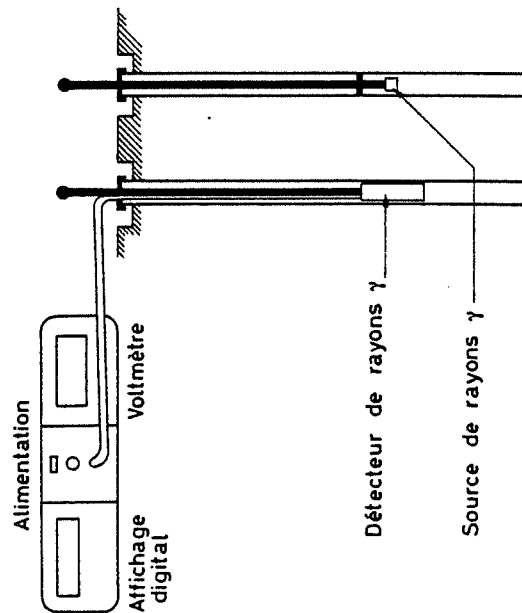
SCHEMA ELECTRIQUE



$U_R = U_V$, CAR LA RESISTANCE ET LE VOLTMETRE SONT MONTES EN PARALLELE. LA RESISTANCE, DONC LA TENSION, VARIE AVEC LA TEMPERATURE.
PRECISION A $0 \cdot ^\circ C$: $\pm 0.1 \cdot \Omega$ $\rightarrow \pm 0.3 \cdot ^\circ C$

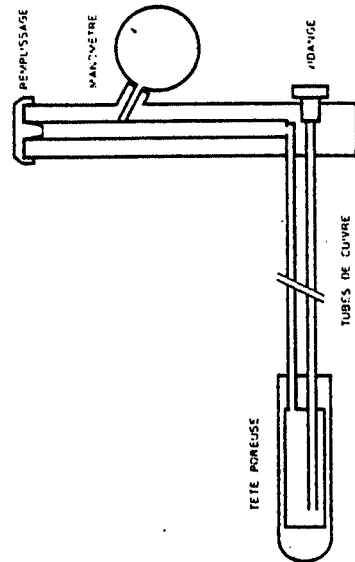
NUCLEO - DENSIMETRE

MESURE DE DENSITE PAR RADIATIONS



LA SOURCE RADIOACTIVE (Cs - 137) EMET DES RAYONS γ
CEUX-CI SONT REFLECHIS PAR LE SOL
LA MESURE DES RAYONS γ REEMIS
DONNE LA DENSITE DU SOL

TENSIOMETRE

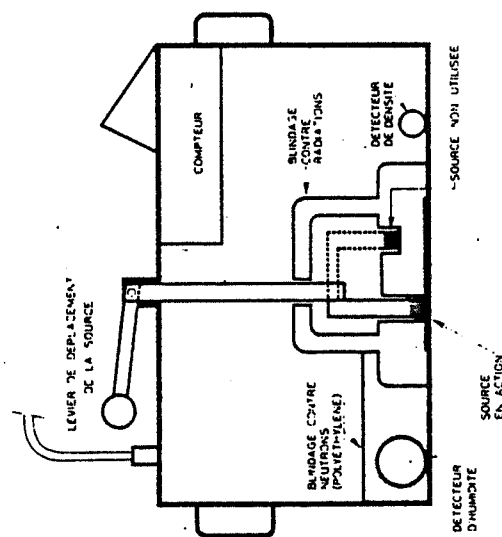


PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

LA TETE POREUSE ET LES CONDUITES SONT SATUREES D'EAU ET PURGEES DE TOUTES BULLES D'AIR. LA TETE EST ALORS PLACEE DANS LE SOL. SI LE SOL EST SATURE, L'EQUILIBRE N'EST PAS MODIFIE. SI PAR CONTRE LE SOL N'EST PLUS SATURE, LA DEPRESSION CAPILLAIRE AUTOUR DE LA TETE POREUSE PROVOQUE UNE DEPRESSION MESUREE AU MANOMETRE.

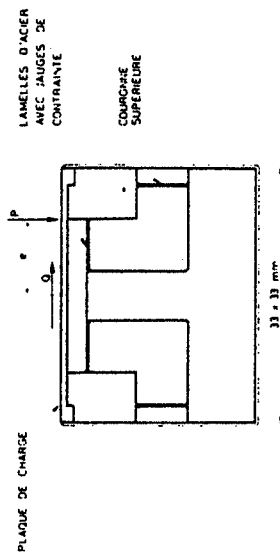
NUCLEO - DENSIMETRE

MESURES DE DENSITE ET D'HUMIDITE PAR RADIATIONS



LA SOURCE RADIOACTIVE AU RADIUM - BERYLLIUM EMET DES RAYONS γ ET DES NEUTRONS. CEUX-CI SONT REFLECHIS PAR LE SOL HUMIDE. LA MESURE DES RAYONS γ REEMIS DONNE LA DENSITE DU SOL. LA MESURE DES NEUTRONS DONNE LA TENEUR EN EAU.

CAPTEUR DE CONTRAINTES CAMBRIDGE

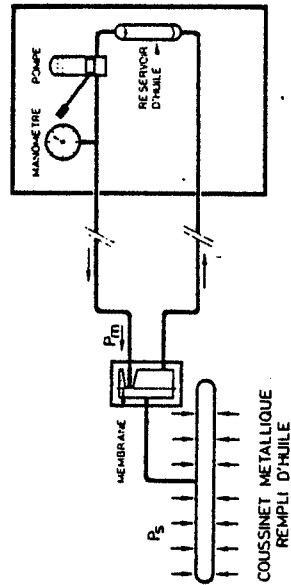


PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

LA CHARGE APPLIQUEE SUR LA PLAQUE DE CHARGE PRODUIT UNE DEFORMATION DES JAUGES DE CONTRAINTE COLLEES SUR LES LAMELLES D'ACIER ET EN CONSEQUENCE MODIFIE LEUR RESISTANCE. AVEC UNE ALIMENTATION A COURANT CONSTANT LA MESURE DES VARIATIONS DE TENSION DONNE, PAR L'INTERMEDIAIRE DE COEFFICIENTS D'ETALONNAGE, LES EFFORTS APPLIQUES. L'ENSEMBLE DU CAPTEUR EST TAILLE DANS UN BLOC D'ACIER.

CAPTEUR DE PRESSION GLÖTZL

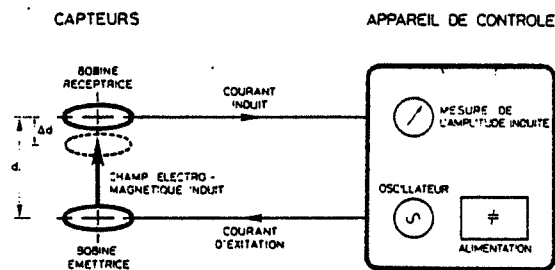
CAPTEUR APPAREIL DE MESURES



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

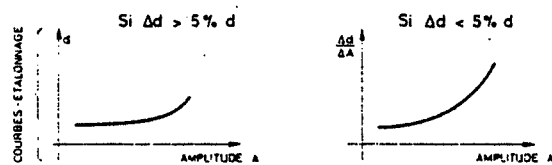
LA PRESSION EXERCEE PAR LE SOL SUR LE CAPTEUR FERME LE CIRCUIT D'HUILE EN POUSSANT LA MEMBRANE JUSQU'A CE QUE $P_m = P_s$. L'AIGUILLE DU MANOMETRE S'ARRETE ALORS SUR LA VALEUR $P_m = P_{sol}$.

CAPTEURS MAGNETIQUES DE DEPLACEMENTS



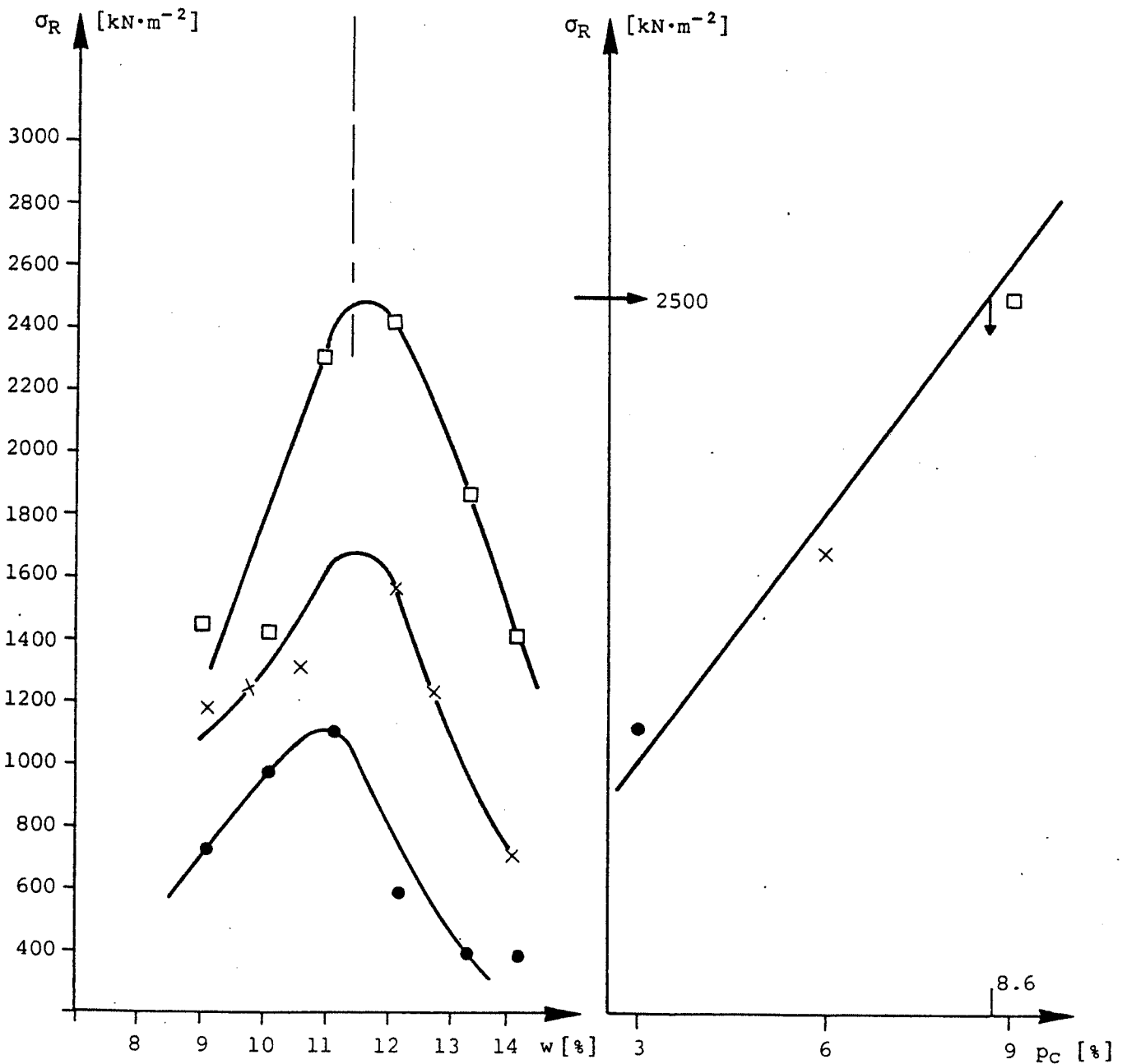
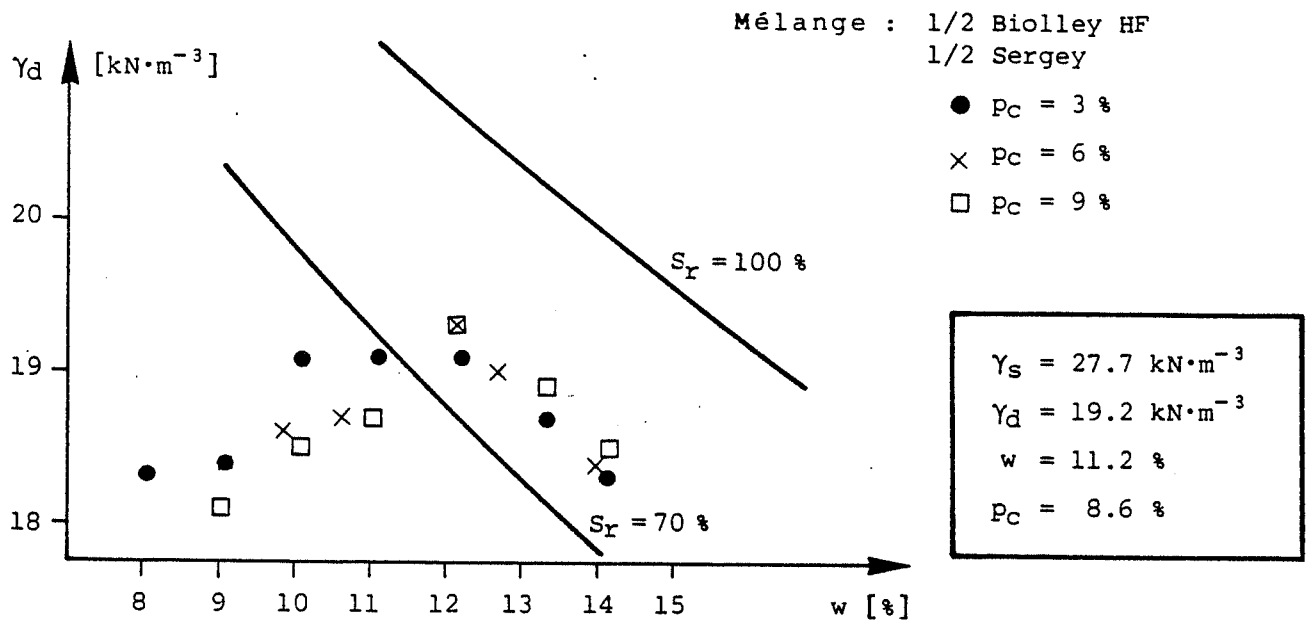
PRINCIPE : LA VARIATION DE DISTANCE DES BOBINES PROVOQUE UNE VARIATION DU COURANT INDUIT.

ON UTILISE LE CHANGEMENT D'AMPLITUDE DU COURANT INDUIT POUR DETERMINER LE DEPLACEMENT DES BOBINES A L'AIDE DE COURBES D'ETALONNAGE PREALABLEMENT ETABLIES.



Provenance	Pourcentage d'éléments < 0.02 mm	Degré d'uniformité U	Degré de courbure C	Limite de liquidité w _L [%]	Limite de plasticité w _p [%]	Indice de plasticité I _p [%]	Classification USCS
Placette Sud	11.7	129	0.82	15.6	12.1	3.5	SC - CL
Placette Nord	11.1	61	0.51	16.5	12.9	3.6	SC - CL
Placette (butte avec fins)	9.3	62	0.75	18.6	15.3	3.3	SC - CL
Yens	10.5	148	0.72	15.9	9.8	6.1	GM - GC
La Chauz	8.1	162	2.03	22.4	15.6	6.8	GM - GC
Senarclens	7.3	138	1.48	21.1	13.9	7.2	GC - CL
Lavigny Sud	4.0	22	0.53	15.8	12.0	3.8	SC - CL
Bottérons (derrière silo) I	7.5	106	1.59	—	—	—	—
Bottérons (derrière silo) II	5.9	147	2.07	—	—	—	—
Bottérons (grave)	4.3	40	3.52	—	—	—	—
Biolley (découverte butte)	25.1	5236	1.13	17.7	10.4	7.3	GC - CL
Biolley (mauvaise grave)	4.2	57	1.19	—	—	—	—
Biolley (grave Halle fosses)	11.7	129	0.82	27.3	17.4	9.9	GC - CL
Claie-aux-Moines I	—	—	—	25.0	20.8	4.2	—
Claie-aux-Moines II	—	—	—	30.1	18.6	11.5	—
Sergey (Lac supérieur)	35.6	45	0.87	26.6	19.3	7.3	CL
Sergey (Lac inférieur)	—	—	—	35.6	25.4	10.2	—
<u>Mélanges</u>							
1/3 Claie-aux-M. - 2/3 Biolley	—	—	—	22.4	17.5	4.9	—
1/3 Sergey sup. - 2/3 Biolley	19.8	—	—	19.4	14.1	5.3	GM - GC
1/4 Sergey sup. - 3/4 Biolley	17.7	—	—	27.6	17.7	9.9	GC - CL
2/5 Sergey sup. - 3/5 Biolley	22.0	341	0.75	20.6	16.2	4.4	GM - GC
1/2 Sergey sup. - 1/2 Biolley HF	25.2	359	0.78	21.0	13.7	7.3	GC - CL

DIAGRAMME DES ESSAIS PROCTOR



DOSAGE EN CIMENT

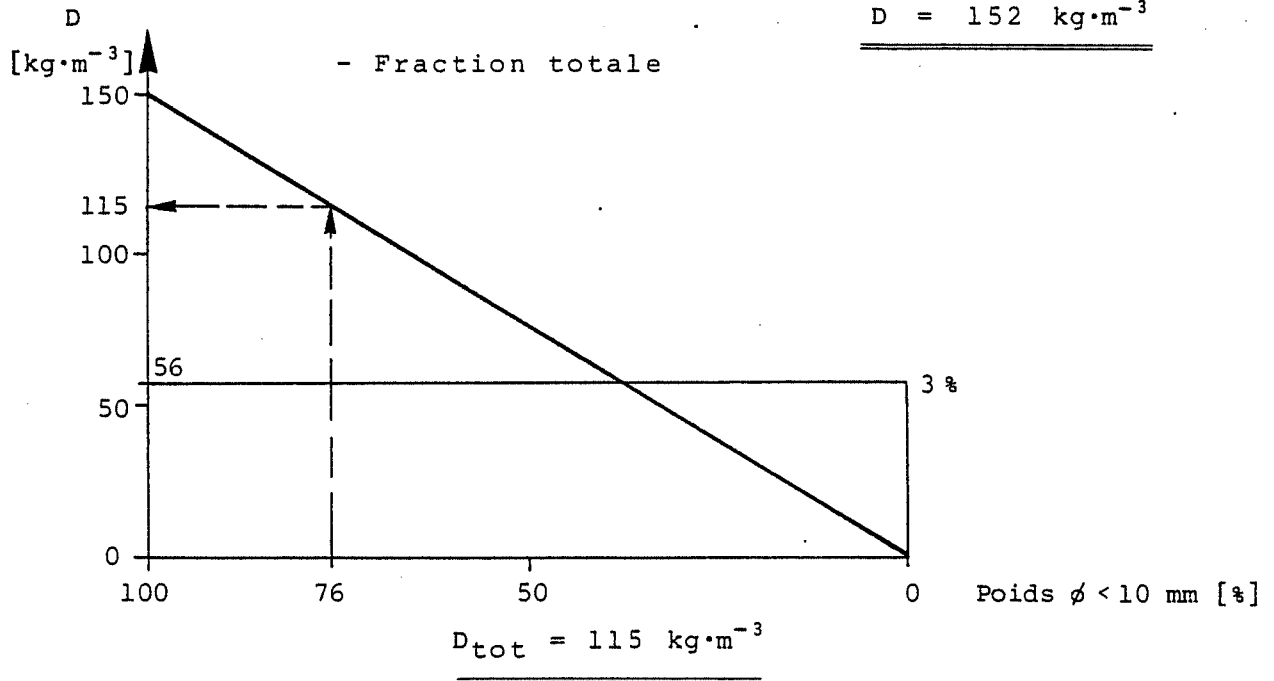
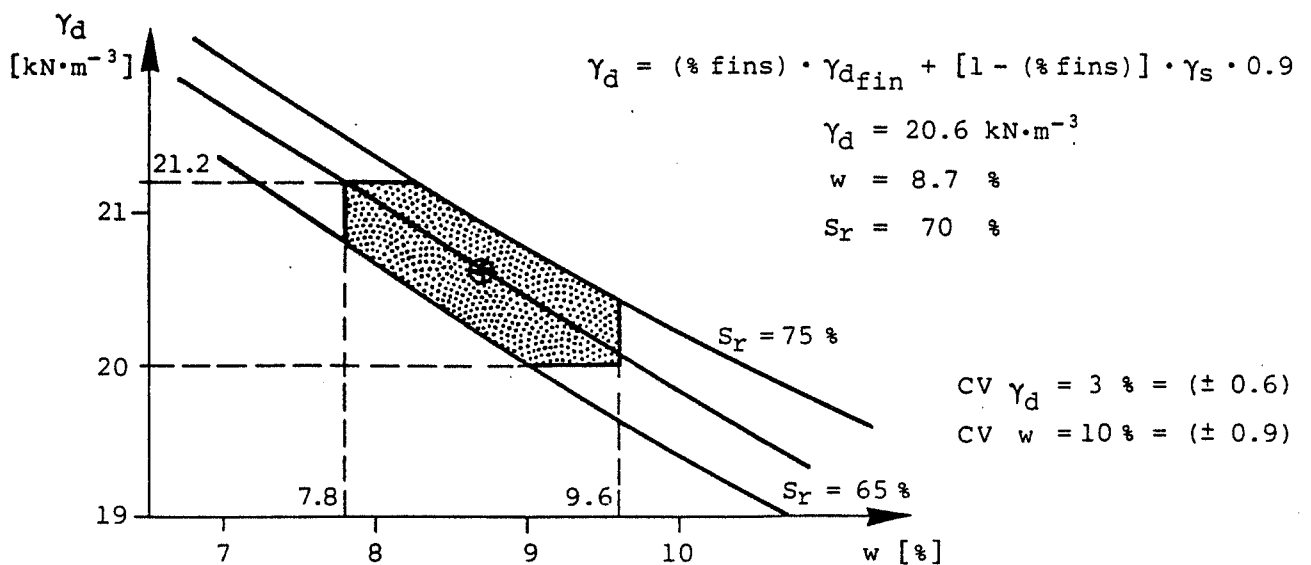
$$D \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}] = \frac{\gamma_d \frac{P_c}{100}}{1 + \frac{P_c}{100}}$$

- Fraction $\phi < 10 \text{ mm}$

$P_c = 8.6 \%$

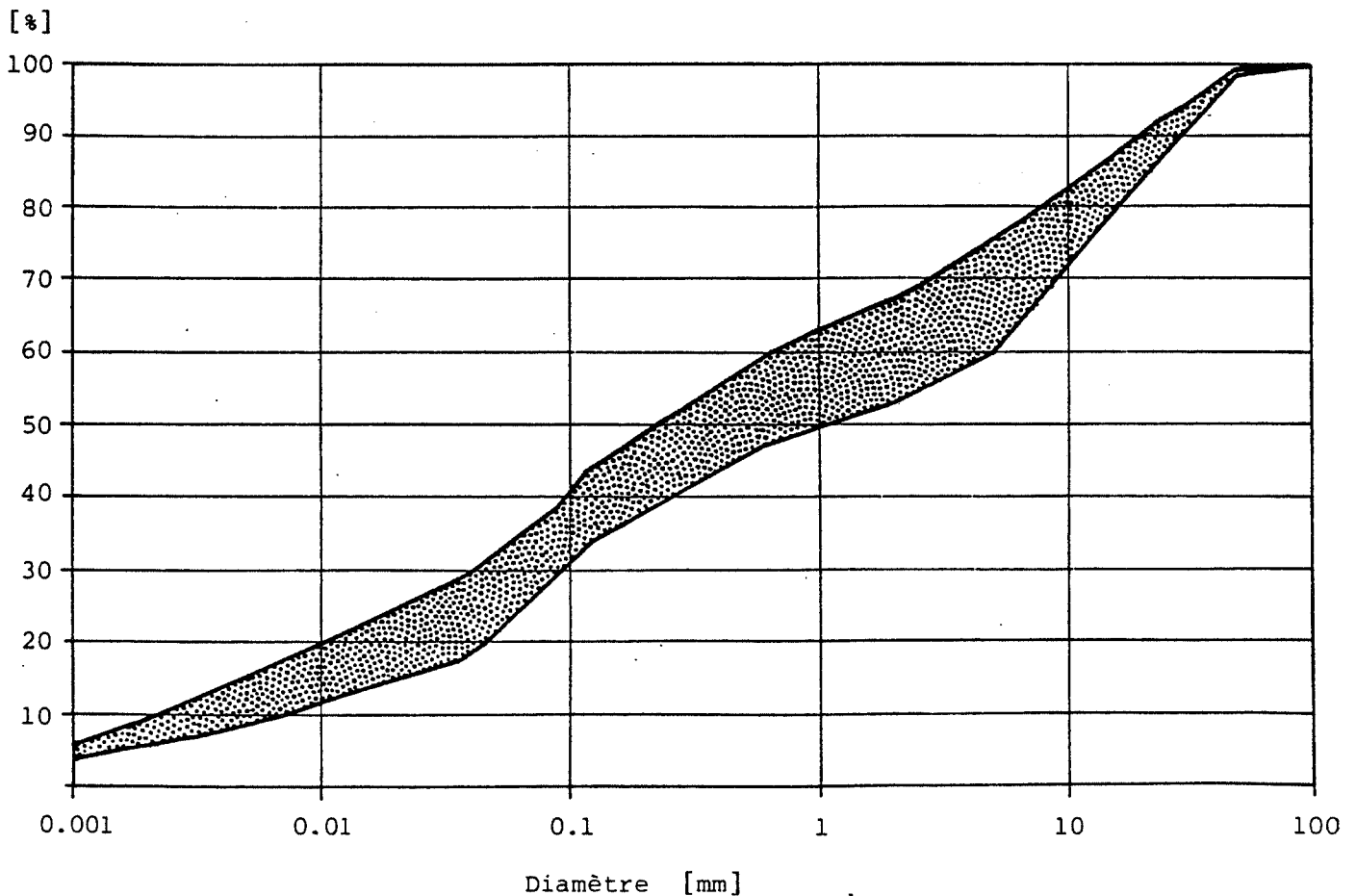
$\gamma_d = 19.2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$

$D = 152 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

DOMAINE DU MELANGE TOTAL

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX MIS EN PLACE

Echan- tillons	pris le	γ_s [kN·m ⁻³]	$\phi < 0.02$ [mm]	$\phi < 10$ [mm]	w_L [%]	w_p [%]	I_p [%]
3	2.07.81 après-midi	26.69	20.3	83.0	18.5	14.6	3.9
2	2.07.81 après-midi	26.85	24.1	80.5	19.2	15.2	4.0
8	3.07.81 matin	26.61	19.3	77.0	19.2	15.4	3.8
6	3.07.81 après-midi	26.65	21.0	77.5	17.6	15.4	2.2
7	6.07.81	26.77	20.6	77.5	20.7	15.6	5.1
5	7.07.81 matin	26.70	14.6	71.5	21.2	16.3	4.9
4	7.07.81 nouveau limon	26.62	24.2	76.0	21.0	16.4	4.6
Moyenne		26.71	20.6	77.6	19.6	15.6	4.1
Ecart type		0.09	3.2	3.6	1.4	0.6	1.0
Coefficient de variation CV [%]		0.3	16	5	7	4	24

FUSEAU GRANULOMETRIQUE

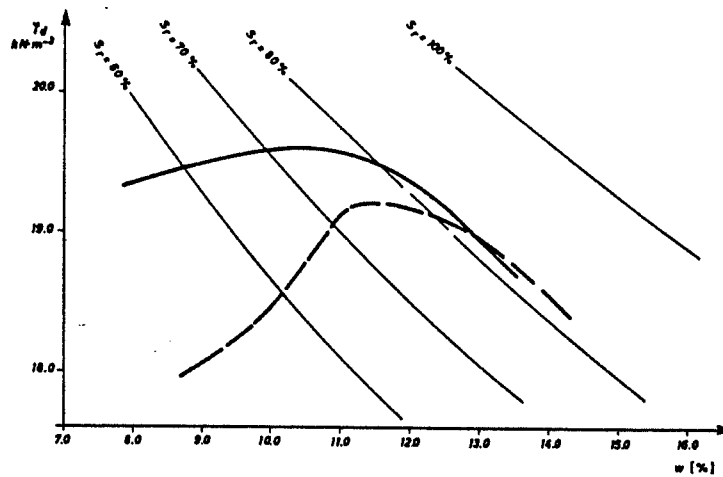
ESSAIS PROCTOR SUR LA STABILISATION

La matière pour ces essais a été prise à la sortie du malaxeur et ensuite tamisée à 10 mm. L'écrasement des éprouvettes a été exécuté sept jours après leur compactage.

Jour	Echantillons	w [%]	Y [kN·m ⁻³]	Yd [kN·m ⁻³]	R [kN·m ⁻²]
2.07.1981 matin	1	11.4	21.5	19.3	2420
	2	11.0	21.3	19.2	1950
	3	11.0	21.2	19.1	1880
2.07.1981 après-midi	4	11.4	21.1	19.0	2250
	5	11.2	21.2	19.1	2030
	6	11.3	20.5	18.5	1600
3.07.1981 matin	12	7.6	20.1	18.6	1460
	13		19.8	18.4	1470
	14		19.7	18.3	1380
3.07.1981 après-midi	8	6.7	19.1	17.9	1160
	18		19.4	18.2	1170
	19		19.3	18.1	850
6.07.1981 matin	9	8.9	20.4	18.8	1910
	10	9.0	20.4	18.7	1560
	11	8.9	20.1	18.4	1450
6.07.1981 après-midi	15	12.3	21.5	19.2	2140
	16	12.3	21.5	19.1	2130
	17	12.4	21.3	18.9	1920
7.07.1981 matin	7	9.6	20.5	18.7	1670
	21	9.4	20.3	18.6	1520
	22	9.1	20.6	18.9	1480
Moyenne		9.6	20.5	18.7	1690
Ecart type		2.0	0.8	0.4	400
Coefficient de variation [%]		21	4	2	24

ESSAI DE GONFLEMENT AU GEL

Courbes Proctor

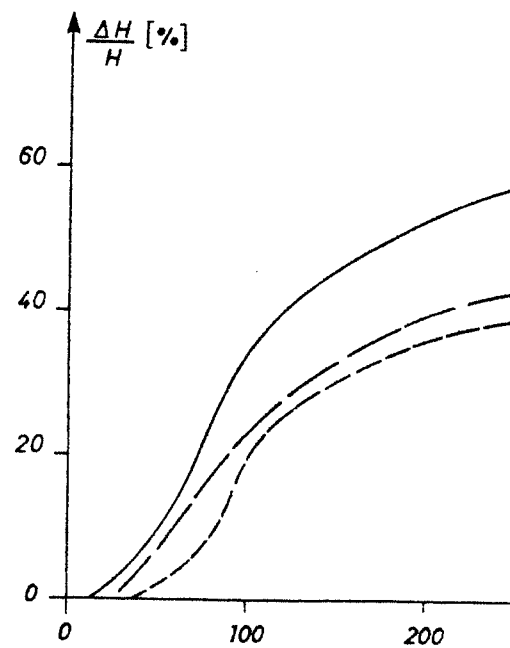
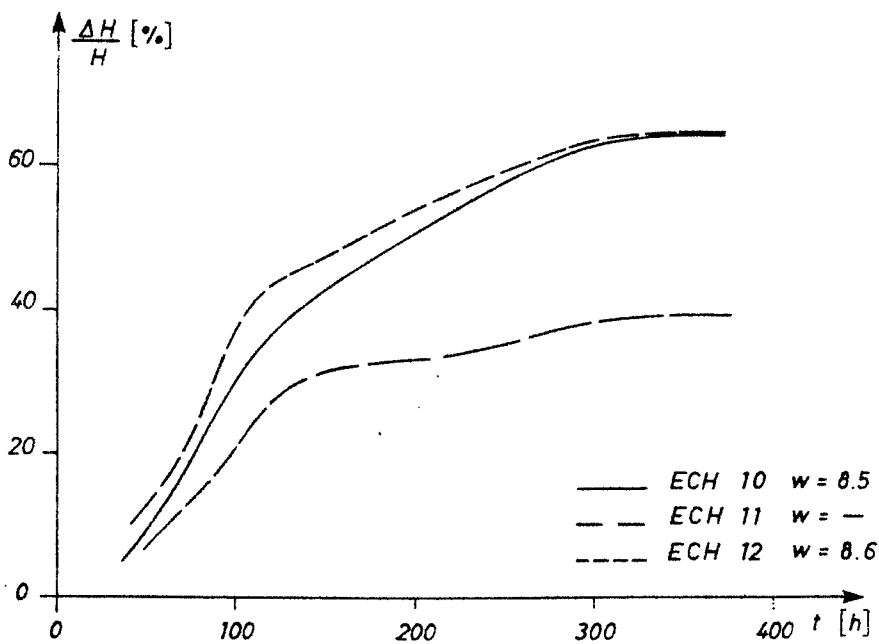
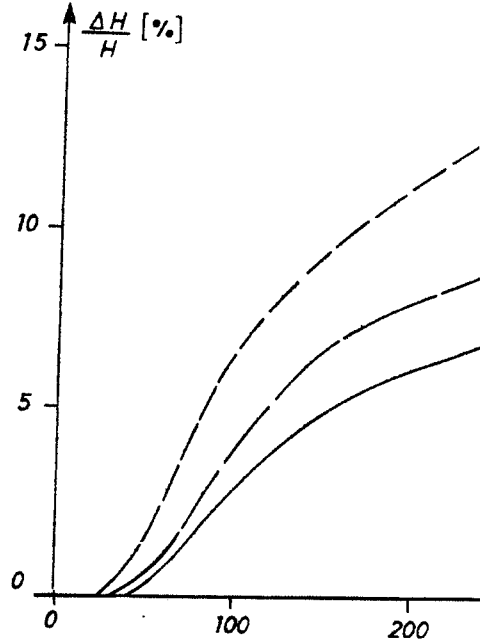
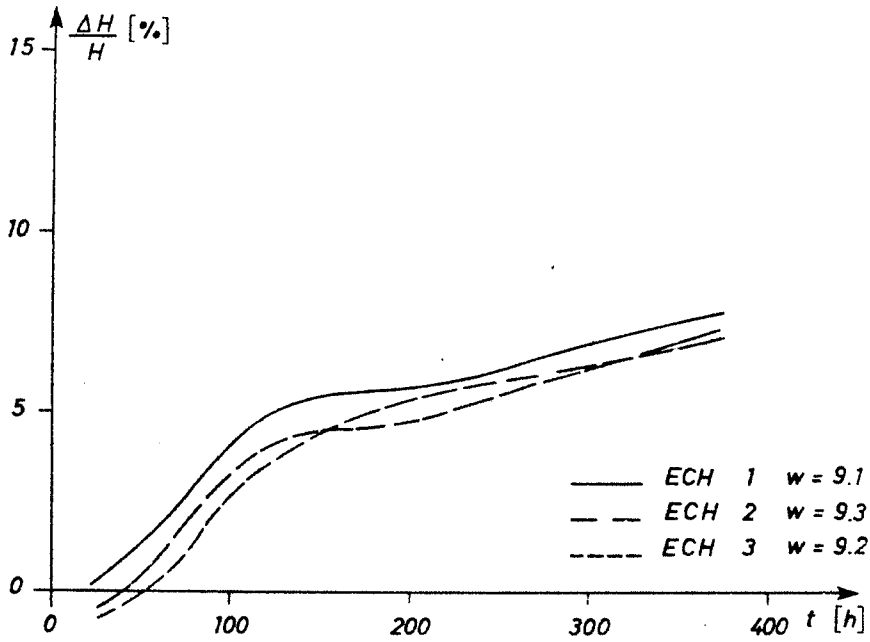


- mélange non stabilisé $w_{opt} = 10.2 \%$
 $\gamma_{dmax} = 19.6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$
- - - mélange stabilisé $w_{opt} = 11.2 \%$
 $\gamma_{dmax} = 19.2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$

Caractéristiques des éprouvettes

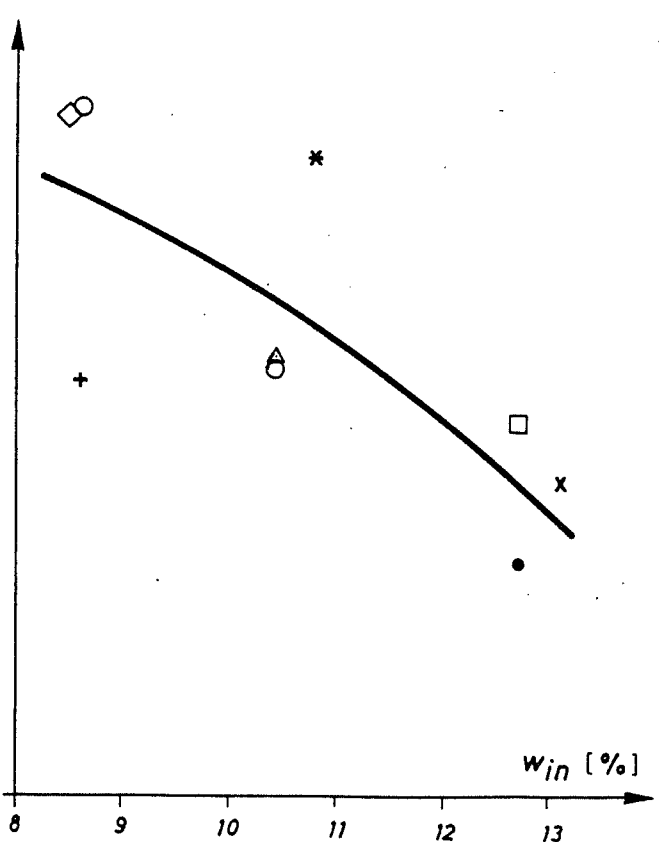
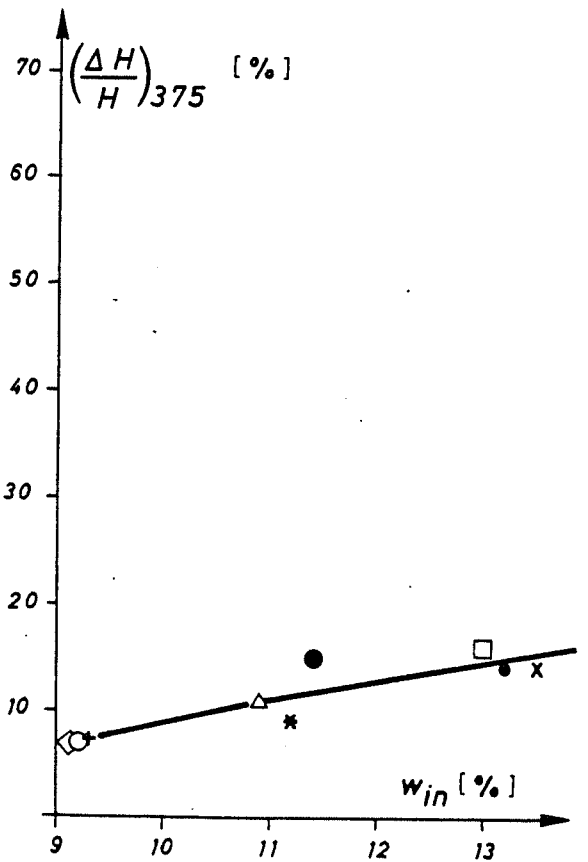
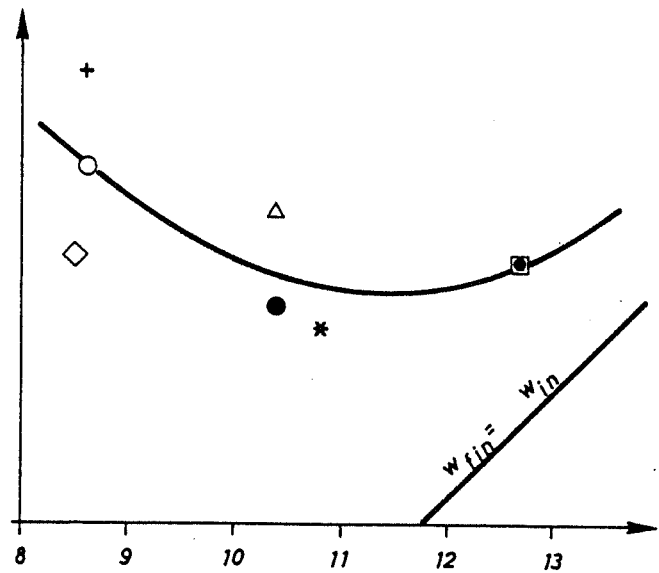
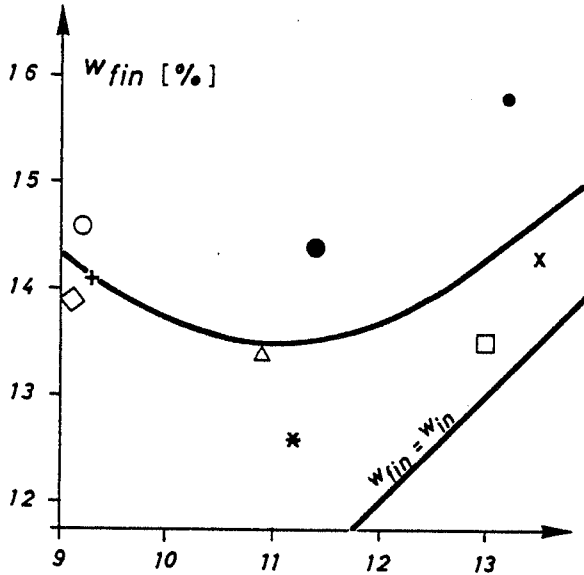
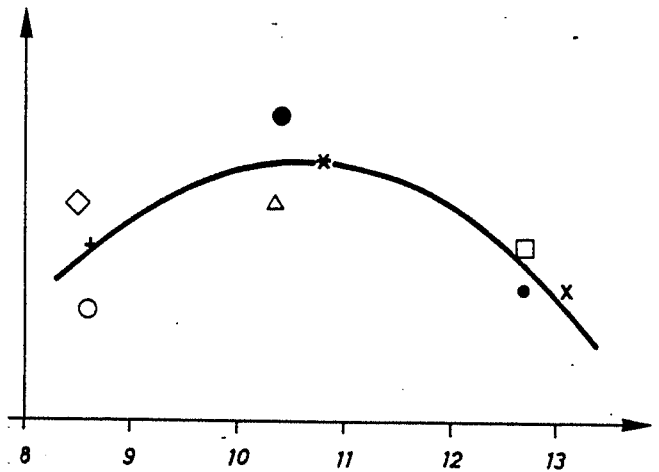
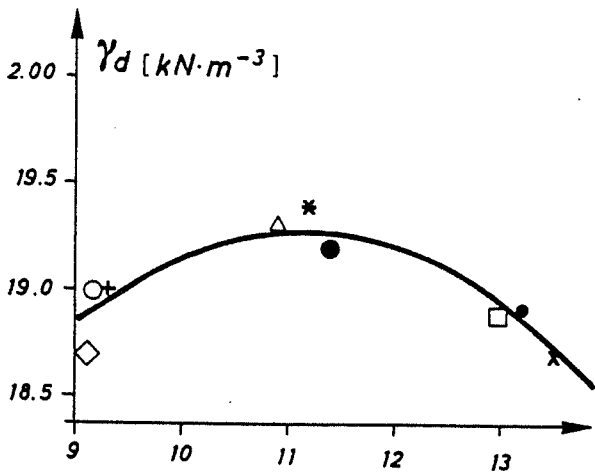
Mélange	No	γ_d [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	$w_{init.}$ [%]	w_{final} [%]	$\left(\frac{\Delta H}{H}\right)_{117}$ [%]	$\left(\frac{\Delta H}{H}\right)_{375}$ [%]
stabilisé	1	18.7	9.1	13.9	5.0	8.0
	2	19.0	9.3	14.1	4.0	7.5
	3	19.0	9.2	14.6	3.5	7.0
	4	19.4	11.2	12.6	3.5	9.2
	5	19.3	10.9	13.4	5.0	12.0
	6	19.2	11.4	14.4	8.0	15.5
	7	18.7	13.5	14.3	9.0	14.0
	8	18.9	13.2	15.8	11.0	15.0
	9	18.9	13.0	13.5	10.5	16.5
non stabilisé	10	19.4	8.5	14.3	37.0	64.0
	11	19.2	(8.6)	16.0	27.0	39.5
	12	18.9	8.6	15.1	43.0	64.5
	13	19.6	10.8	13.6	40.5	60.1
	14	19.4	(10.4)	14.7	28.5	40.4
	15	19.8	10.4	13.8	26.0	40.1
	16	19.0	13.1	--	25.0	29.5
	17	19.0	(12.7)	14.2	23.0	22.0
	18	19.2	12.7	14.2	28.0	34.5

GONFLEMENT AU GEL

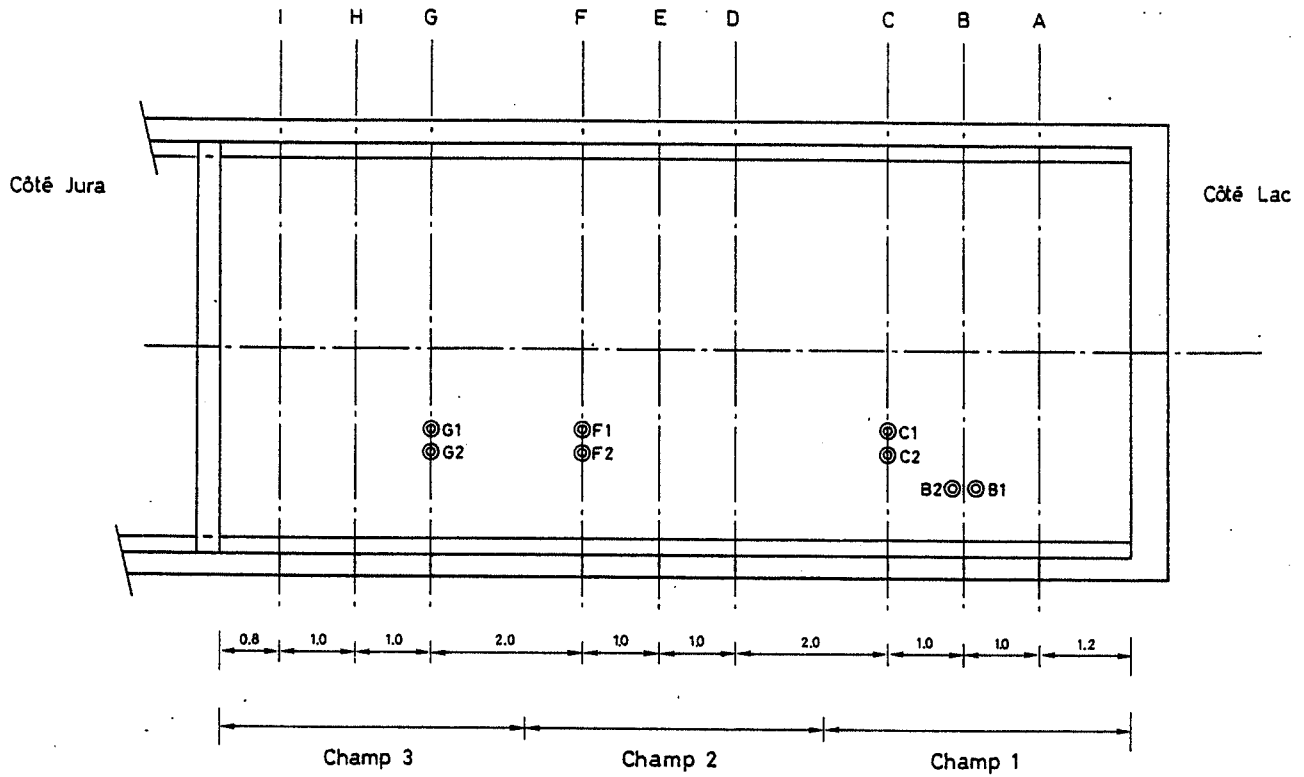


MELANGE STABILISE

MELANGE NON STABILISE



EMPLACEMENT DES CAROTTAGES

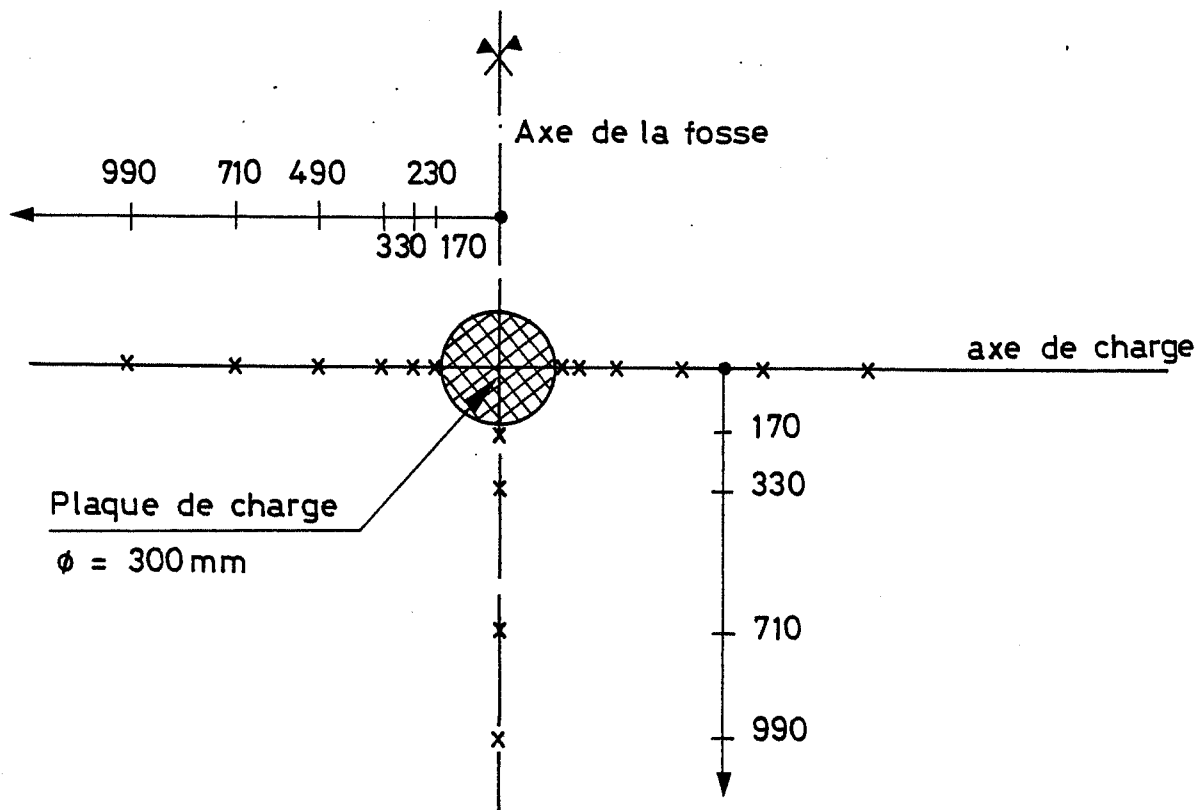


DENSITES ET RESISTANCES A LA TRACTION

Carotte	Masse volumique apparente [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	Résistance [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]
B1 sup.	20.47	495
B1 inf.	20.17	496
B2 sup.	20.48	594
B2 inf.	19.85	472
C1	20.06	914
C2	19.50	749
F1	19.26	577
F2	19.03	449
G1	20.57	647
G2	20.39	750
Moyenne	19.98	614
Ecart type	0.55	151
CV [%]	2.8	24.6

ESSAIS DE CHARGE AVEC UNE PLAQUE DE $\phi = 300$ MM

- Disposition des comparateurs

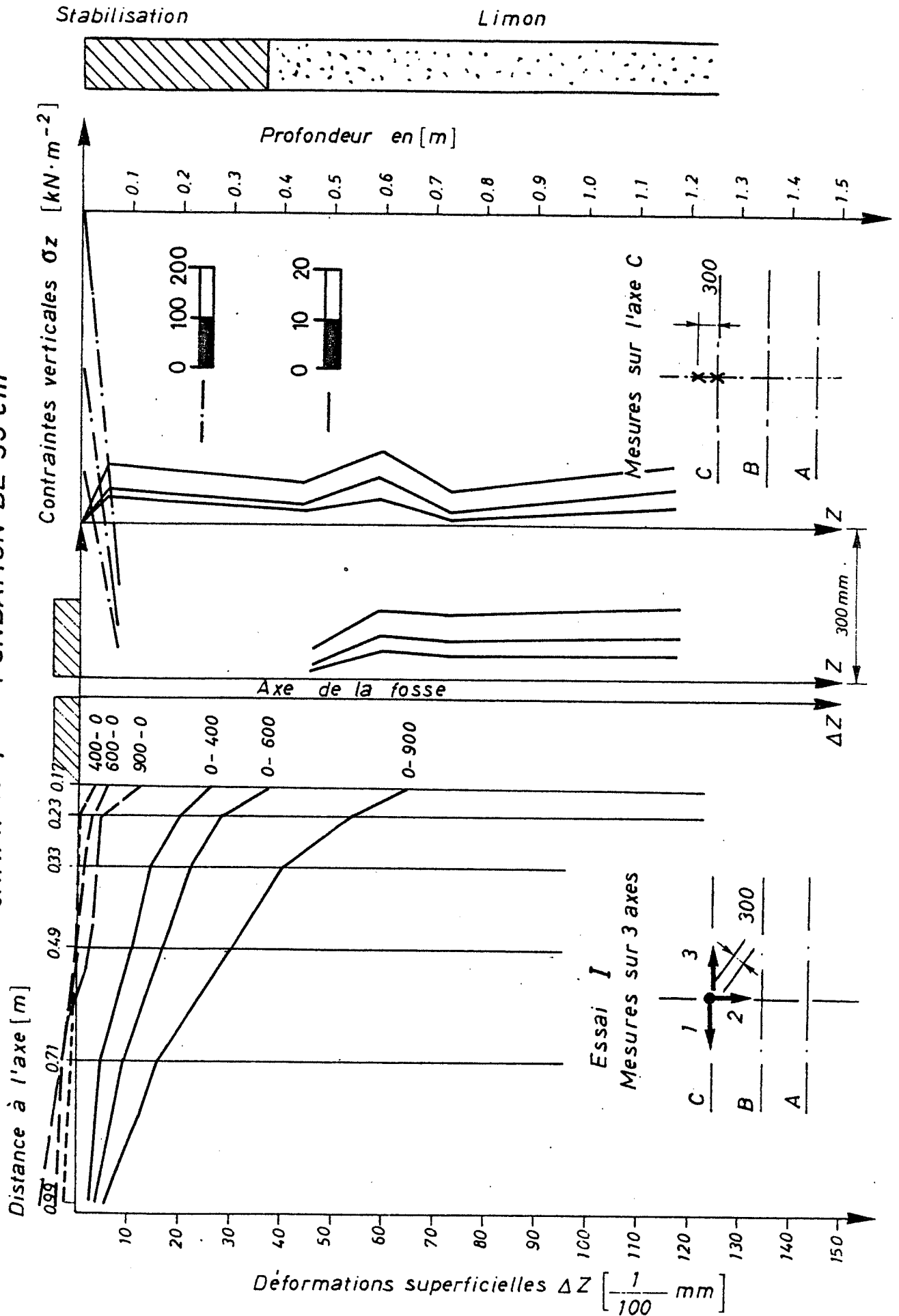


- Paliers de charge [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]

I	0 - 400 - 0 - 500 - 0 - 600 - 0 - 700 - 0 - 800 - 0 - 900 - 0
II	0 - 200 - 400 - 500 - 600 - 700 - 800 - 900 - 800 - 600 - 400 - 200 - 0
III	0 - 400 - 500 - 600 - 700 - 800 - 900 - 800 - 600 - 400 - 0
IV	$10 \times (0 - 600) - 0$
V	$10 \times (0 - 800) - 0$

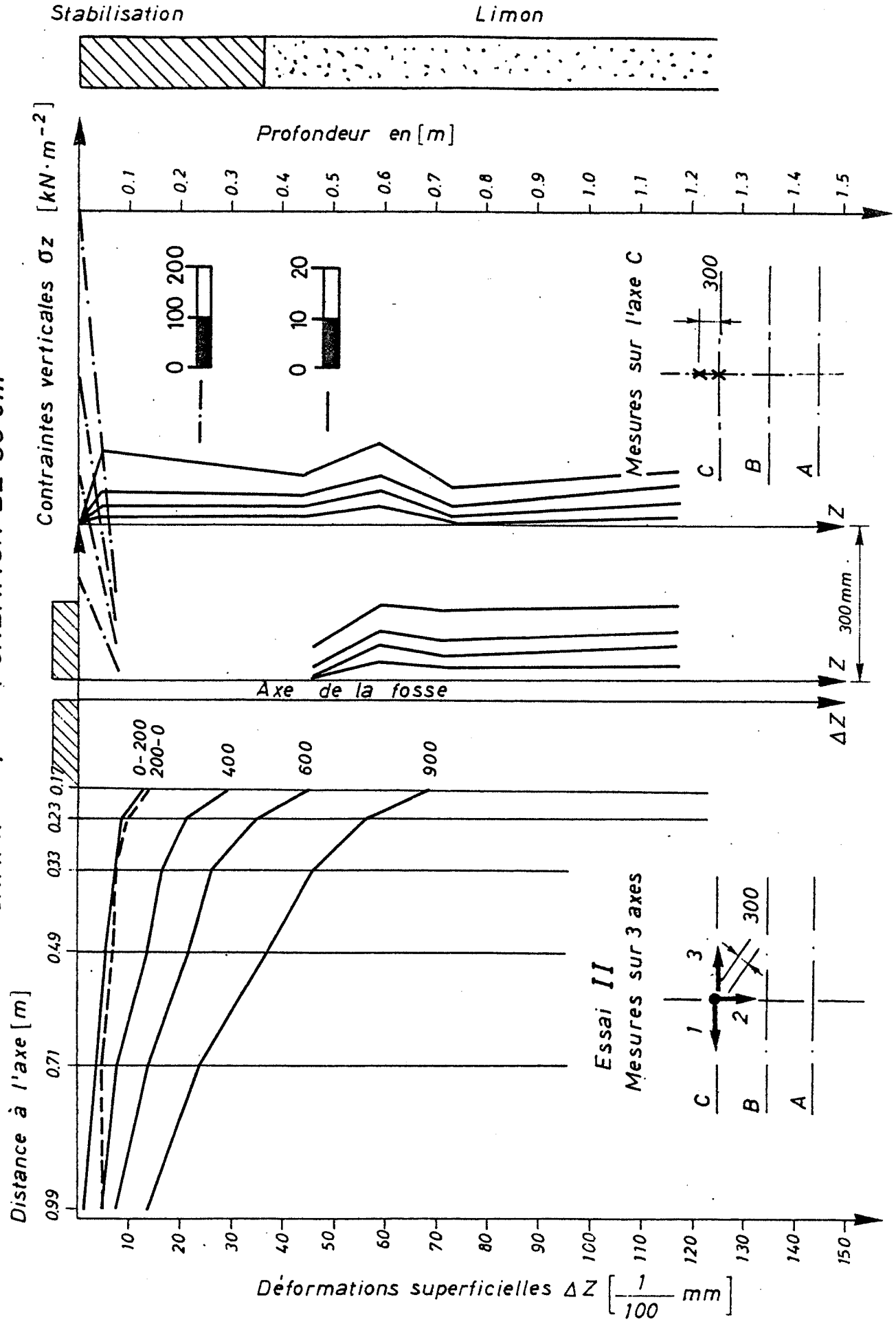
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

CHAMP N°1 - FONDATION DE 35 cm



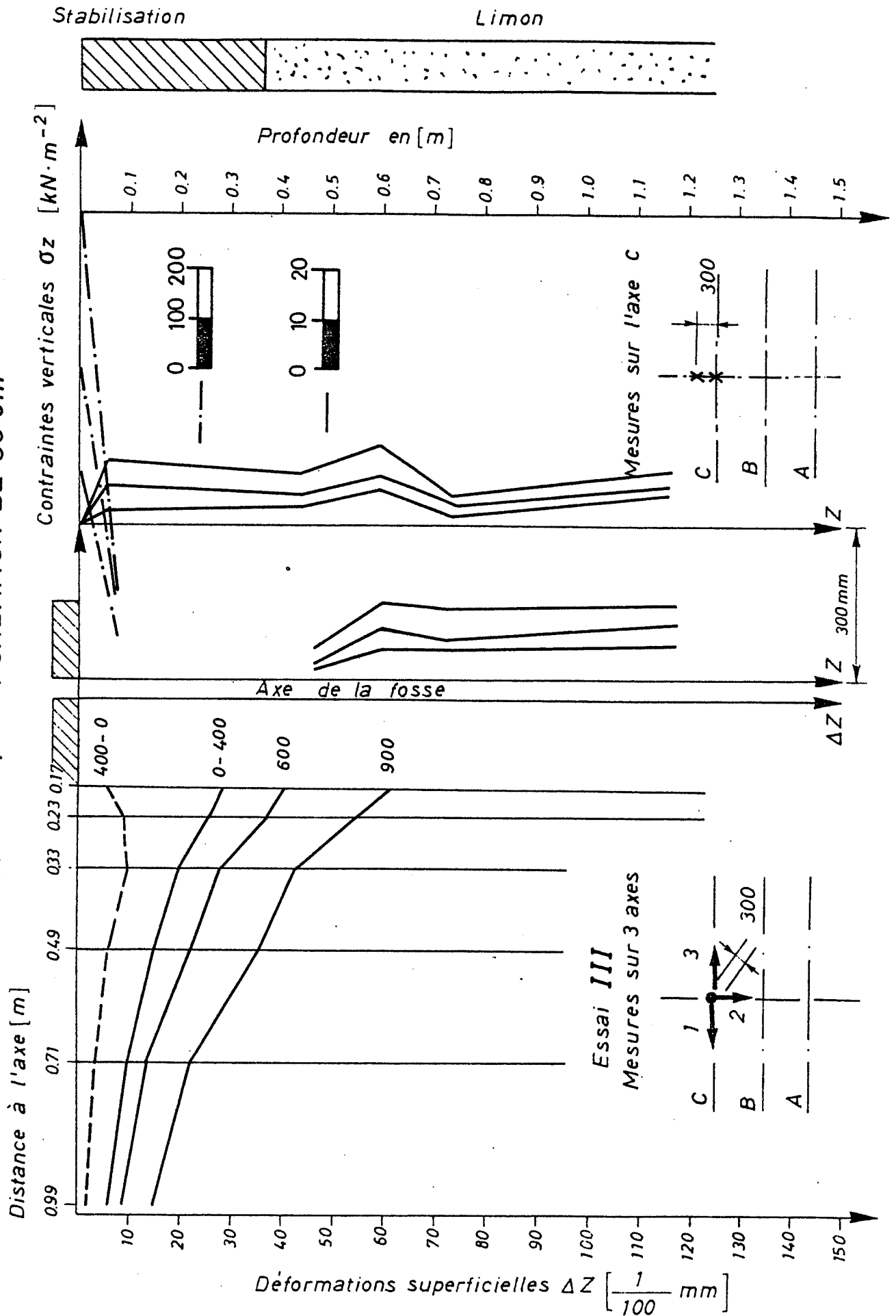
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N° 1 - FONDATION DE 35 cm



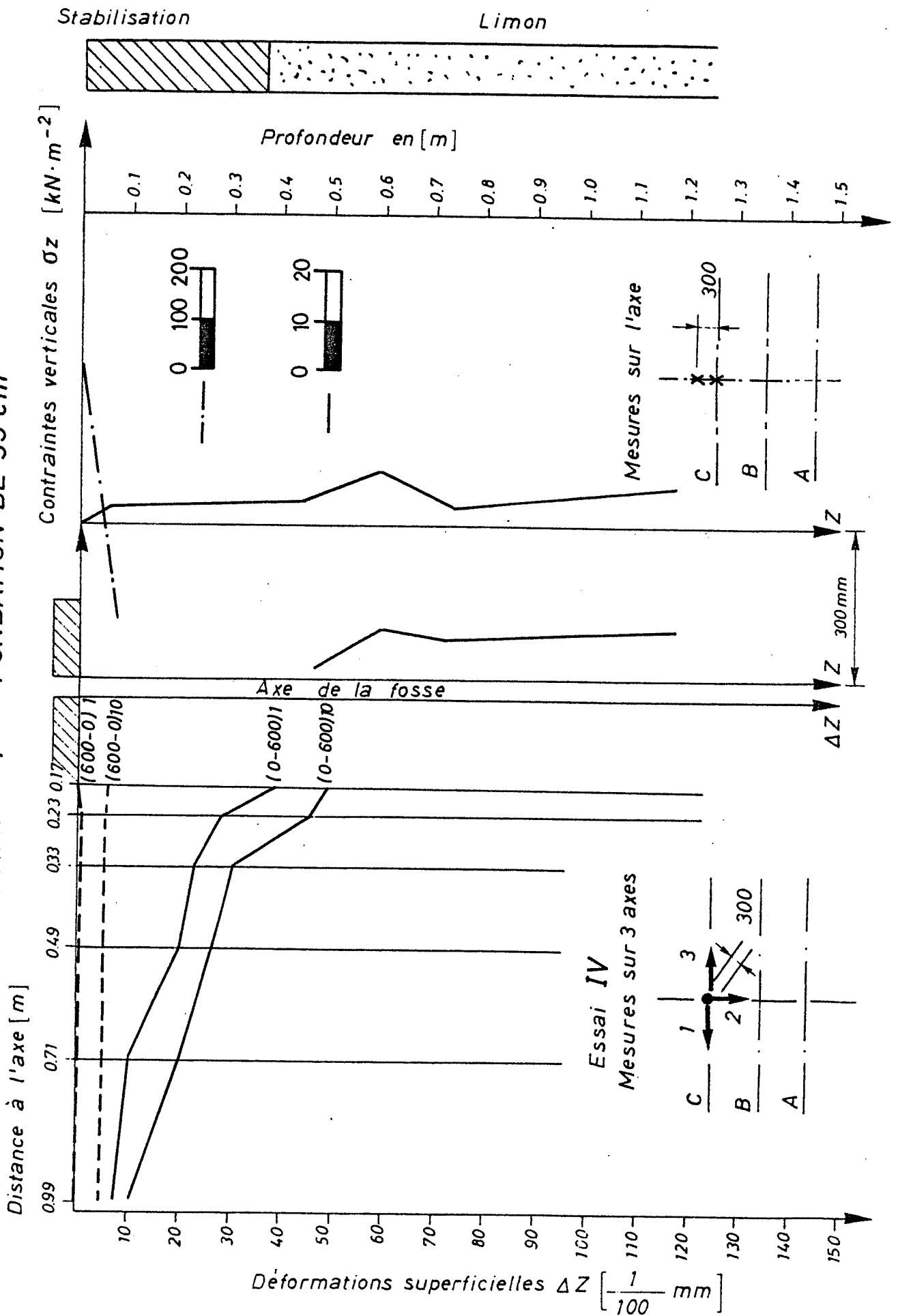
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

CHAMP N° 1 - FONDATION DE 35 cm



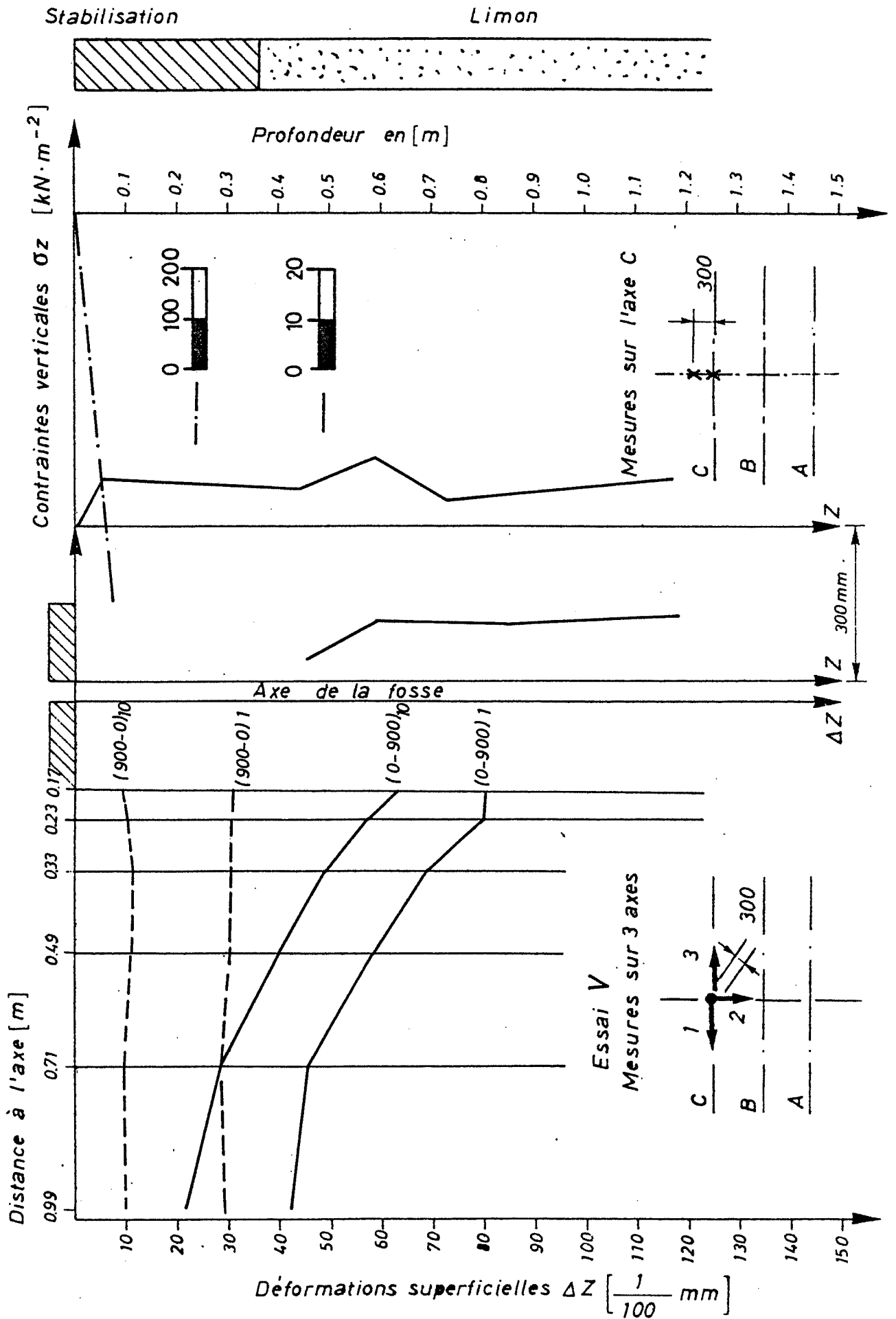
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N° 1 - FONDATION DE 35 cm



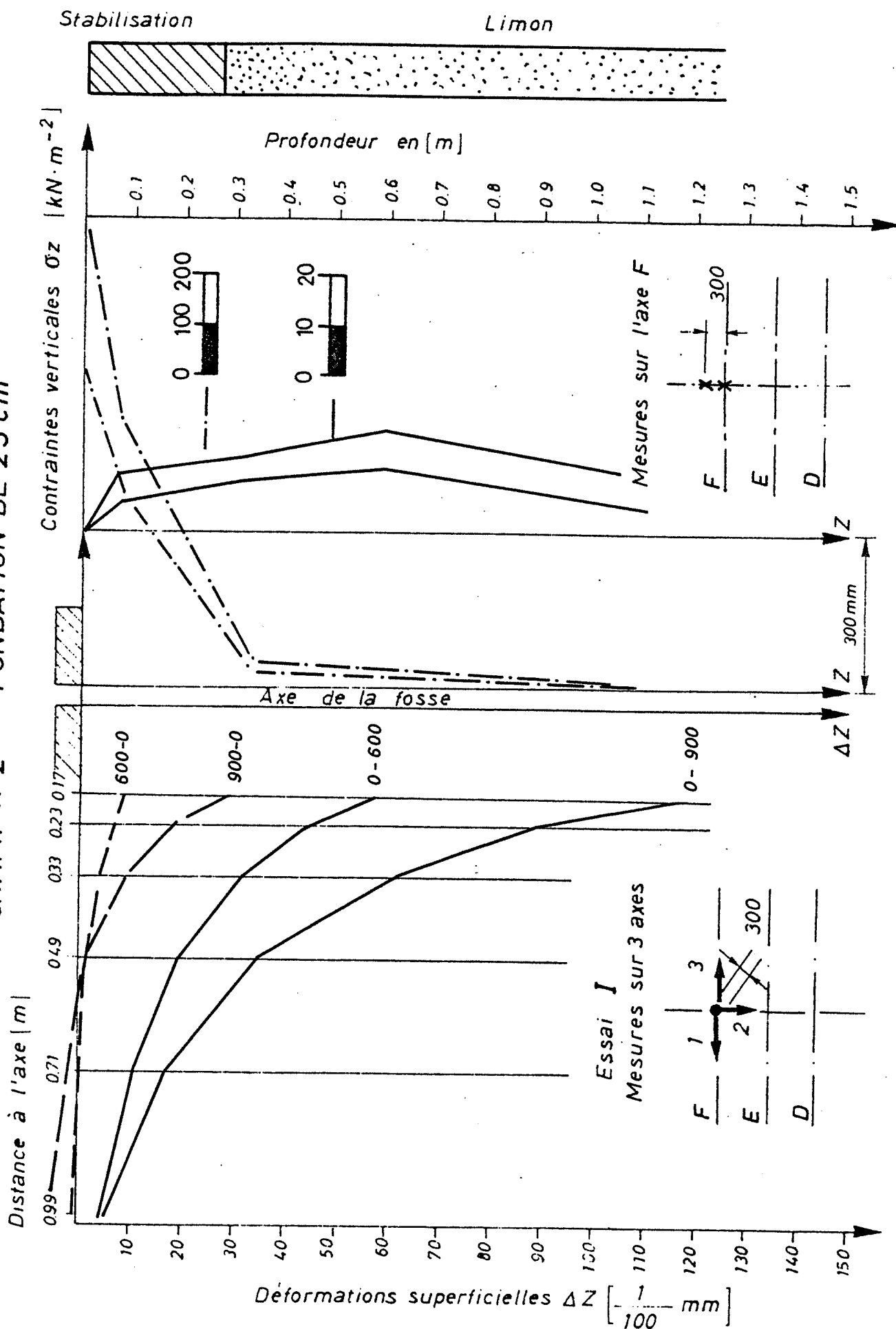
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

CHAMP N° 1 -- FONDATION DE 35 cm



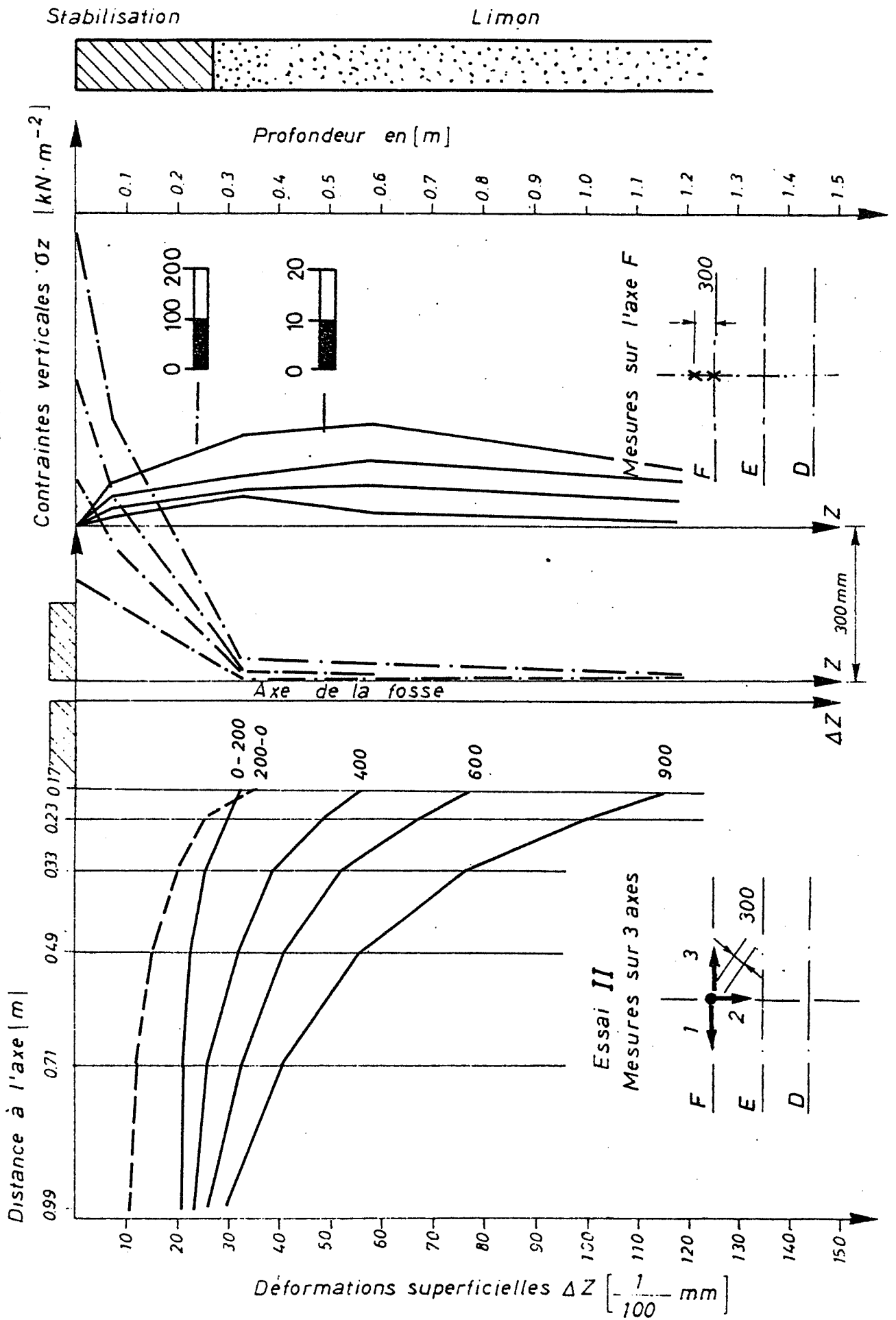
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°2 - FONDATION DE 25 cm



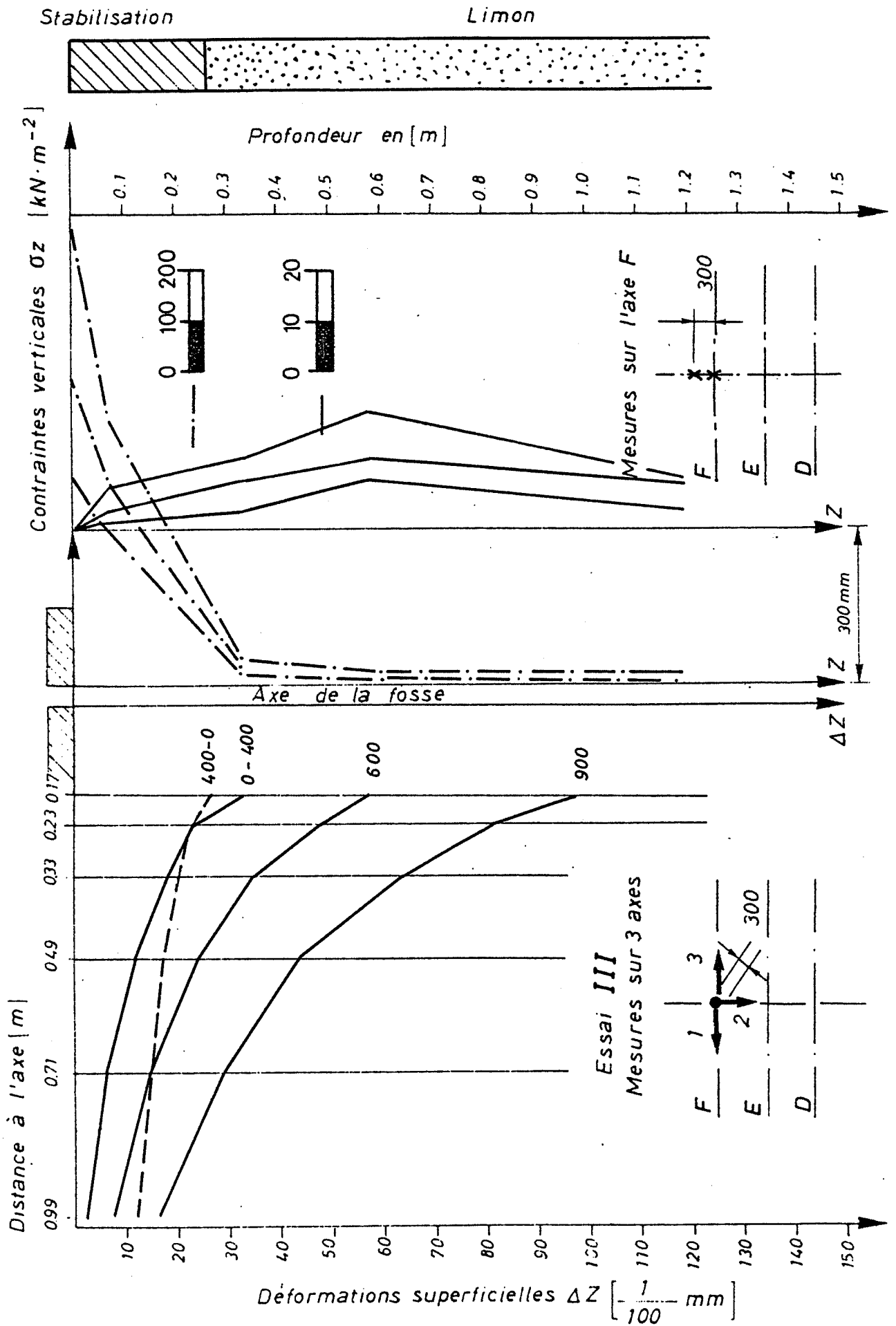
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N° 2 - FONDATION DE 25 cm



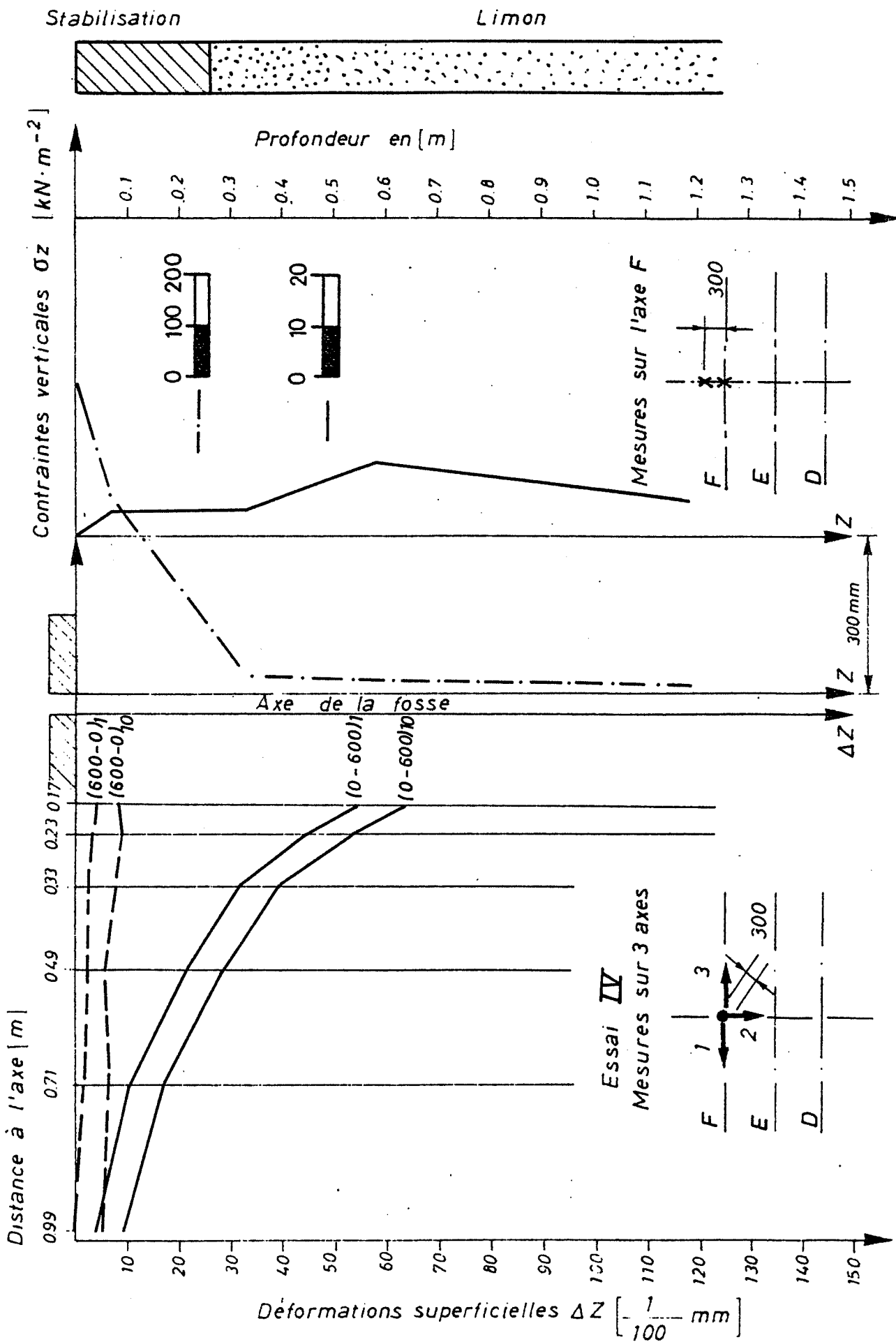
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°2 - FONDATION DE 25 cm



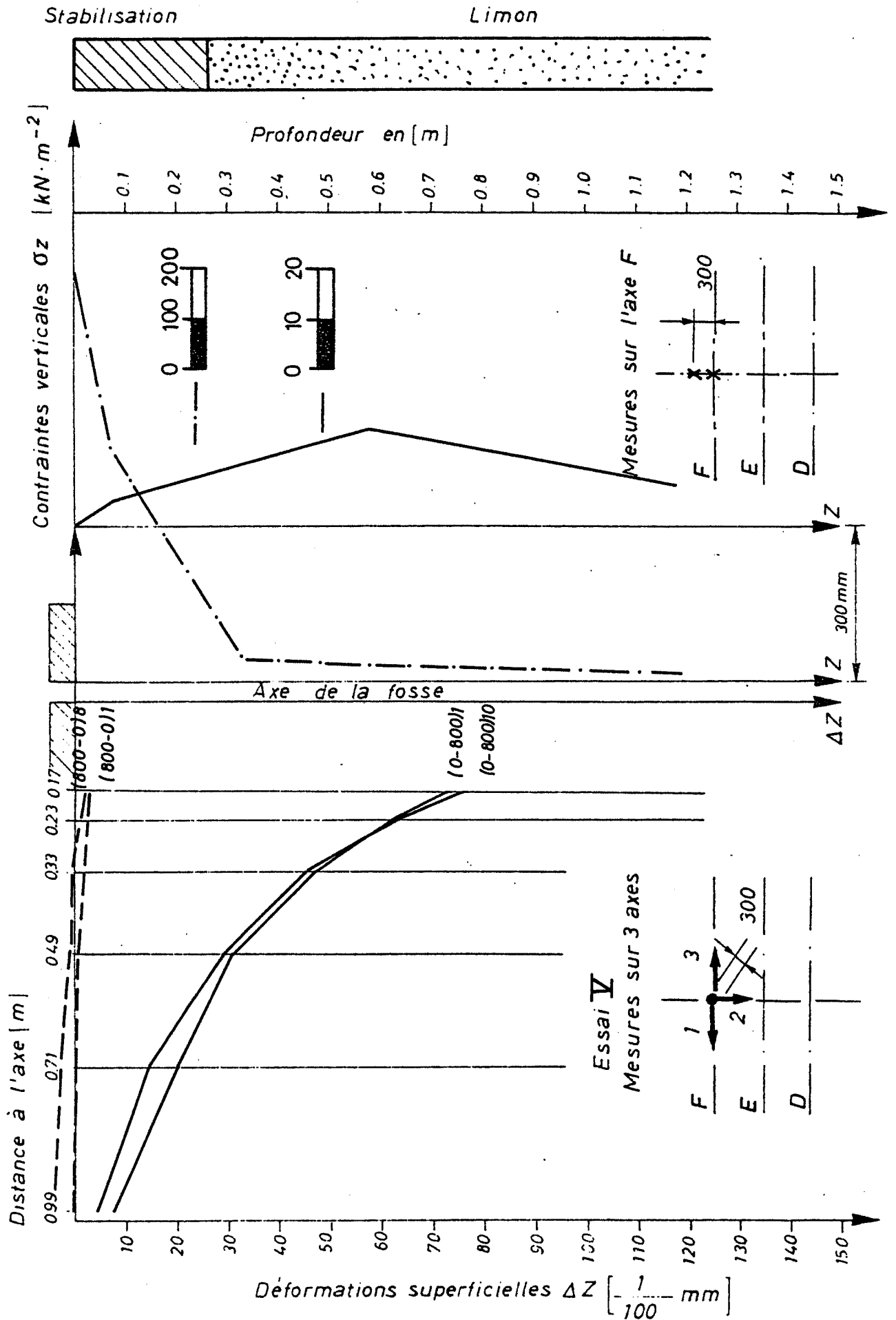
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°2 - FONDATION DE 25 cm



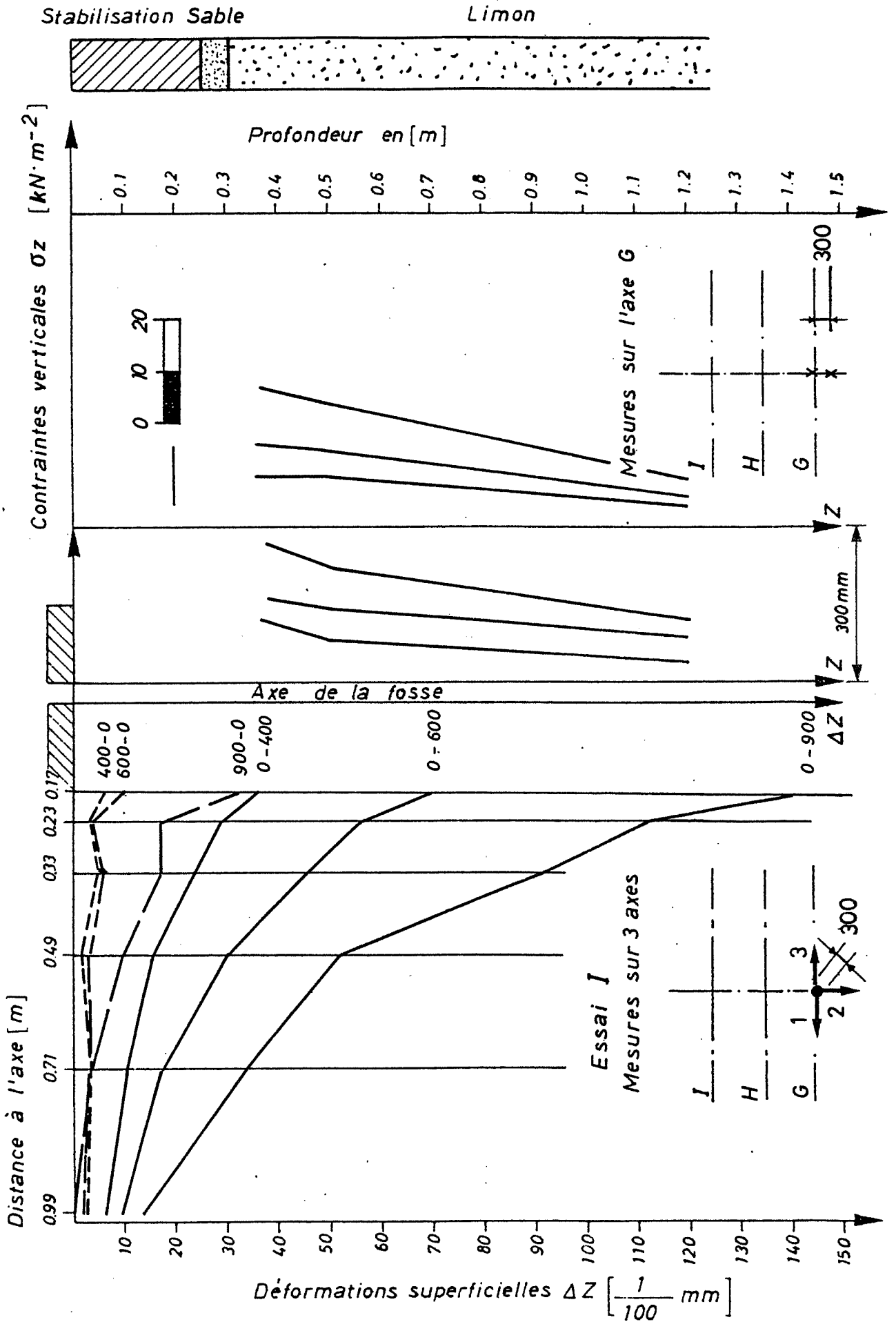
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

CHAMP N°2 -- FONDATION DE 25 cm



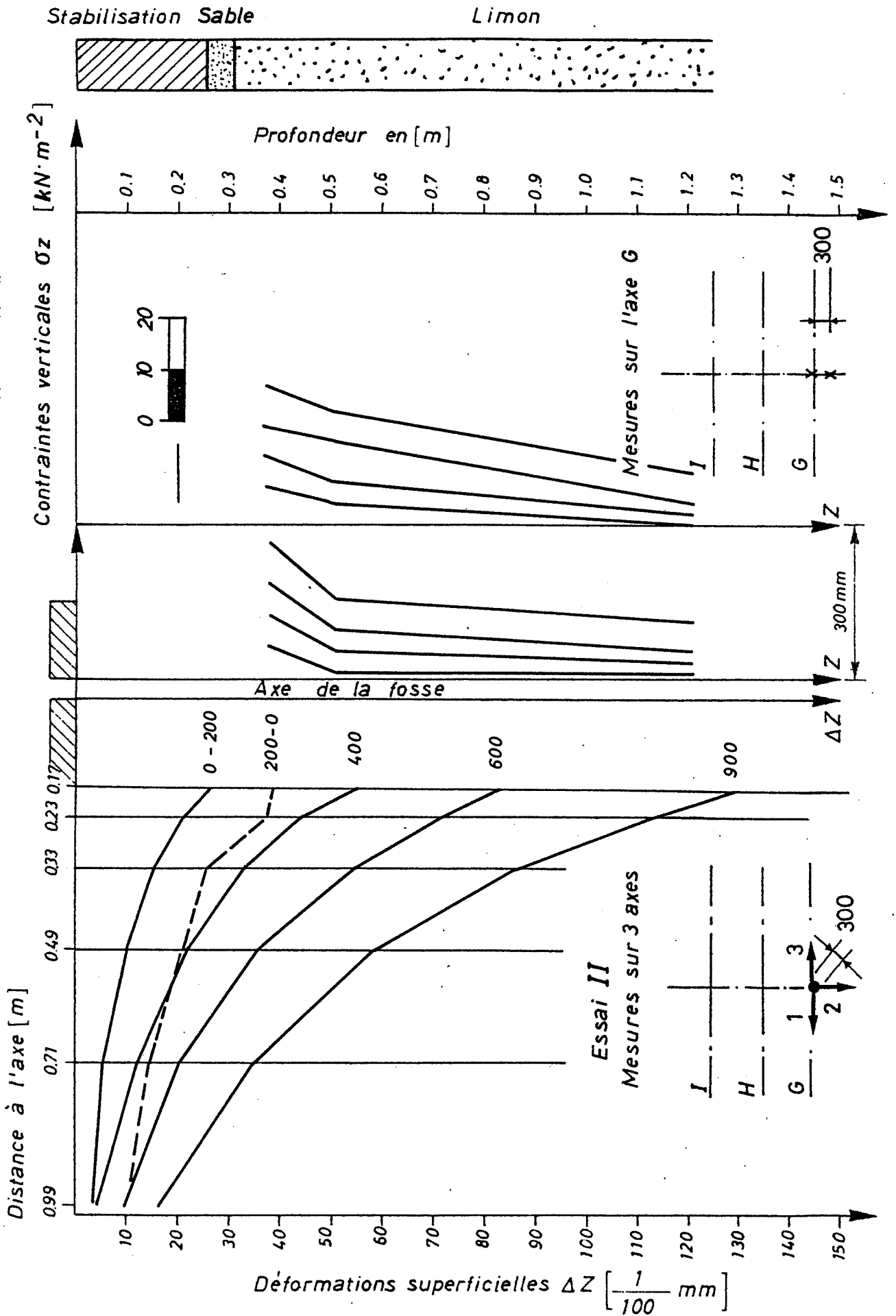
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°3 -- FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



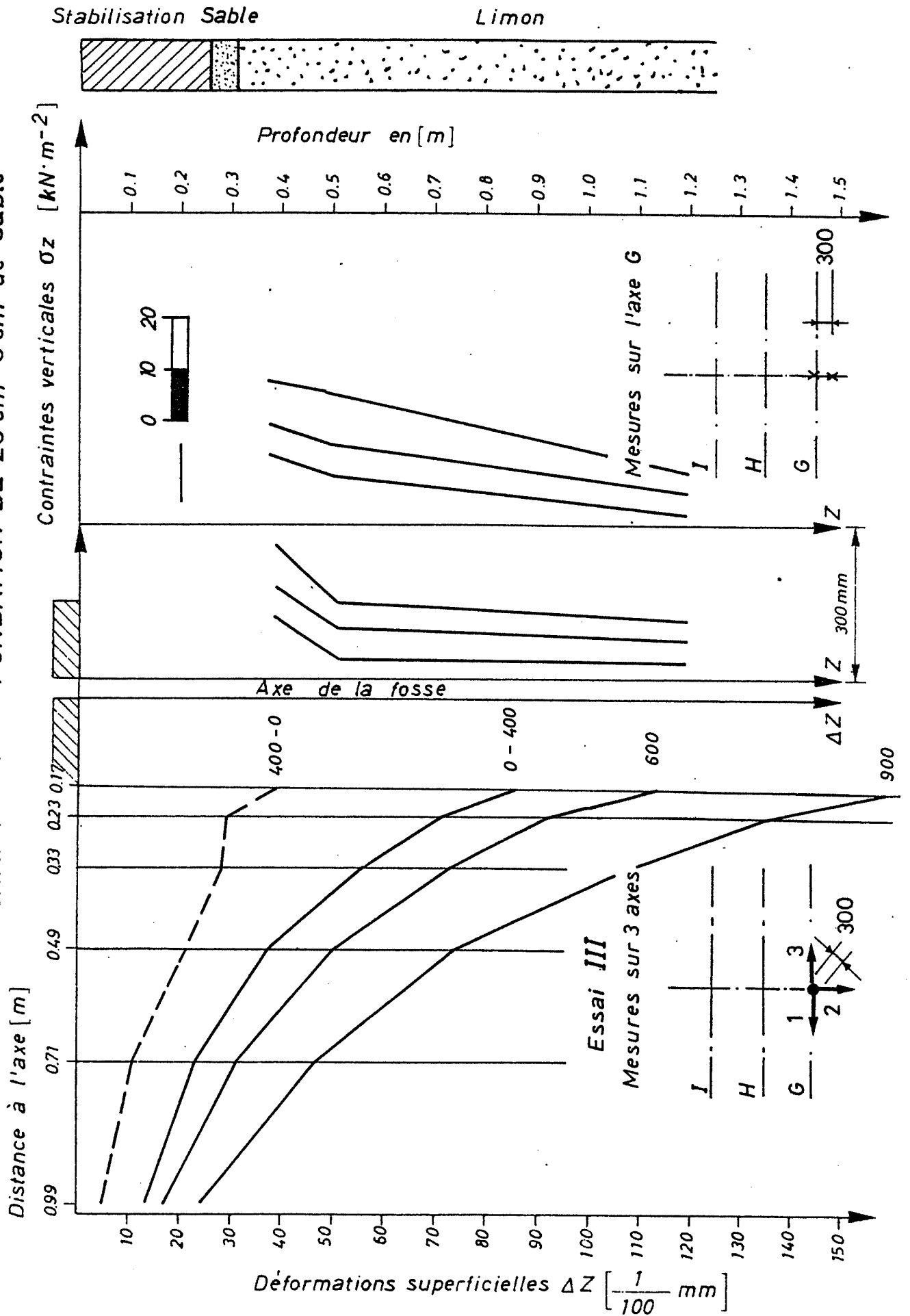
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



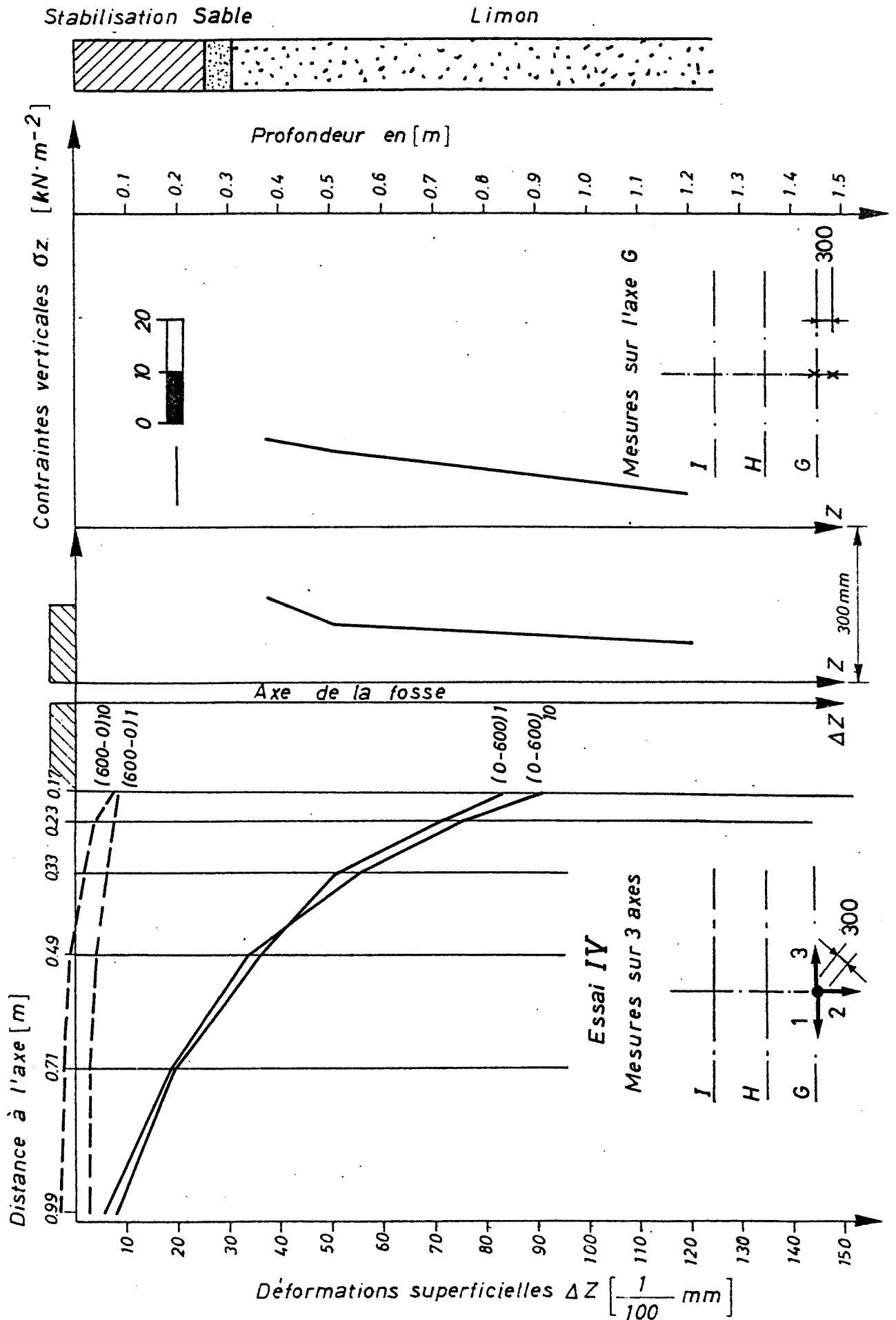
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



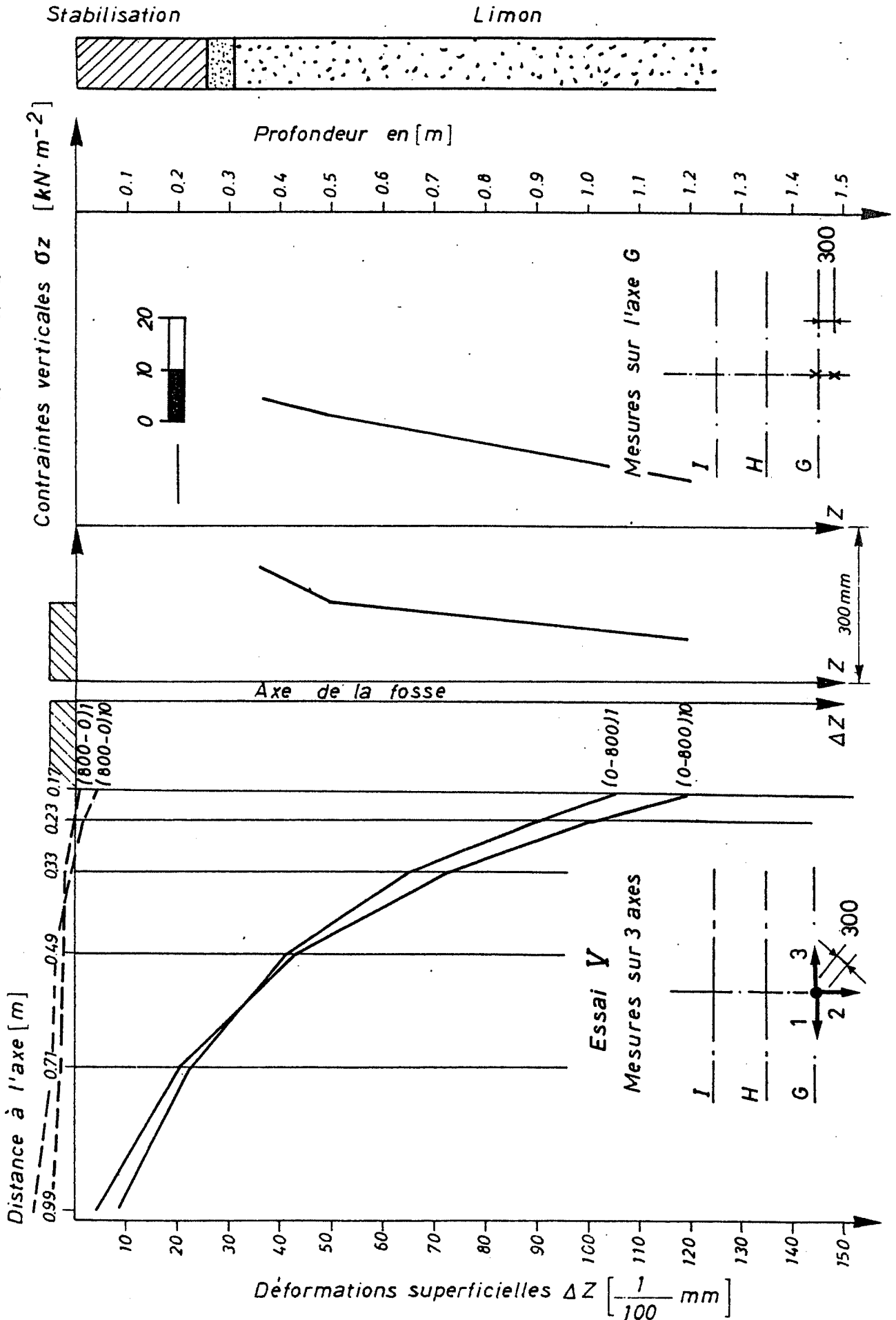
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

CHAMP N°3 -- FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



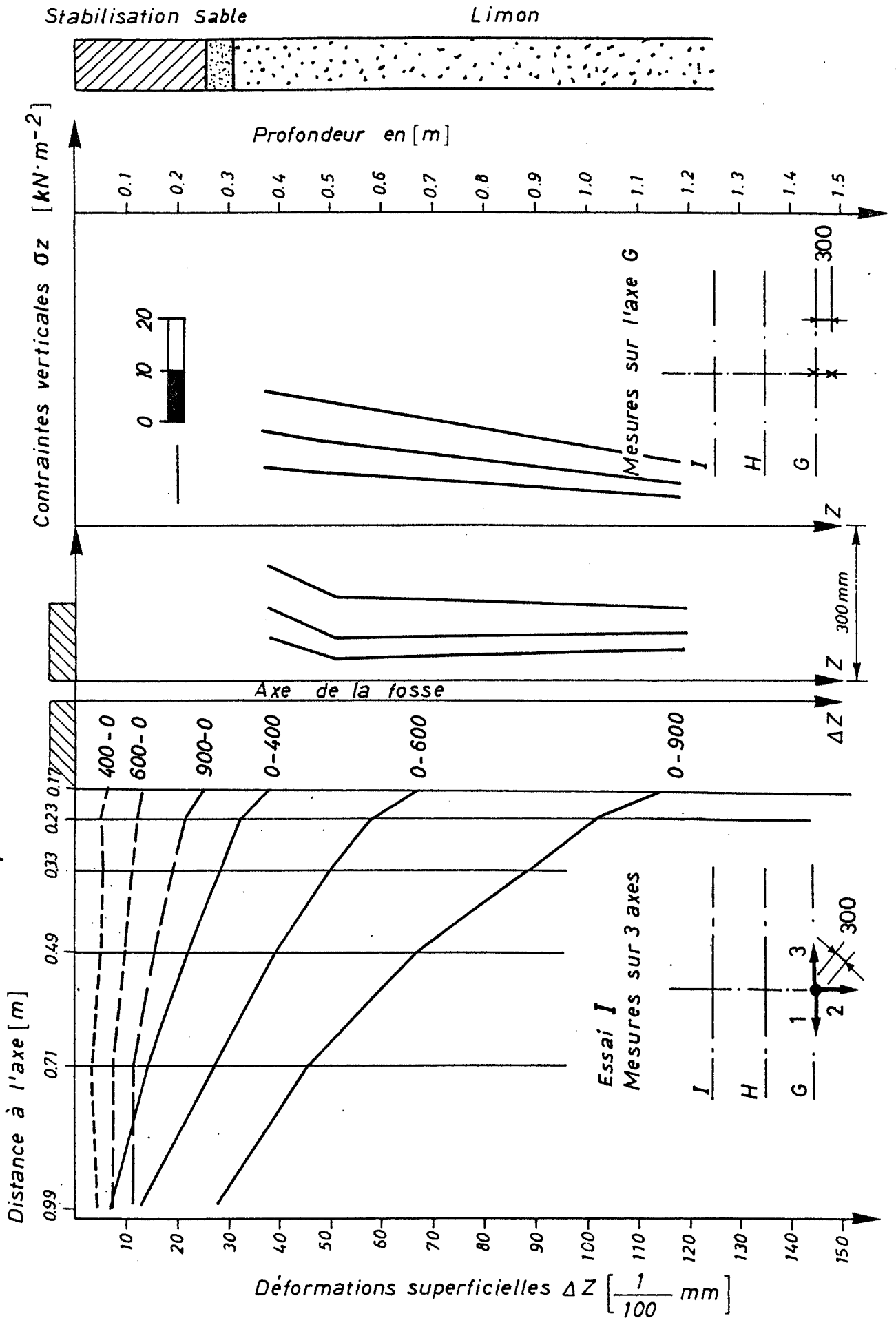
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



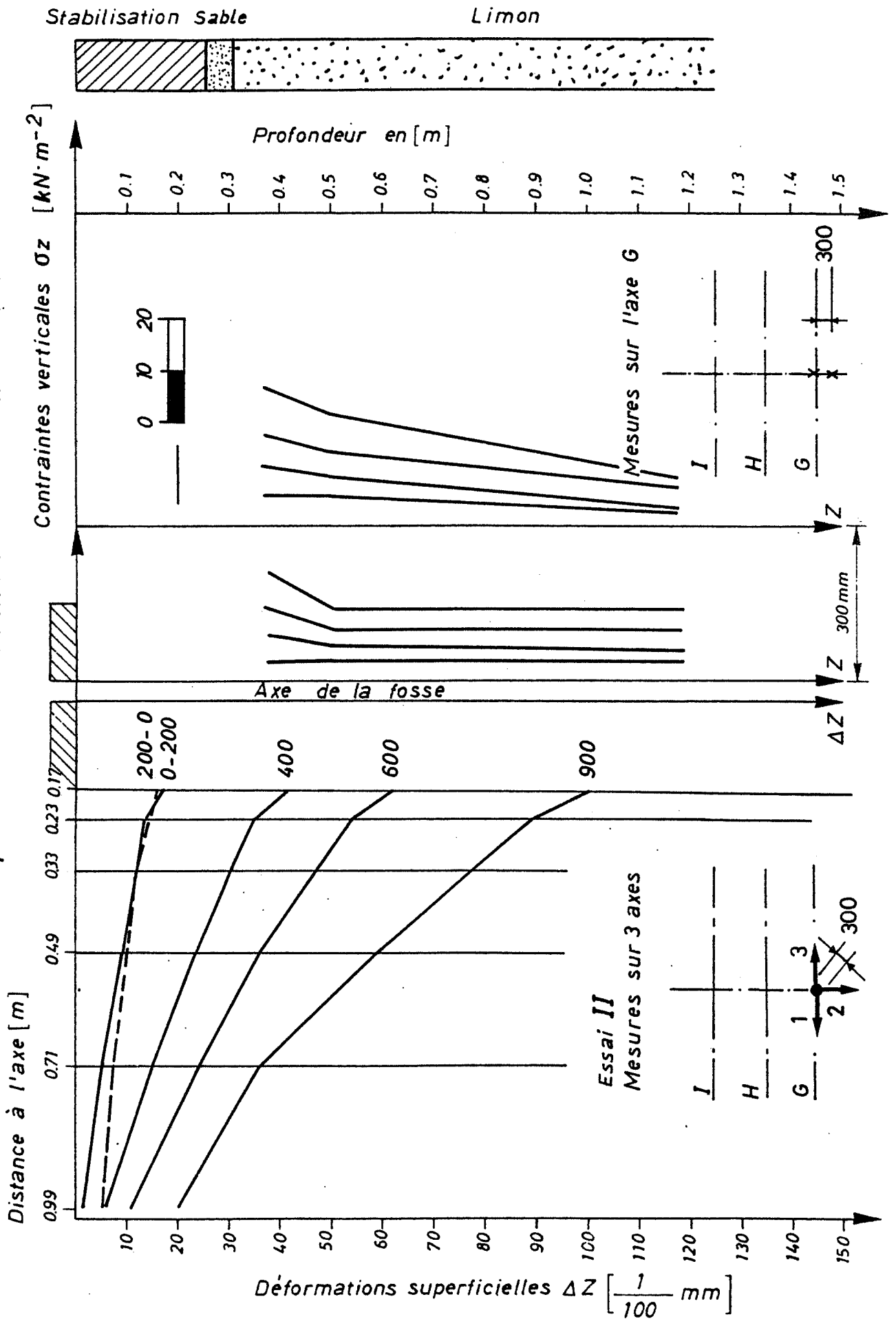
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

Réfection Champ n° 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



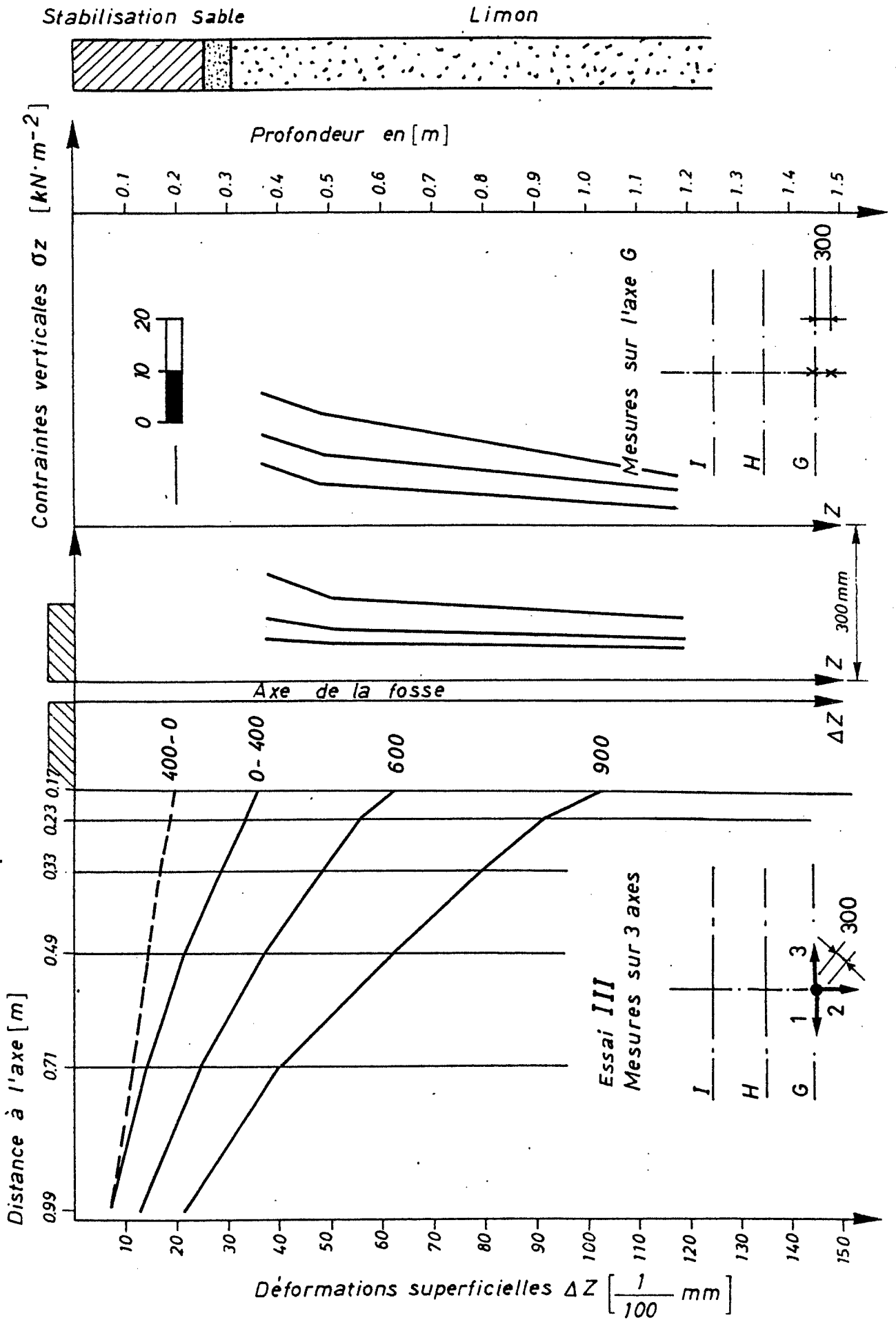
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

Réfection Champ n° 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



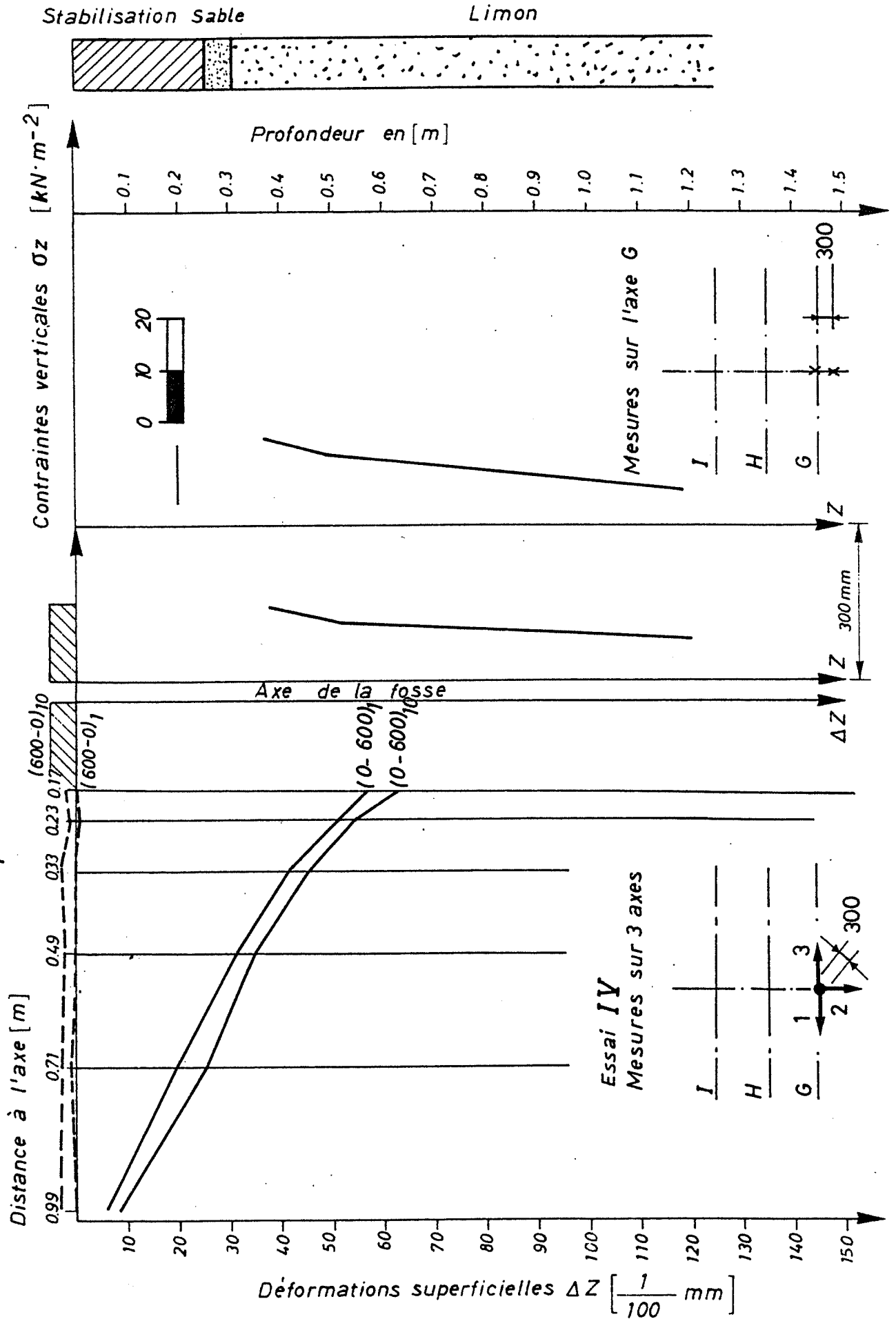
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

Réfection Champ n° 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



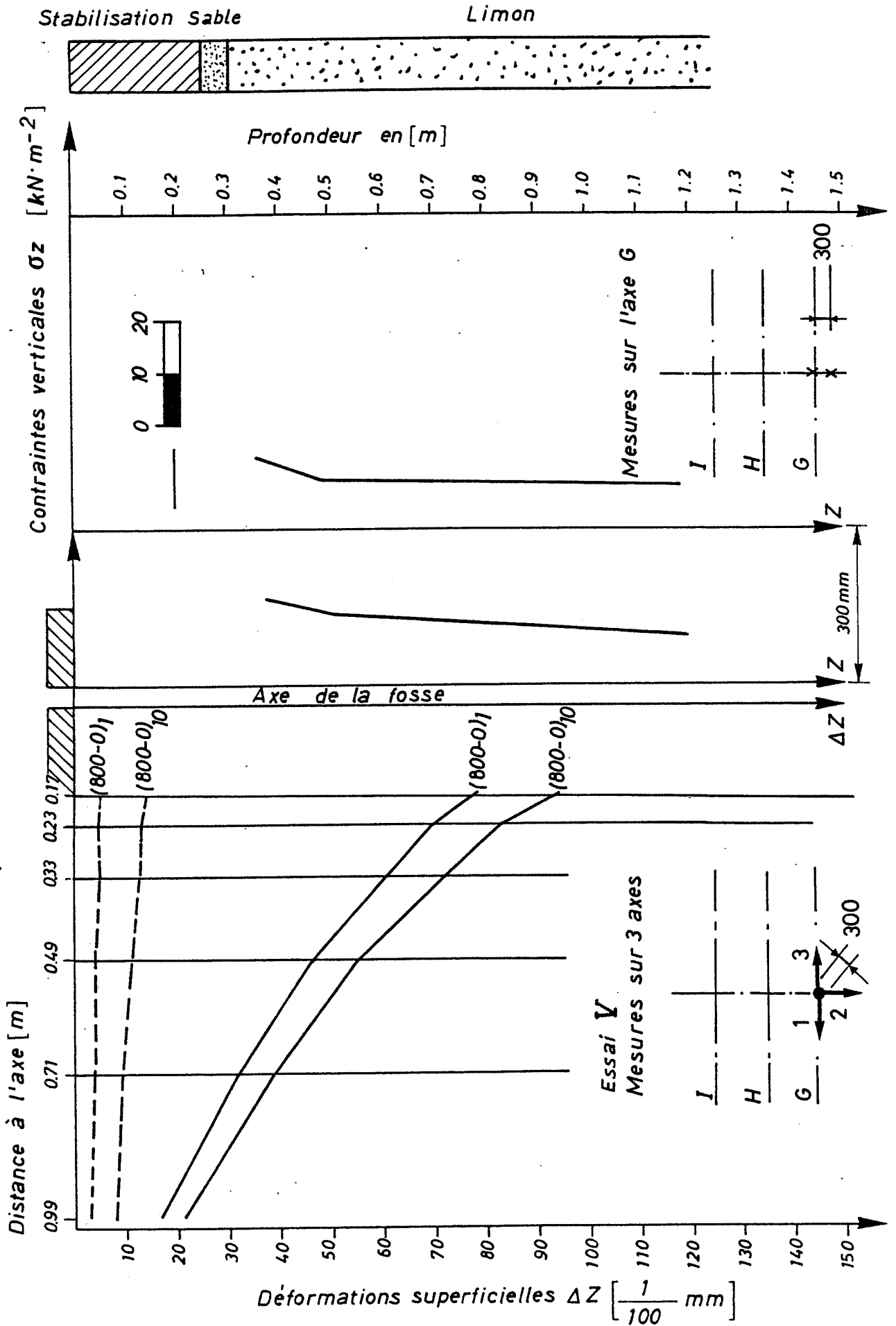
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

Réfection Champ n° 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



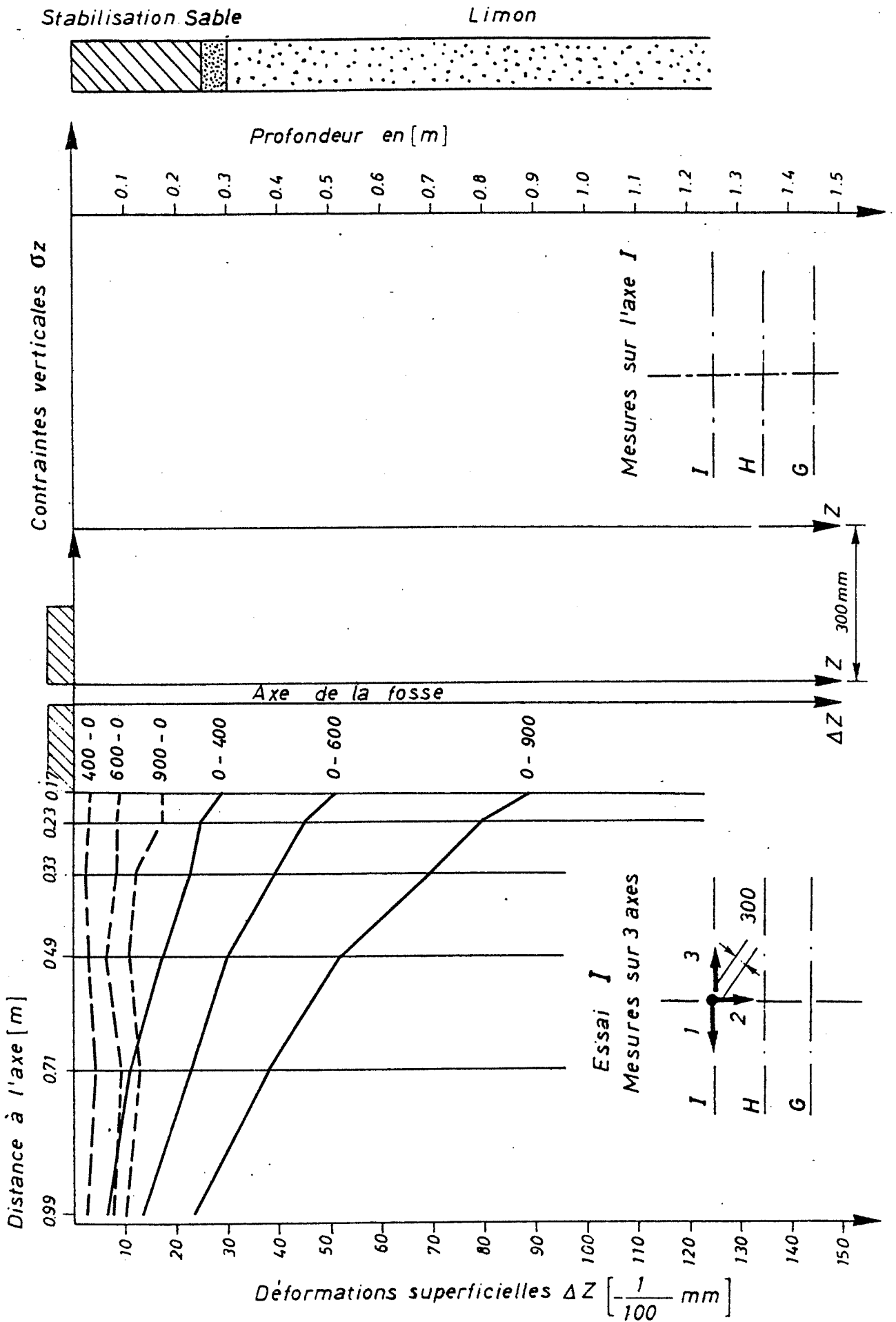
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

Réfection Champ n° 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



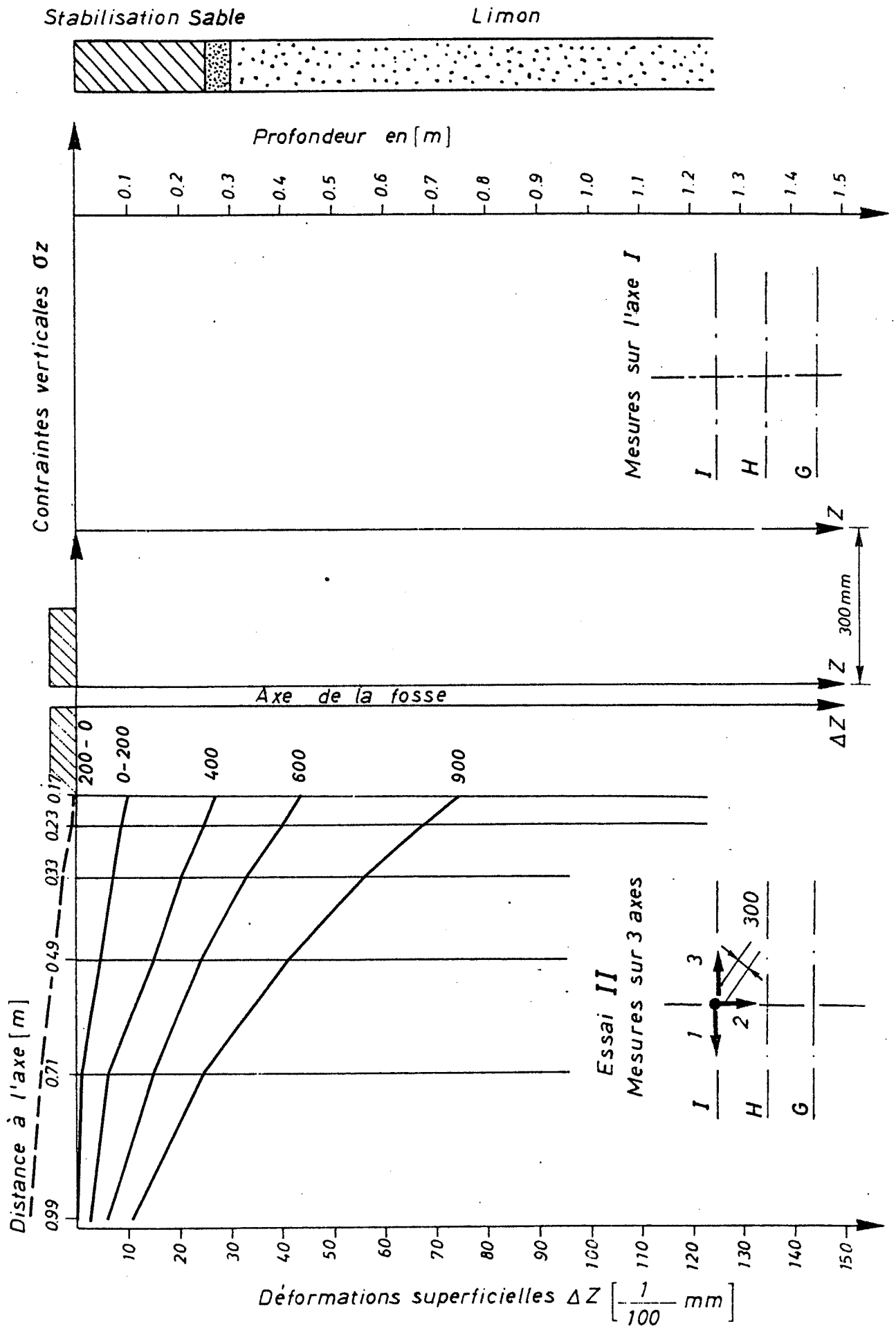
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

REFECTION CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



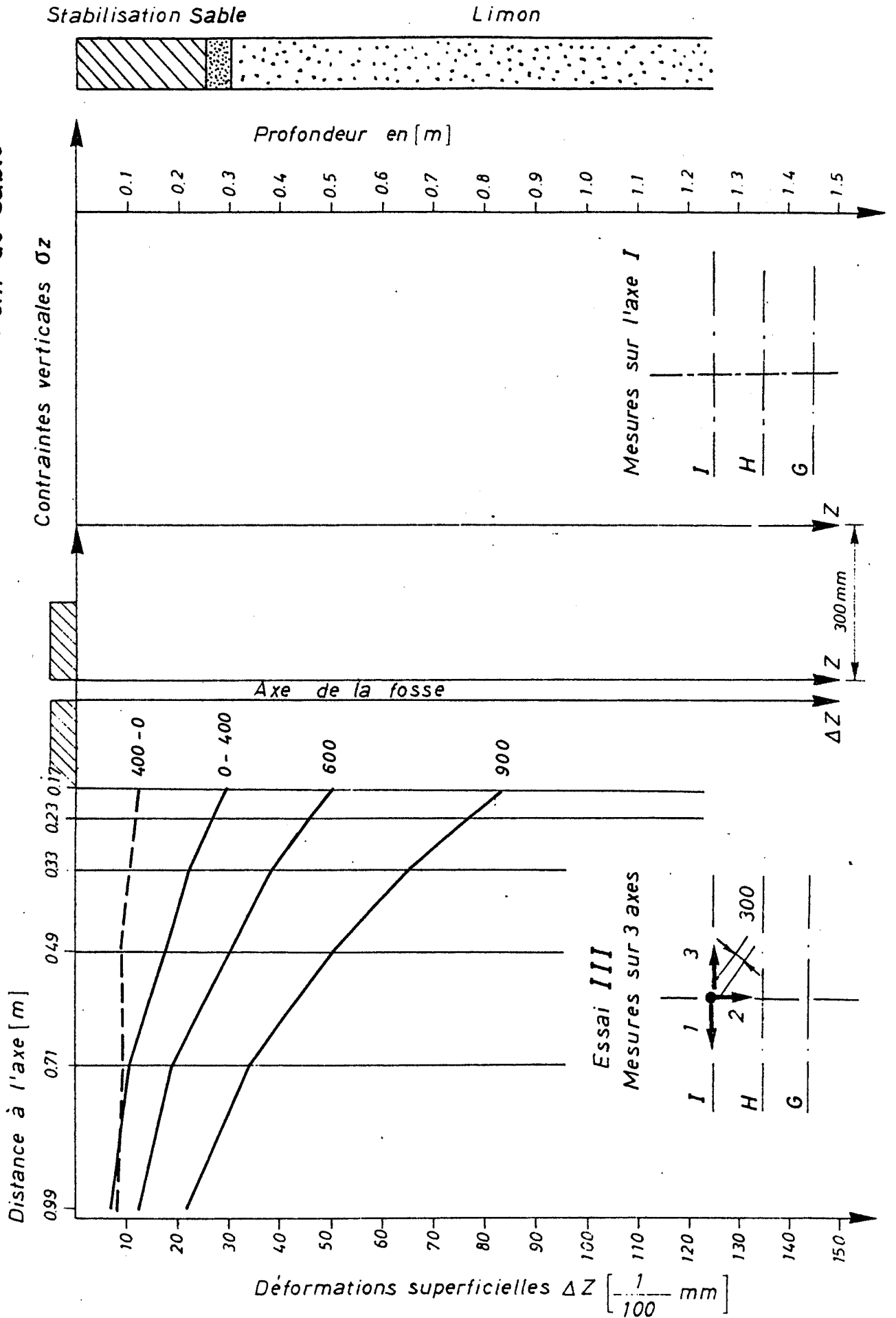
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

REFLECTION CHAMP N° 3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



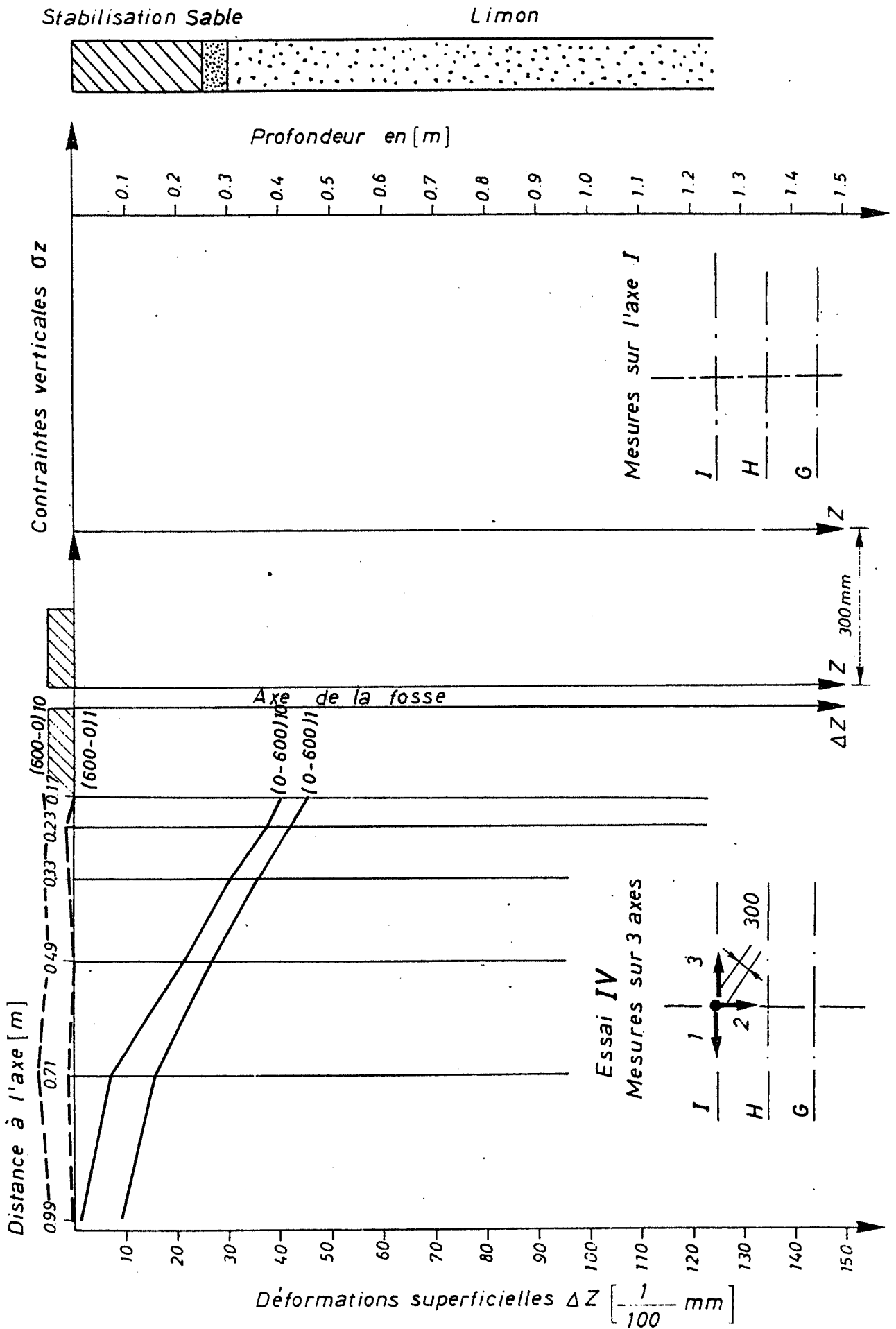
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE ϕ 30 cm

REFECTION CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



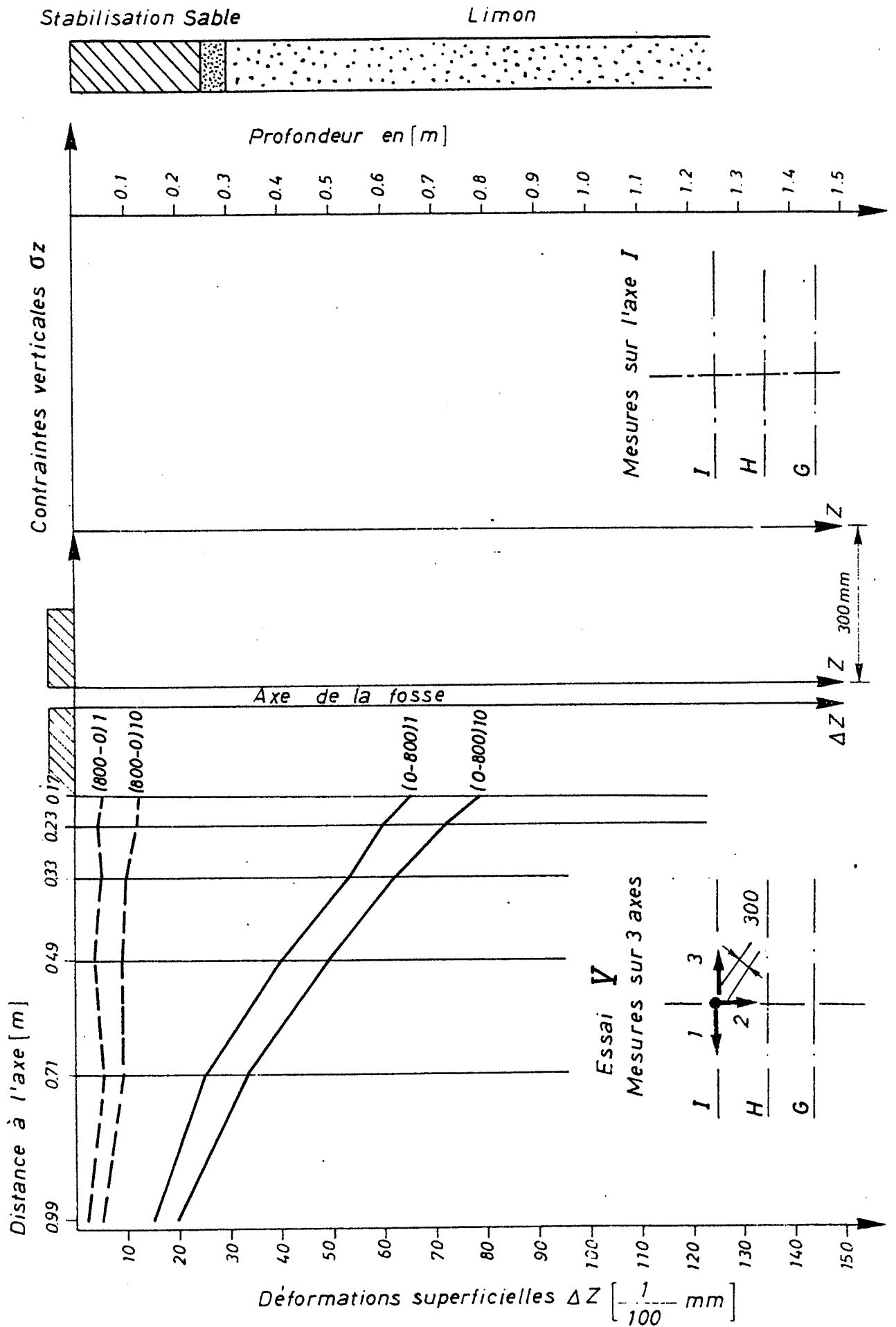
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

REFECTION CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



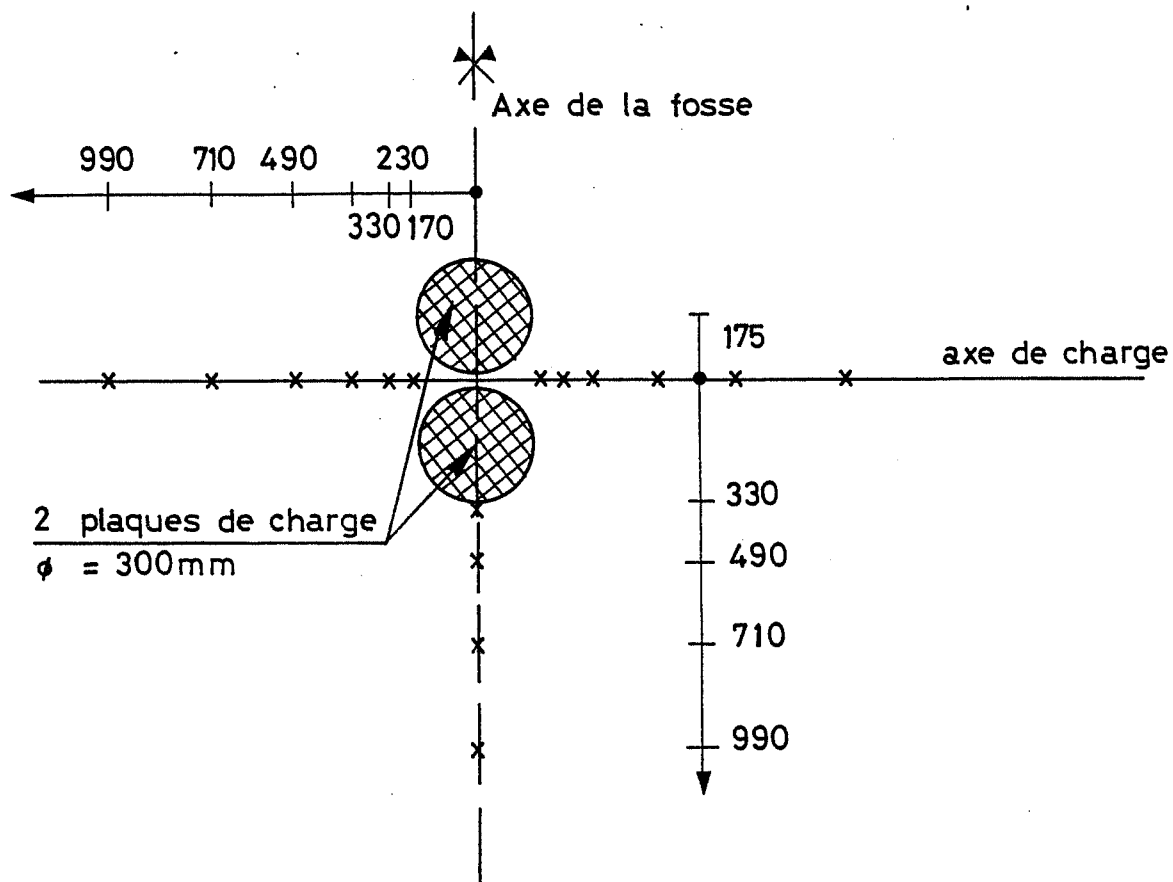
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC LA PLAQUE Ø 30 cm

REFLECTION CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable



ESSAIS DE CHARGE AVEC DEUX PLAQUES DE $\phi = 300$ MM

- Disposition des comparateurs



- Paliers de charge [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]

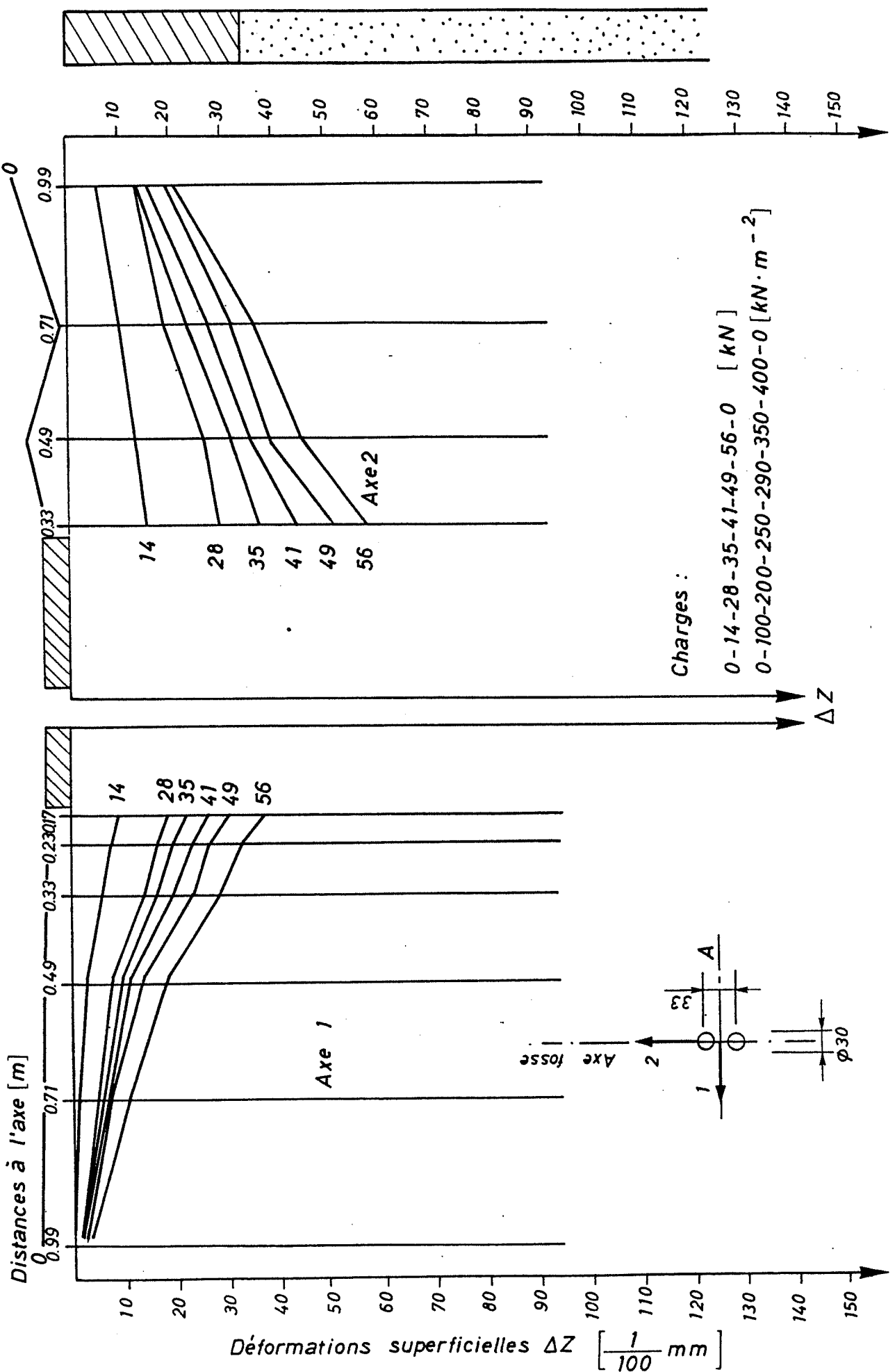
0 - 100 - 200 - 250 - 290 - 350 - 400 - 0

Limons

Stabilisation

ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N°1 - FONDATION DE 35 cm



Charges :
 0-14-28-35-41-49-56-0 [kN]
 0-100-200-250-290-350-400-0 [$kN \cdot m^{-2}$]

Distances à l'axe [m]

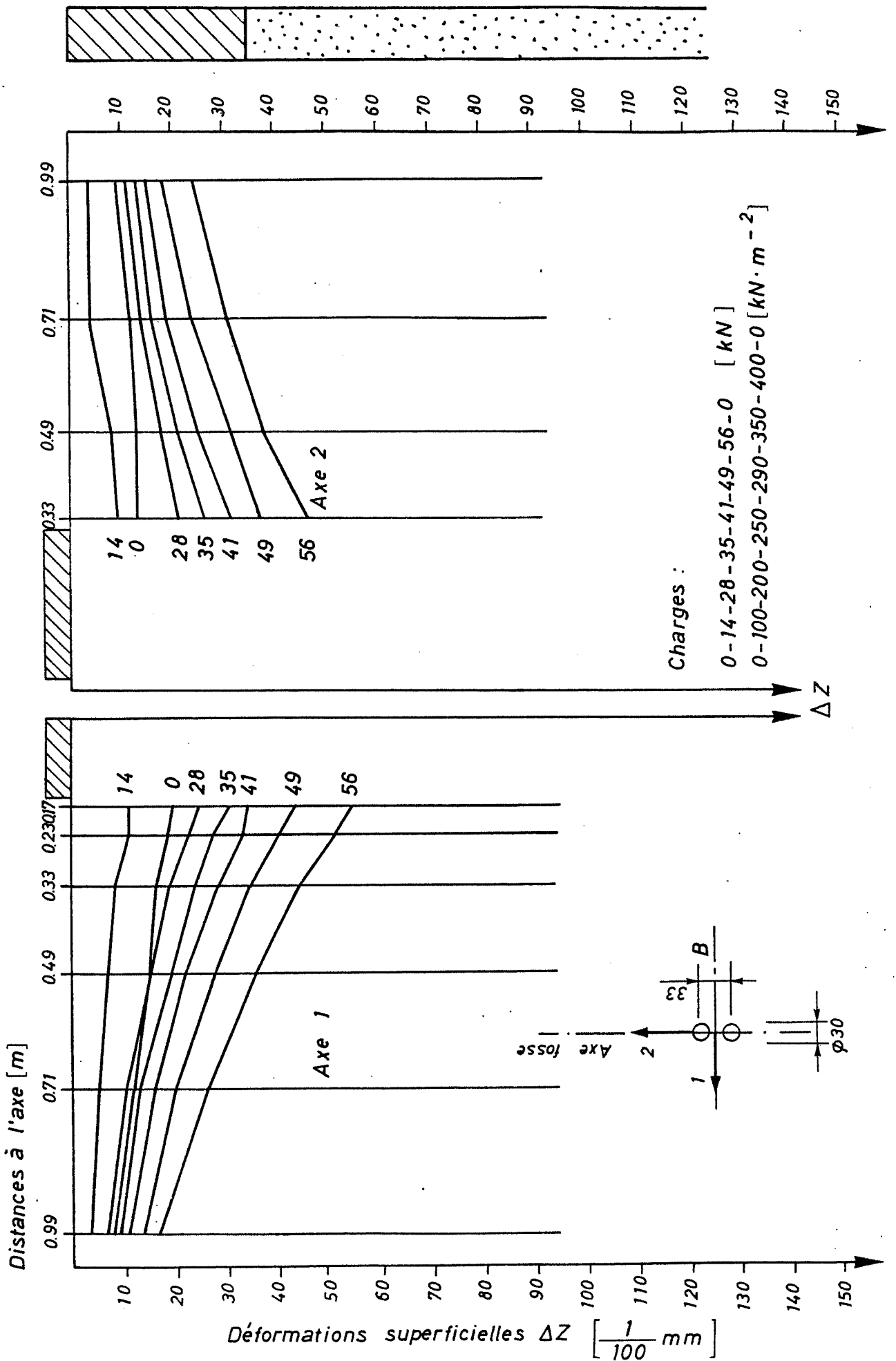
Déformations superficielles ΔZ [$\frac{1}{100}$ mm]

Limon

Stabilisation

ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

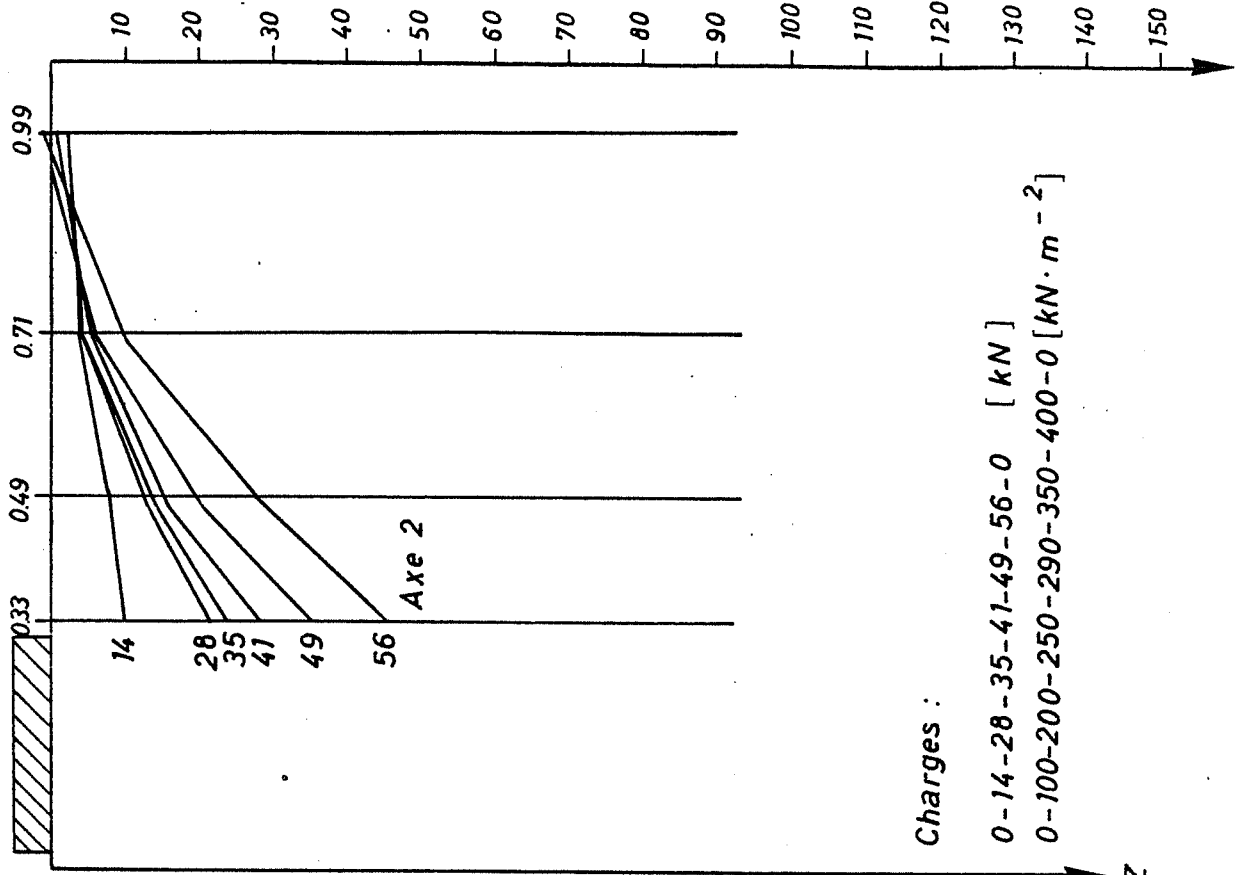
CHAMP N° 1 - FONDATION DE 35 cm



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N° 2 - FONDATION DE 25cm

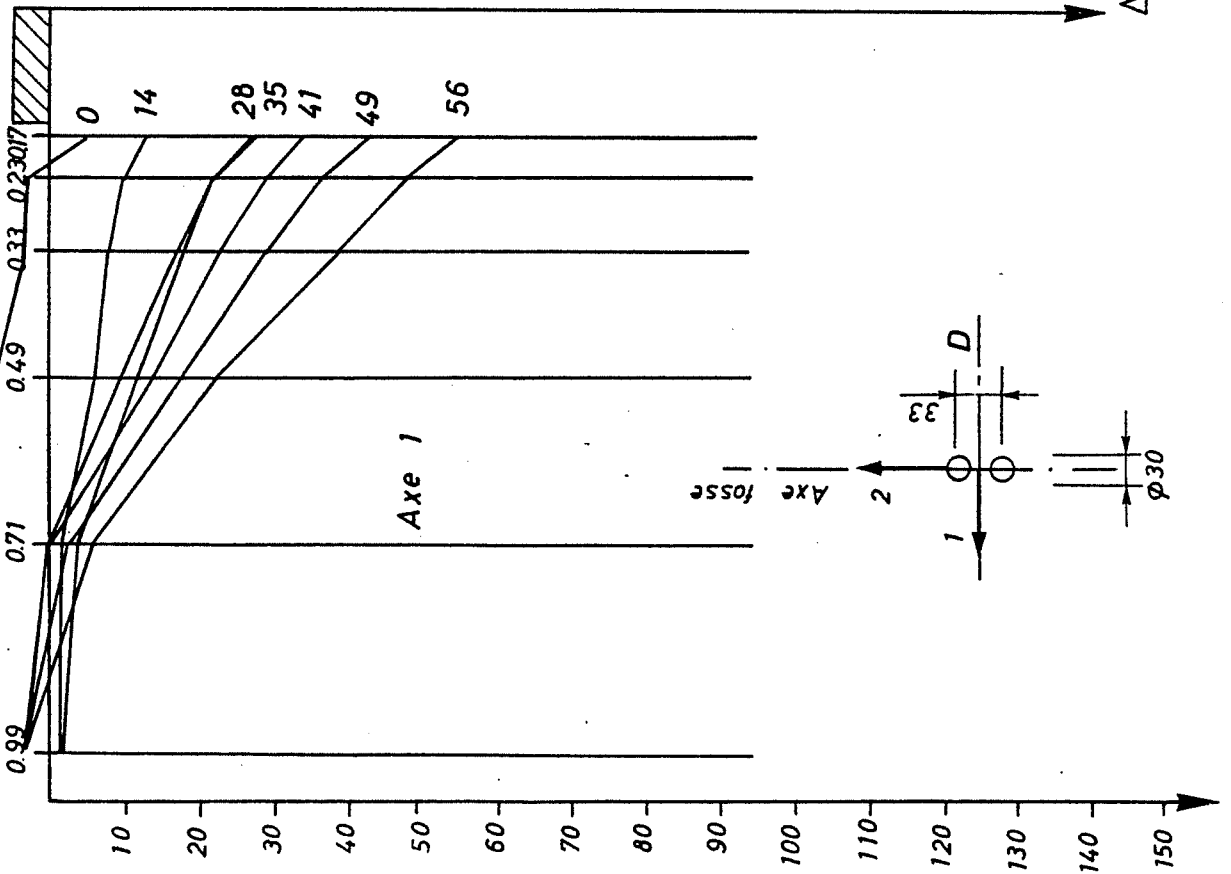
Distances à l'axe [m]



Charges :

0-14-28-35-41-49-56-0 [kN]

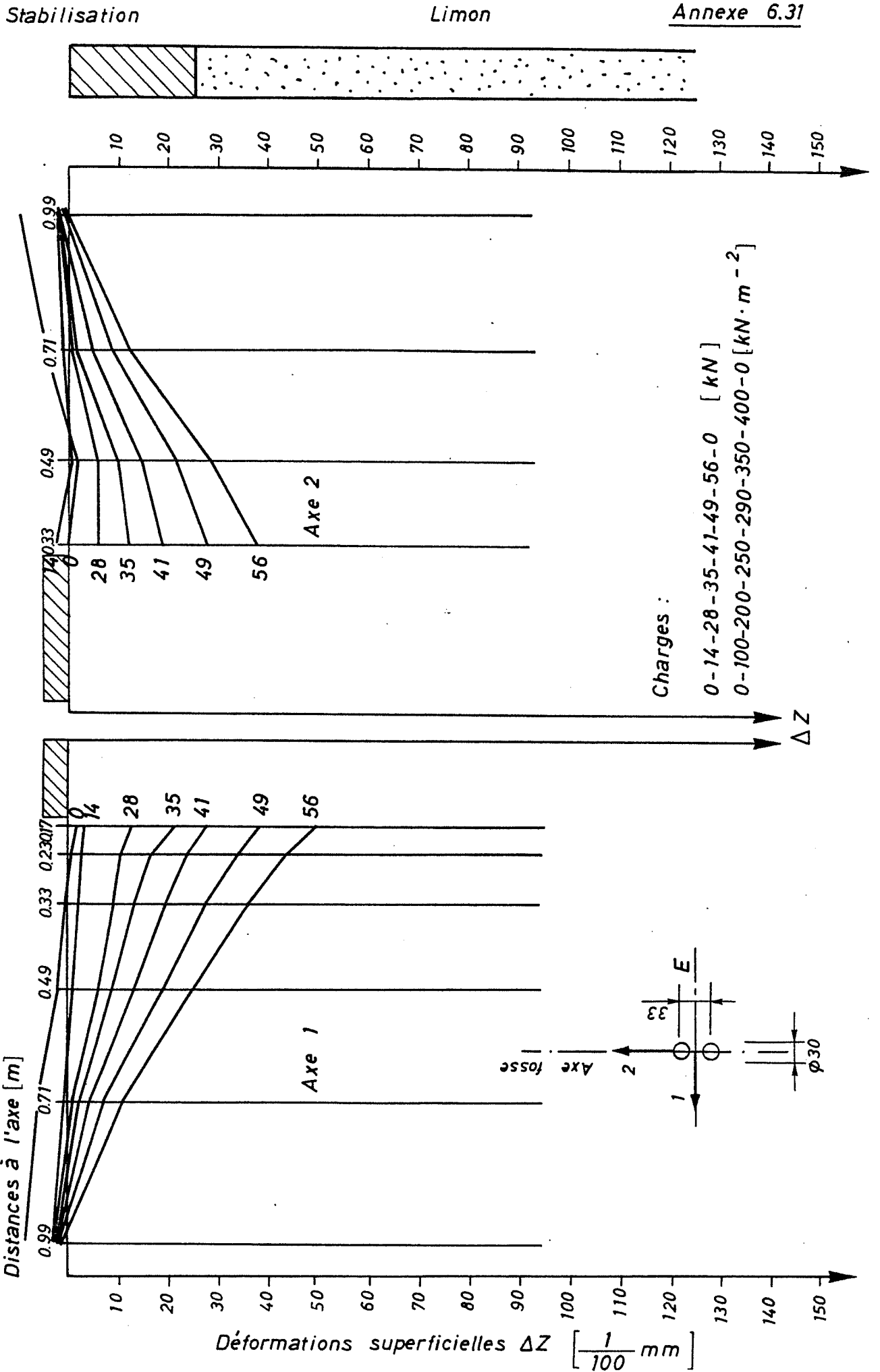
0-100-200-250-290-350-400-0 [kN·m⁻²]



Déformations superficielles ΔZ [$\frac{1}{100}$ mm]

ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N° 2 - FONDATION DE 25 cm



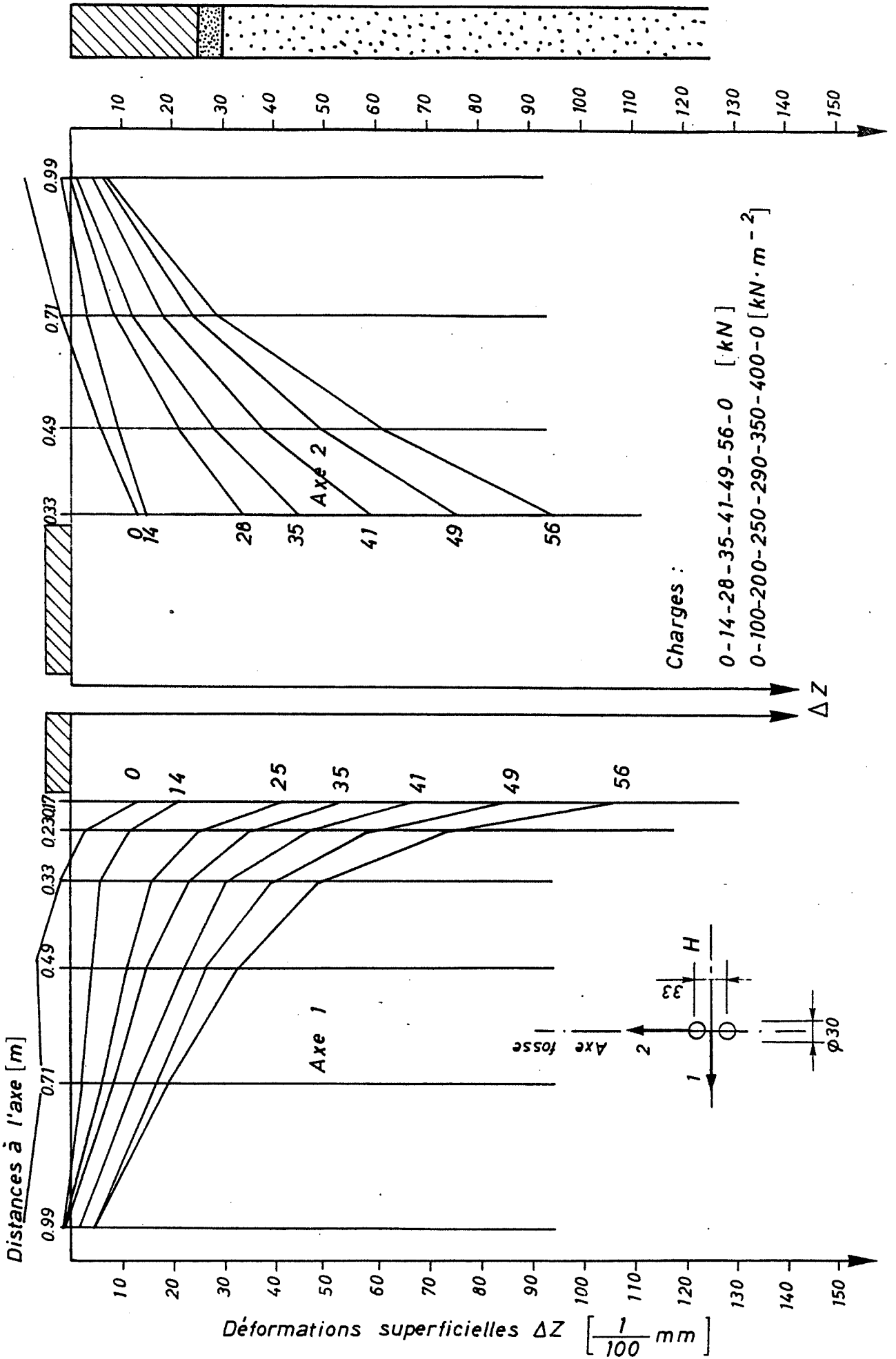
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N°3 - FONDATION DE 25 cm + 5 cm de sable

Stabilisation Sable

Limon

Annexe 6.32



RESUME

L'étude du comportement des superstructures routières dans des conditions climatiques extrêmes, notamment lors du gel et du dégel, est le thème principal de ce mandat. Les essais sur des superstructures stabilisées au ciment, qui ont été réalisés à la "Halle fosses d'Ecublens", sont la suite de ceux effectués sur une chaussée de type conventionnel.

Le présent rapport décrit les installations, les recherches de laboratoire effectuées avant la construction du modèle, ainsi que la construction elle-même et les appareils mis en place. Il donne les résultats bruts des essais de charge effectués sans cycle thermique, directement sur la couche stabilisée, et des essais de perte de portance au dégel. Les valeurs des déformations, températures, teneurs en eau, densités et succions, relevées lors des deux cycles thermiques pendant lesquels une charge répétée était appliquée sur la chaussée, sont reportées sur des graphiques.

La synthèse et l'interprétation de ces résultats fera l'objet d'un rapport ultérieur.

ZUSAMMENFASSUNG

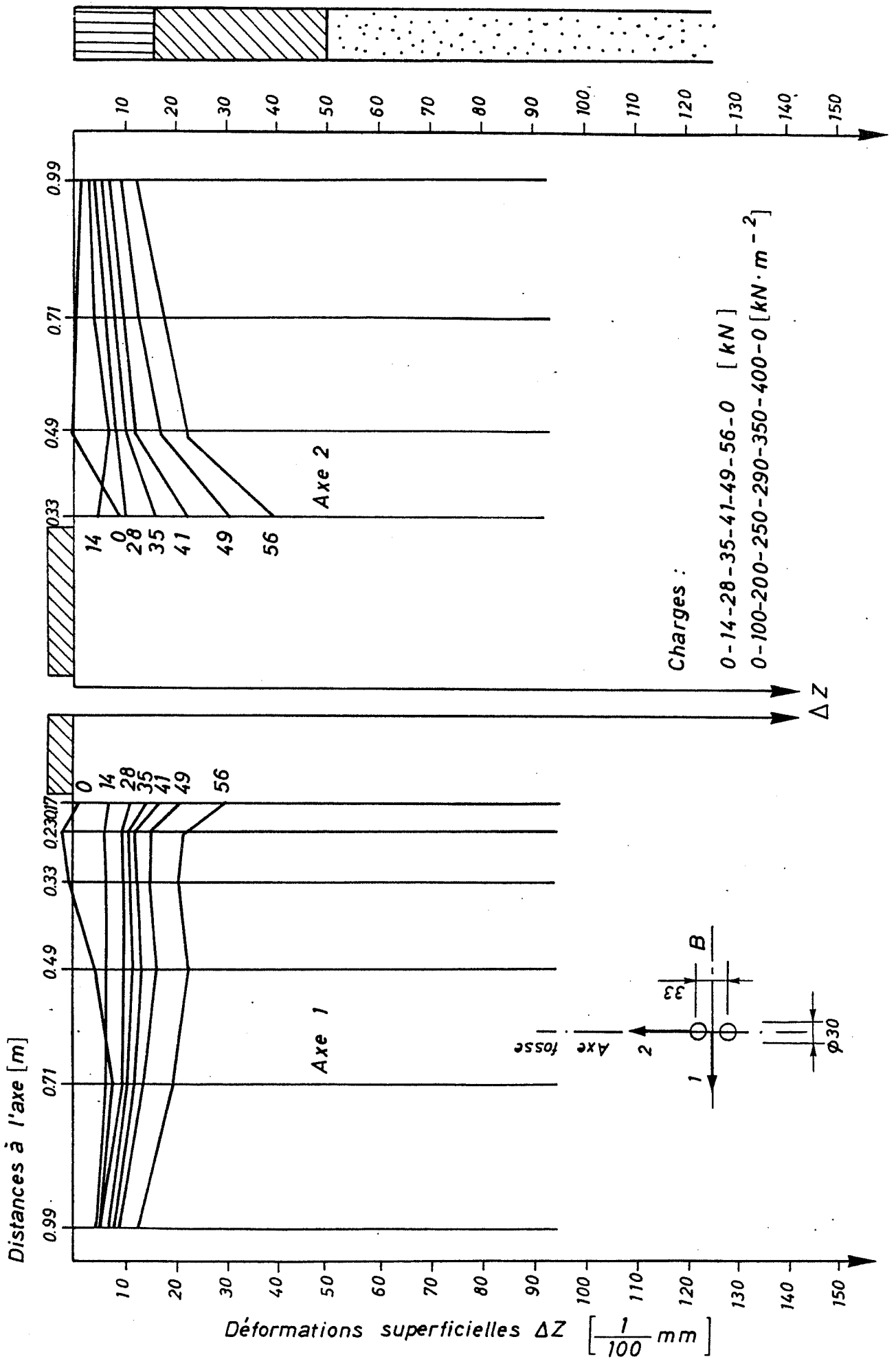
Das Hauptthema dieses Forschungsauftrags ist die Untersuchung des Tragverhaltens von Strassenoberbauten unter extremen klimatischen Bedingungen, insbesondere während der Frost- und Auftauphasen. Im Anschluss an Versuche auf herkömmlichen Strassenarten wurde nun in der Grubenhalle der ETH-Lausanne das Verhalten von zement-stabilisierten Oberbauten untersucht.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Versuchseinrichtungen, die vor dem Modellaufbau durchgeführten Laboruntersuchungen, das Modell selbst sowie die eingebauten Messgeräte. Er enthält die noch nicht ausgewerteten Ergebnisse der Traglastversuche ohne thermischen Zyklus, direkt auf der stabilisierten Schicht, sowie die Versuchsergebnisse der Tragfähigkeitsminderung infolge Auftauen. Graphisch dargestellt sind die Werte der Verformungen, der Temperaturen, der Wassergehalte, der Dichte und des Saugvermögens, welche während der Frost- und Auftauzyklen und bei wiederholter Belastung aufgezeichnet wurden.

Die Endergebnisse und deren Interpretation werden in einem späteren Bericht veröffentlicht.

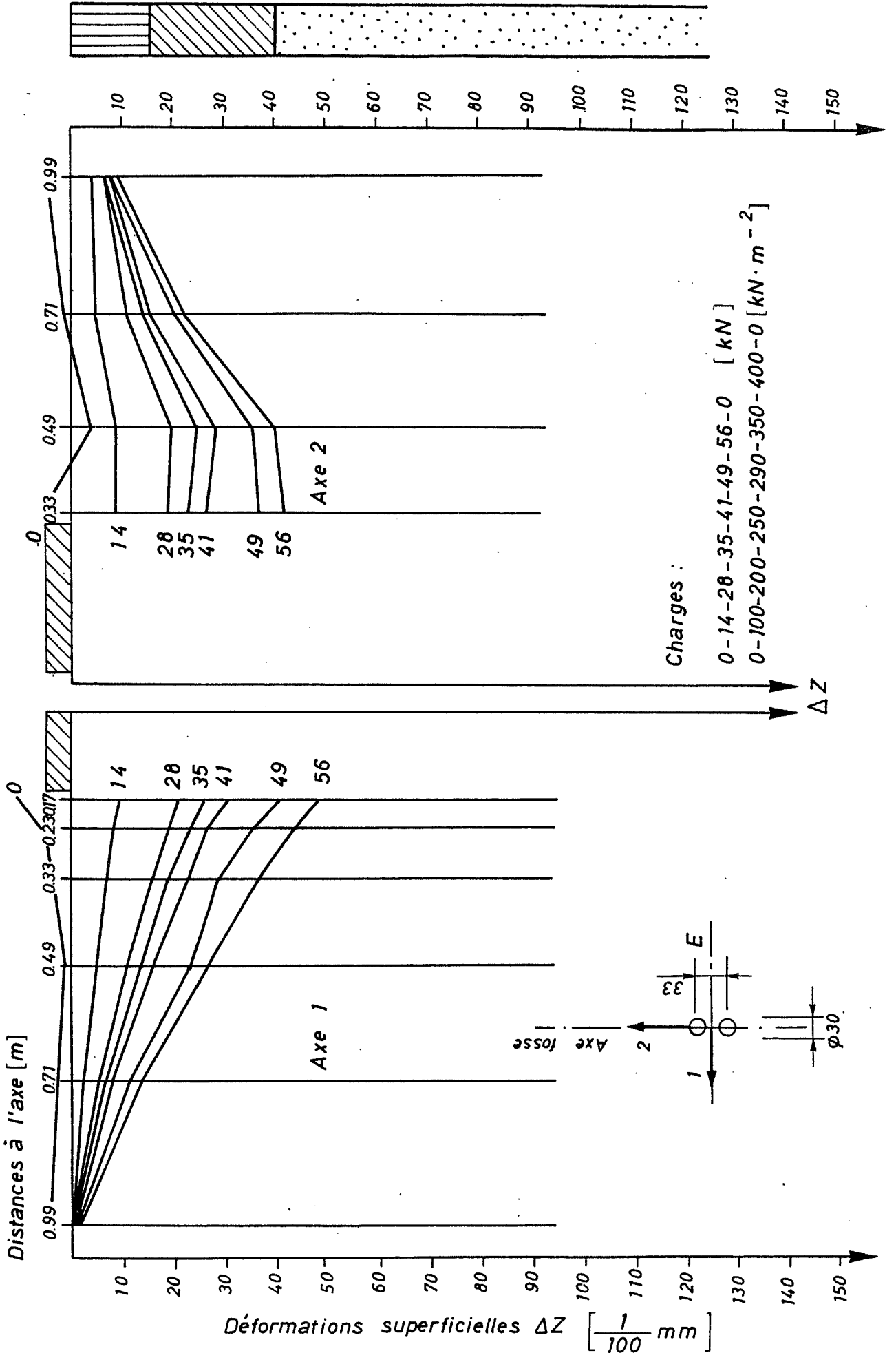
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N° 1 - FONDATION DE 35 cm



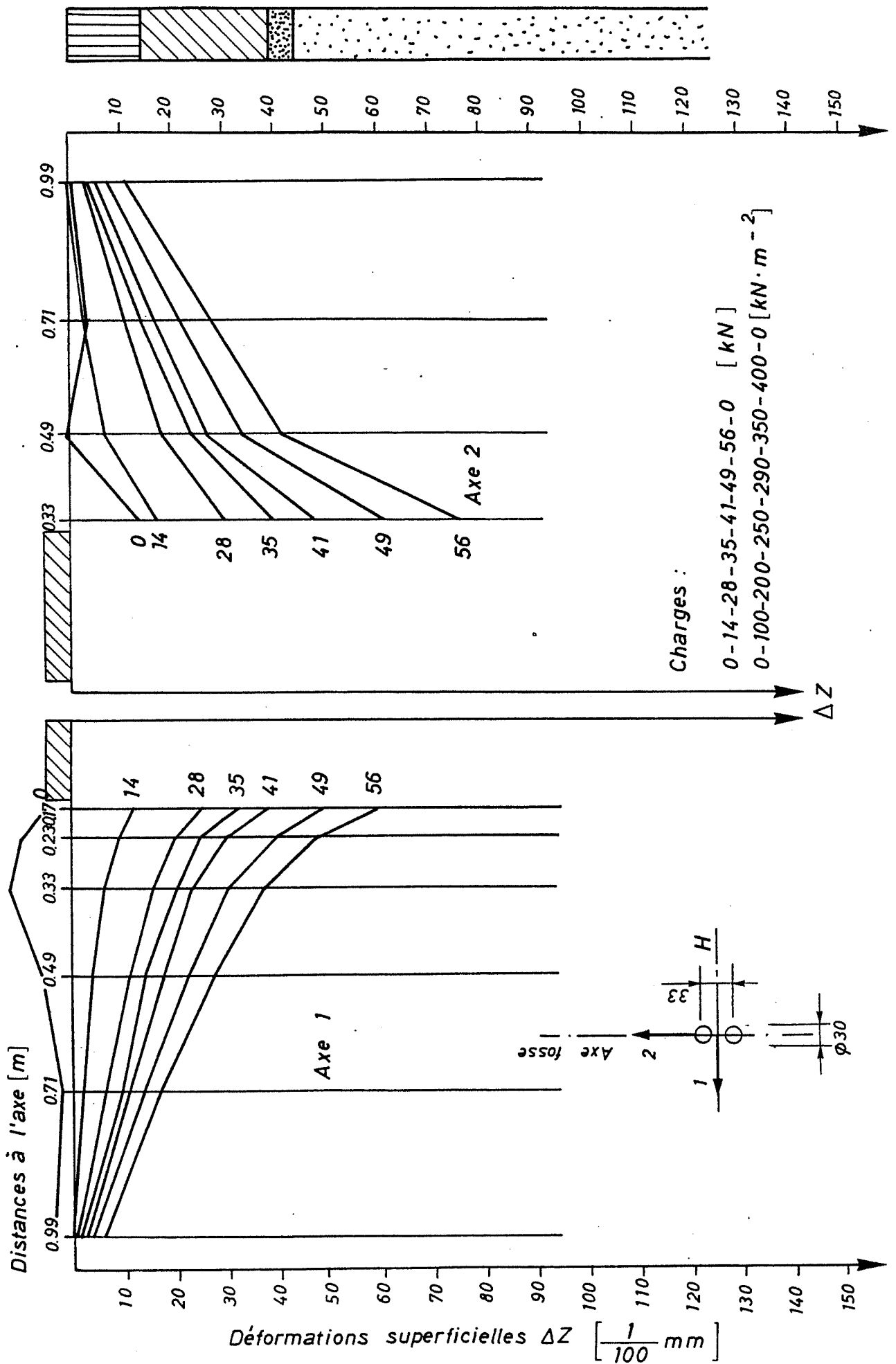
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N°2 - FONDATION DE 25 cm



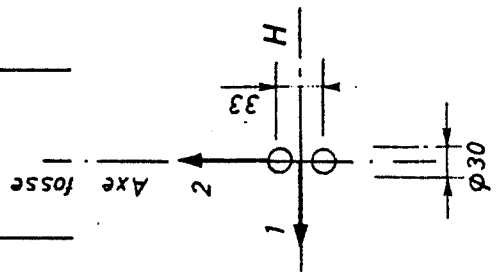
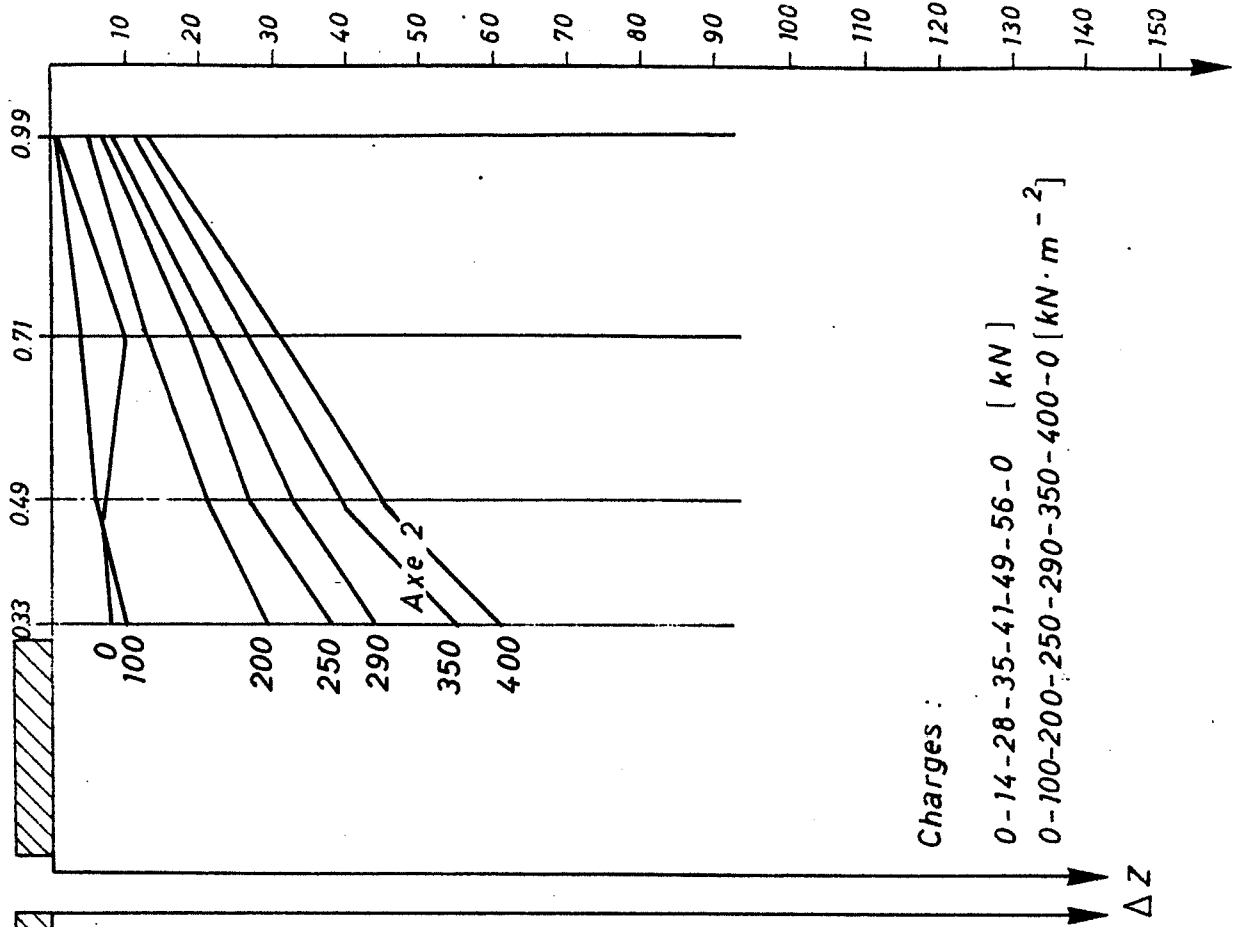
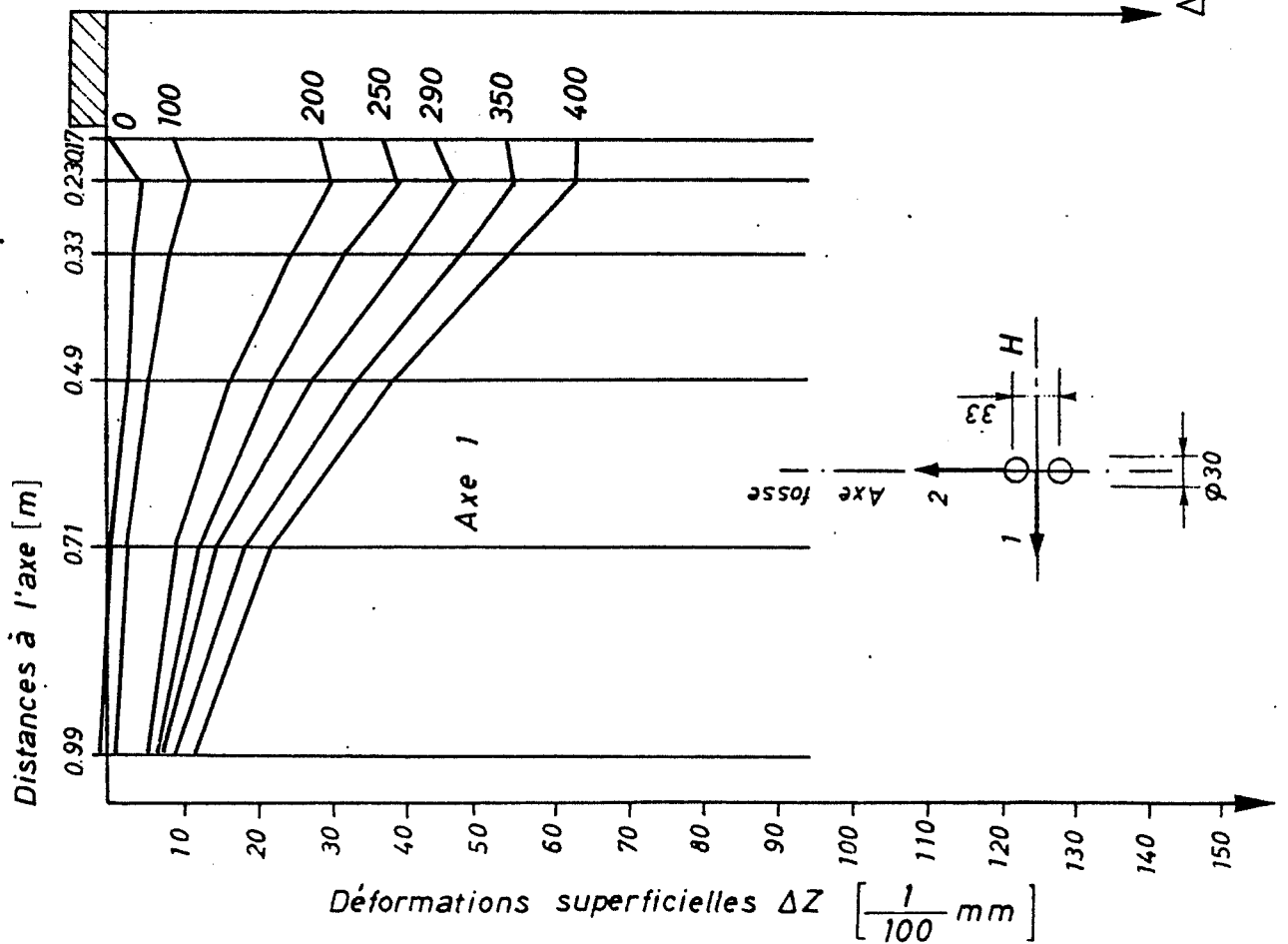
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

CHAMP N°3 - FONDATION DE 25cm + 5 cm de sable



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Réfection Champ 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



Revêtement Stabilisation Sable

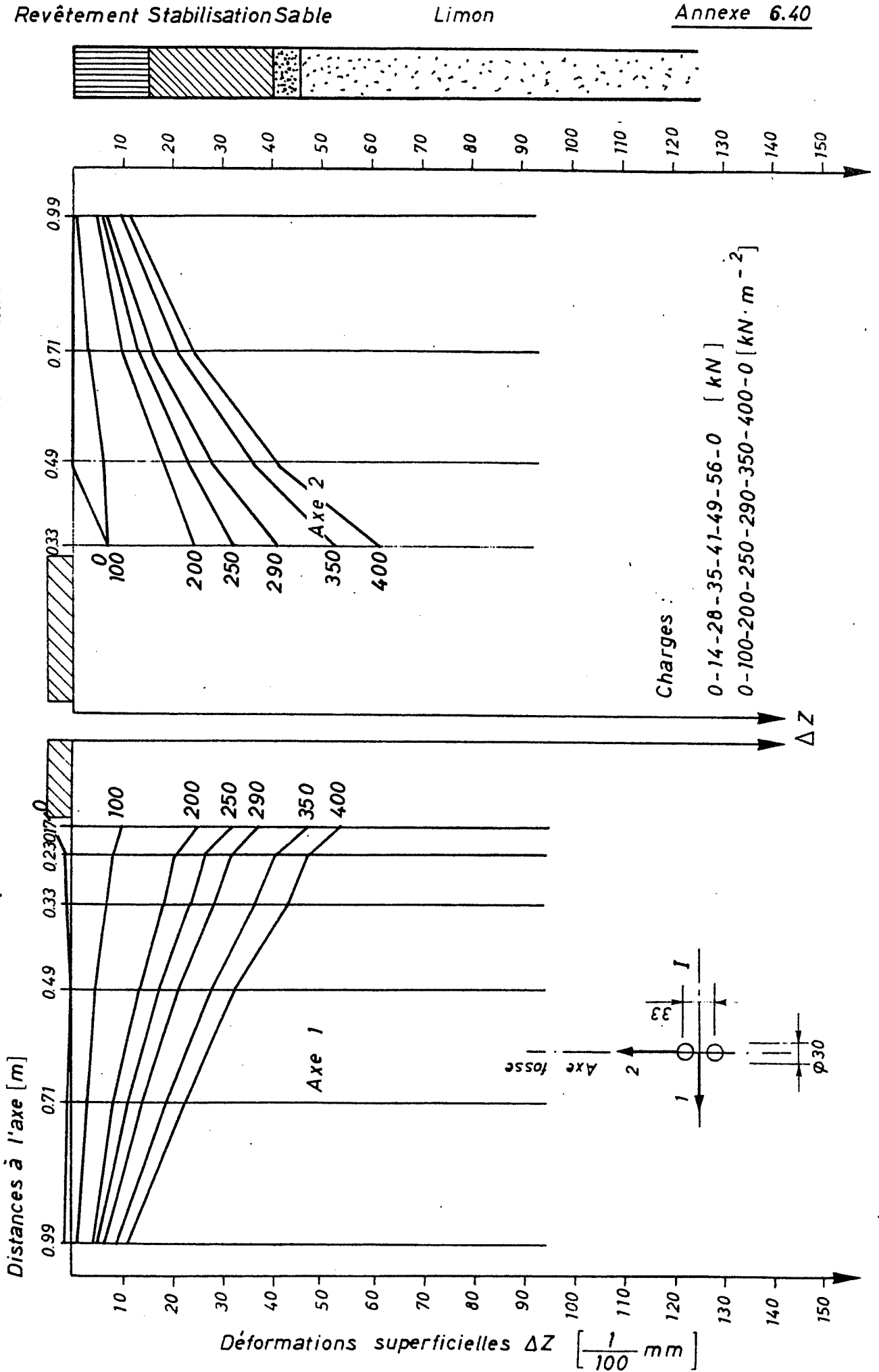
Limon

Annexe 6.39



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Reféction Champ 3 - Fondation de 25 cm + 5 cm de sable



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

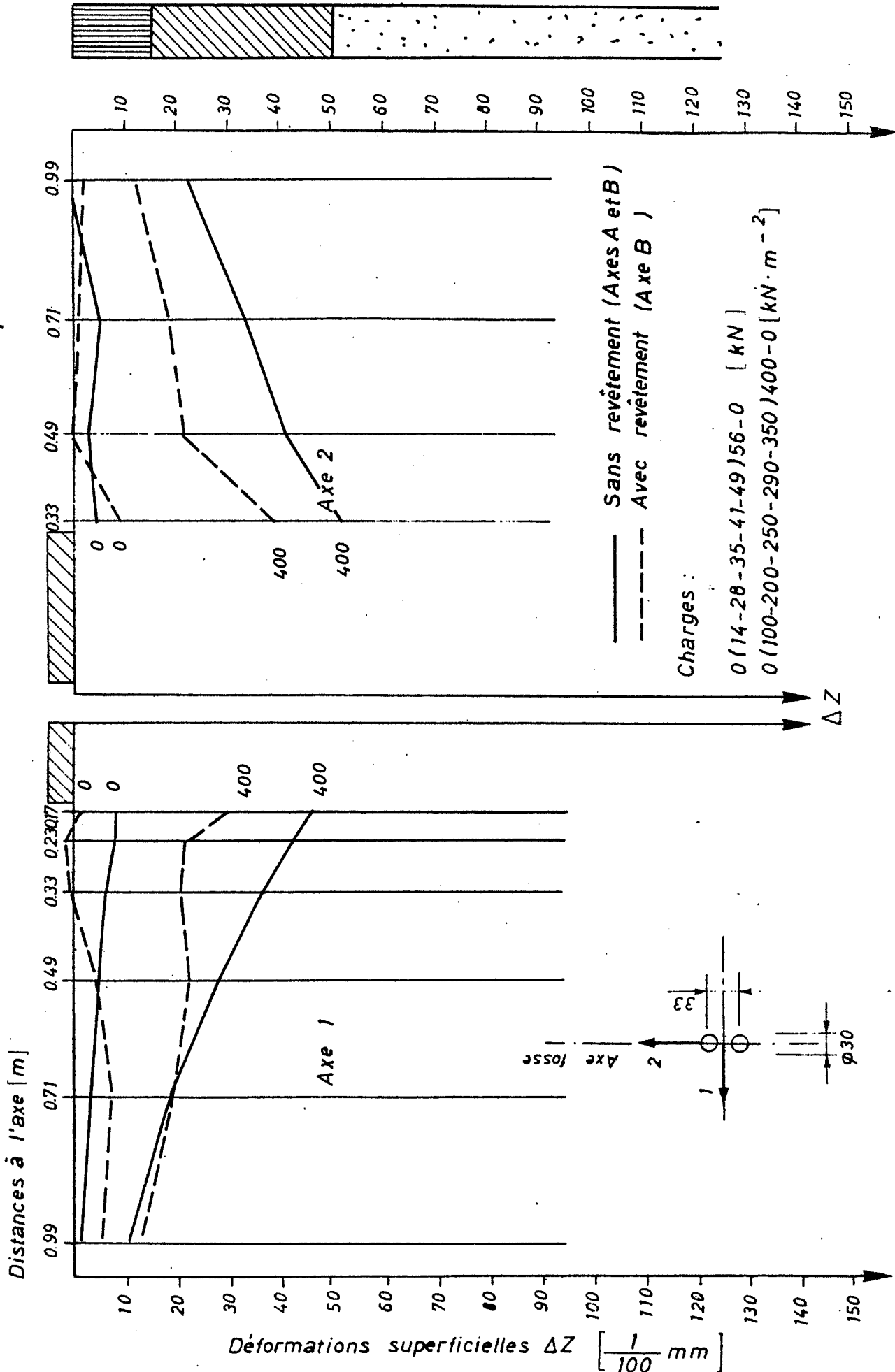
(Revêtement) Stabilisation

Limon

Annexe 6.41

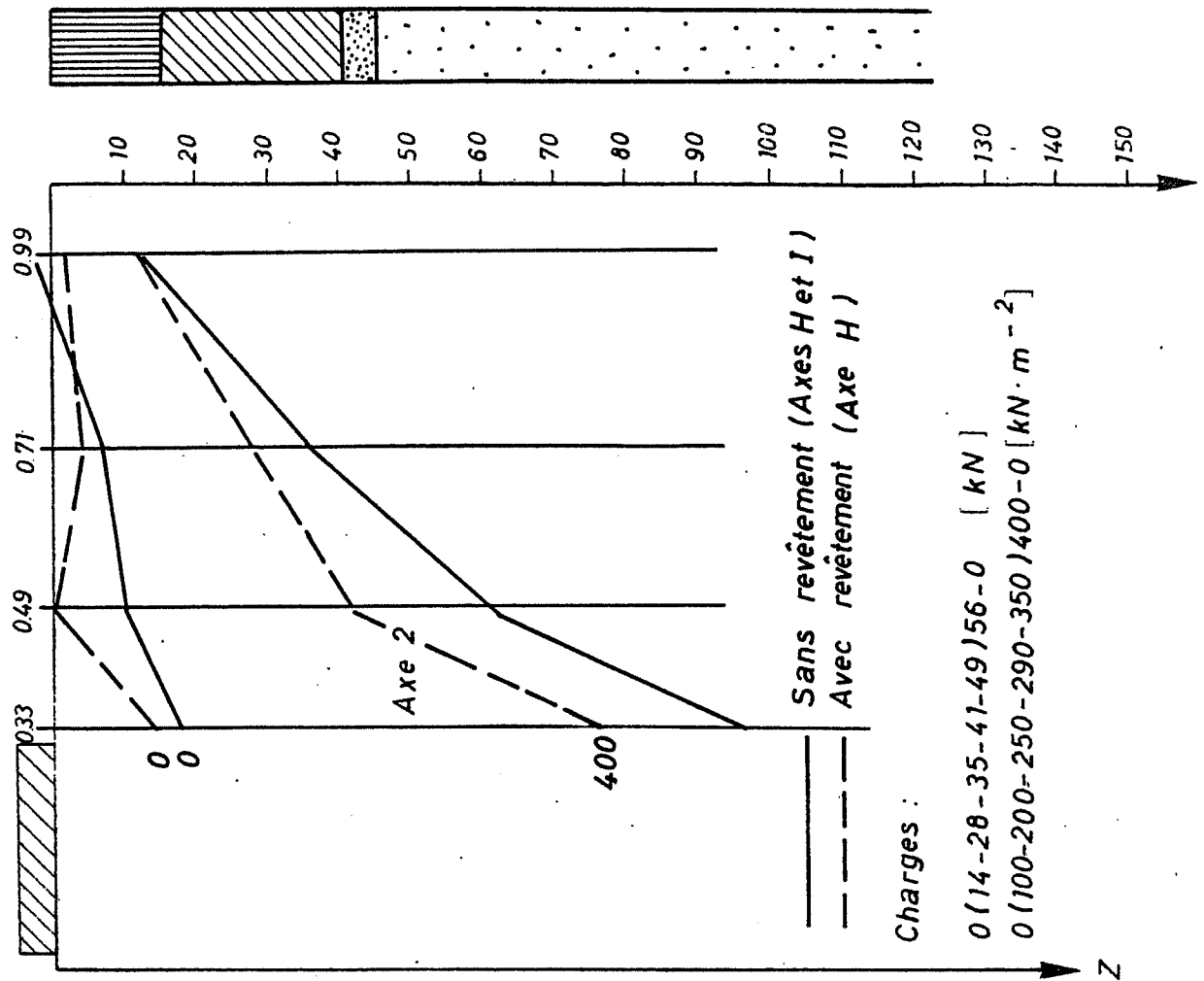
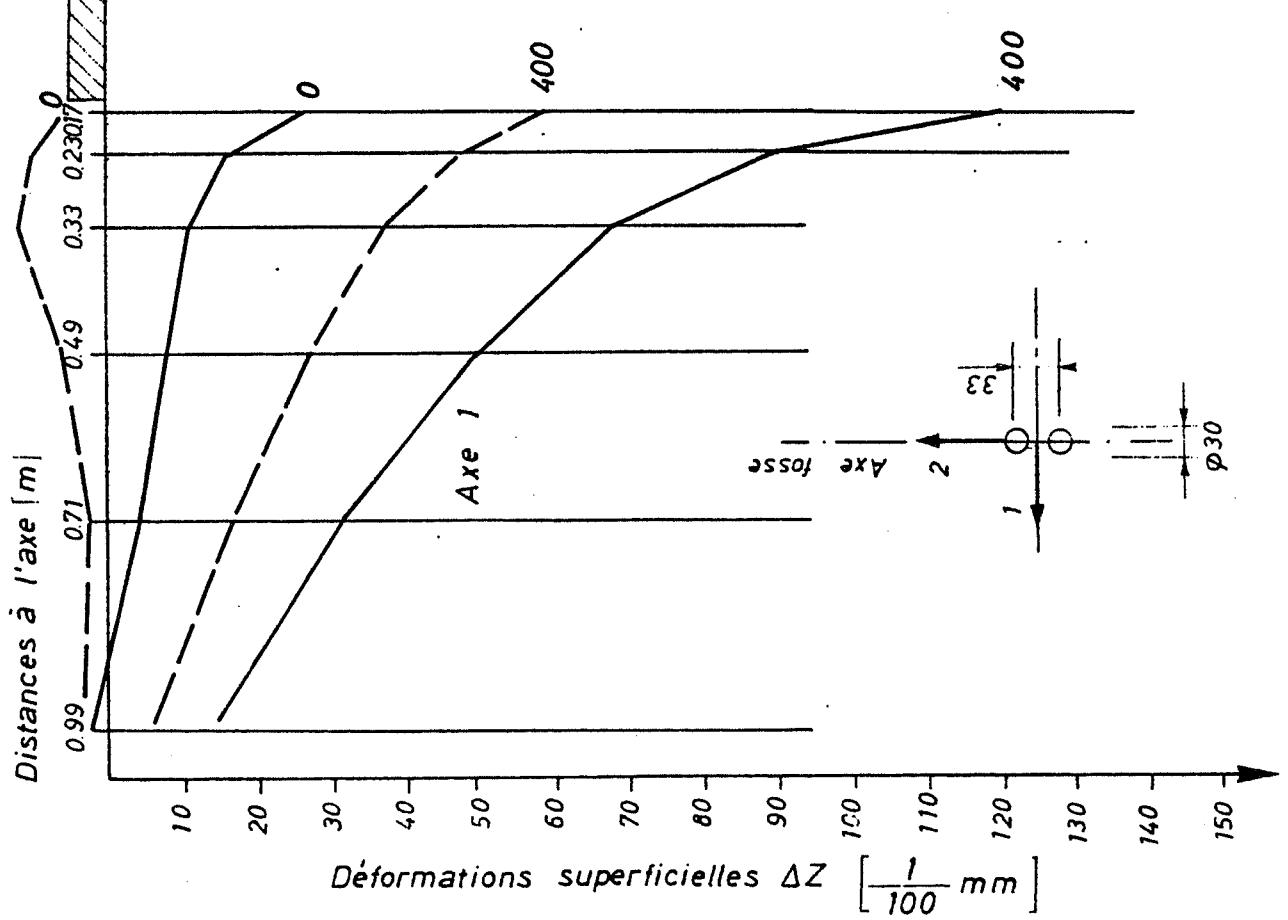
Champ 1

Influence du revêtement



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Champ 3



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

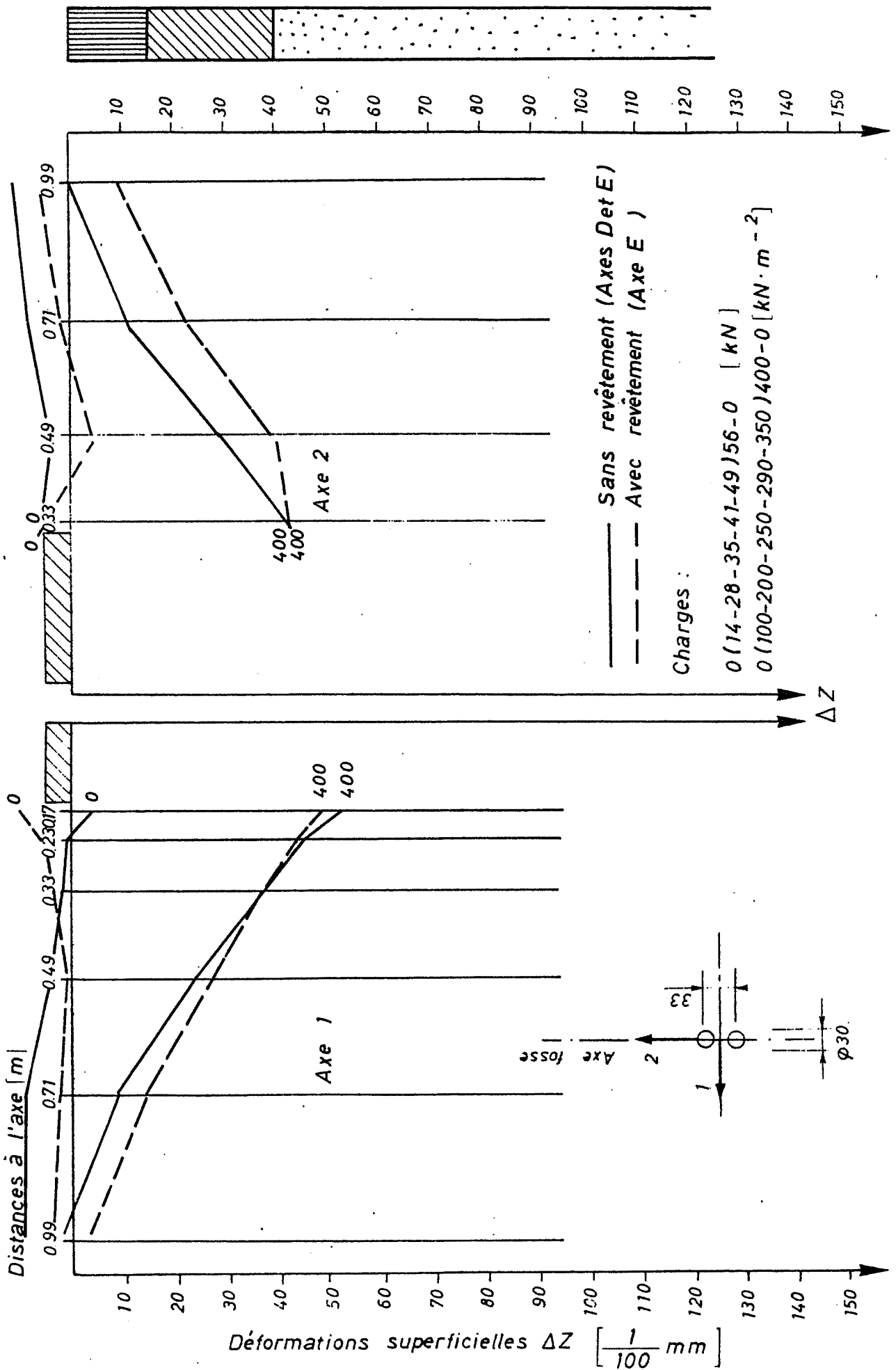
(Revêtement) Stabilisation

Limon

Annexe 6.42

Champ 2

Influence du revêtement



(Revêtement) Stabilisation

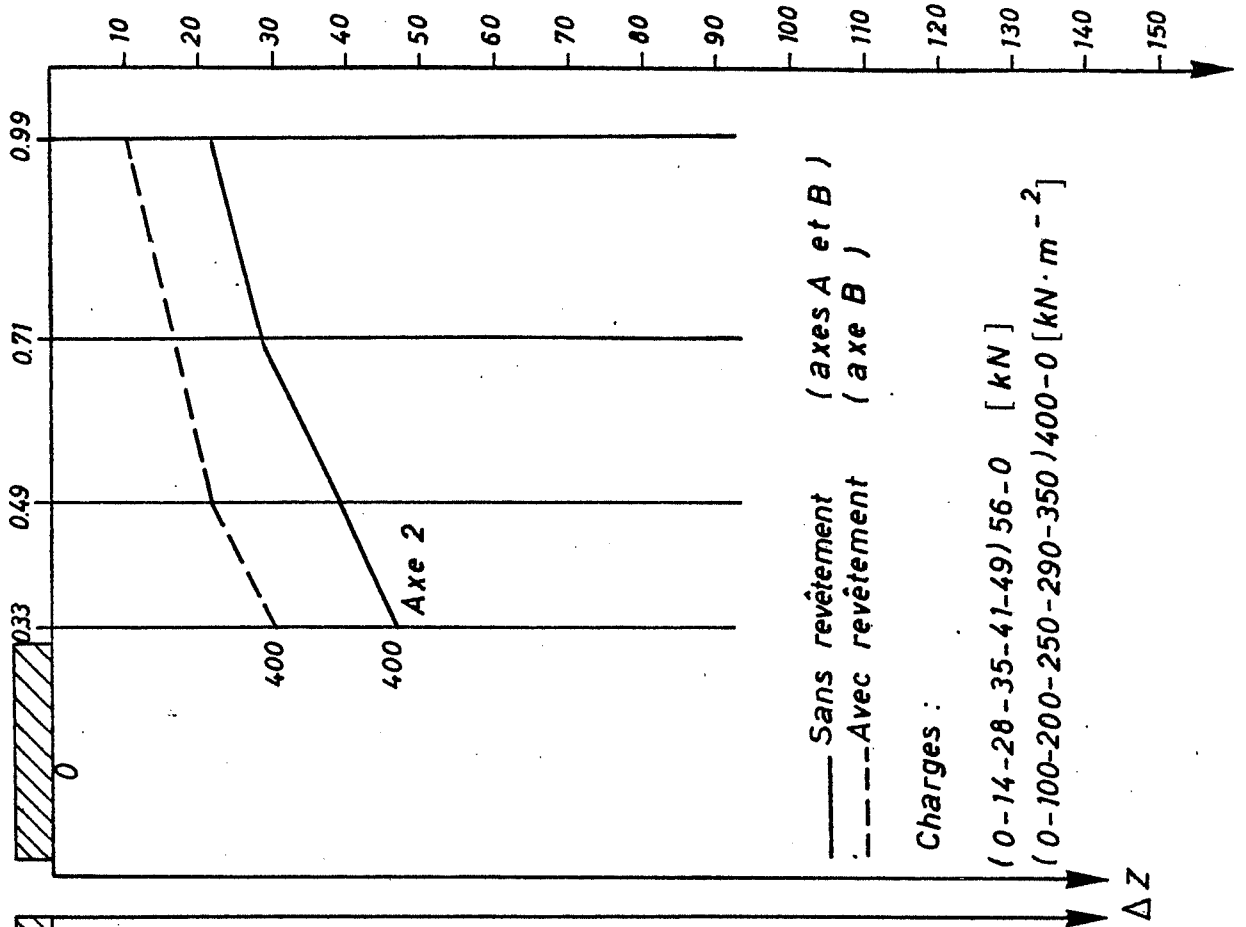
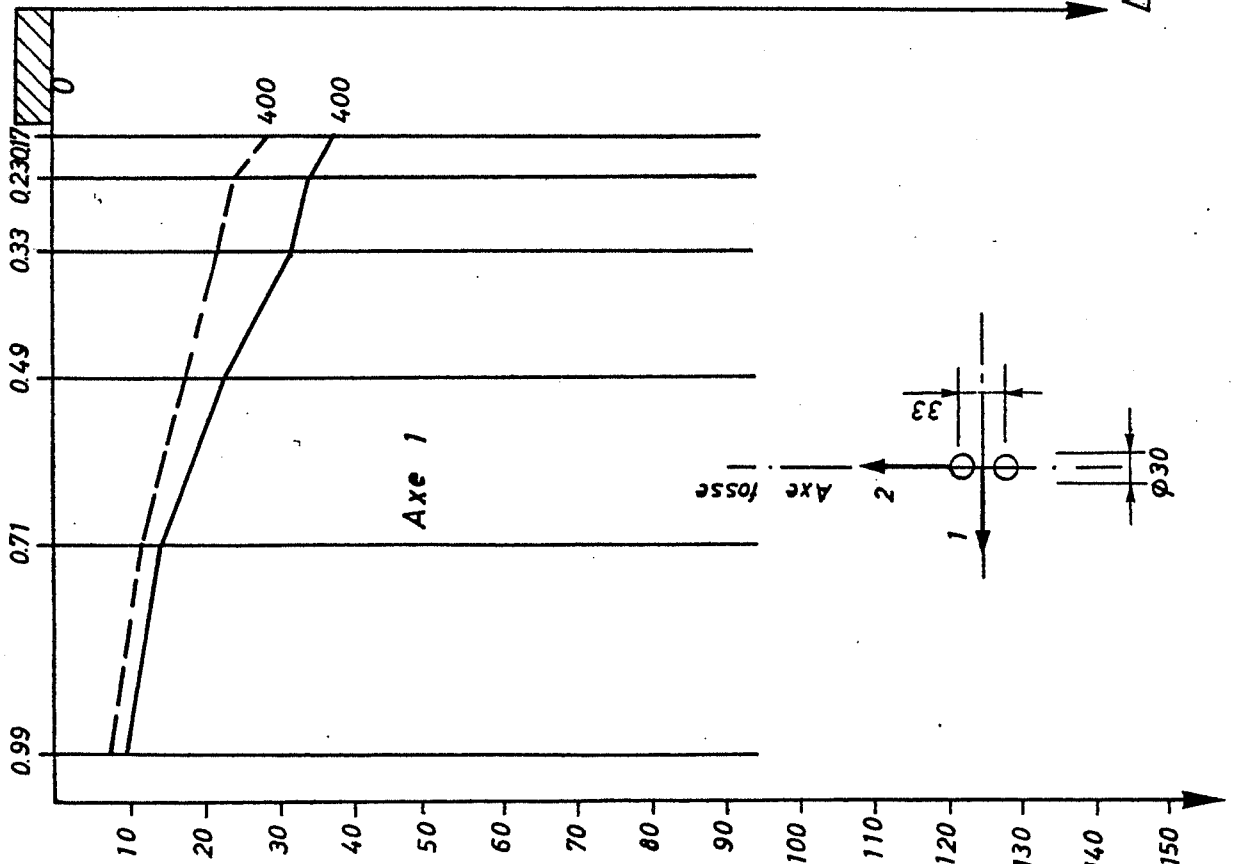
Limon

ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Champ 1 (décharge)

Influence du revêtement

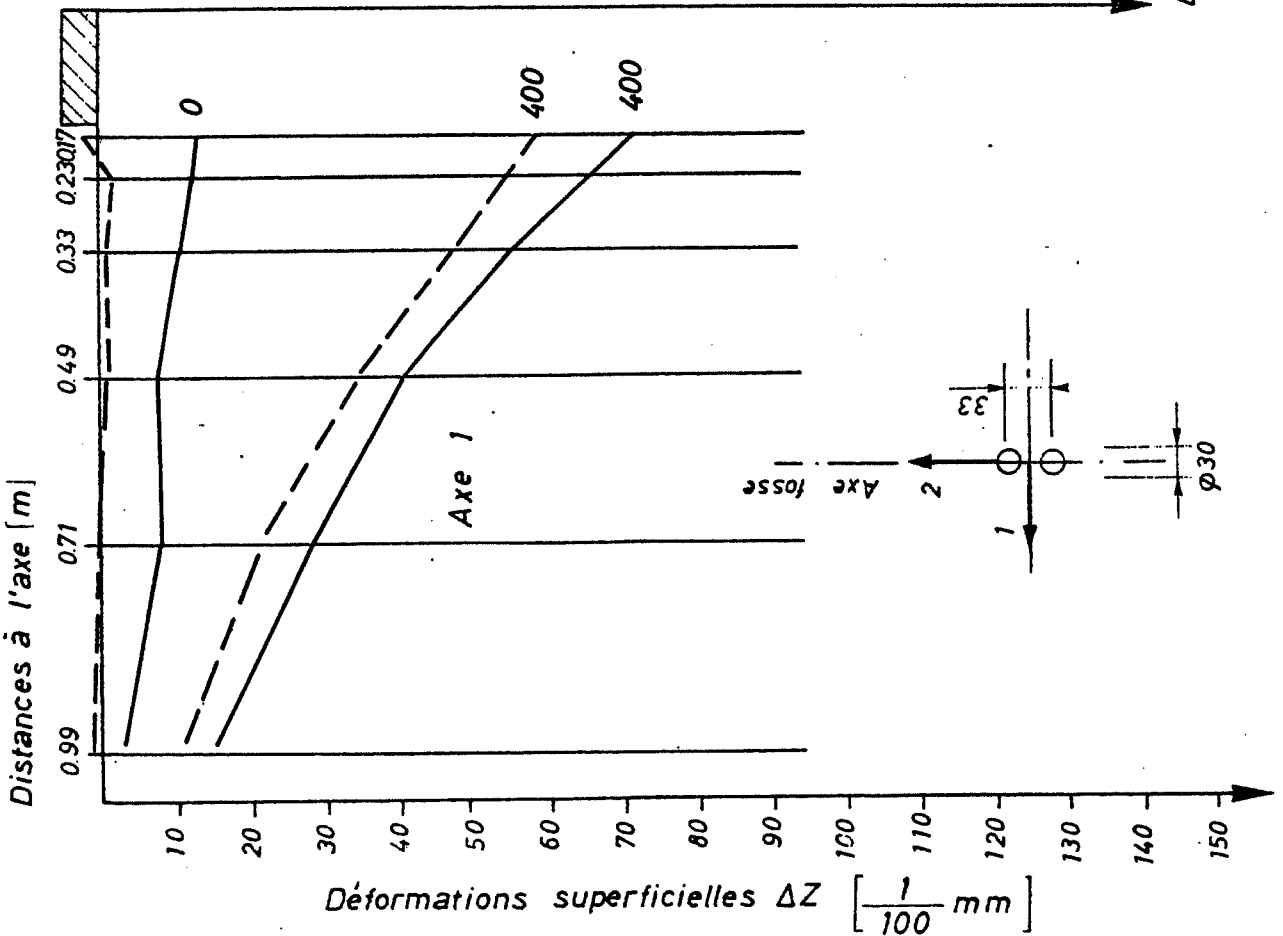
Distances à l'axe [m]



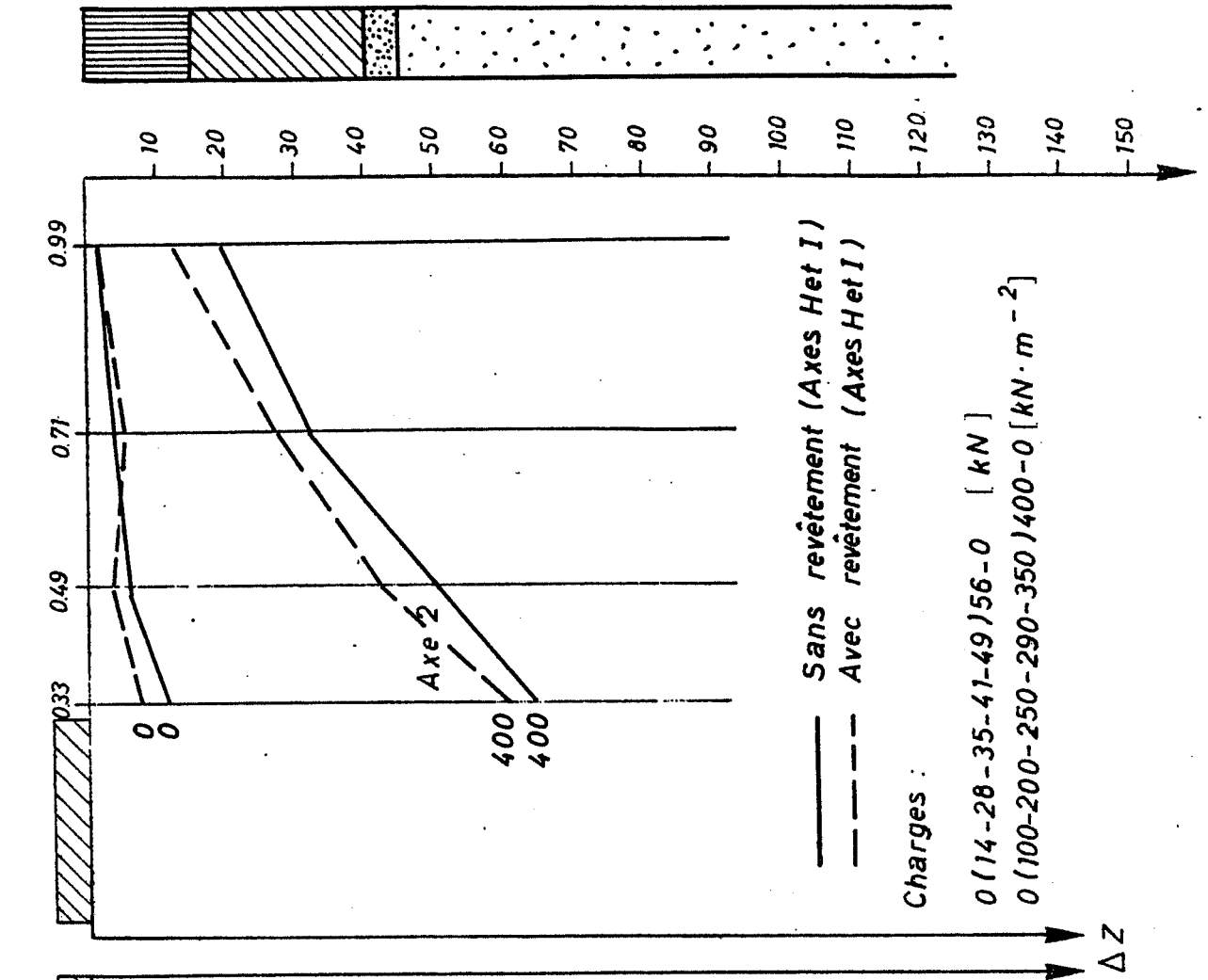
Déformations superficielles ΔZ [$\frac{1}{100}$ mm]

ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Influence du revêtement



Réfection Champ 3

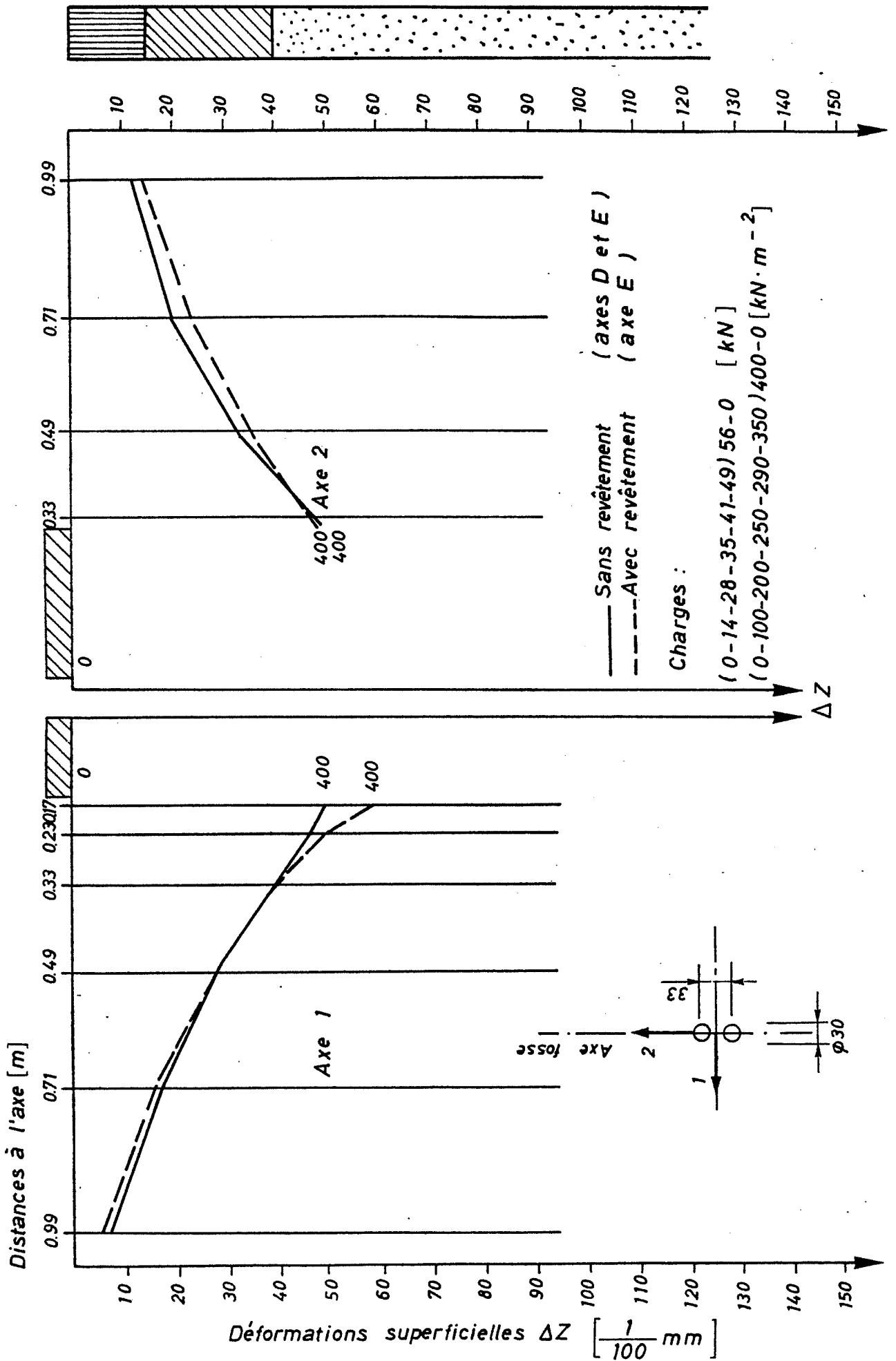


(Revêtement) Stabilisation

Limon

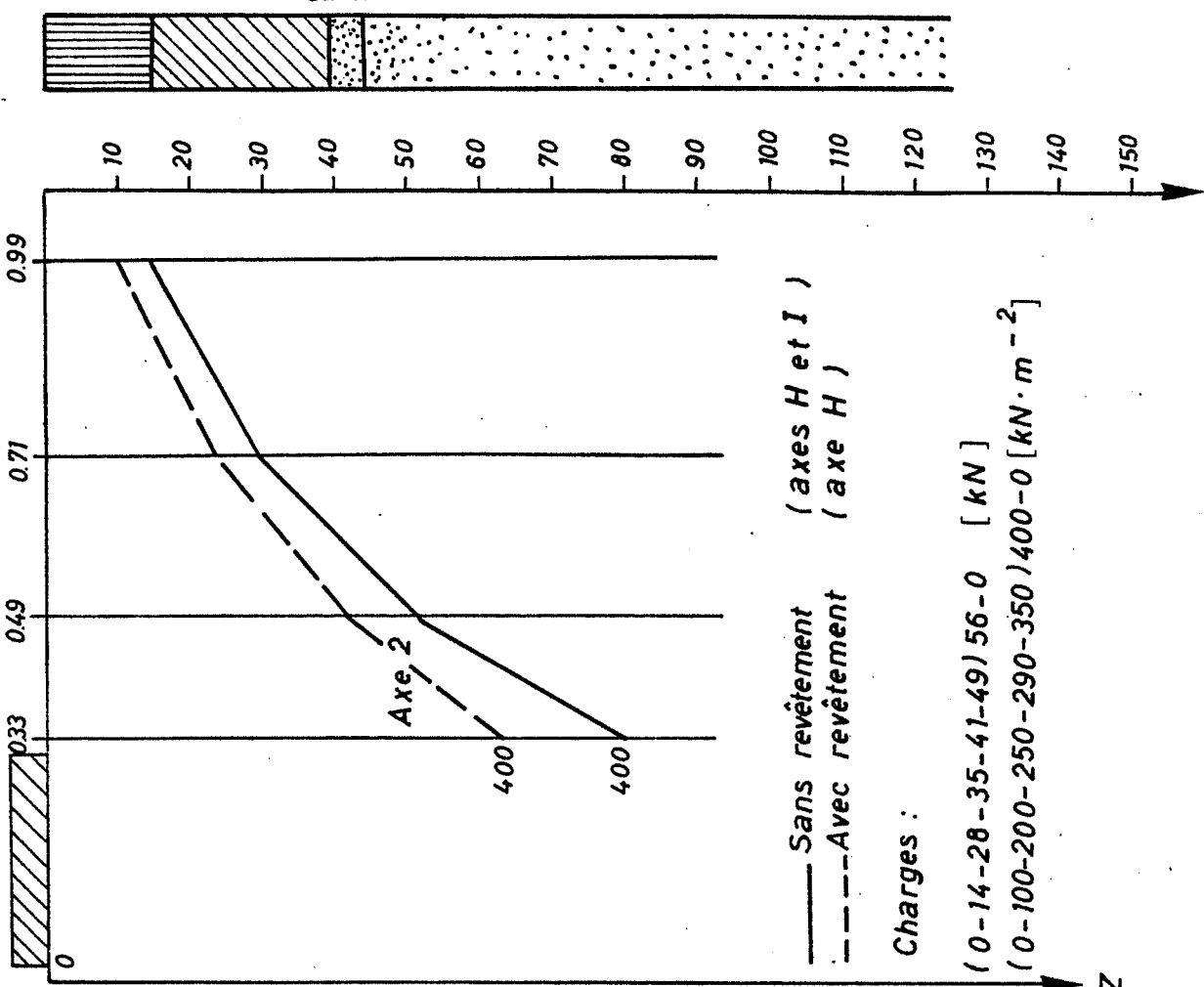
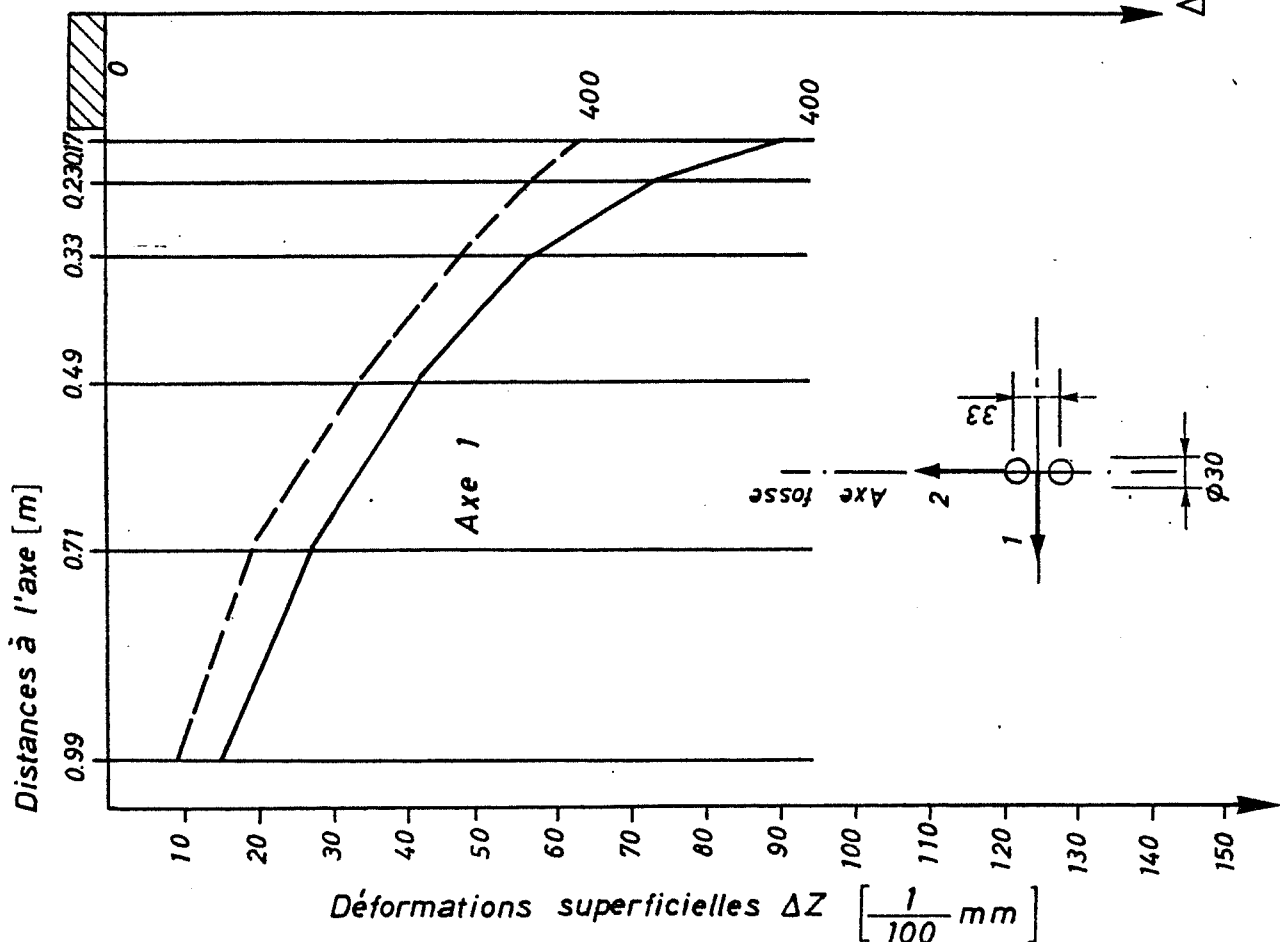
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Champ 2 (décharge)



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

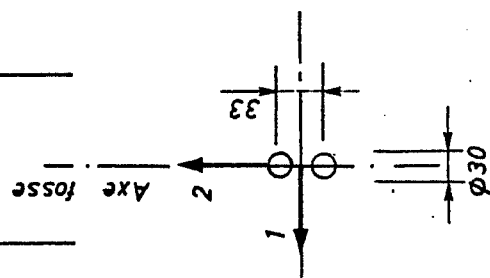
Champ 3 (décharge)



(Revêtement) Stabilisation

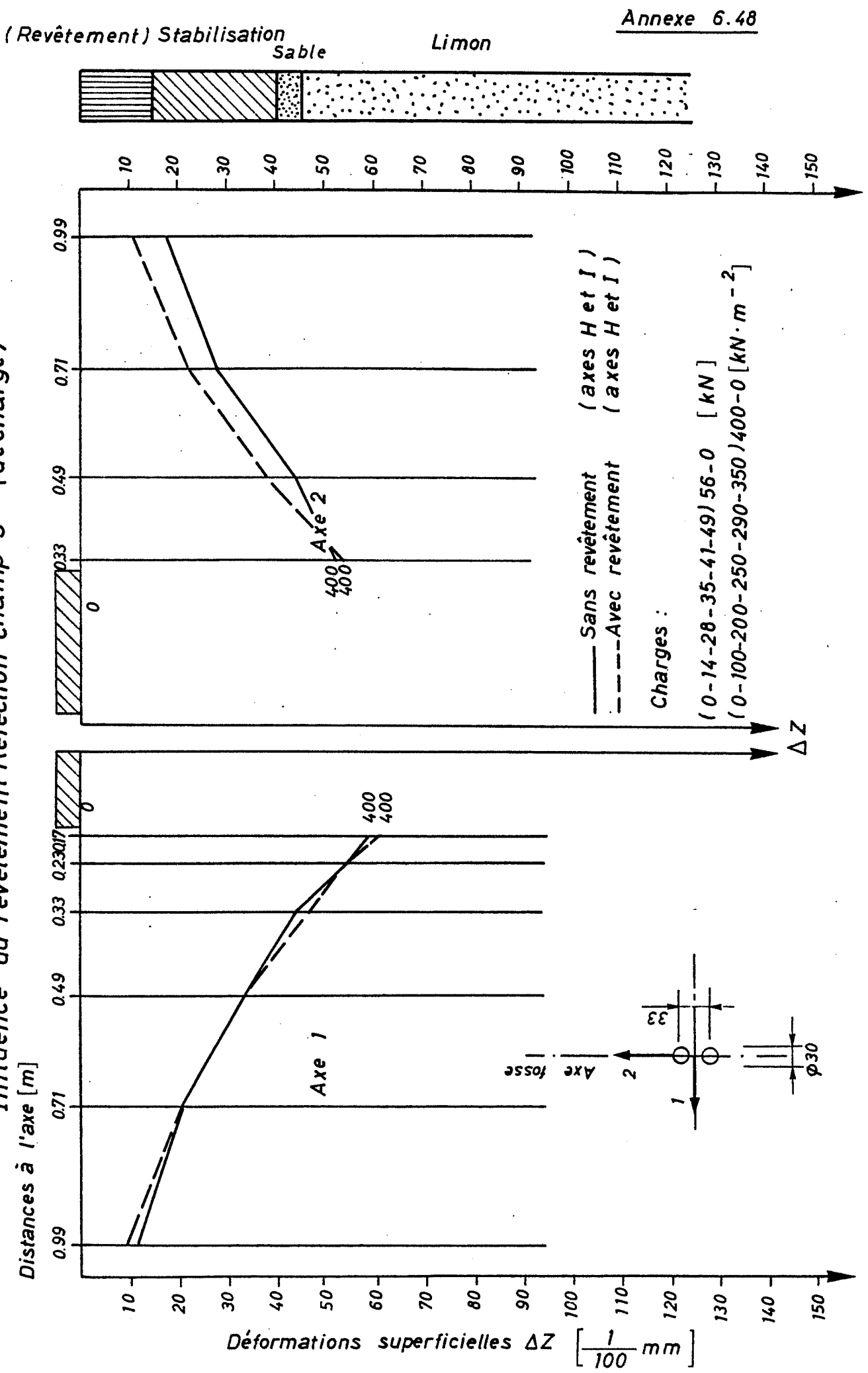
Sable

Limon



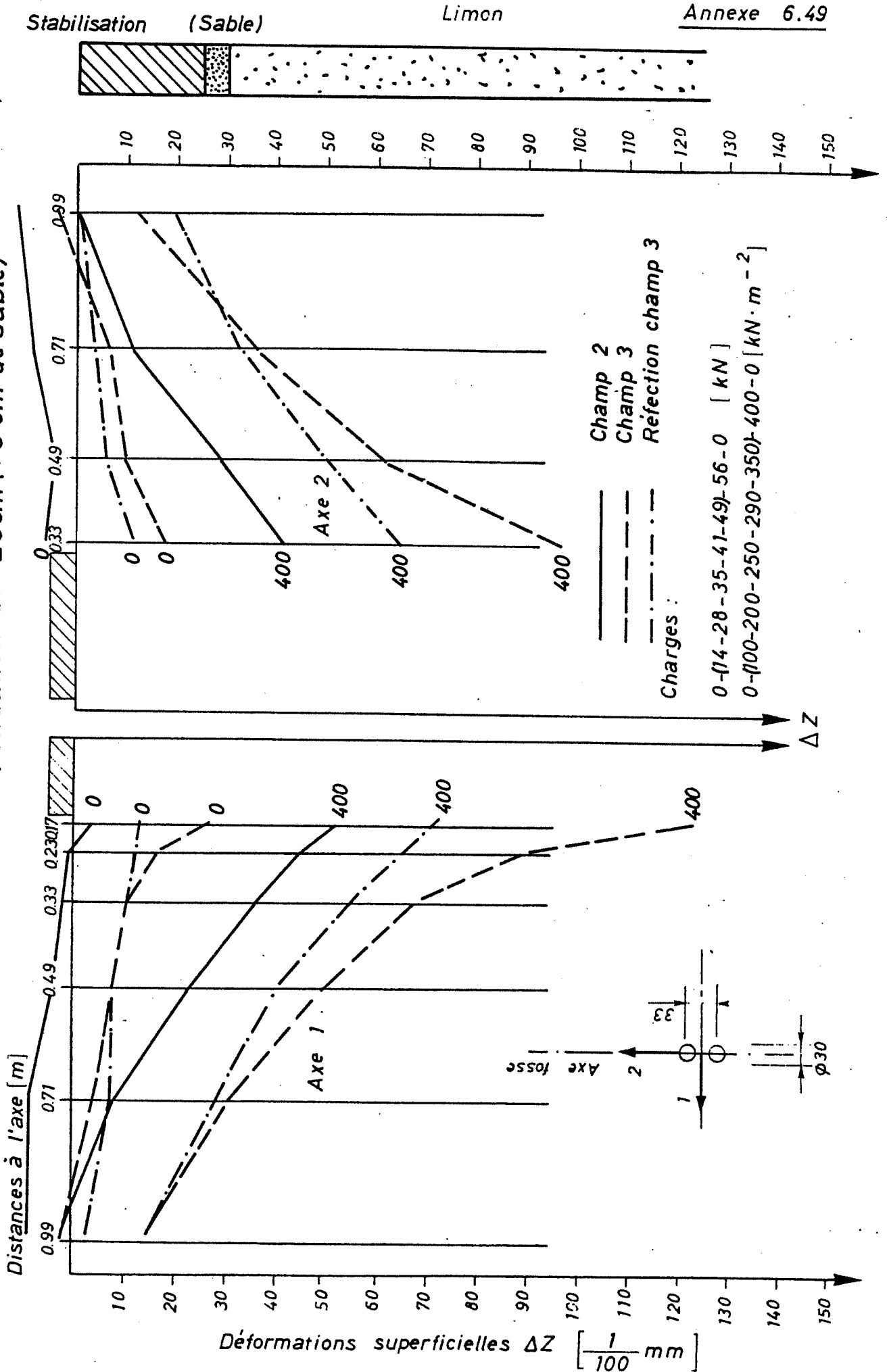
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Influence du revêtement Réfection champ 3 (décharge)



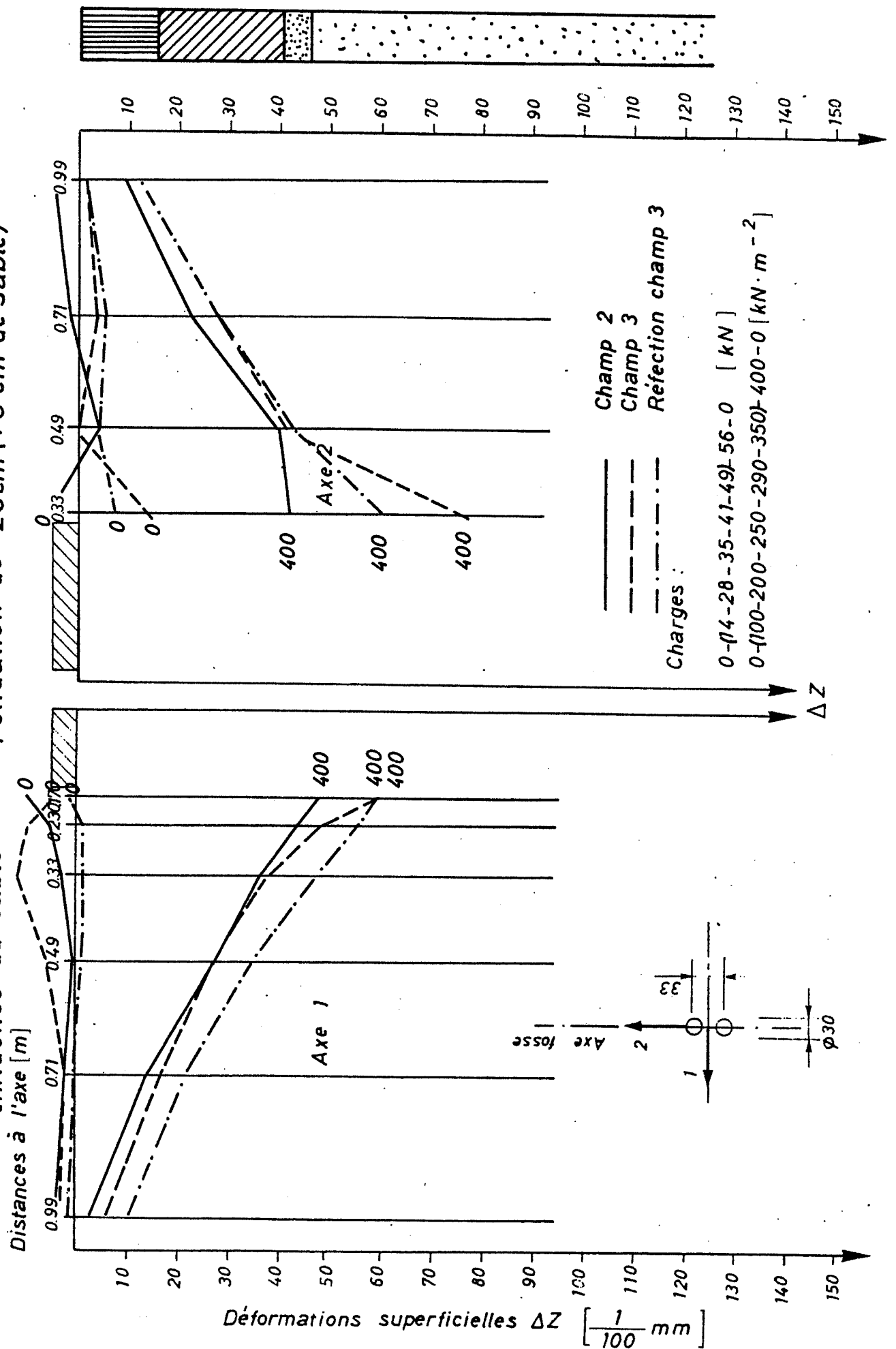
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Influence du sable - Fondation de 25cm (+ 5 cm de sable)



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

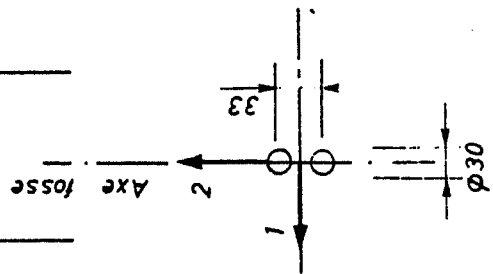
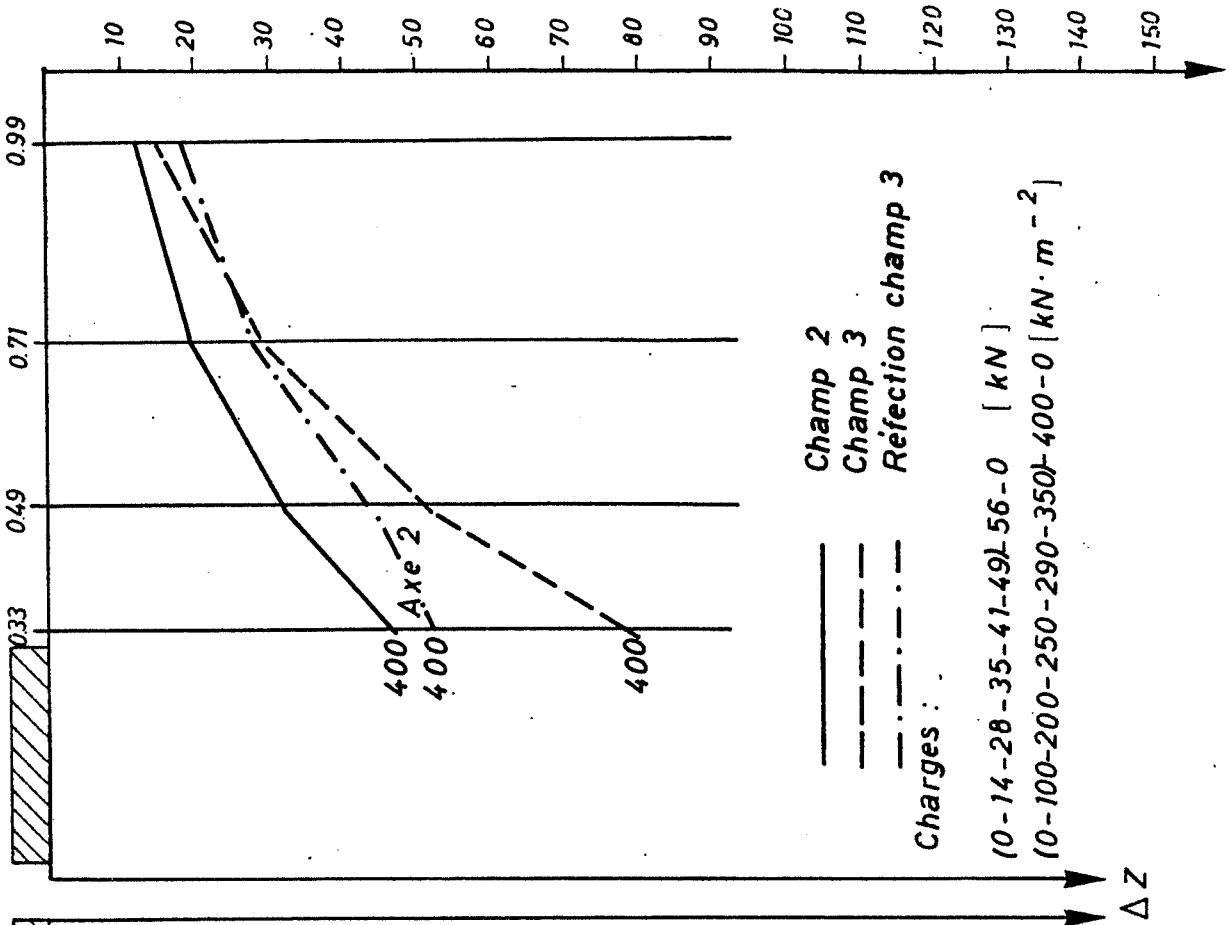
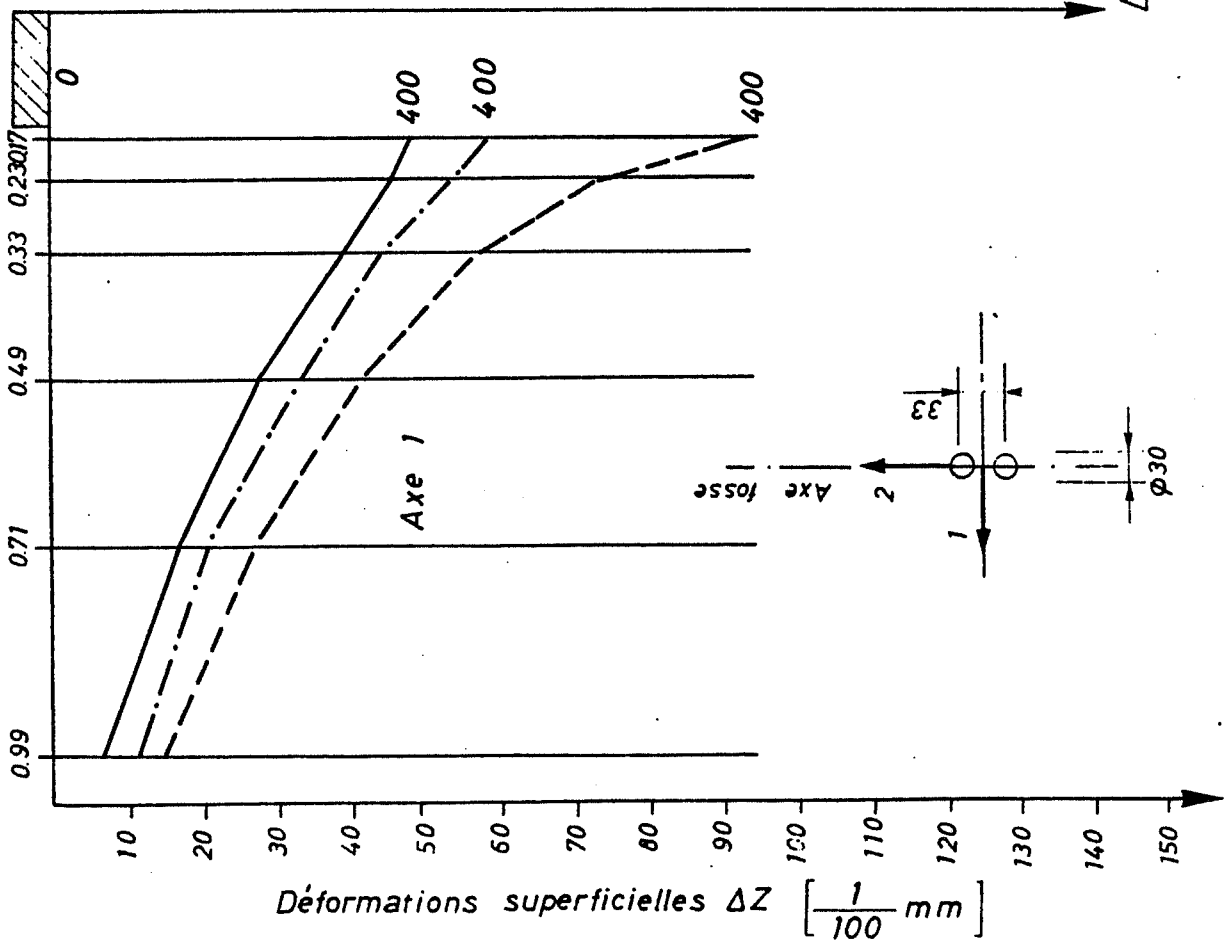
Influence du sable - Fondation de 25cm (+5 cm de sable)



ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Influence du sable - Fondation de 25cm (+5 cm de sable)

Distances à l'axe [m]



Stabilisation (Sable)

Limon

Annexe 6.50



10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150

DISPOSITION DES JAUGES DE DEFORMATION

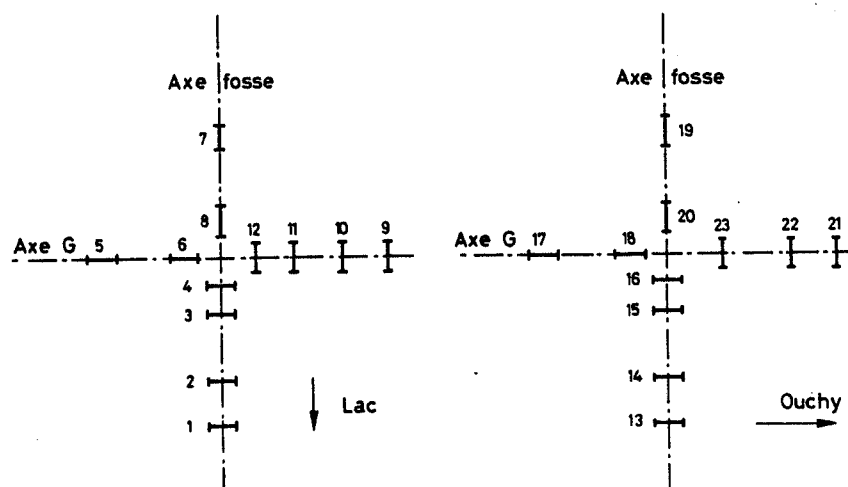
Axe G

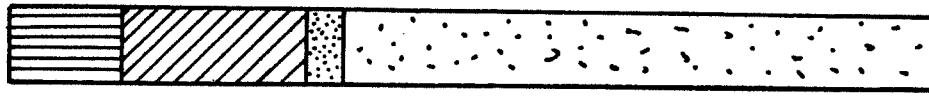
Champ 3

No	Orientation	Distance de l'axe [mm]	Niveau [mm]
1	tangentiel	900	45
2	tangentiel	650	58
3	tangentiel	300	65
4	tangentiel	150	55
5	radial	650	44
6	radial	200	60
7	radial	650	62
8	radial	200	59
9	tangentiel	900	59
10	tangentiel	650	63
11	tangentiel	400	67
12	tangentiel	200	63
13	tangentiel	900	200
14	tangentiel	650	211
15	tangentiel	300	209
16	tangentiel	150	203
17	radial	650	201
18	radial	200	202
19	radial	650	203
20	radial	200	203
21	tangentiel	900	203
22	tangentiel	650	206
23	tangentiel	300	203

Niveau supérieur

Niveau inférieur

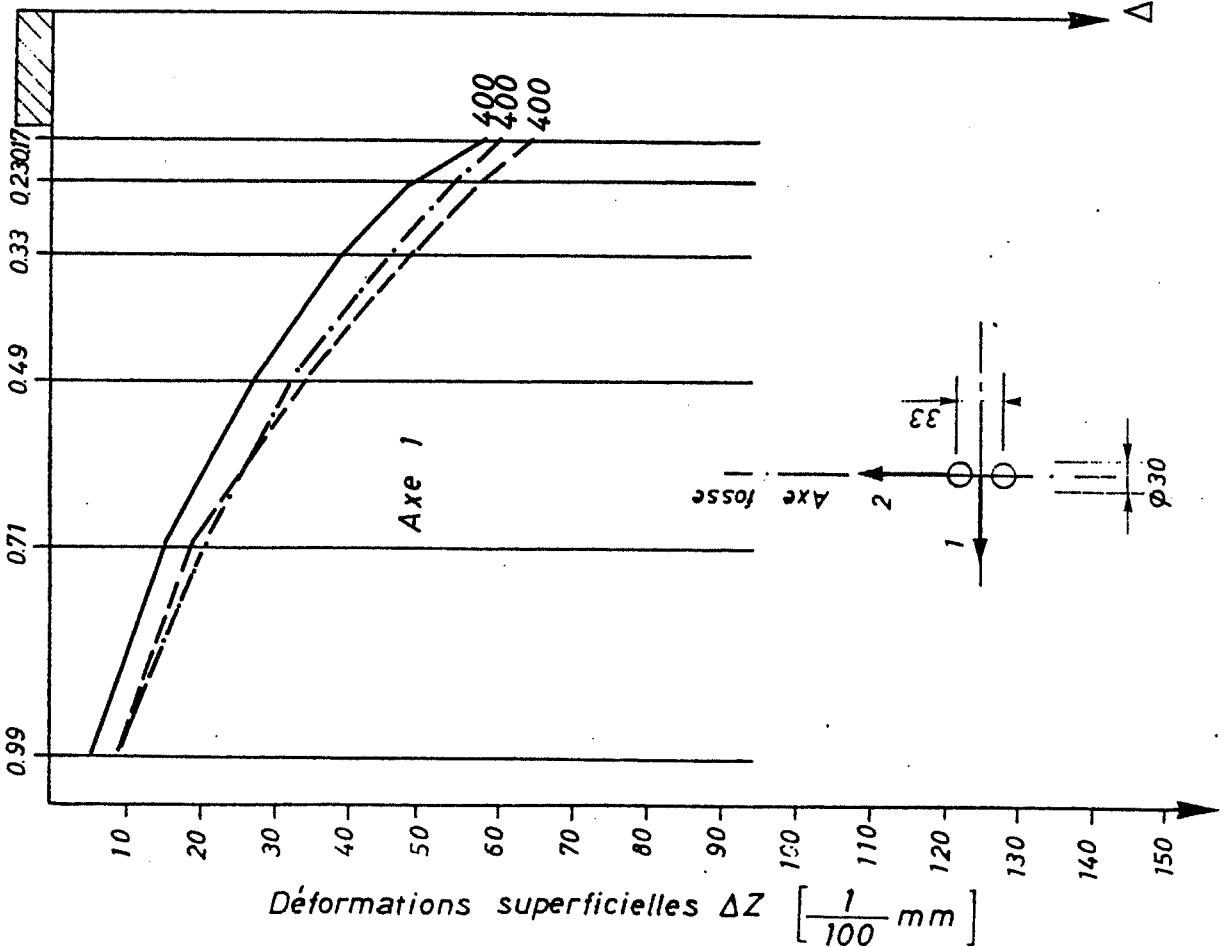
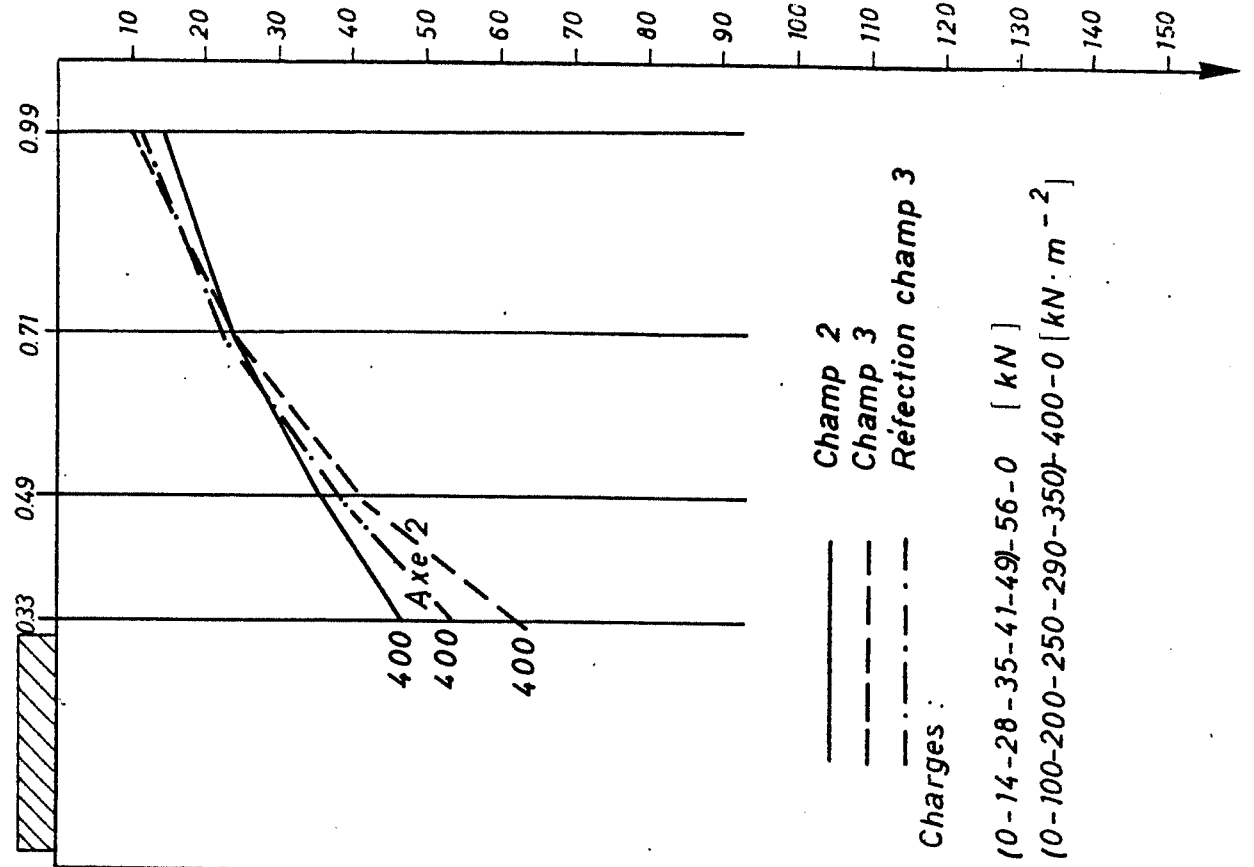




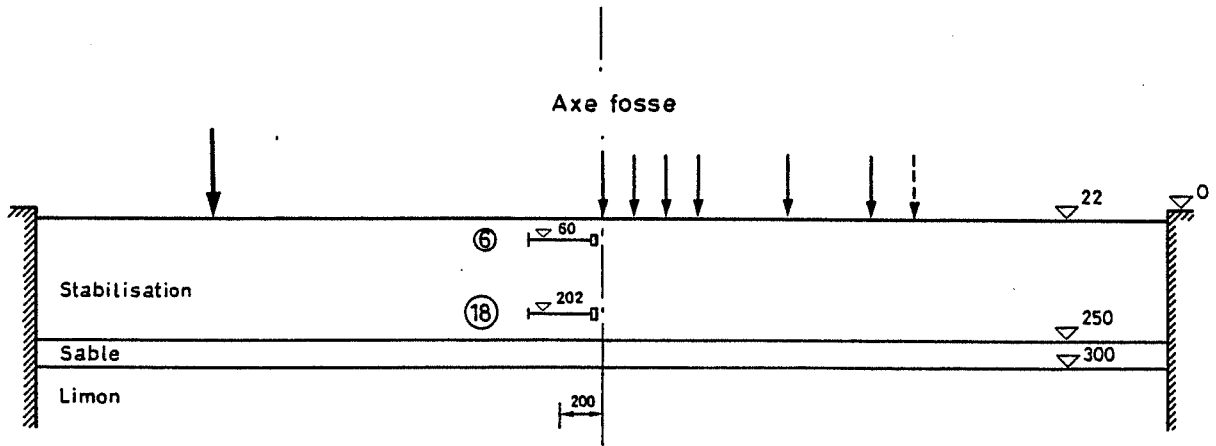
ESSAI DE CHARGES STATIQUES AVEC DEUX PLAQUES $\phi 30$ cm

Influence du sable - Fondation de 25cm (+5 cm de sable)

Distances à l'axe [m]



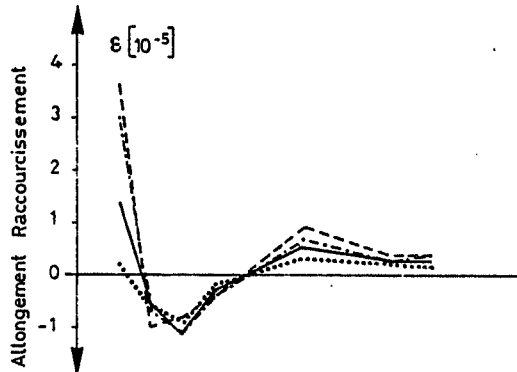
ESSAIS DE CHARGE AVEC PLAQUE DE $\varnothing = 300$ mm
 Capteurs de déformation sur l'axe G



Capteur 6

Charges :

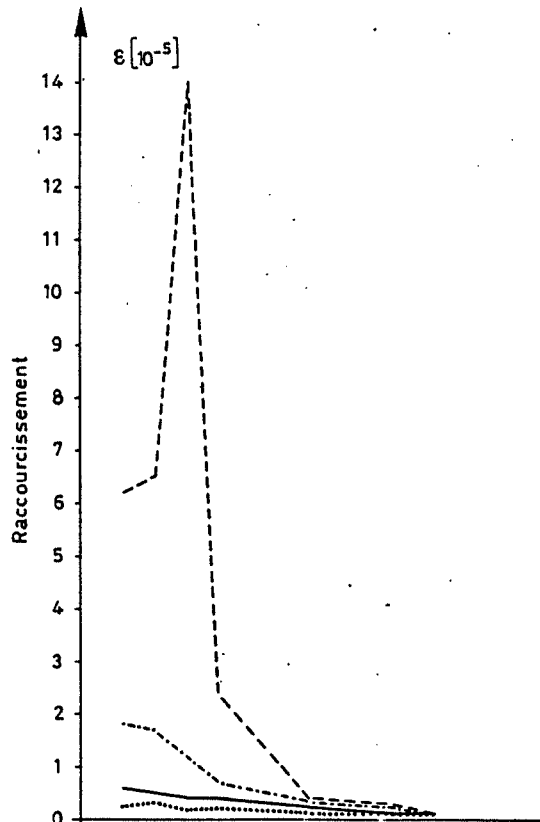
- 200 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$
- 400
- · — · 600
- - - - 800



Capteur 18

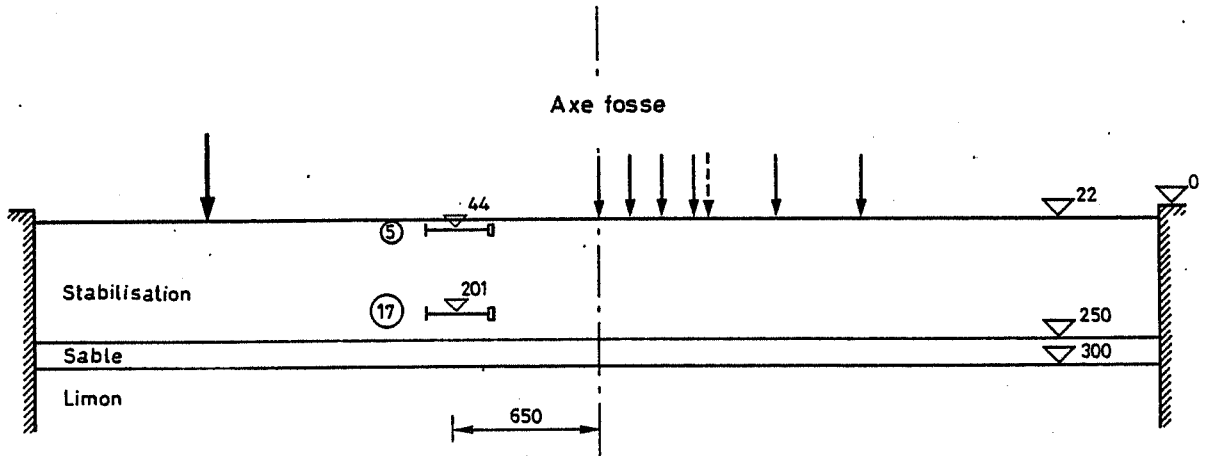
Charges :

- 200 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$
- 400
- · — · 600
- - - - 800



ESSAIS DE CHARGE AVEC PLAQUE DE $\varnothing = 300$ mm

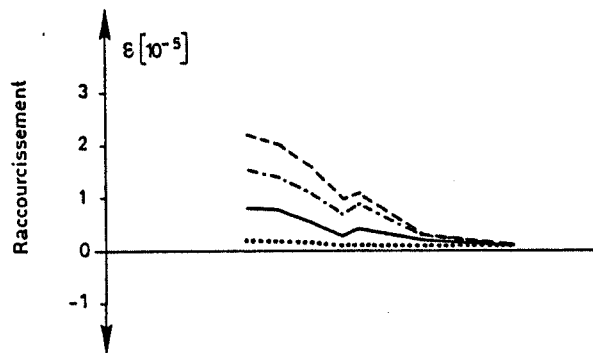
Capteurs de déformation sur l'axe G



Capteur 5

Charges:

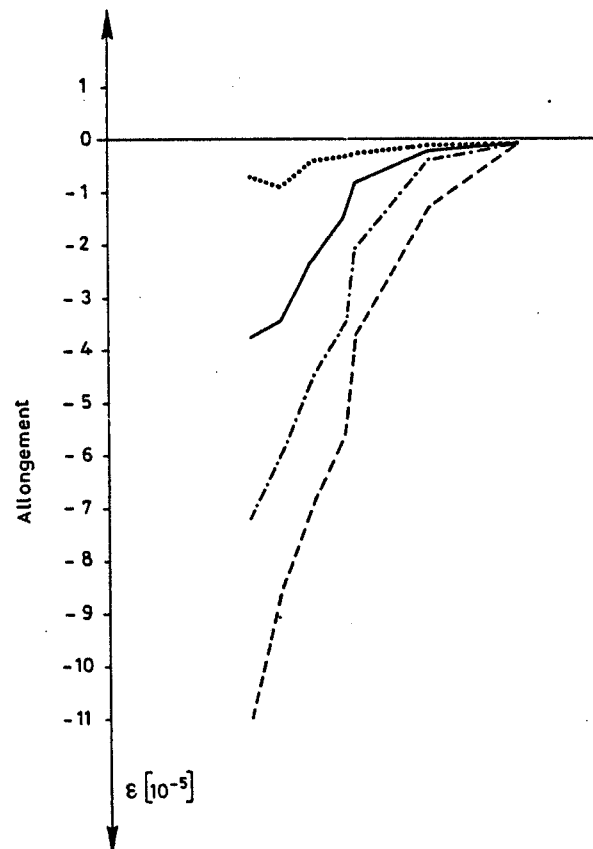
- 200 kN.m⁻²
- 400
- · — · — 600
- · — · — 800



Capteur 17

Charges:

- 200 kN.m⁻²
- 400
- · — · — 600
- · — · — 800

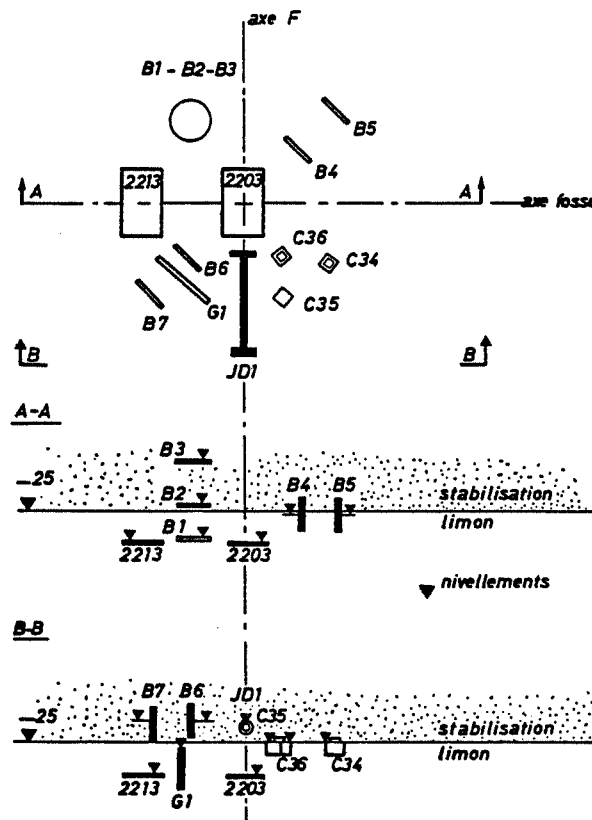


TYPE DES APPAREILS A L'INTERFACE LIMON - STABILISATION

Axe F

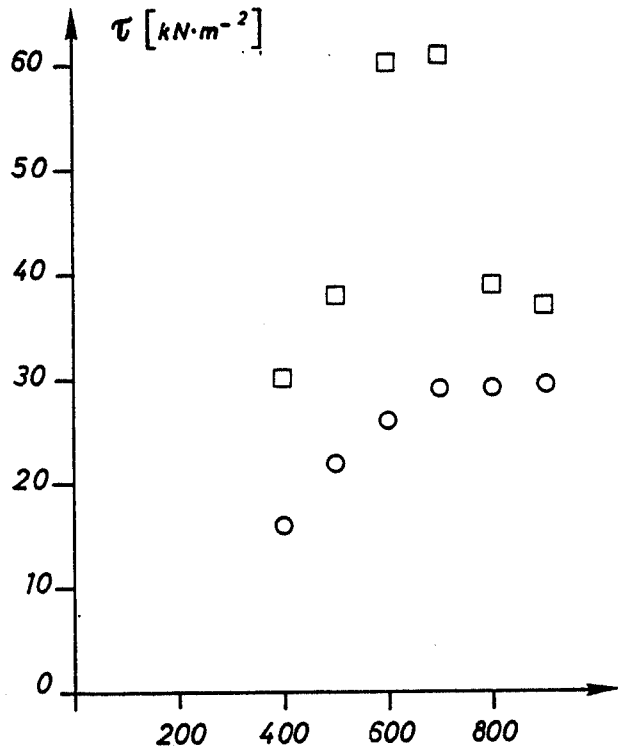
Champ 2

Type d'appareil	No	Niveau [cm]	Distance ce l'axe [cm]
Bison	B1	33.8	30
	B2	23.1	30
	B3	10.6	30
	B4	25.7	22
	B5	25.7	38
	B6	19.4	24
	B7	19.4	39
Cambridge	C 34	25.6	31
	C 35	25.3	30
	C 36	25.6	16
Glötzl	2203	34.4	0
	2213	34.5	30
	G1	25.7	30
Jauge de déformation	JD 1	21.7	30

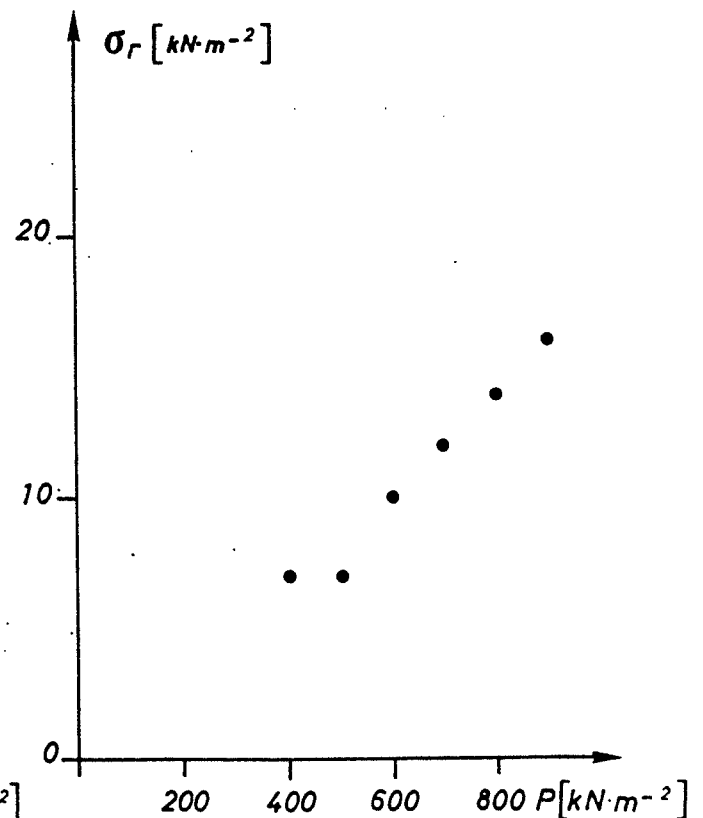
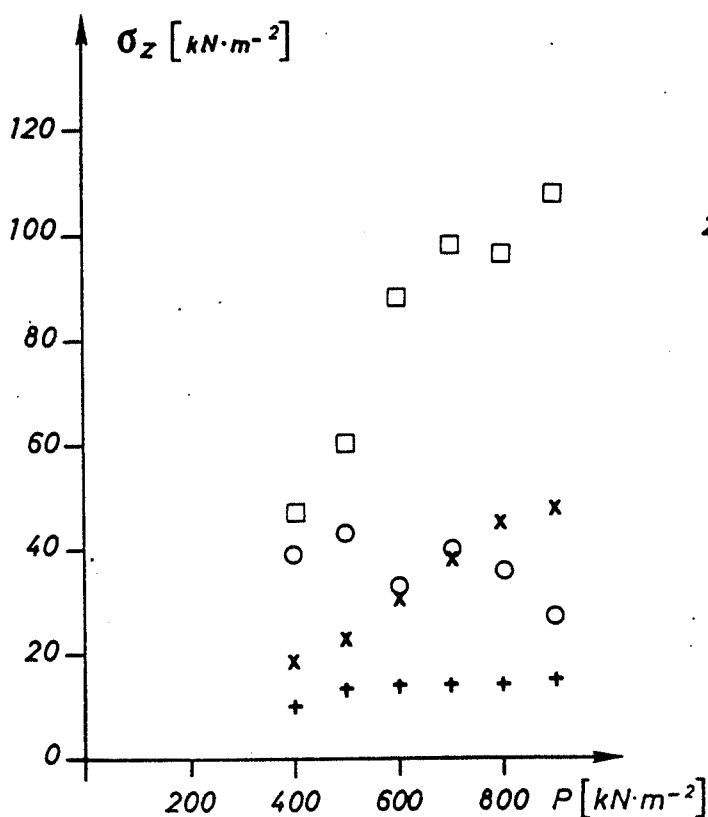


PRESSIONS MESUREES SUR L'AXE F

Fondation de 25 cm - Essai I

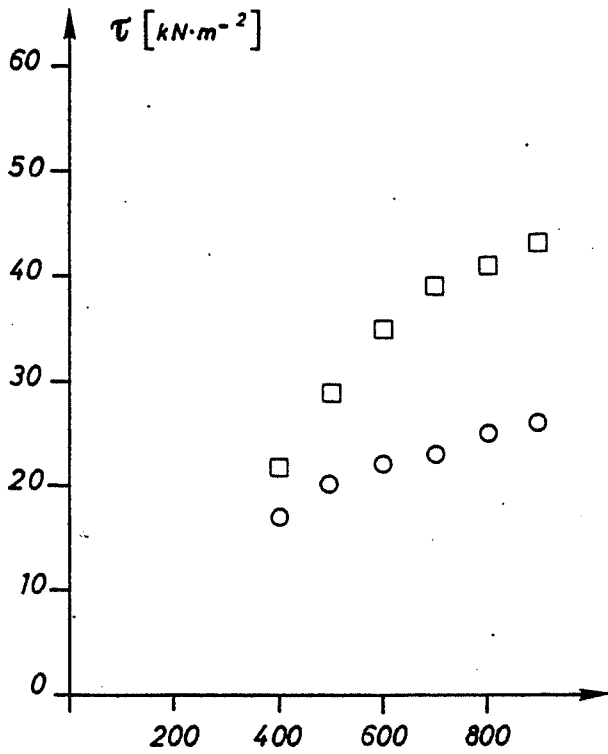


- σ_r • G1 Glötzl vertical à 30 cm de l'axe
- σ_z, τ □ C36 Cambridge à 15 cm de l'axe
- C35 Cambridge à 30 cm de l'axe
- σ_z x 2203 Glötzl horizontal sur l'axe
- + 2213 Glötzl horizontal à 30 cm de l'axe

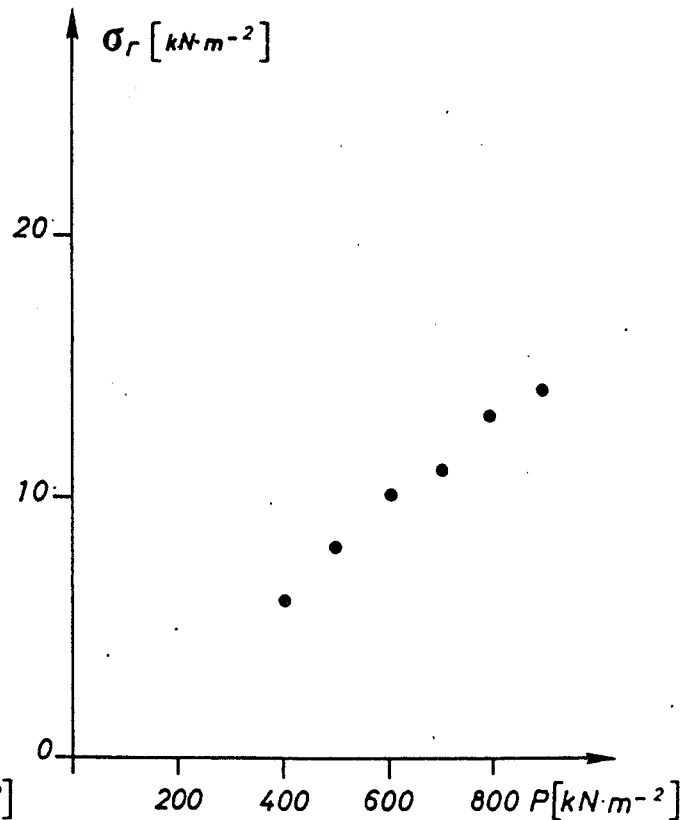
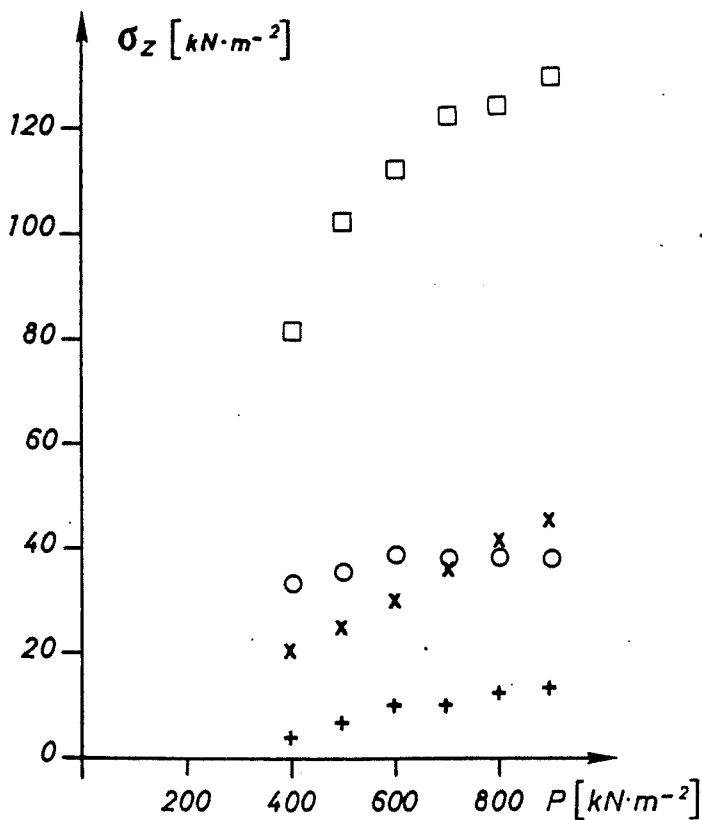


PRESSIONS MESUREES SUR L'AXE F

Fondation de 25 cm - Essai III

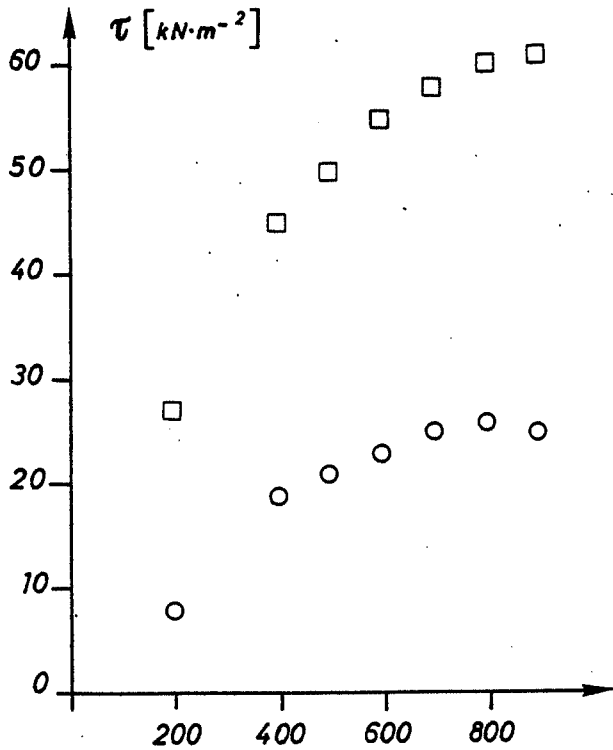


- σ_r • G1 Glötzl vertical à 30 cm de l'axe
- σ_z, τ □ C36 Cambridge à 15 cm de l'axe
- C35 Cambridge à 30 cm de l'axe
- σ_z × 2203 Glötzl horizontal sur l'axe
- + 2213 Glötzl horizontal à 30 cm de l'axe

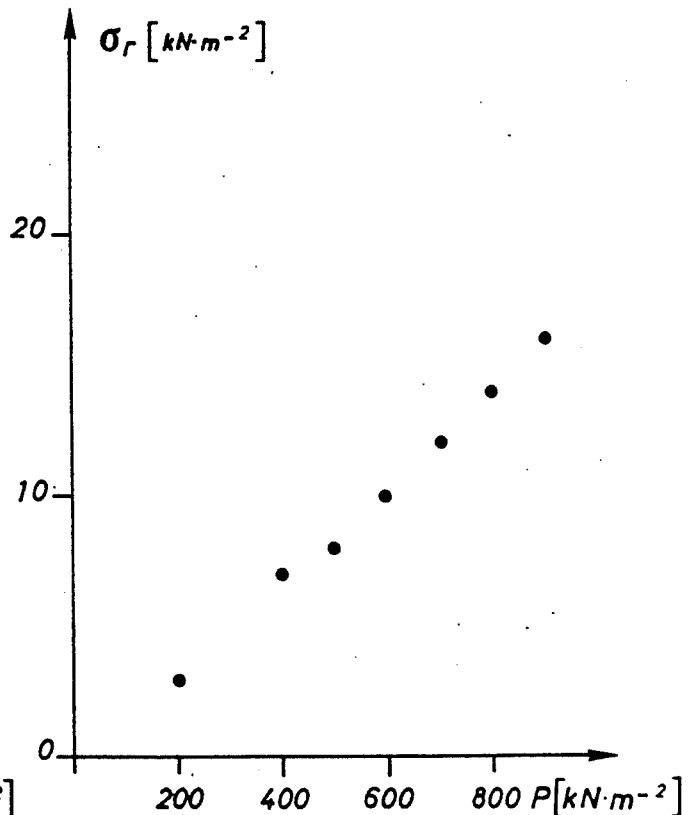
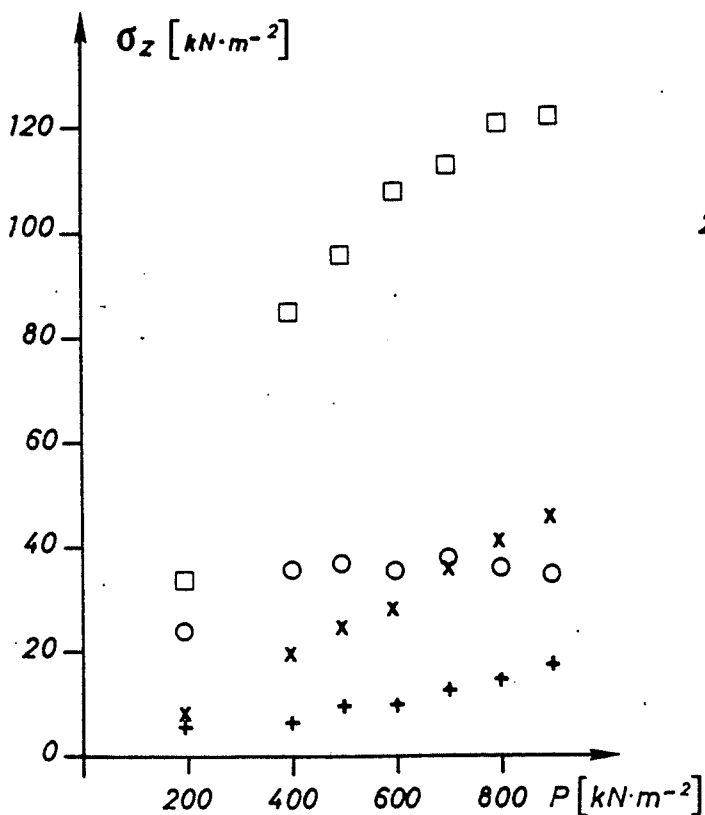


PRESSIONS MESUREES SUR L'AXE F

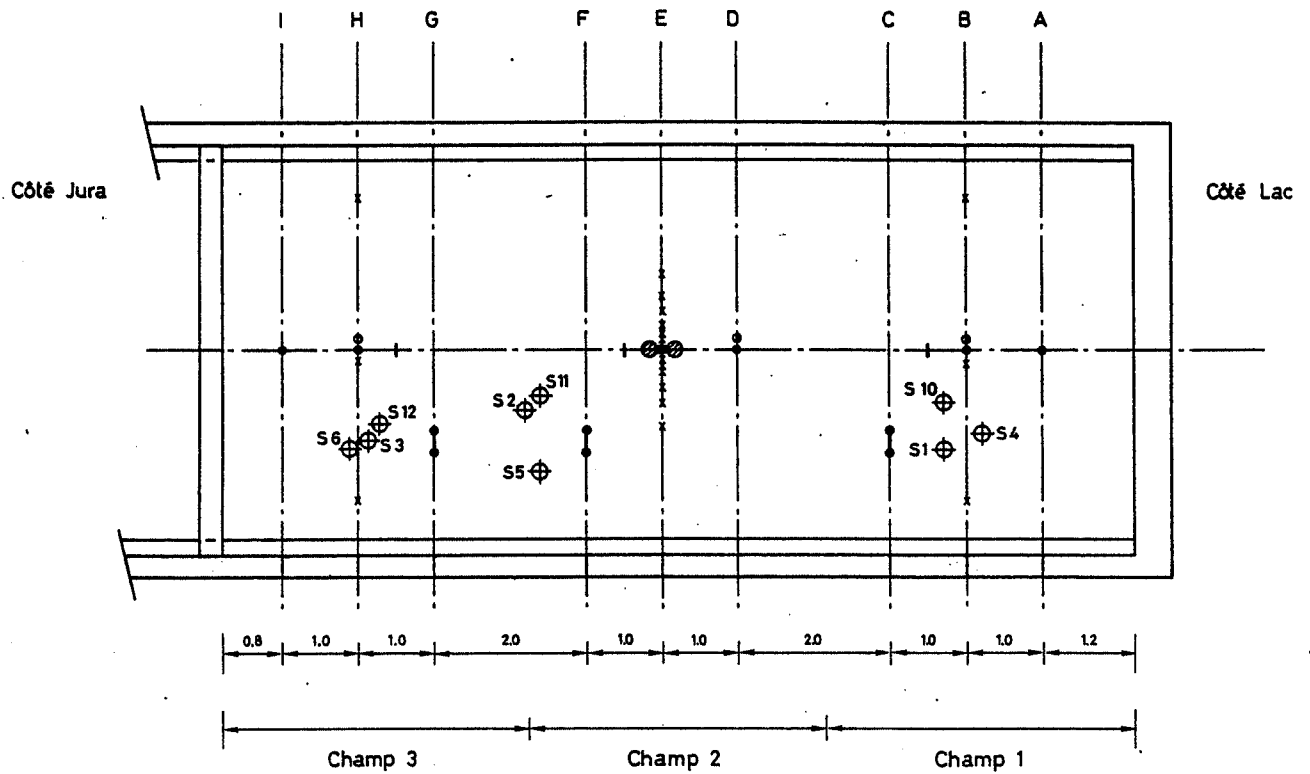
Fondation de 25 cm - Essai II



- σ_r • G1 Glötzl vertical à 30 cm de l'axe
- σ_z, τ □ C36 Cambridge à 15 cm de l'axe
- C35 Cambridge à 30 cm de l'axe
- σ_z x 2203 Glötzl horizontal sur l'axe
- + 2213 Glötzl horizontal à 30 cm de l'axe



Sondages et mesures de surface des essais 12 et 22E

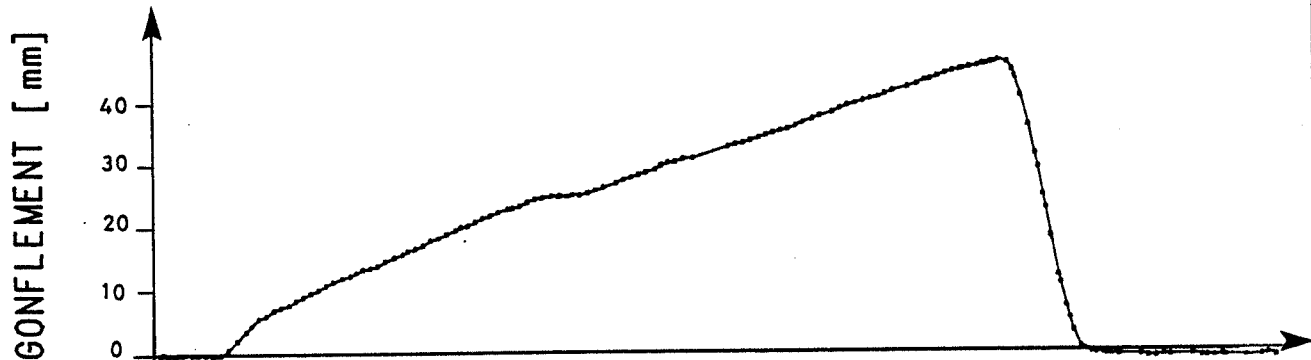


- ⊗ ⊗ Charge
- Nivellements
- Capteurs magnétiques
- x Comparateurs
- | Thermomètres
- ⊕ Sondages
- ⋮ Nucléodensimètres (Troxler)
- Poutre Benkelmann

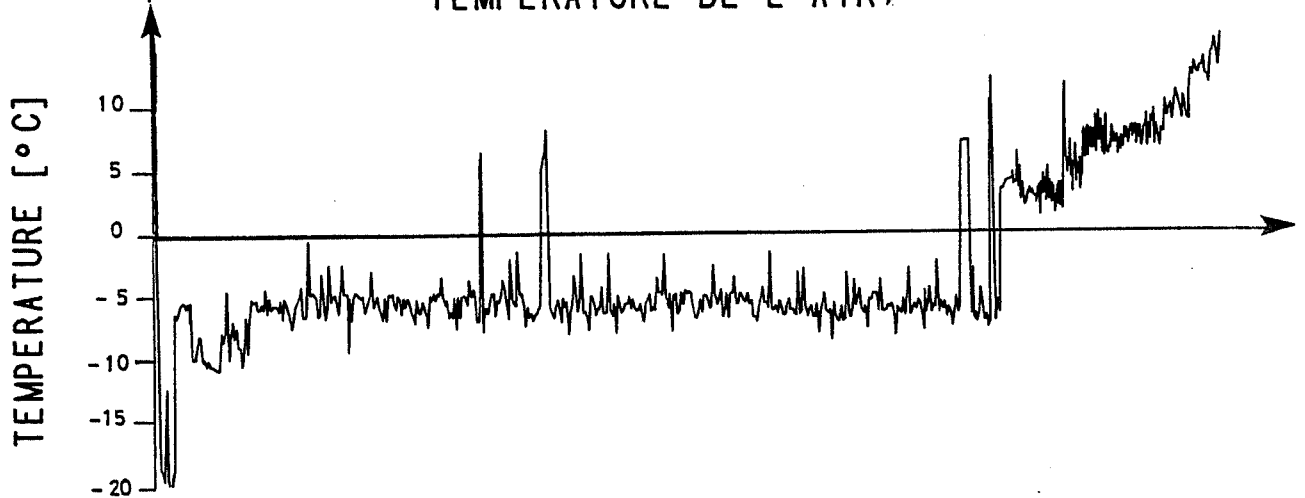
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Essai 12E Champ 1

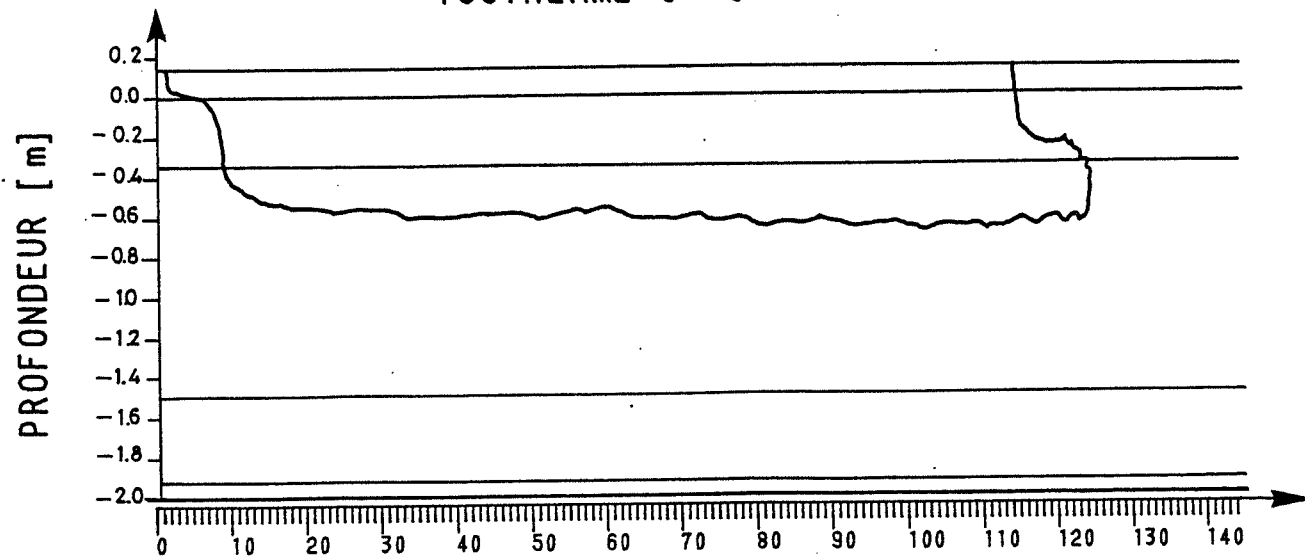
DEFORMATION VERTICALE



TEMPERATURE DE L'AIR



ISOTHERME 0° C



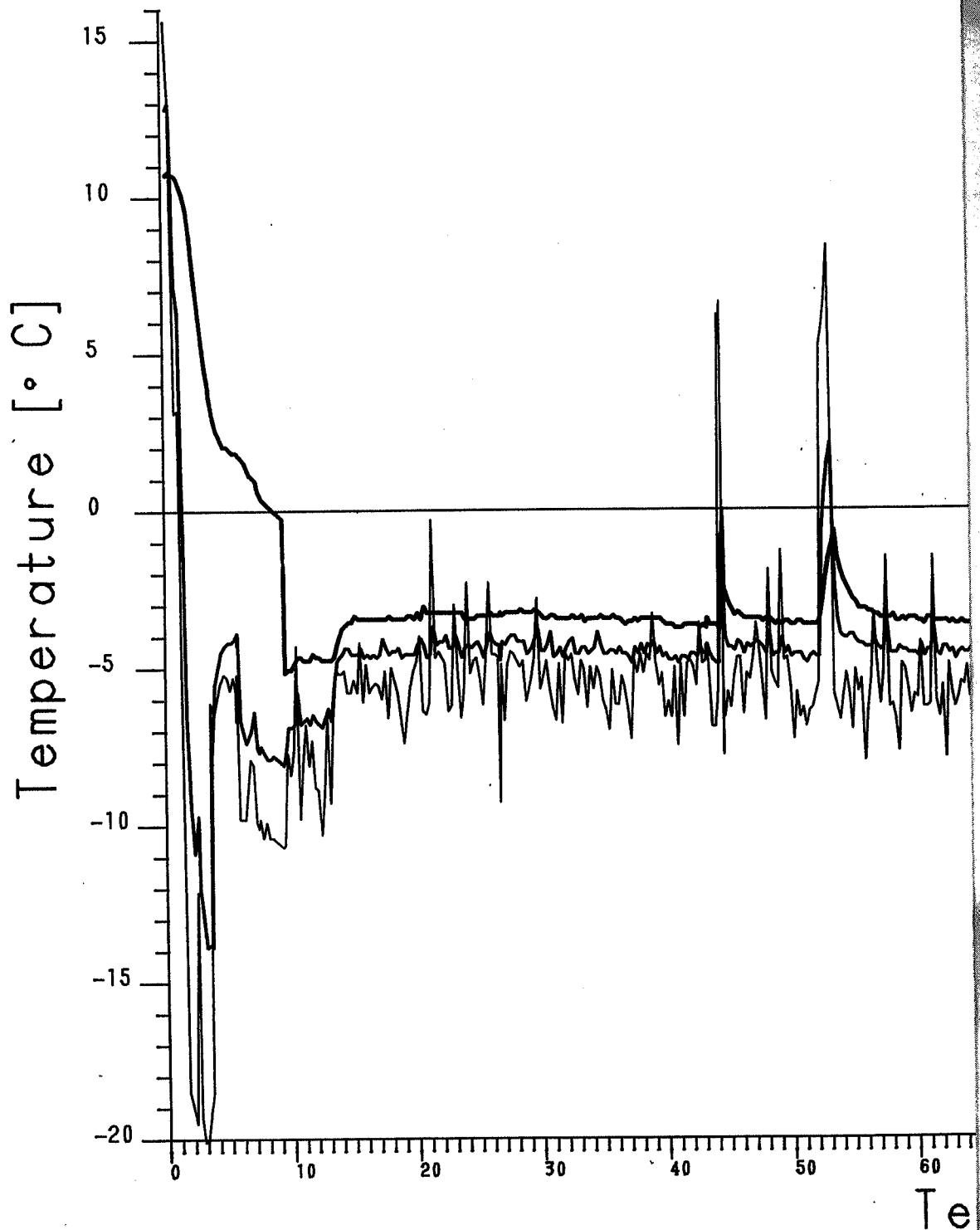
Temps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1
 Essai 12E
 Debut 7. 2. 84

Capteur no
 1110
 1109
 1108



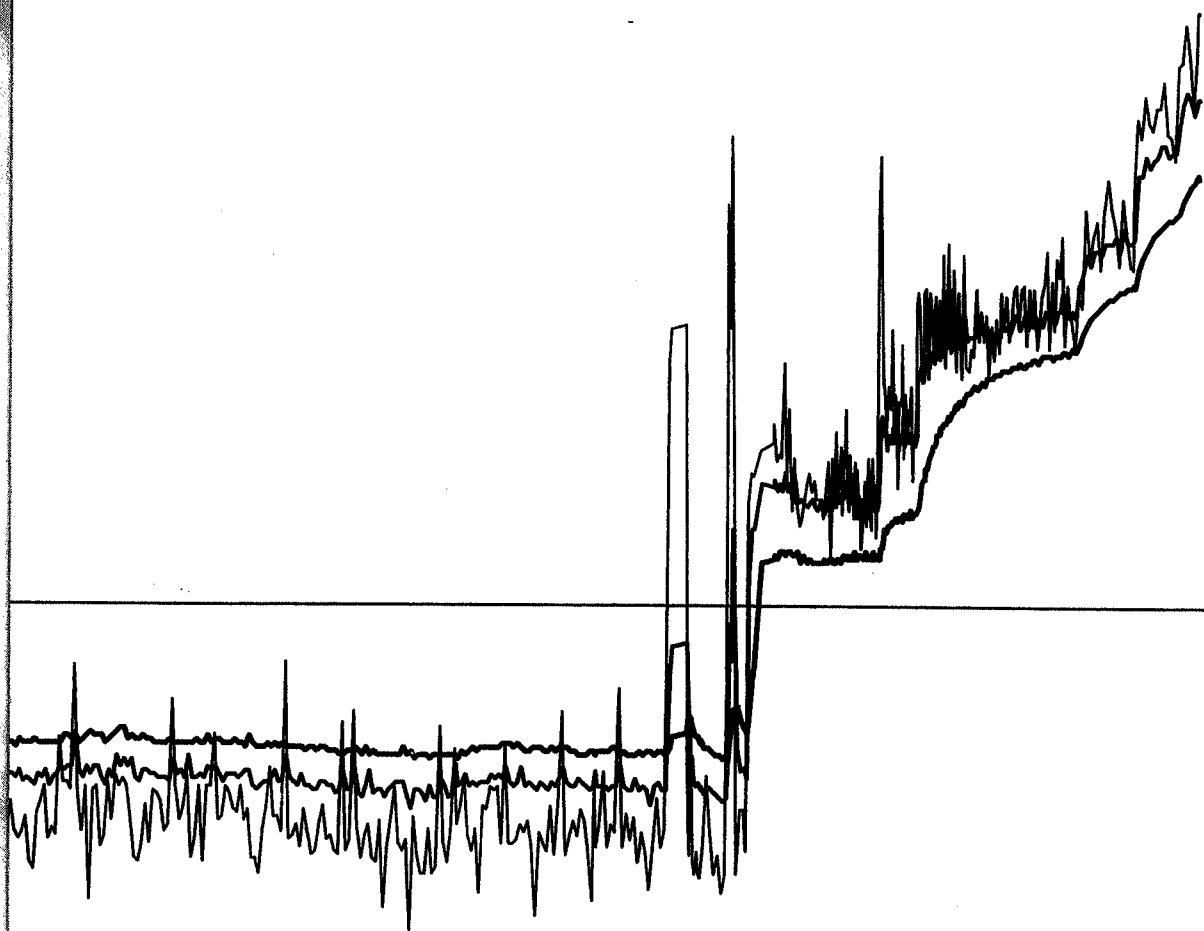
xe 71.2

Prof

1.6

21.0

38.5



70 80 90 100 110 120 130 140

mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1

Capteur no

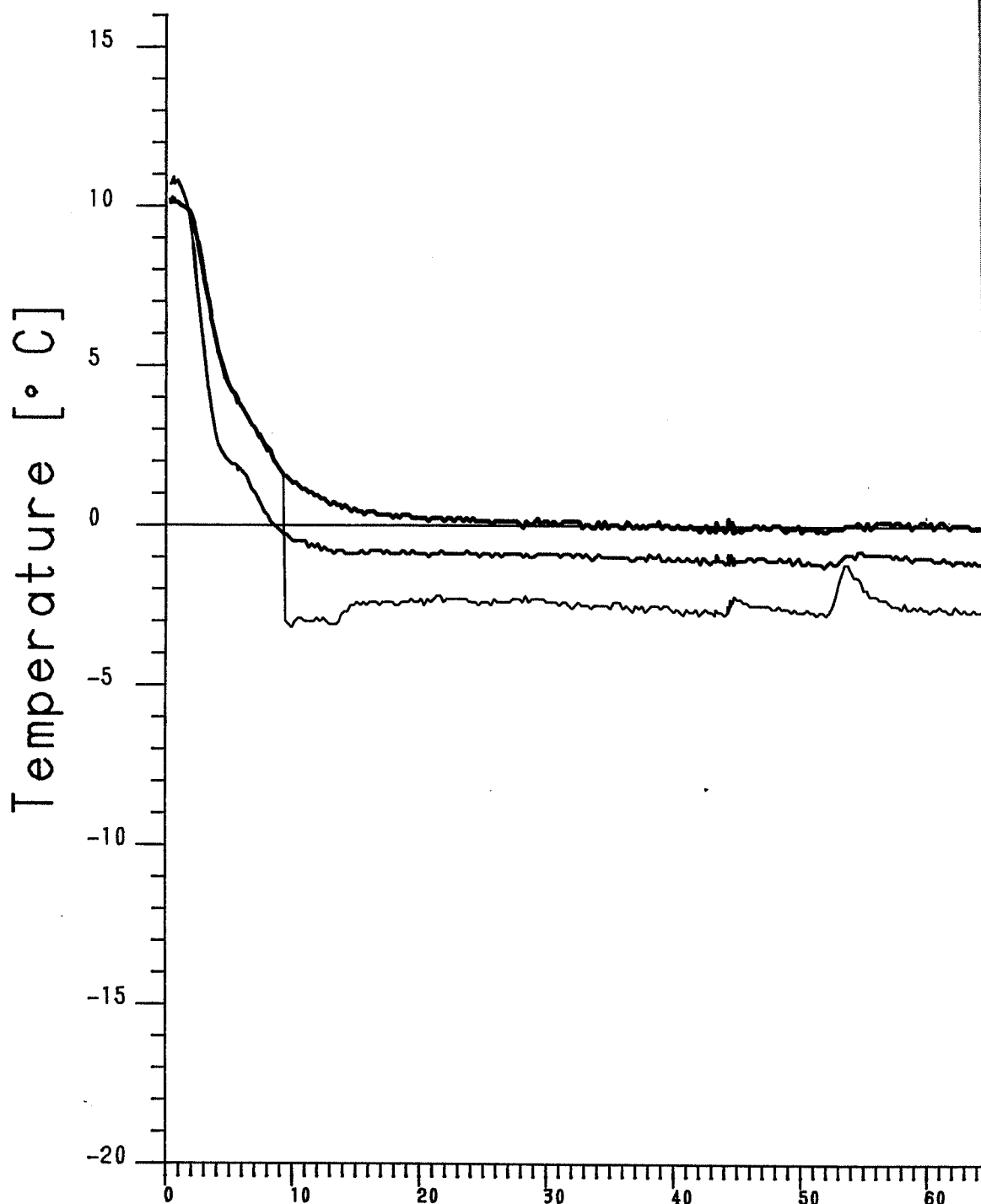
Essai 12E

1107

Debut 7.2.84

1106

1105



Te

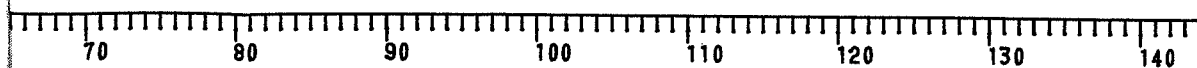
exe 71.3

Prof

55.6

71.8

88.0



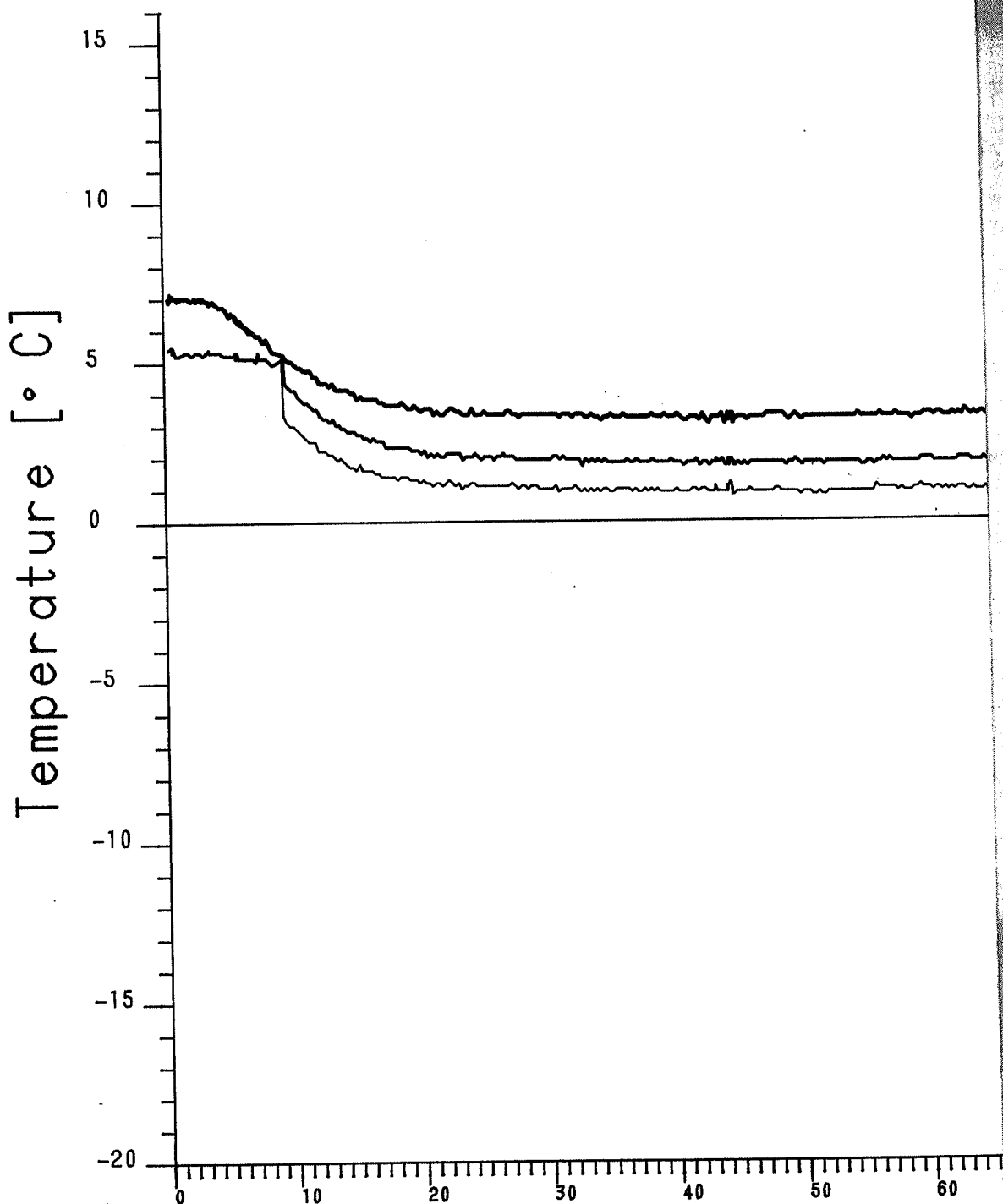
mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1
 Essai 12E
 Debut 7.2.84

Capteur no
 1104
 1103
 1102



Ter

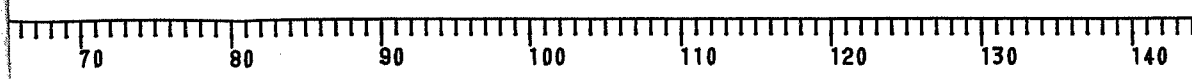
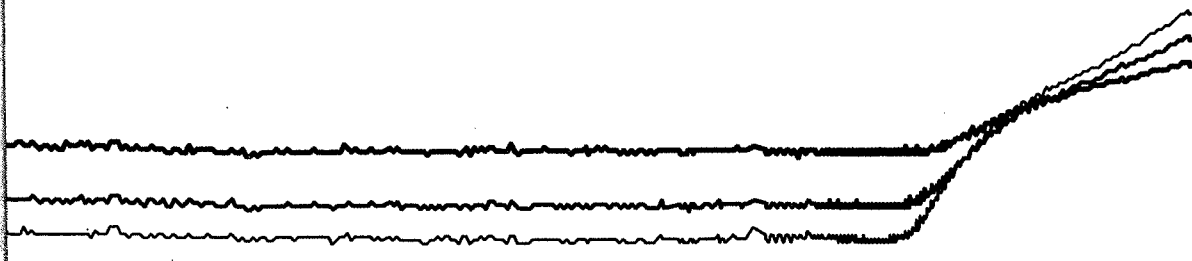
xe 71.4

Prof

112.0

143.0

166.0



jours [jours]

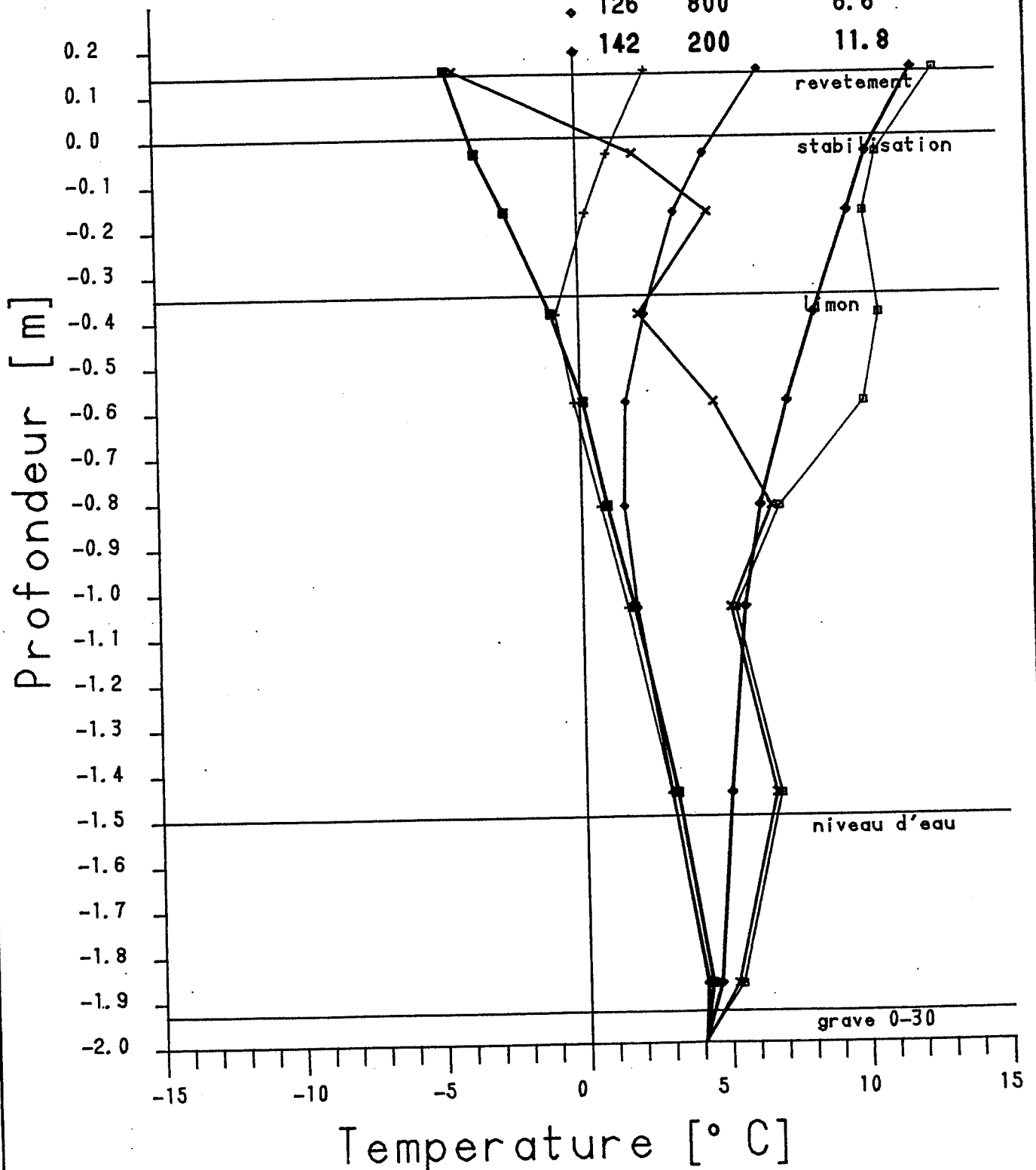
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1

Essai 12E

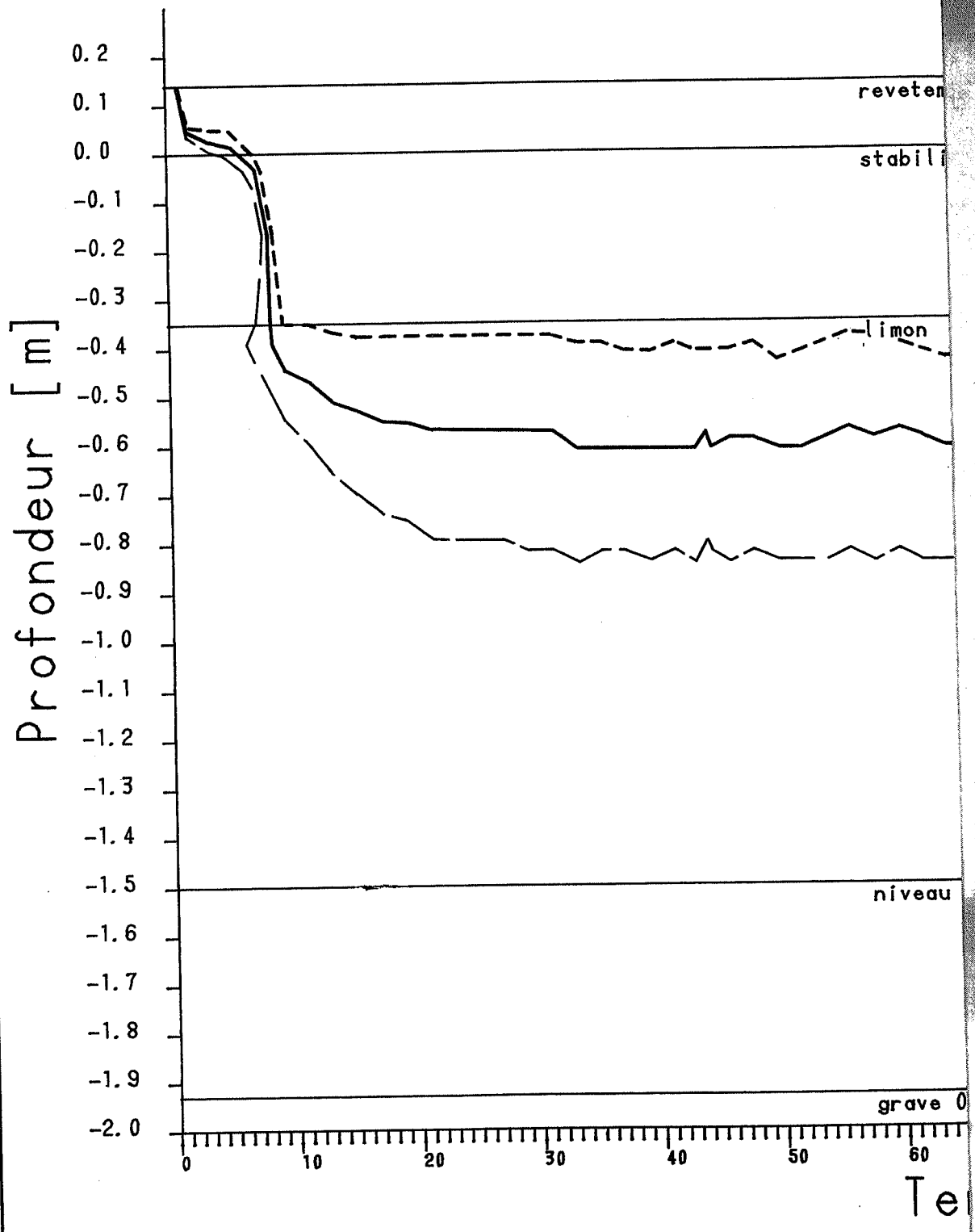
	Jour	heure	temp. air
□	0	822	15.6
×	4	1401	-5.2
■	58	1201	-6.7
+	118	1300	2.8
◆	126	800	6.6
◆	142	200	11.8



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ISOTHERMES

Champ 1
Essai 12E



xe 71.6

ment

sation

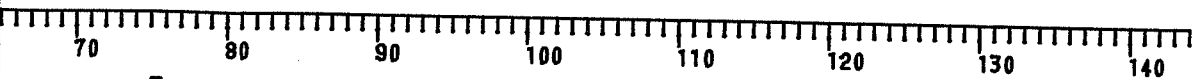
-1°

0°

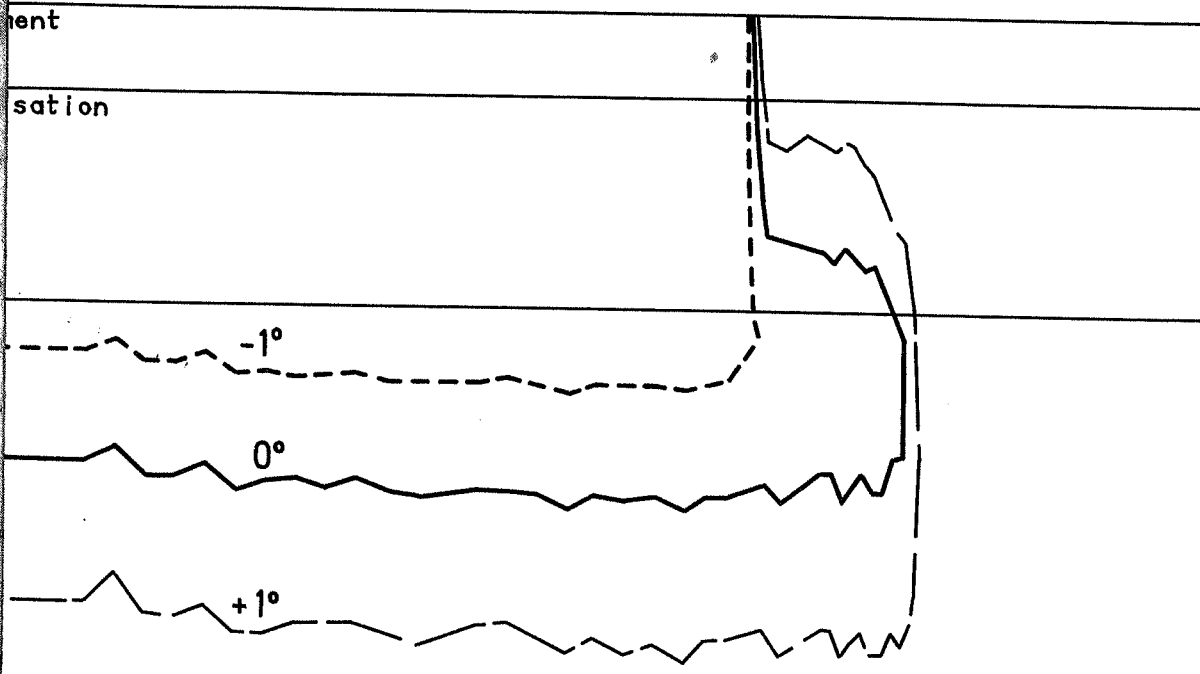
+1°

d'eau

-30



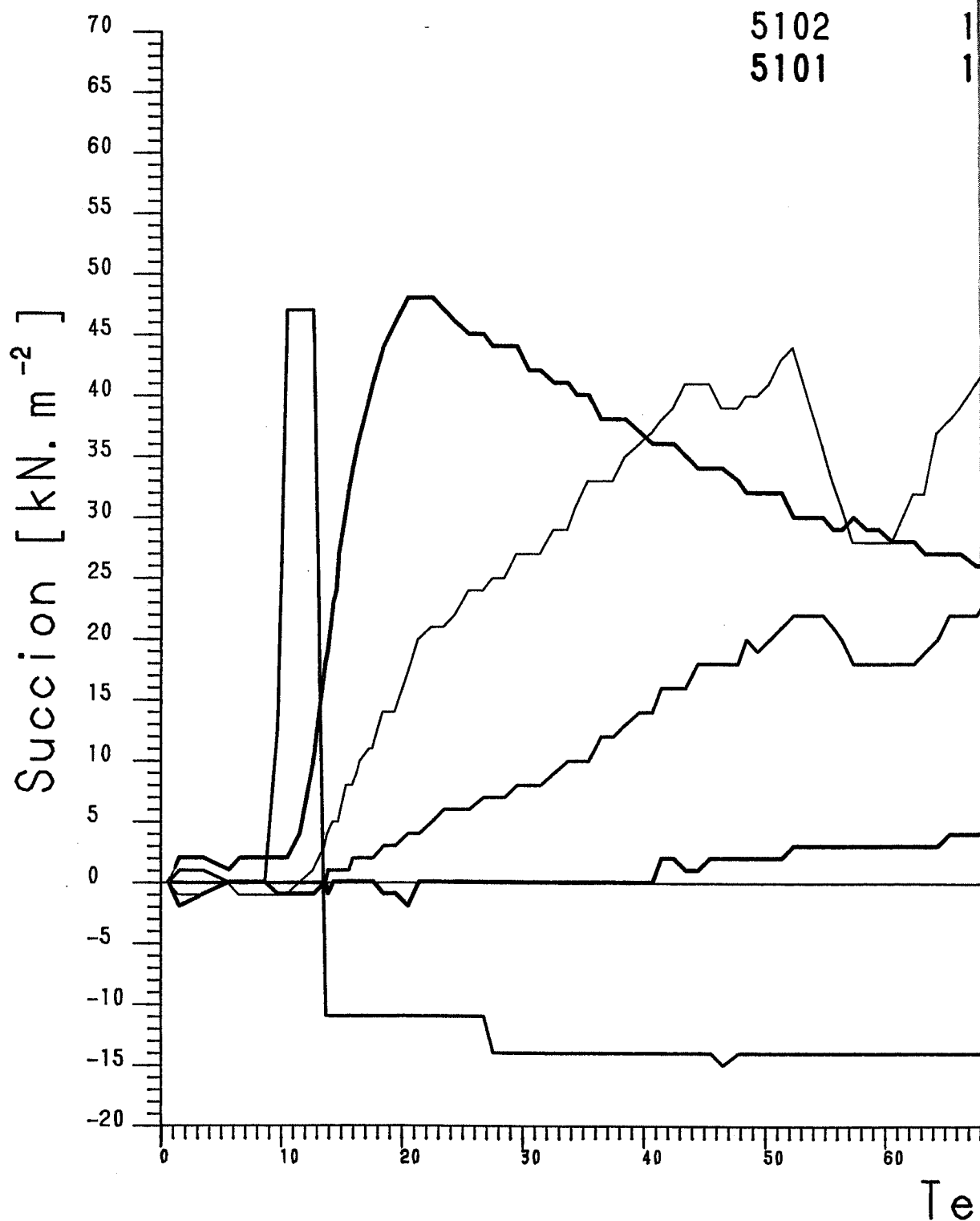
mps [jours]



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ	1	capteur no	P
Essai	12E	5105	4
Debut	3. 2. 84	5104	5
		5103	8
		5102	1
		5101	1



71.7

rof

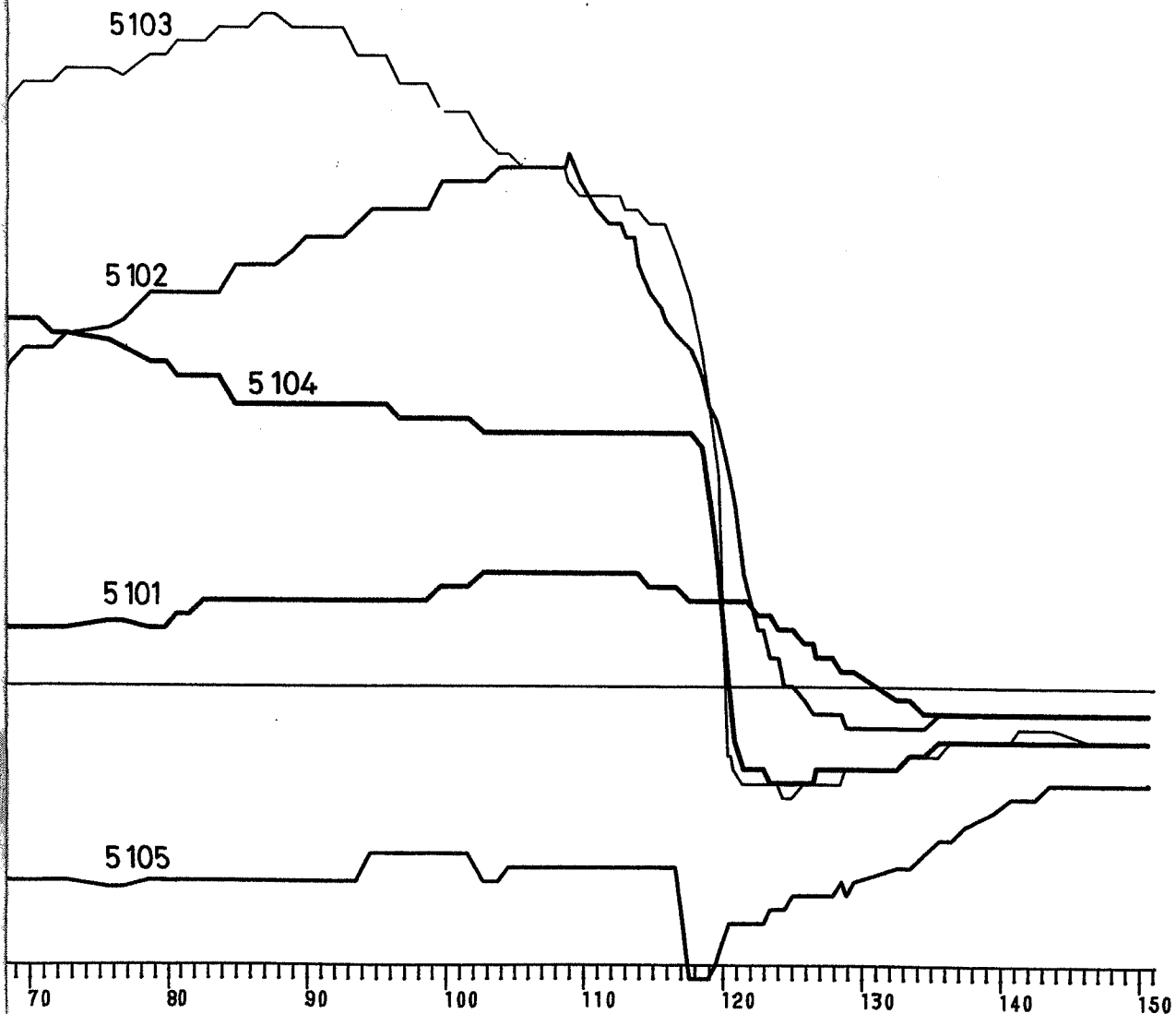
0.3

8.6

1.6

01.0

44.0

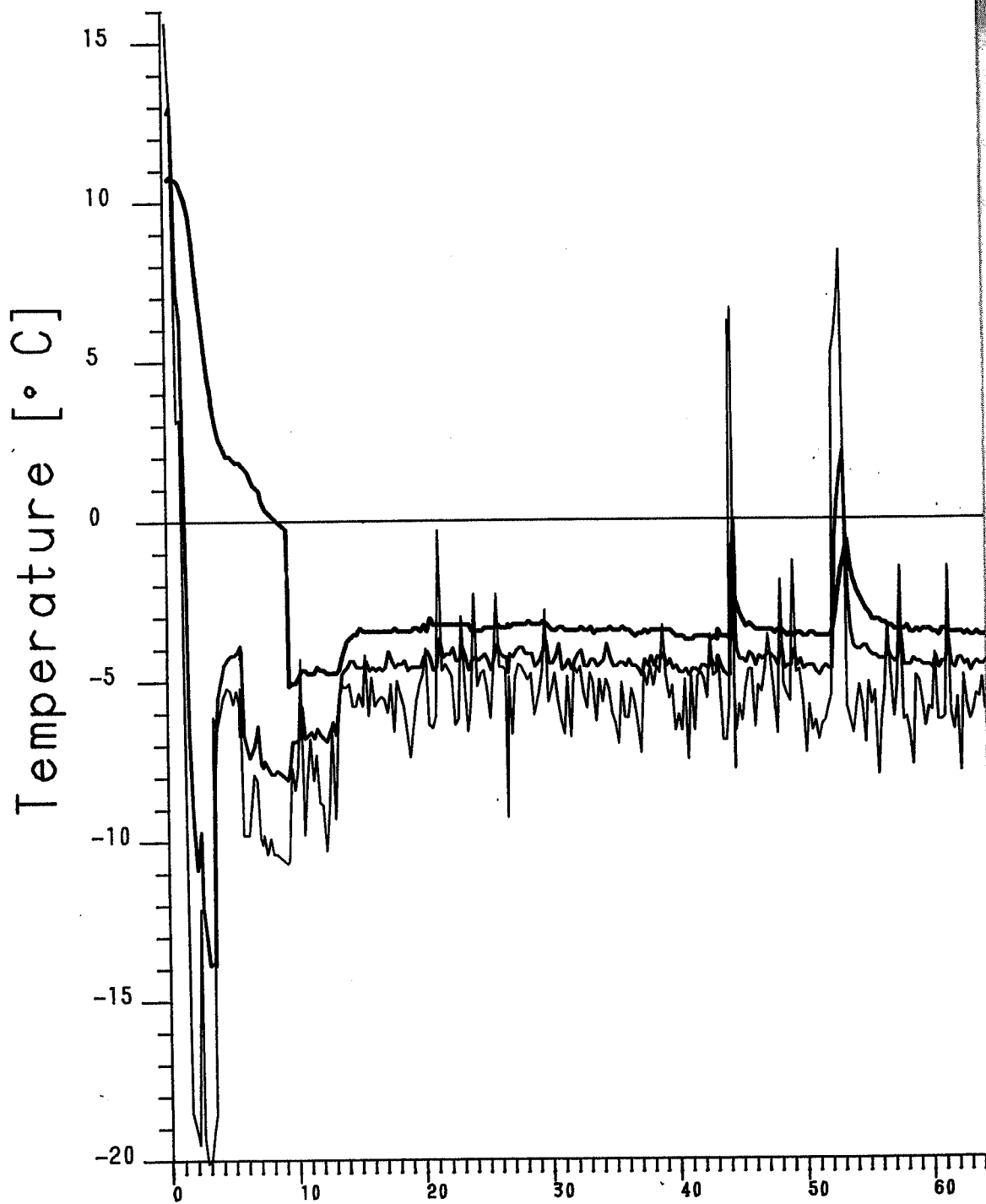


mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	1	Capteur no	
Essai	12E	1110	
Debut	7. 2. 84	1109	
		1108	



Te

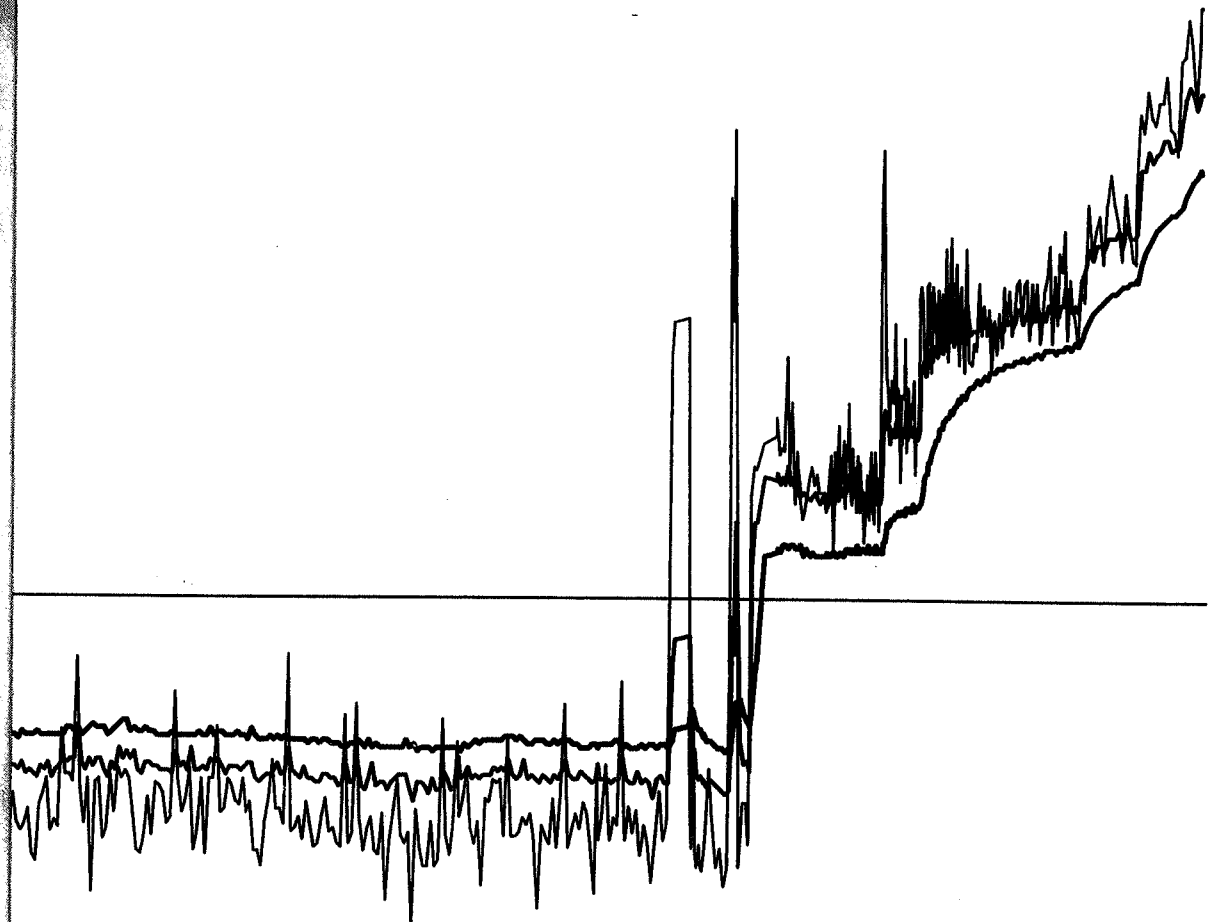
xe 71.2

Prof

1.6

21.0

38.5



70 80 90 100 110 120 130 140

mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1

Capteur no

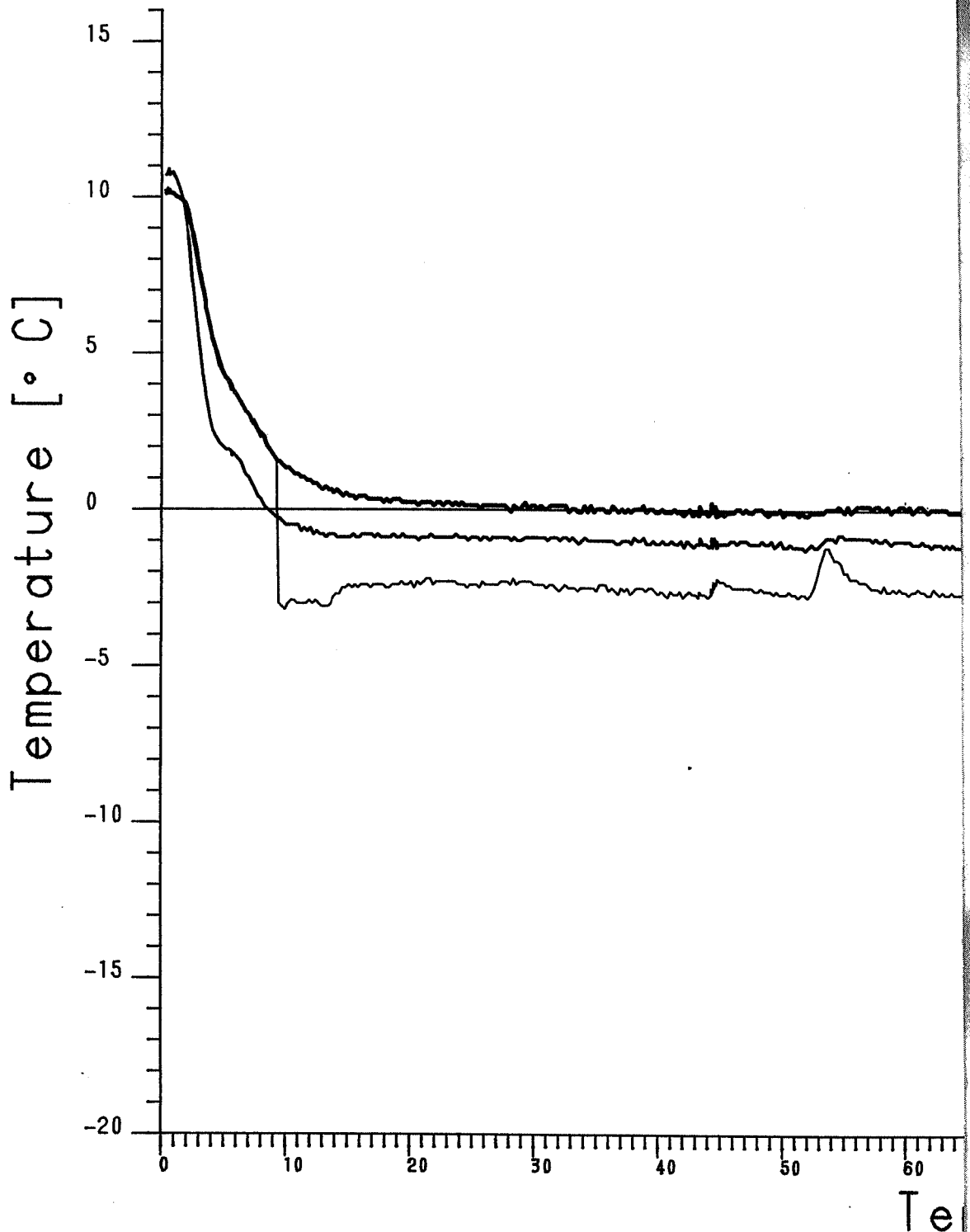
Essai 12E

1107

Debut 7. 2. 84

1106

1105



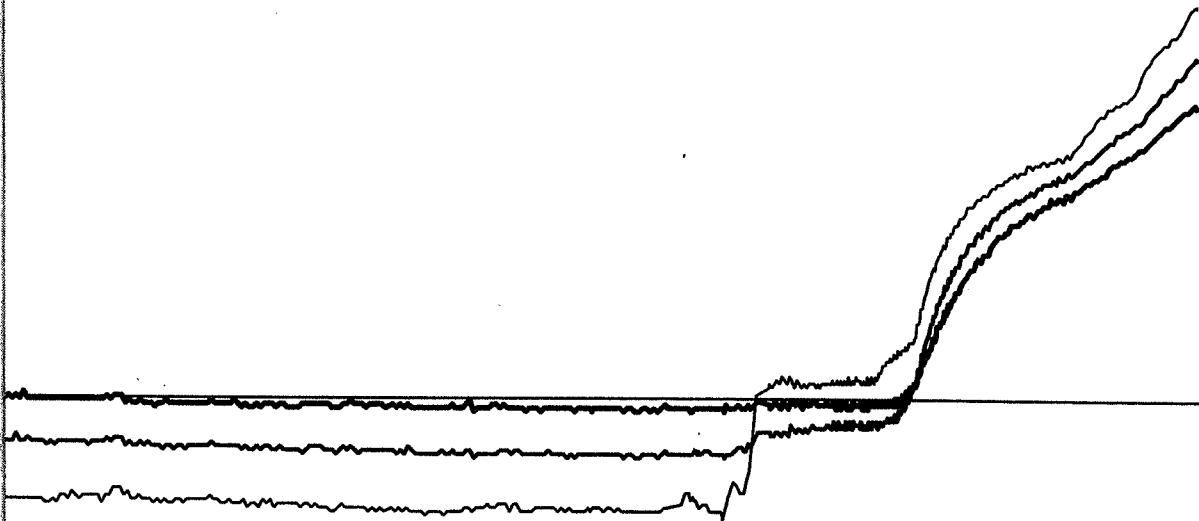
exe 71.3

Prof

55.6

71.8

88.0



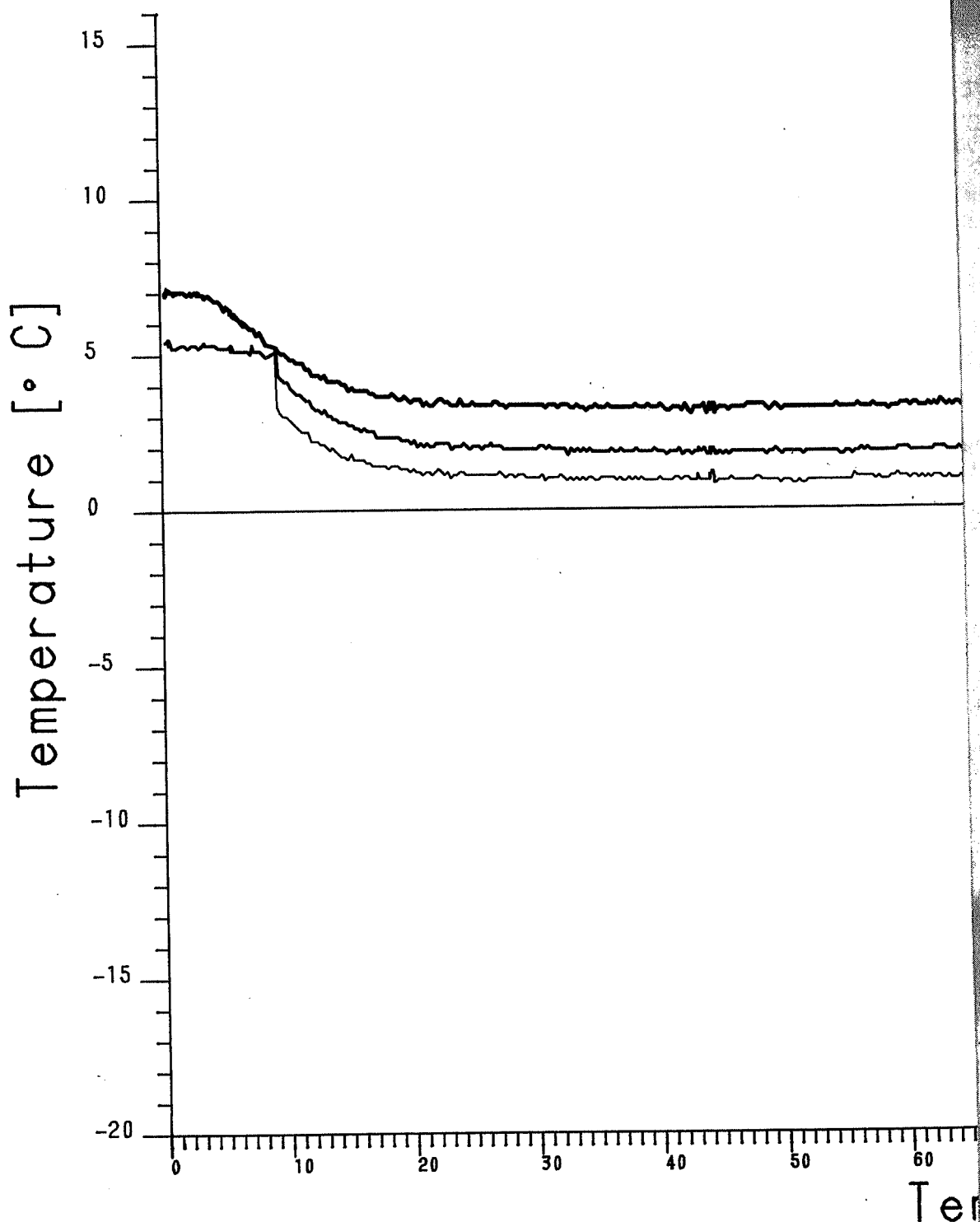
70 80 90 100 110 120 130 140

mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS
Mesures de temperature

Champ 1
Essai 12E
Debut 7. 2. 84

Capteur no
1104
1103
1102



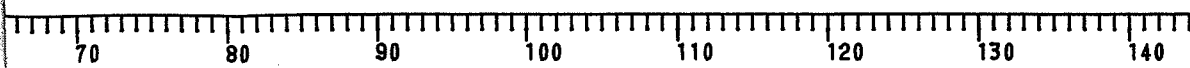
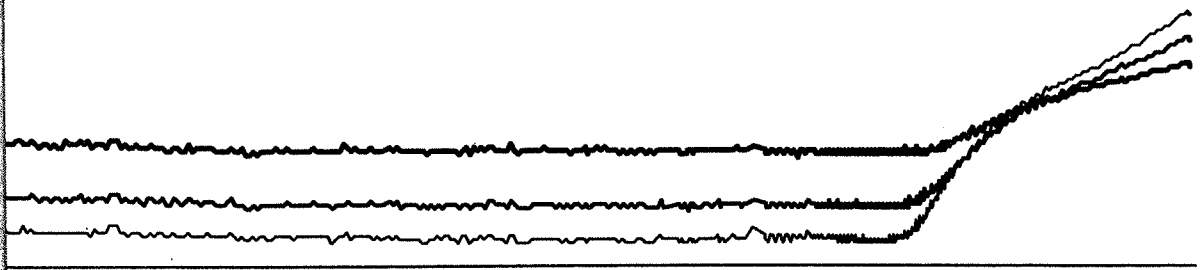
xe 71.4

Prof

112.0

143.0

166.0



jours [jours]

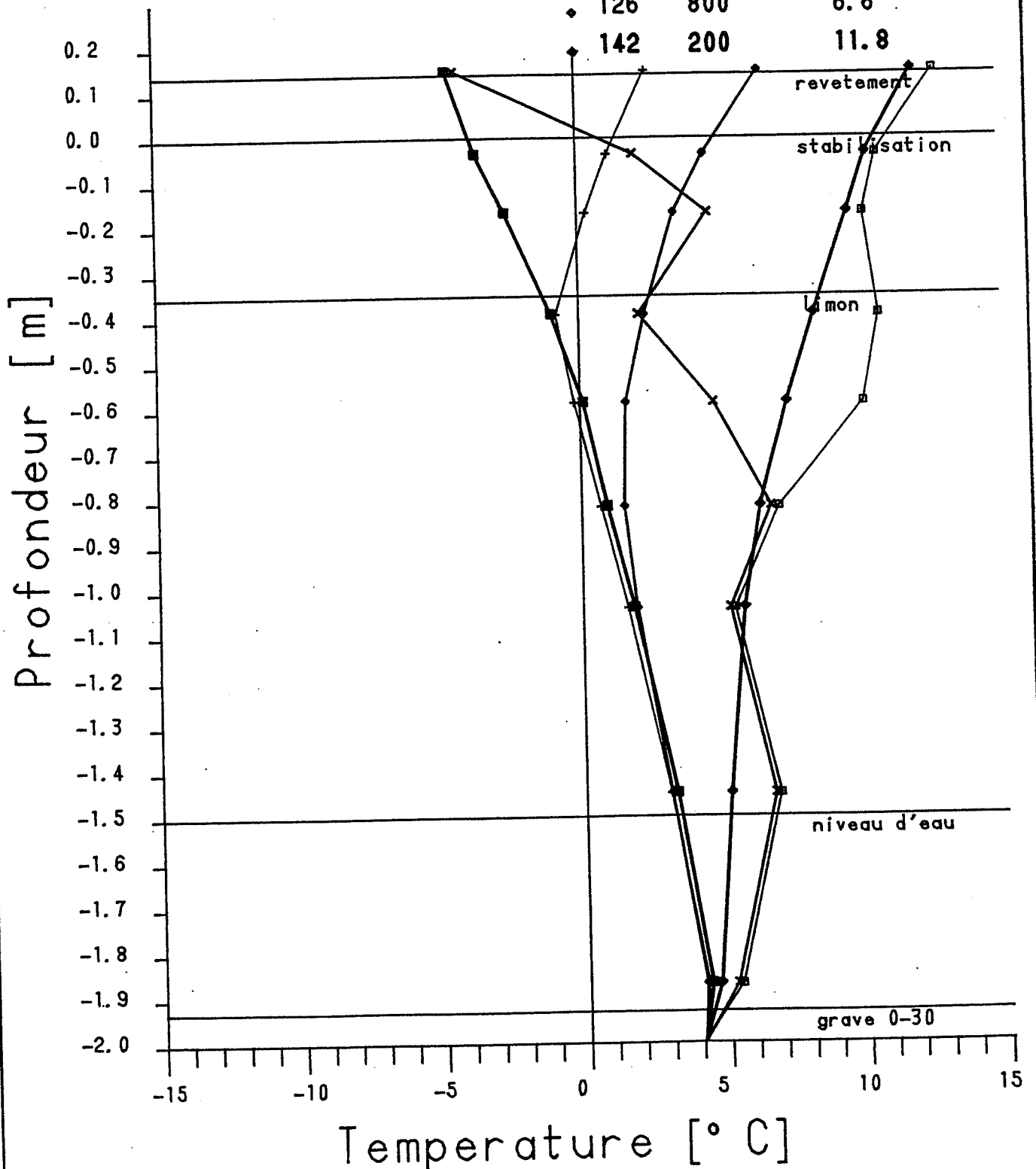
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1

Essai 12E

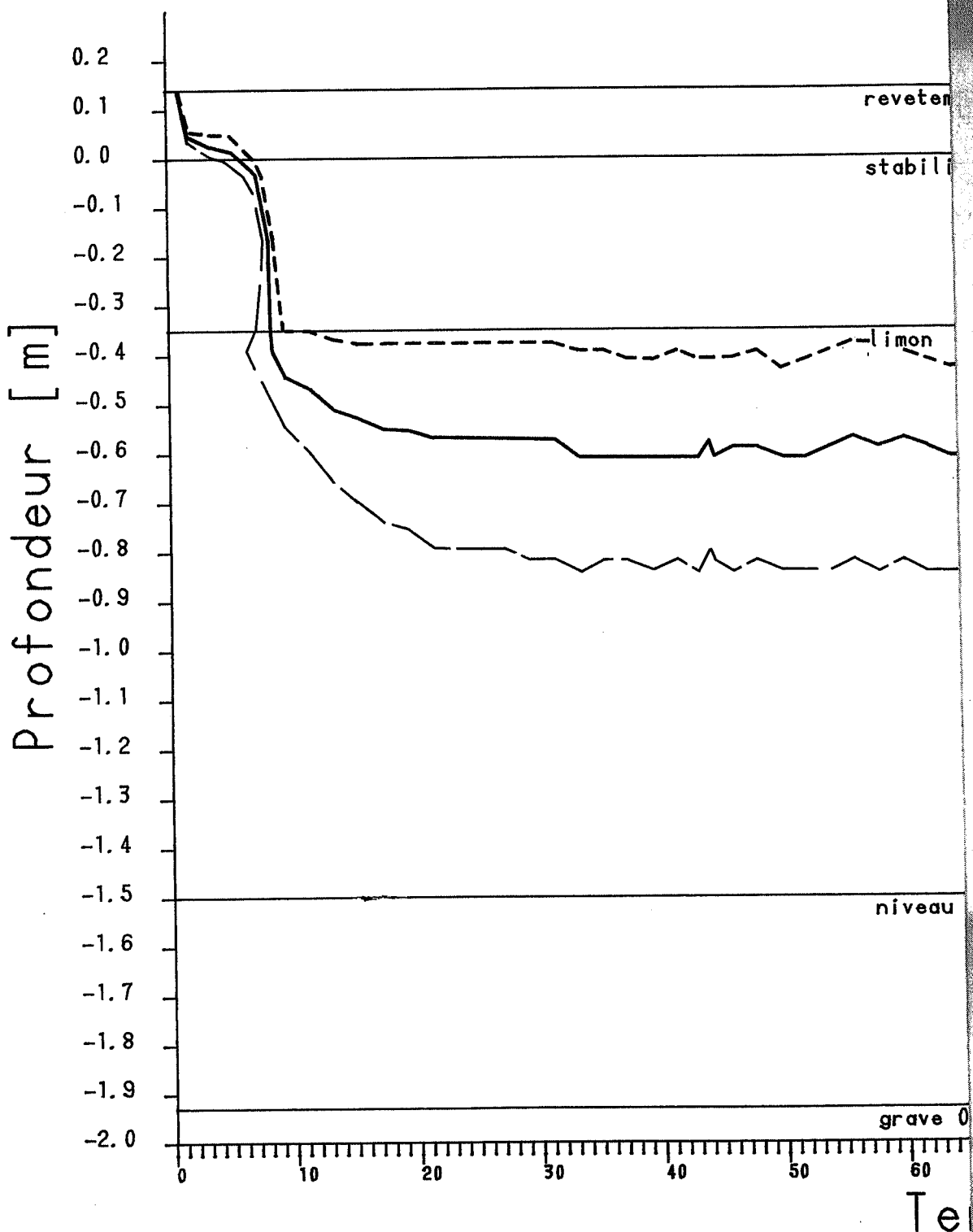
	Jour	heure	temp. air
□	0	822	15.6
×	4	1401	-5.2
■	58	1201	-6.7
+	118	1300	2.8
◆	126	800	6.6
◆	142	200	11.8



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ISOTHERMES

Champ 1
Essai 12E



xe 71.6

ent

sation

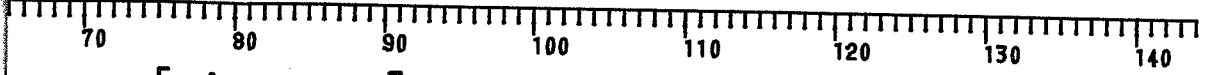
-1°

0°

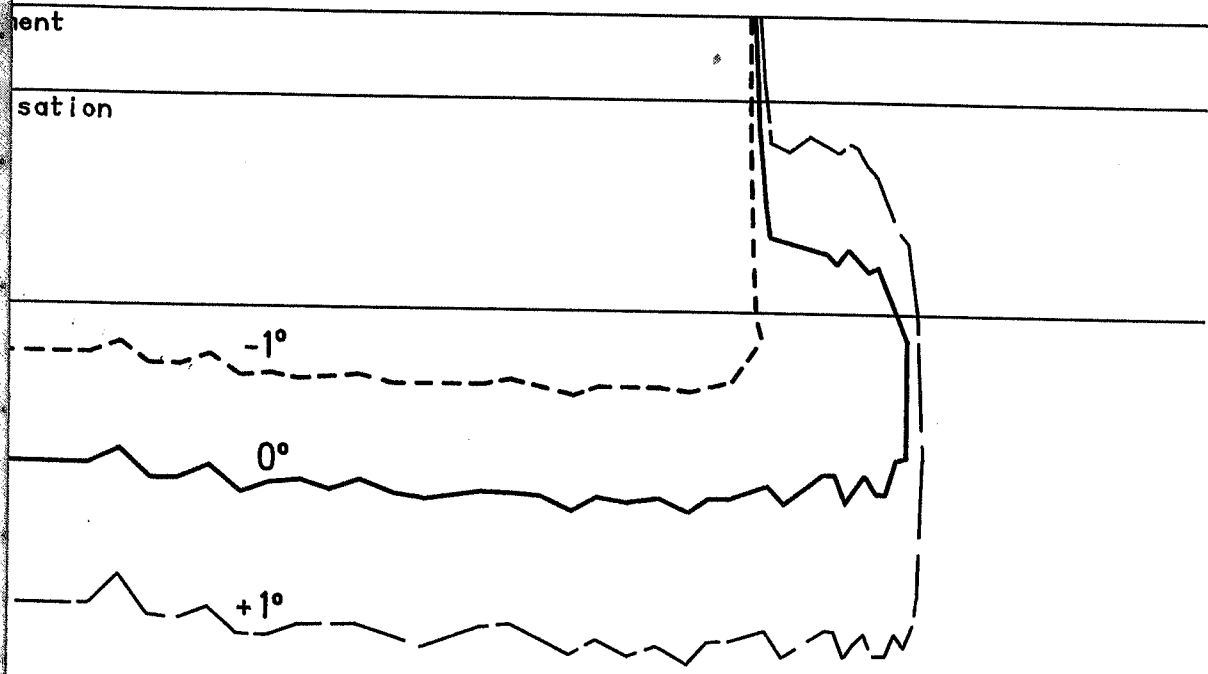
+1°

d'eau

30



mps [jours]

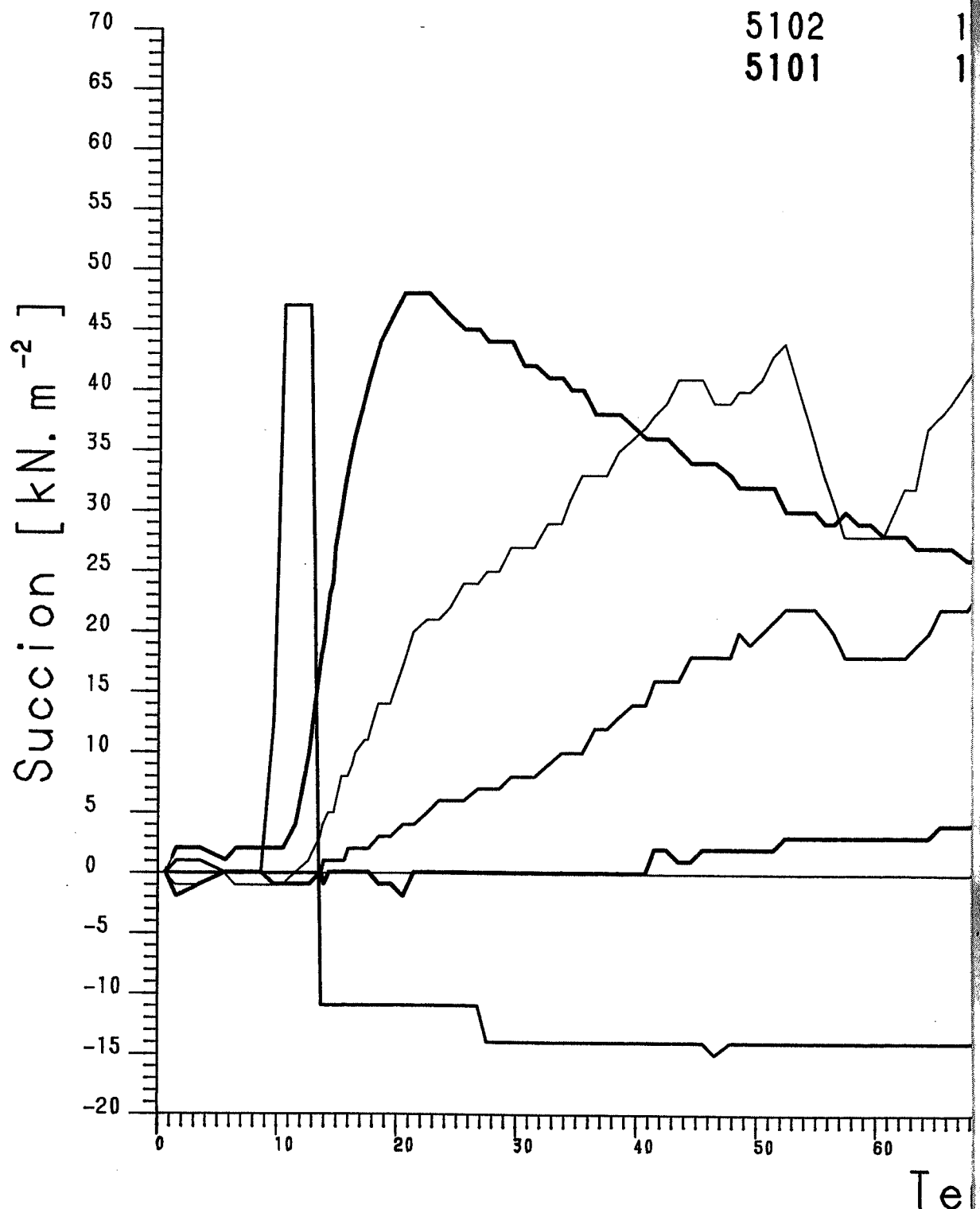


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ 1
 Essai 12E
 Debut 3.2.84

capteur no	P
5105	4
5104	5
5103	8
5102	1
5101	1



71.7

rof

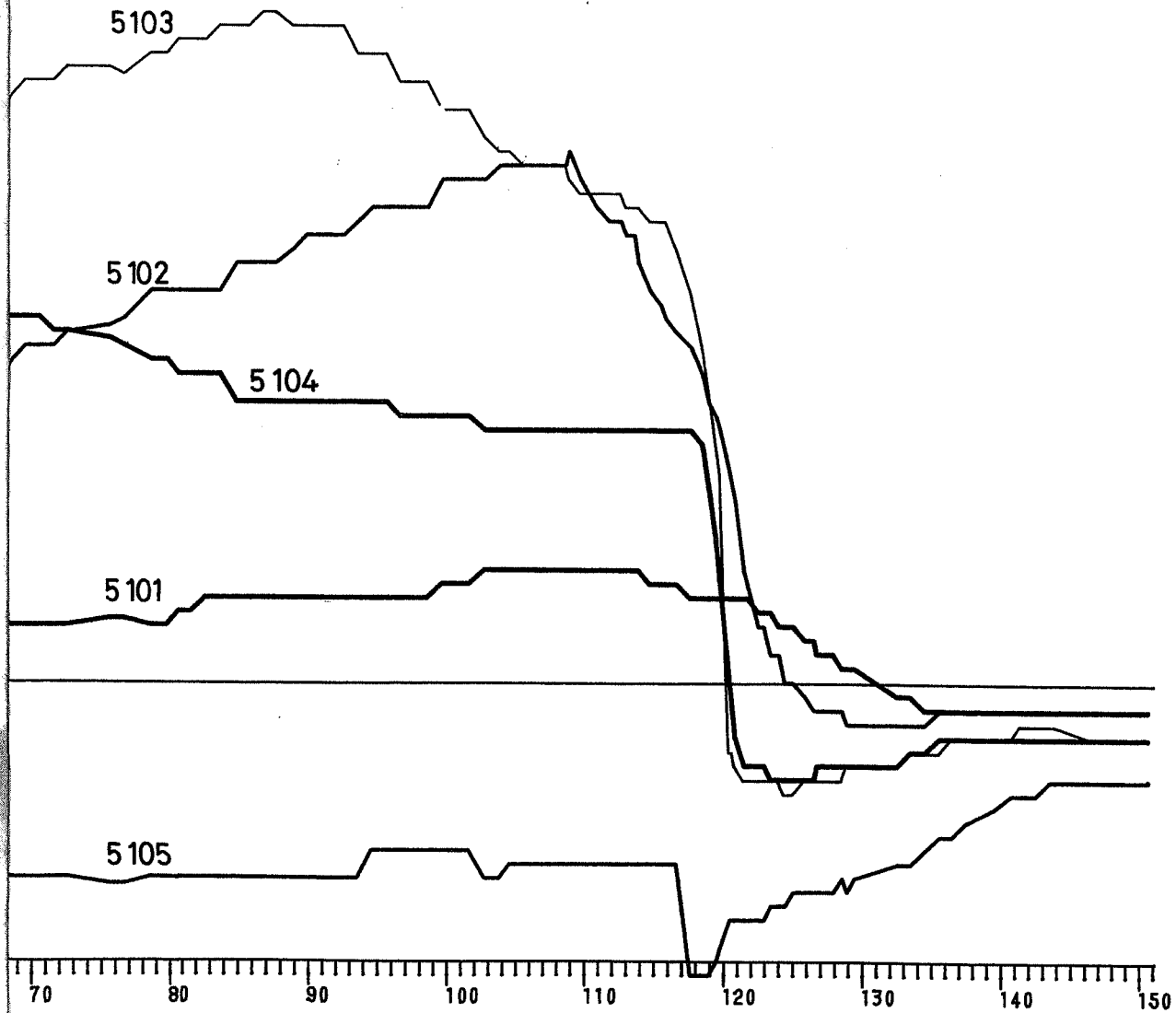
0.3

8.6

1.6

01.0

44.0

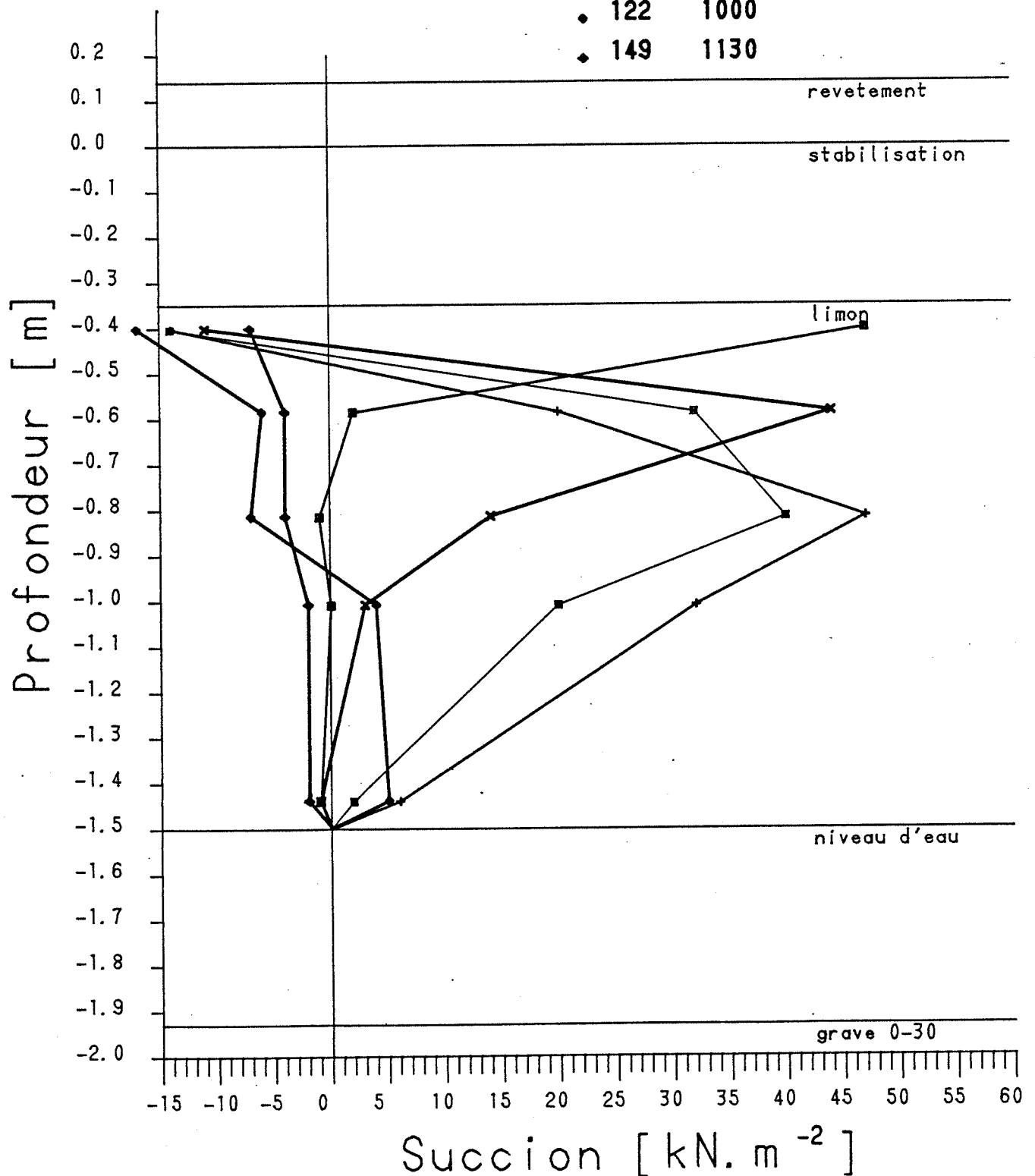


mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ 1		Jour	heure
Essai 12E	□	10	1100
	×	18	1000
	■	48	1000
	+	90	1030
	●	122	1000
	◆	149	1130



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

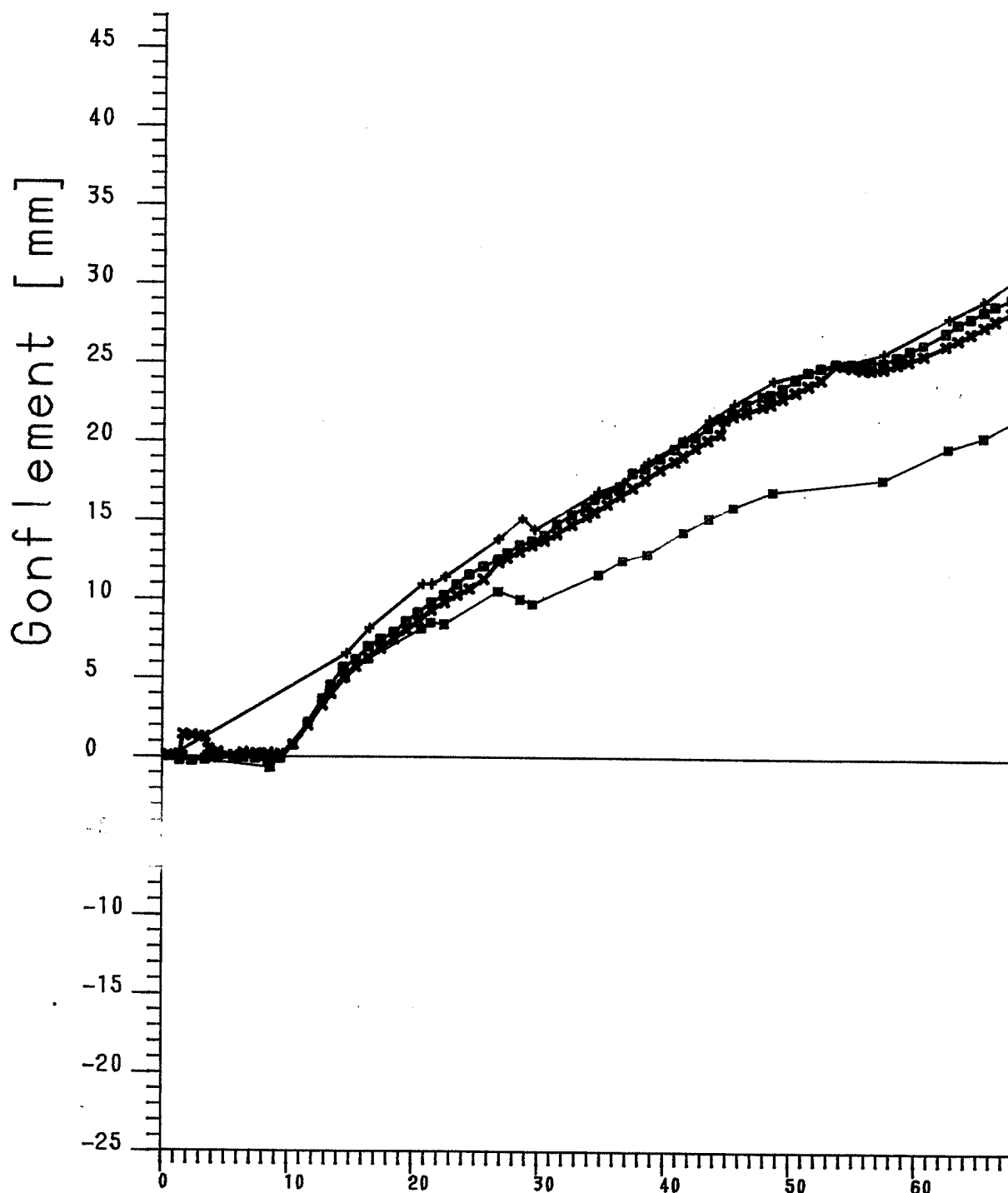
Mesures de gonflement

Champ 1

Essai 12E

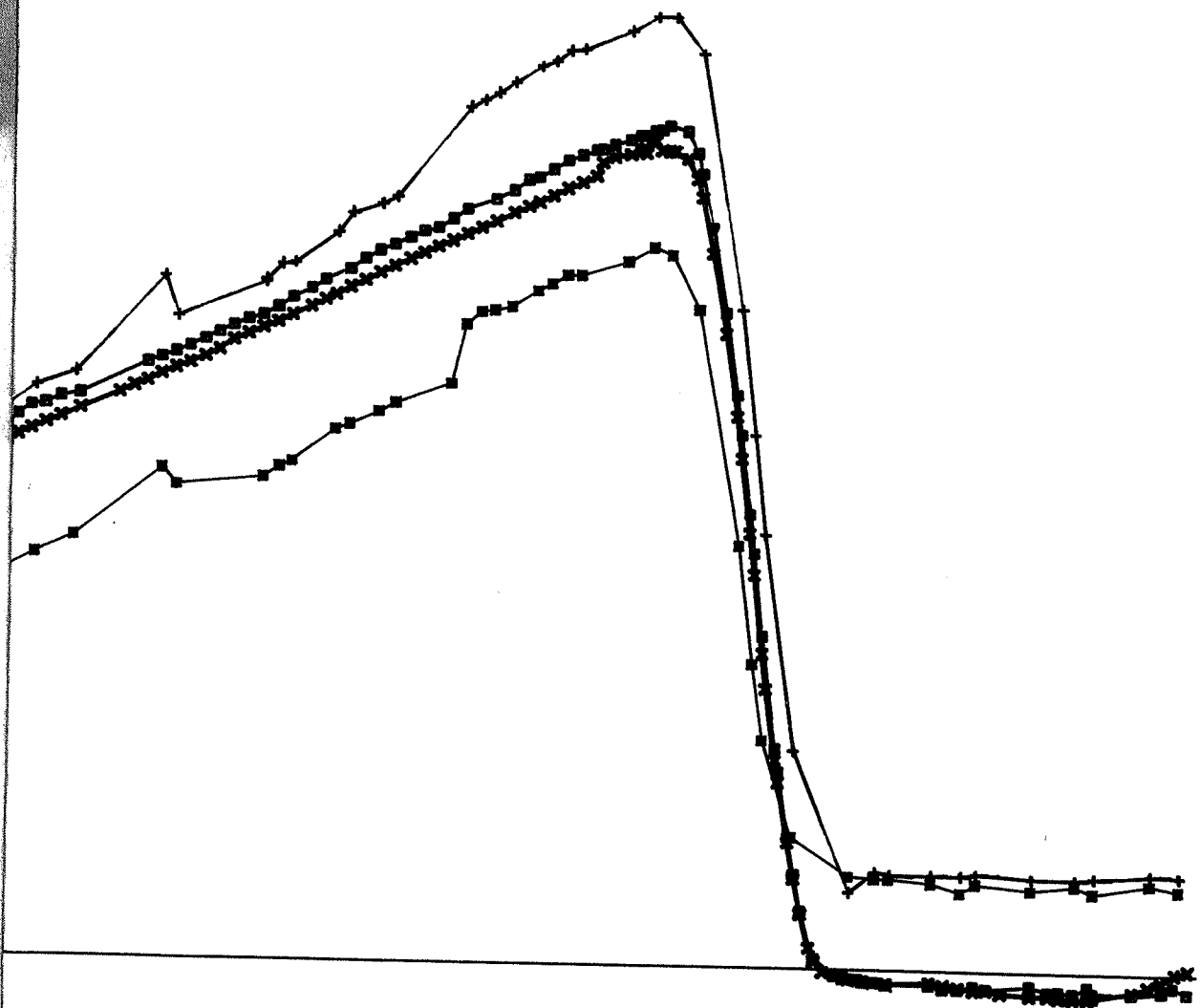
Debut 7.2.84

▫ nivellement ax
* comparateur ax
■ bison axe A
+ bison axe B



Te

e B
e B

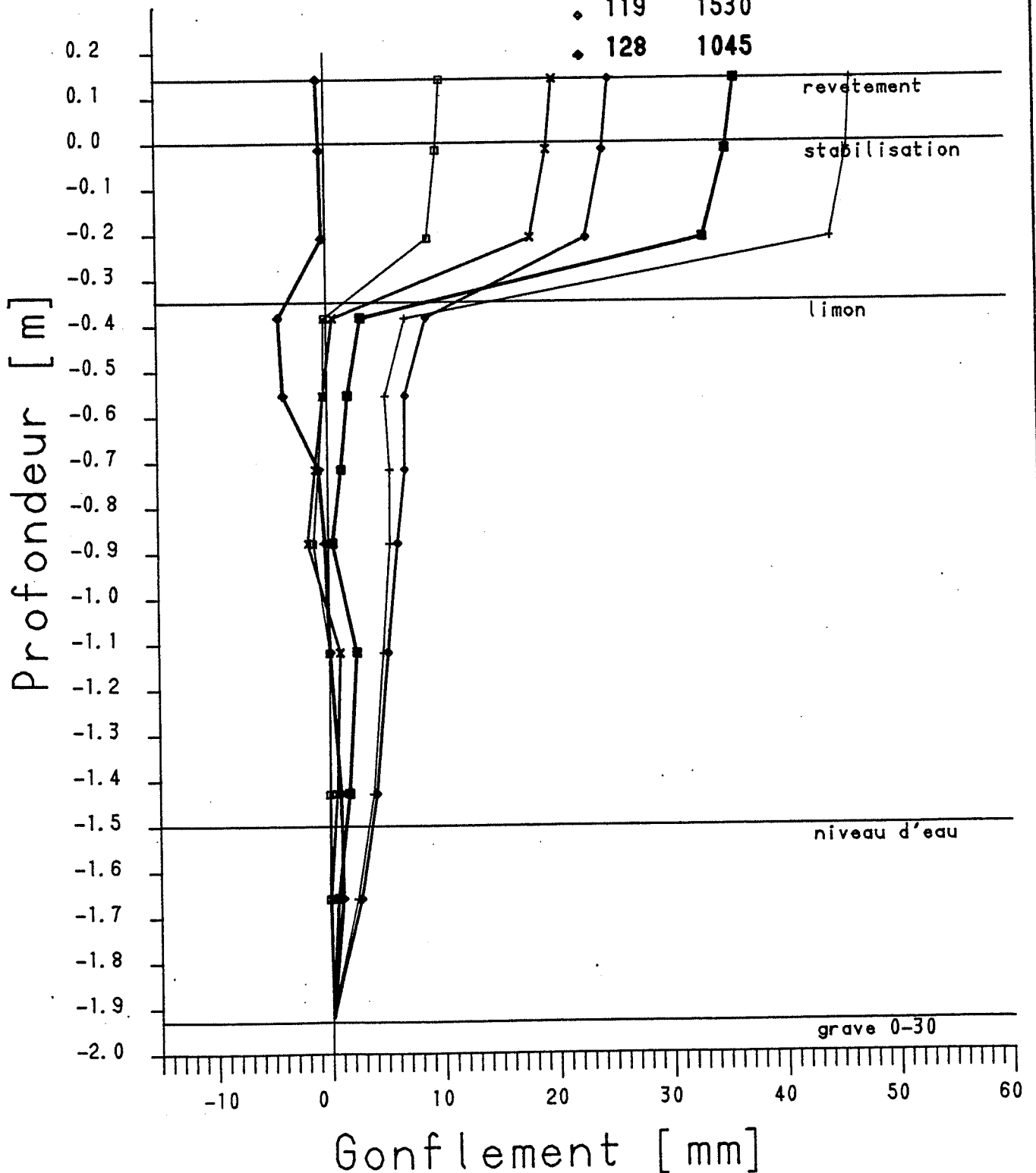


mps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

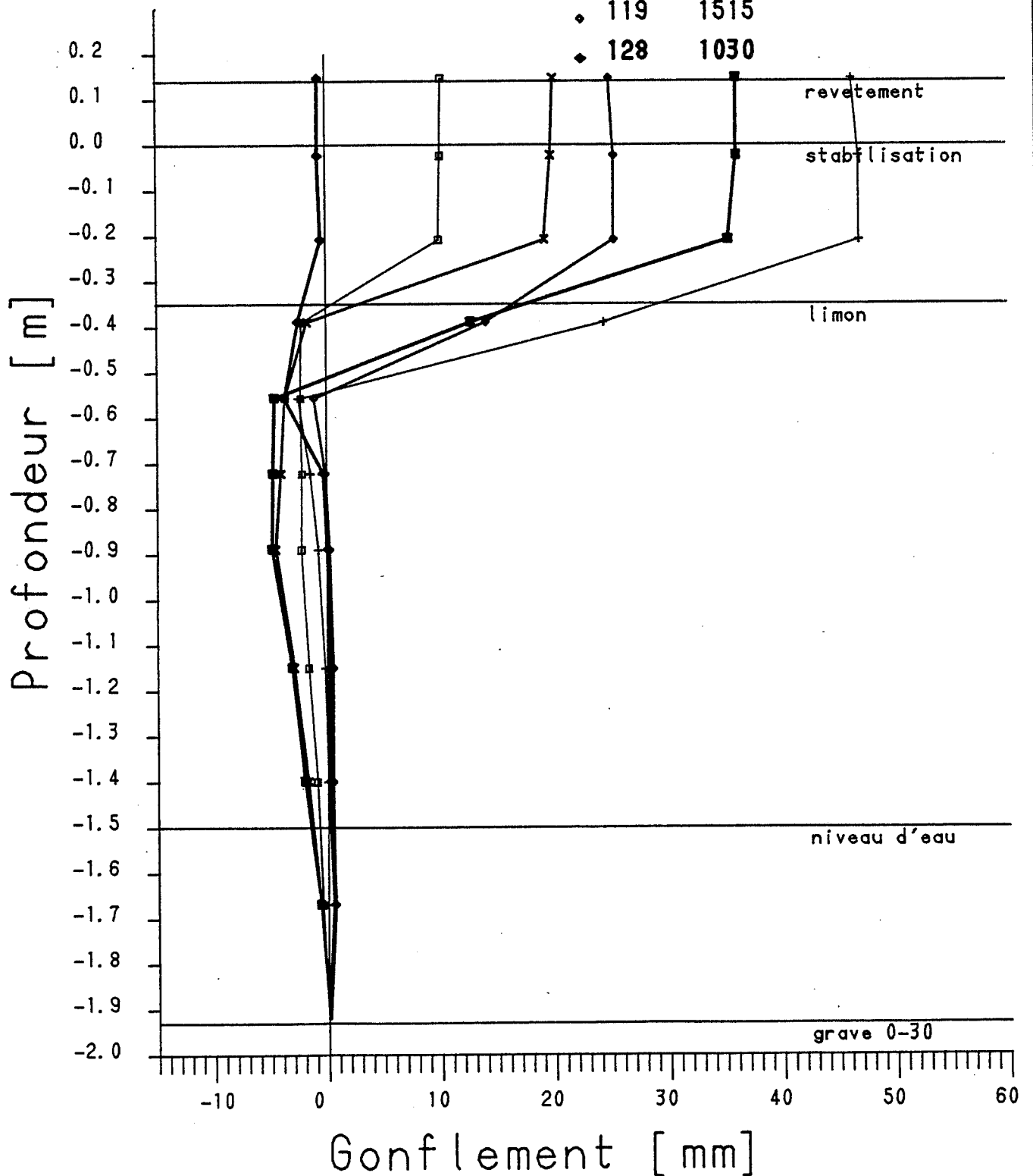
		Jour	heure
Champ 1		22	1000
Essai 12E AXE A		41	1000
		86	1300
		113	1630
		119	1530
		128	1045



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

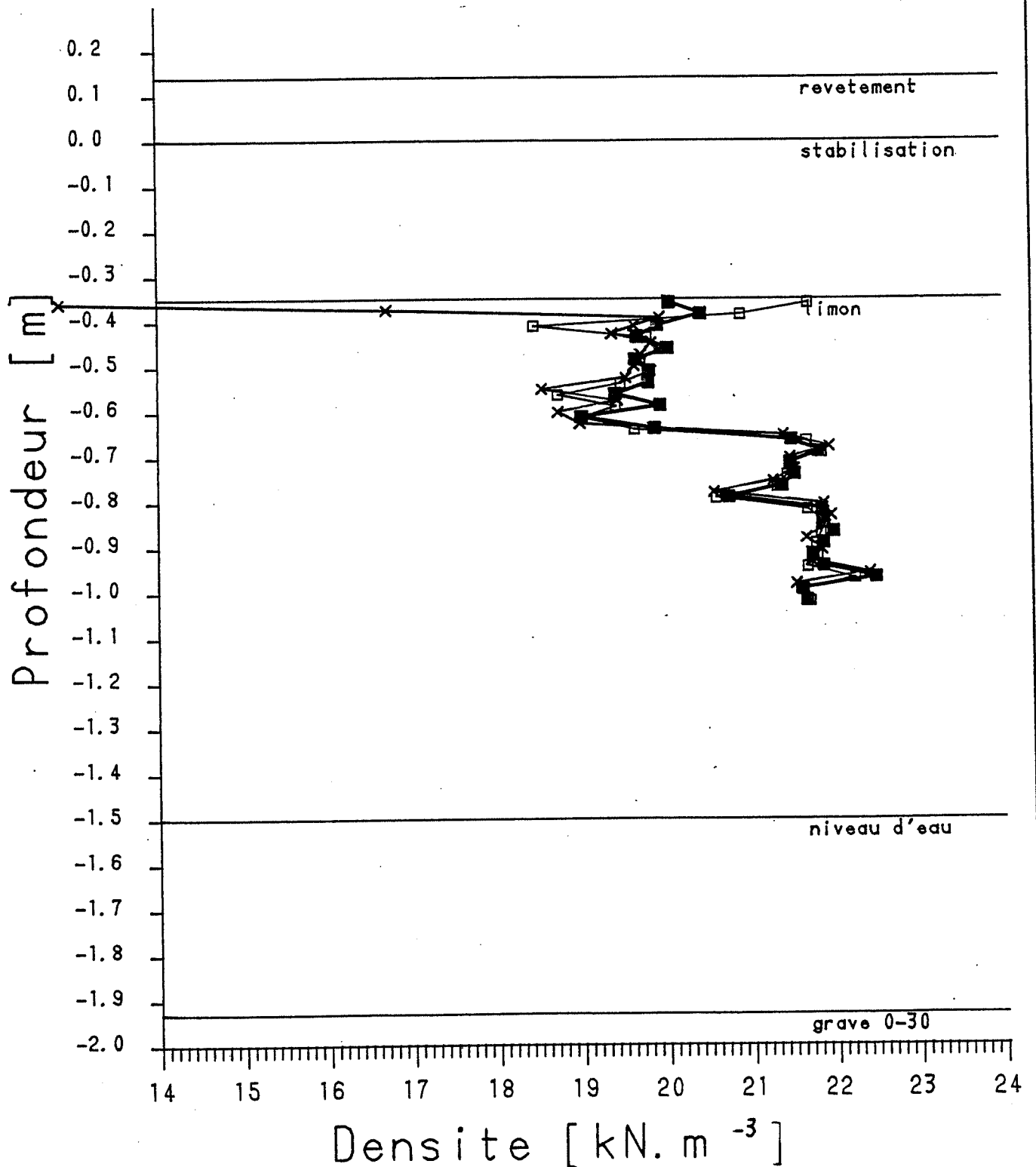
Champ 1		Jour	heure
Essai 12E AXE B	□	22	1100
	×	41	1030
	■	86	1400
	+	113	1630
	◇	119	1515
	◆	128	1030



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

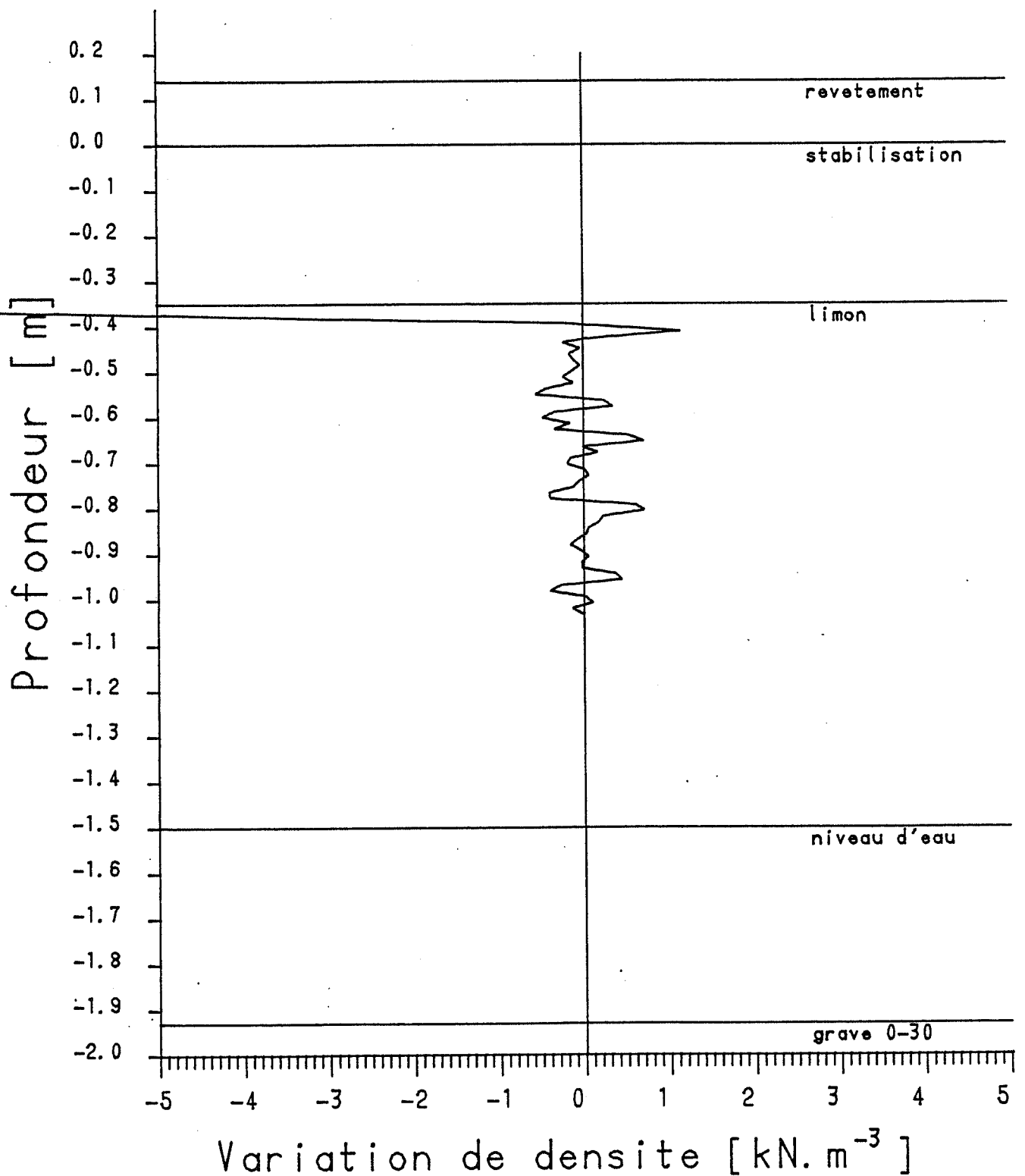
Champ	1	□	mesure du	0 jour
Essai	12E	x	mesure du	90 jour
Axe	C	■	mesure du	150 jour



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

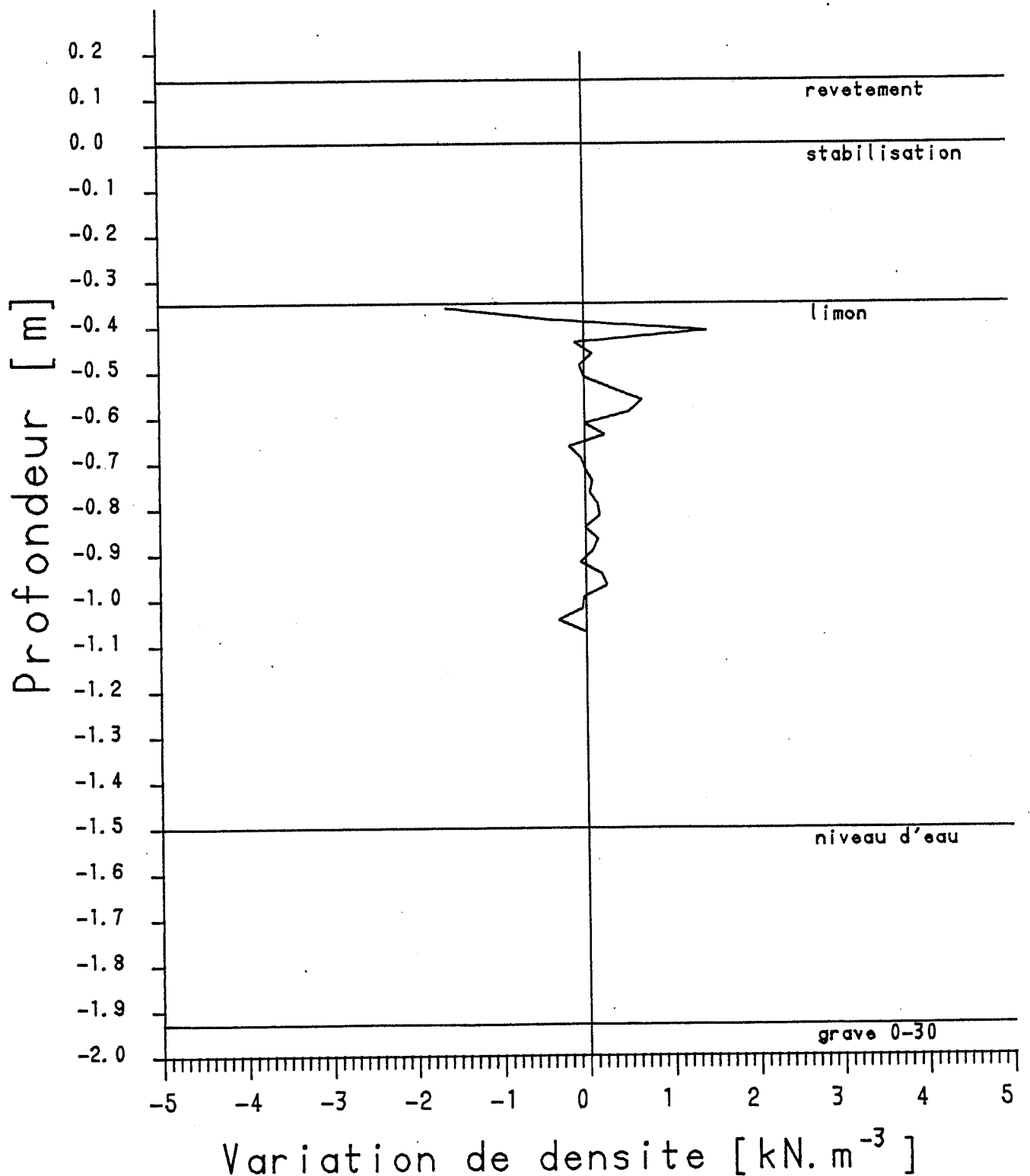
Champ 1 mesure du 0 jour
Essai 12E mesure du 90 jour
Axe C



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

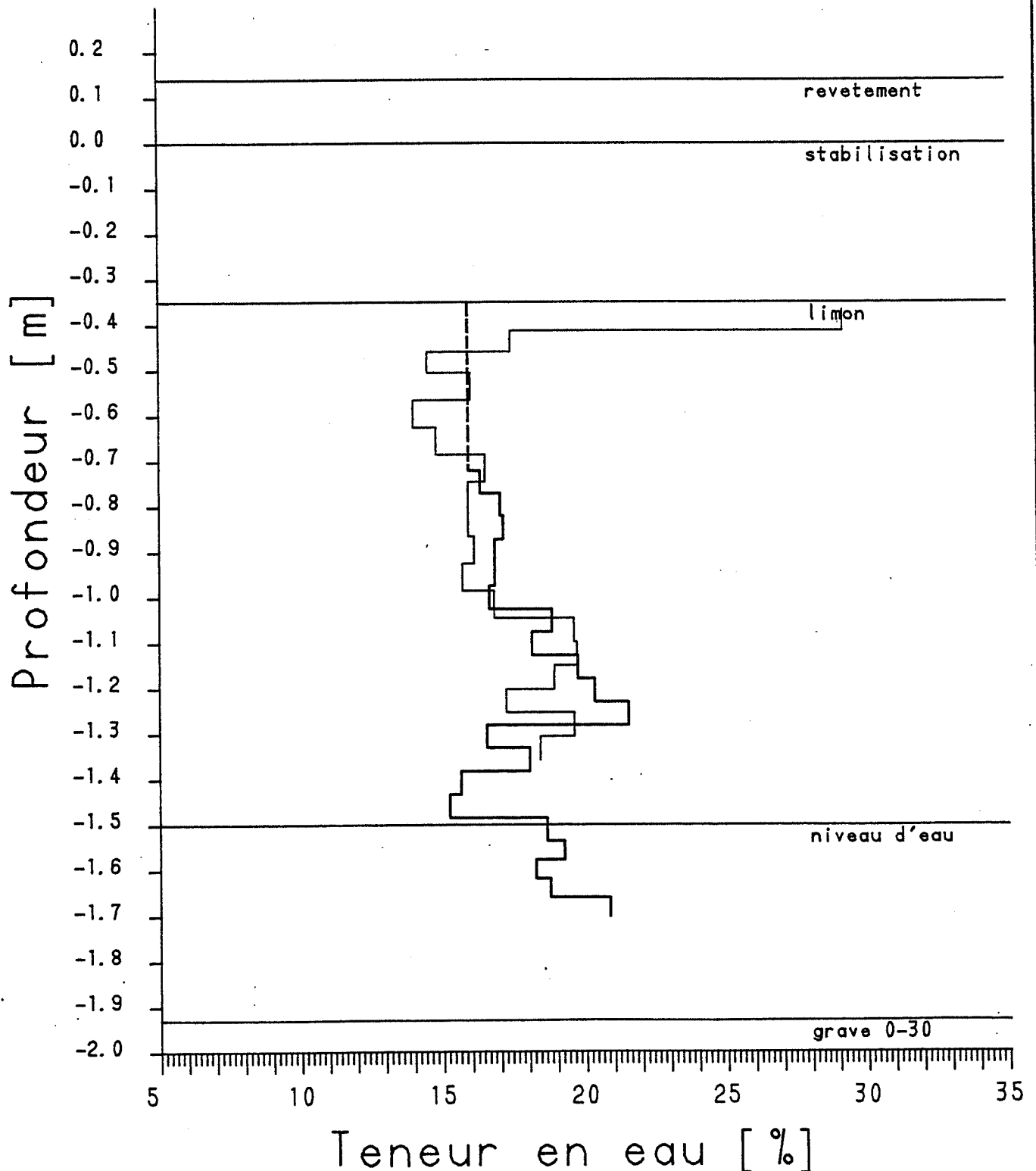
Champ 1 mesure du 0 jour
Essai 12E mesure du 150 jour
Axe c



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de teneur en eau

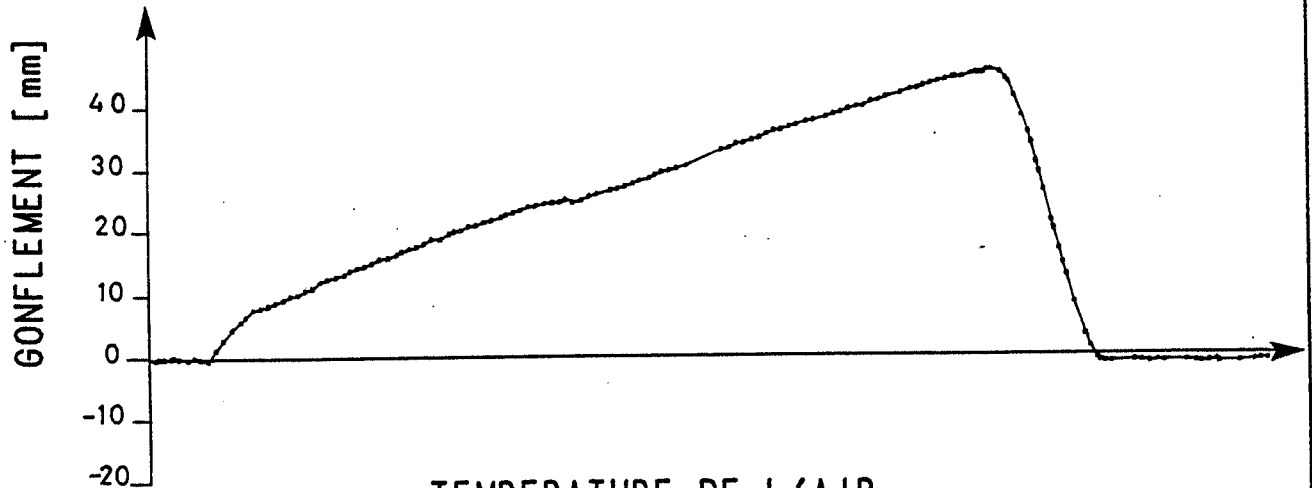
Champ	1	sondage S1	du 111 jour
Essai	12E	sondage S4	du 0 jour



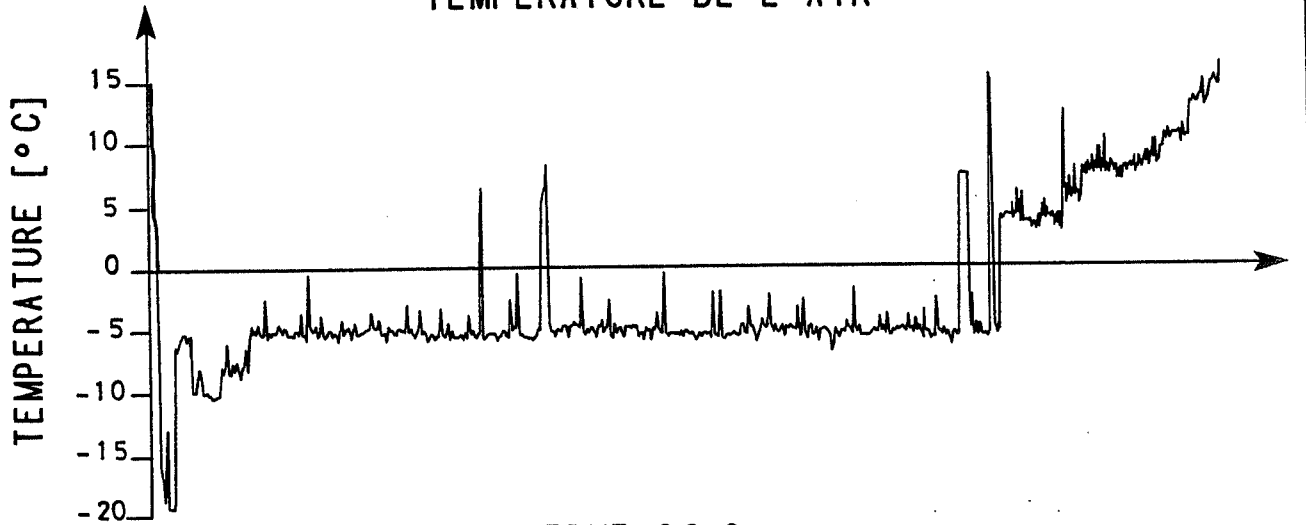
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Essai 12E Champ 2

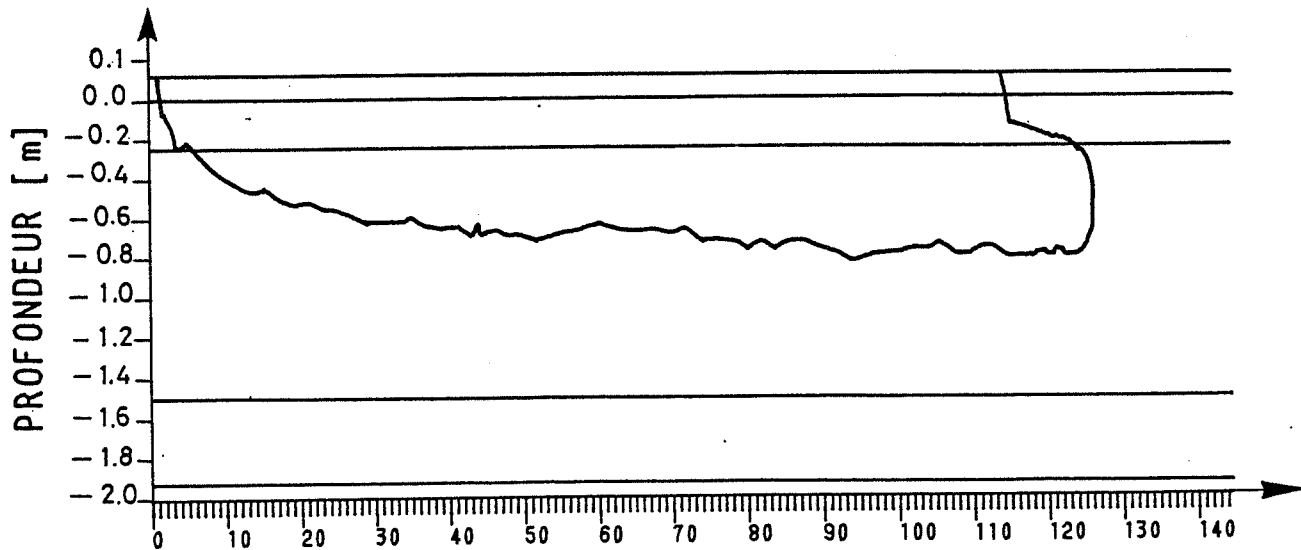
DEFORMATION VERTICALE



TEMPERATURE DE L'AIR



ISOTHERME 0° C



Temps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 2

Capteur no

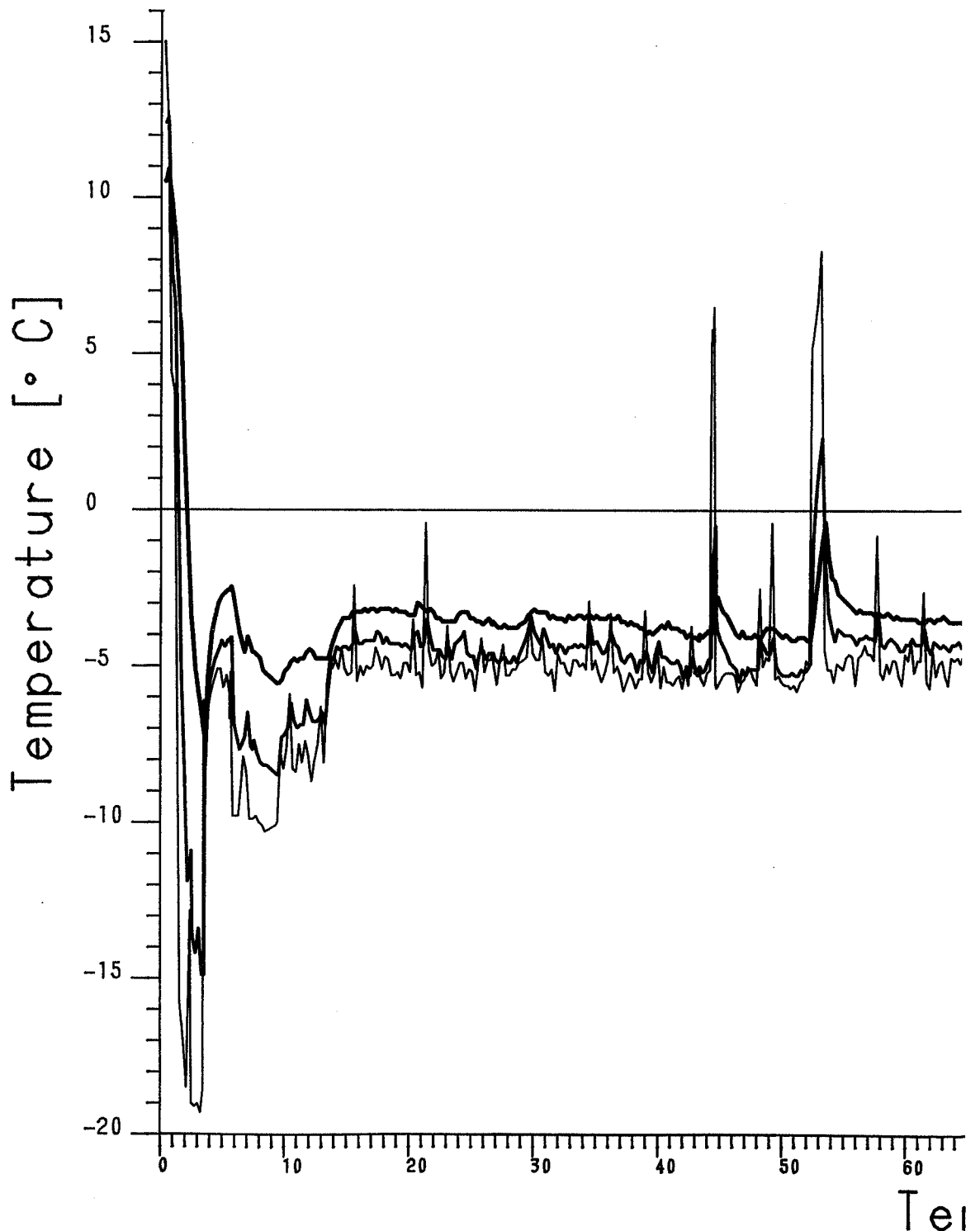
Essai 12E

1210

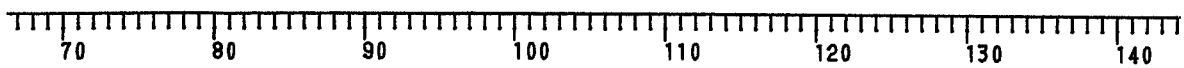
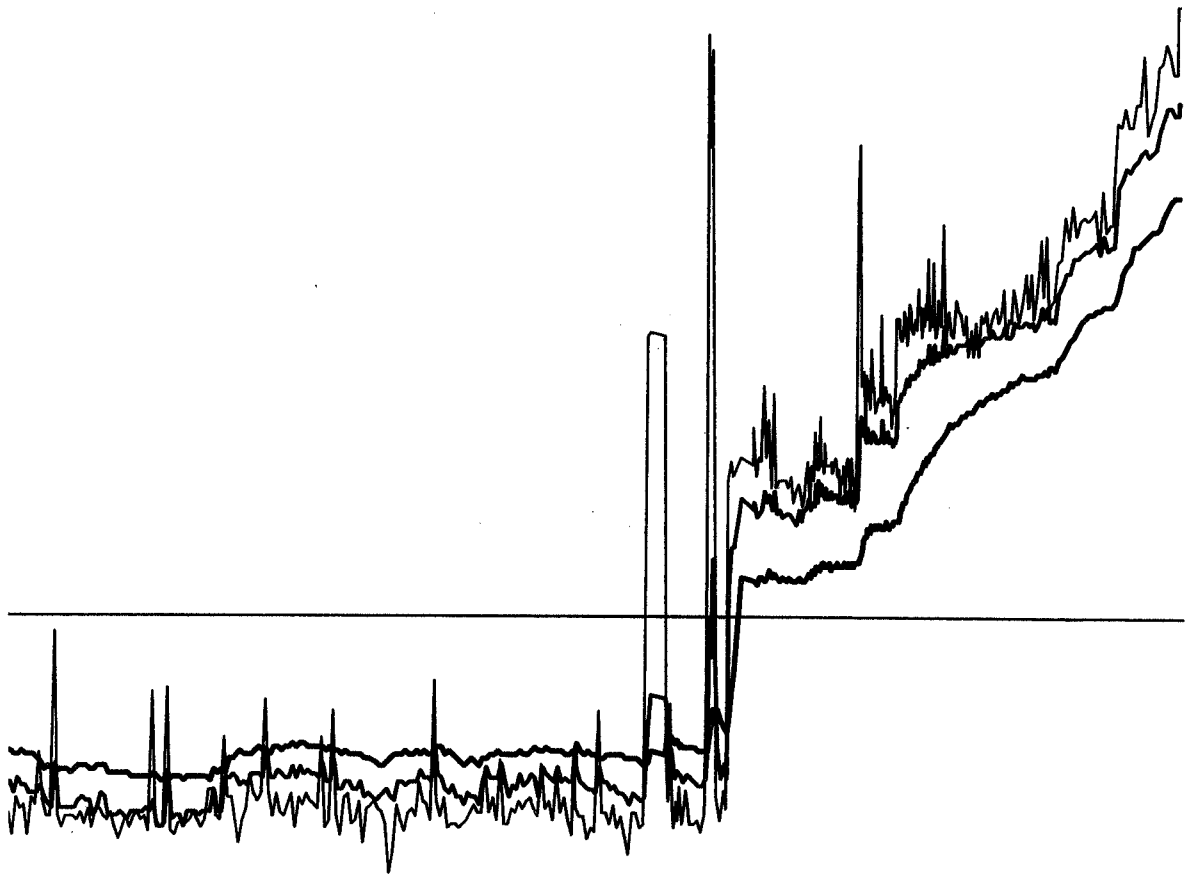
Debut 7. 2. 84

1209

1208



Prof
2.4
20.9
39.0



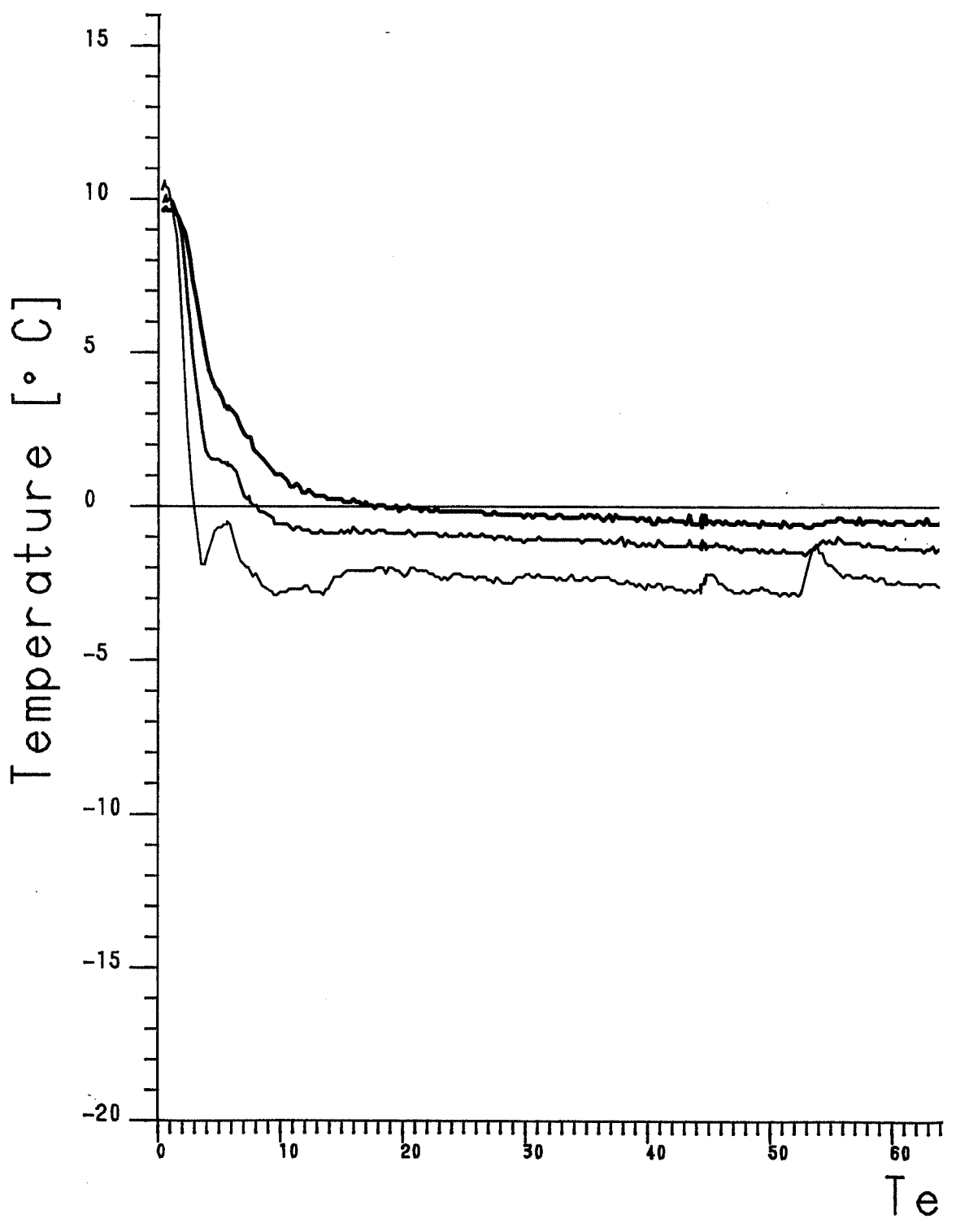
ips [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 2
Essai 12E
Debut 7.2.84

Capteur no
1207
1206
1205



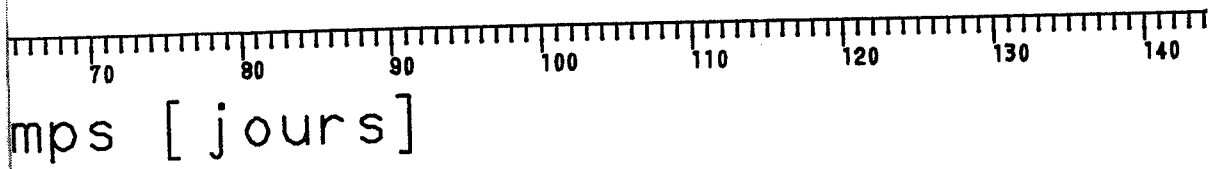
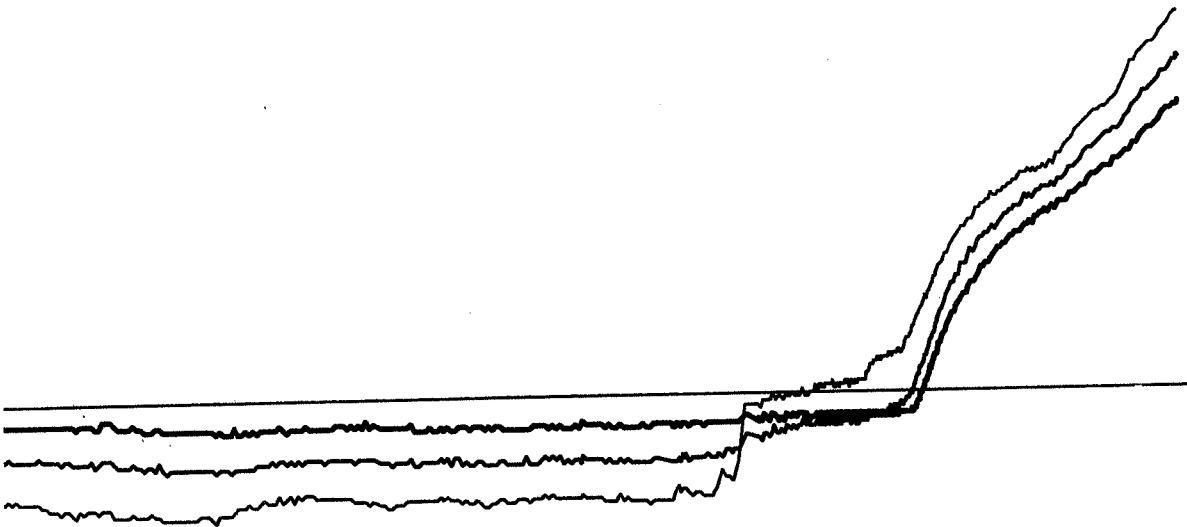
72.3

Prof

17.0

31.4

49.6



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 2

Capteur no

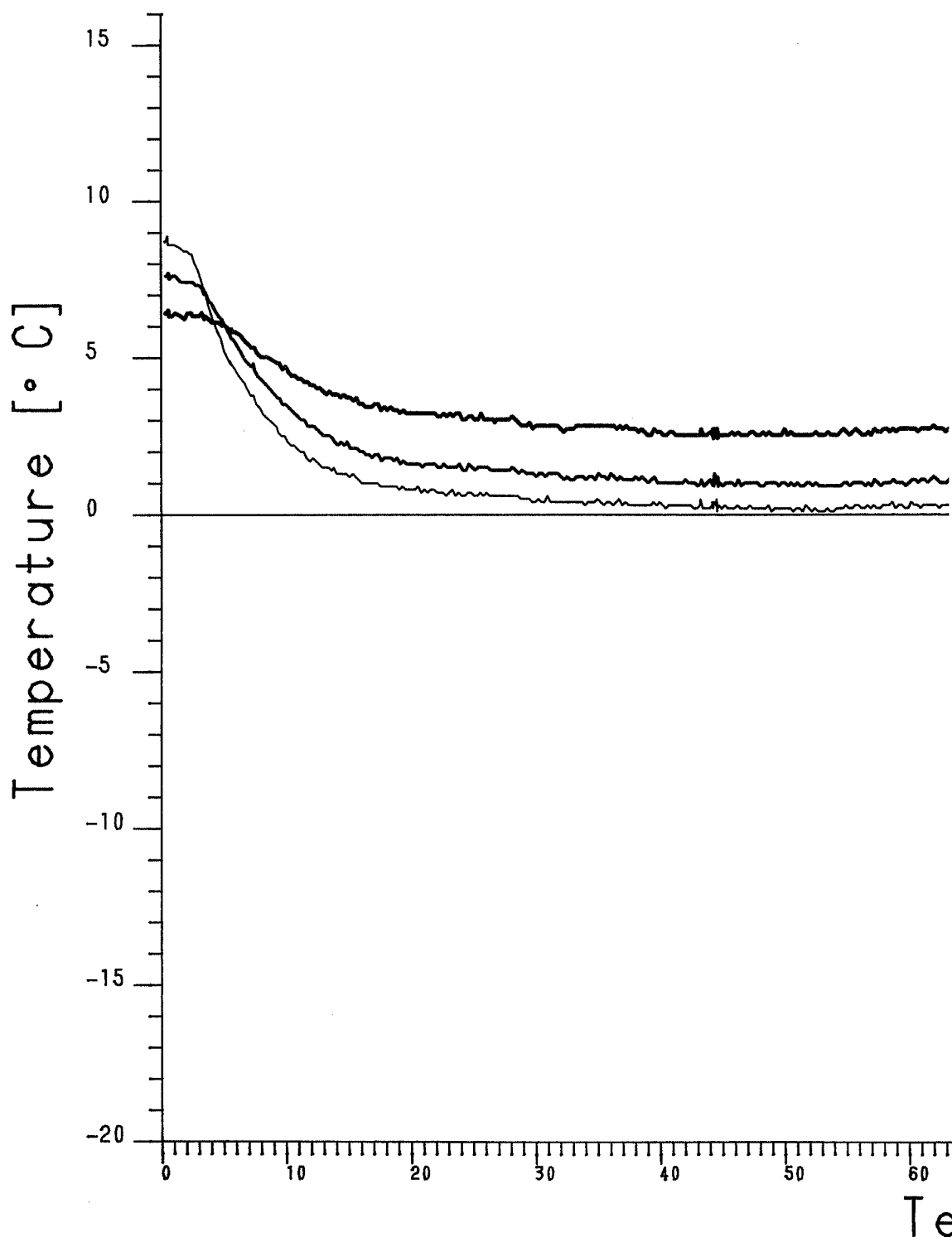
Essai 12E

1204

Debut 7.2.84

1203

1202



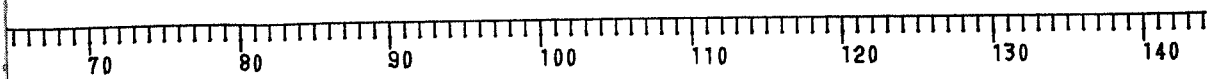
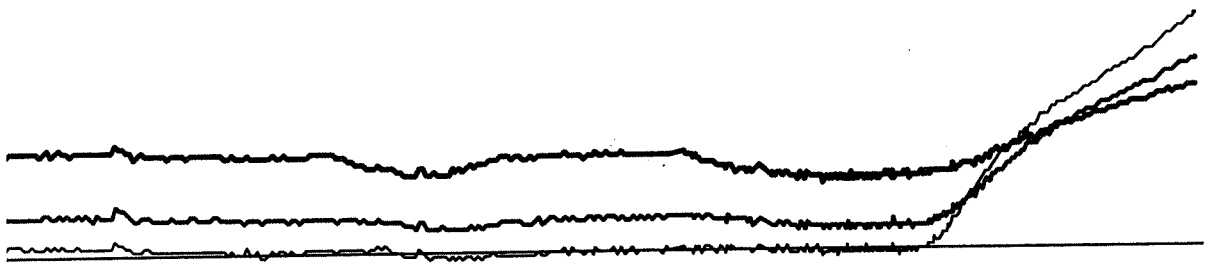
xe 72.4

Prof

115.0

140.0

167.0



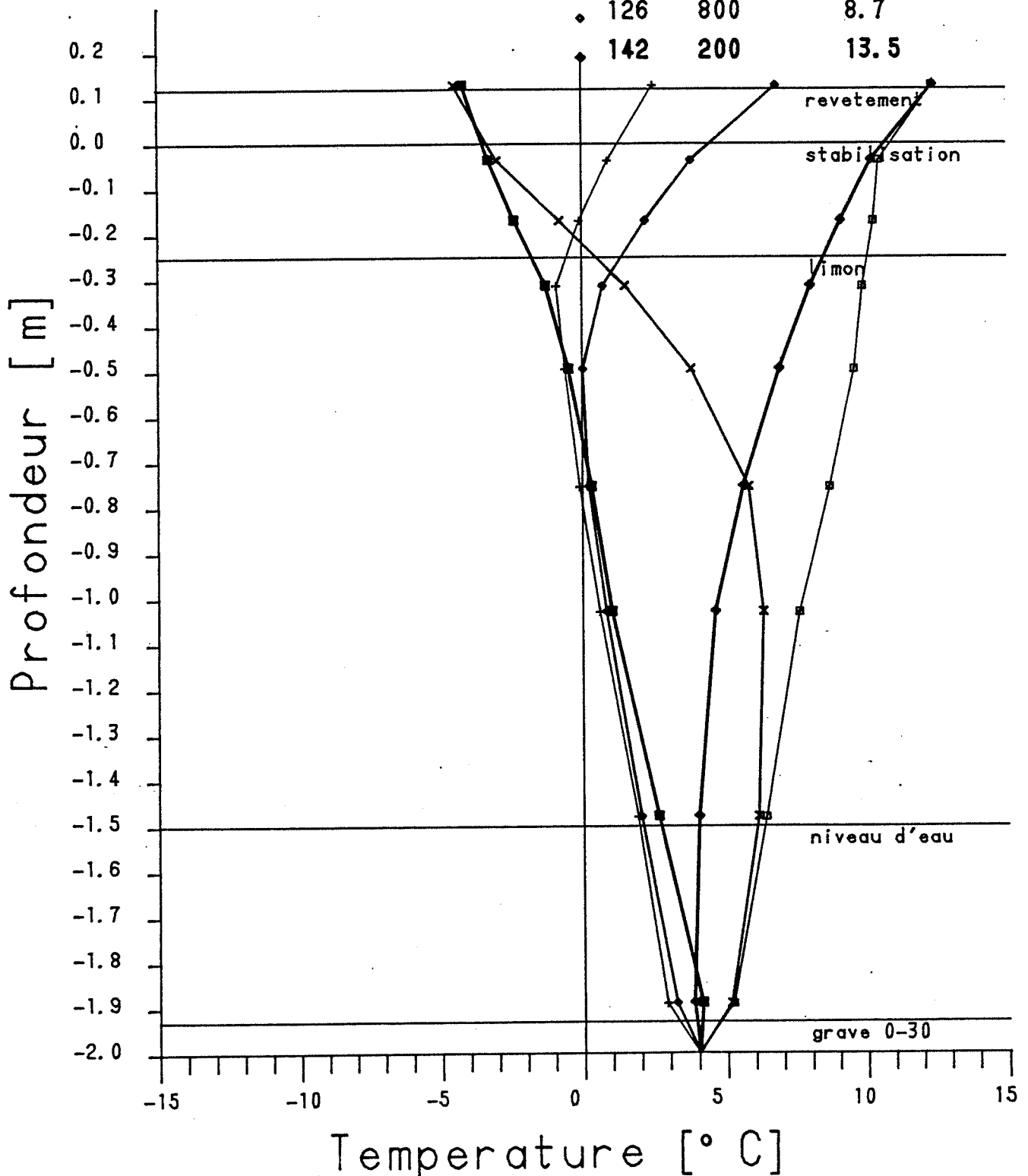
mps [jours]

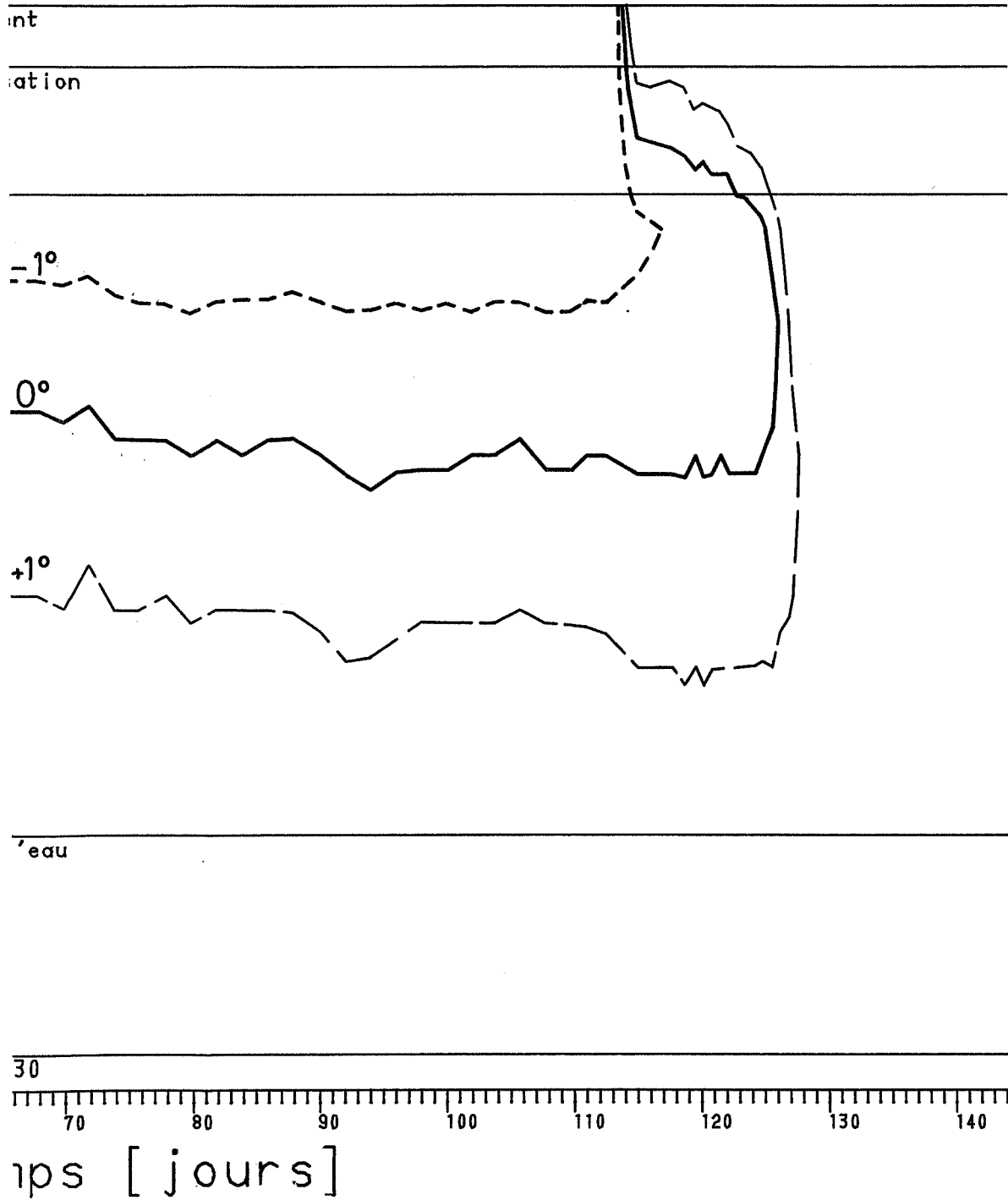
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 2
Essai 12E

	Jour	heure	temp. air
□	0	822	15.0
x	4	1401	-5.1
■	58	1201	-4.9
+	118	1300	3.2
◇	126	800	8.7
◆	142	200	13.5

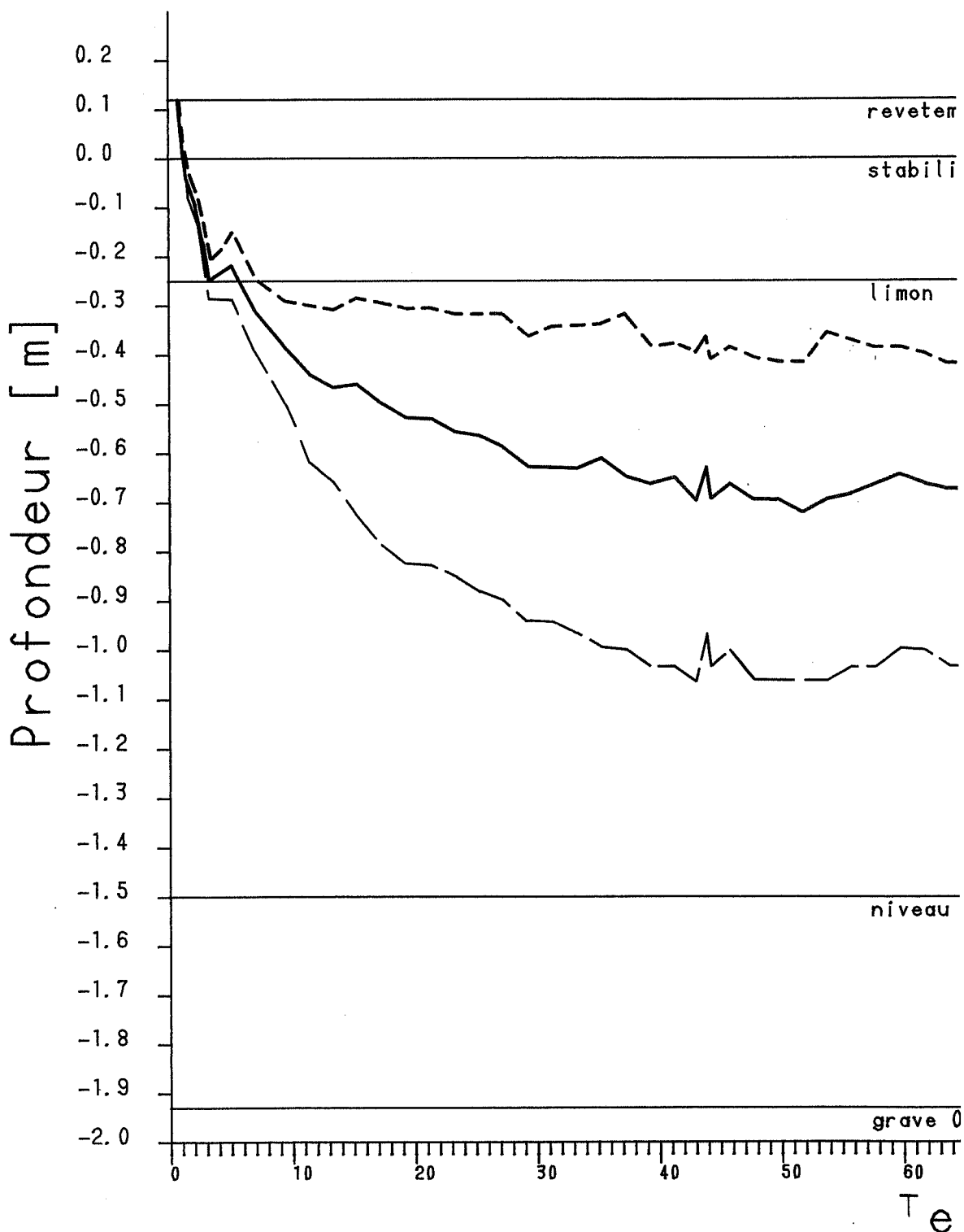




LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ISOTHERMES

Champ 2
Essai 12E



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ 2

Essai 12E

Debut 3. 2. 84

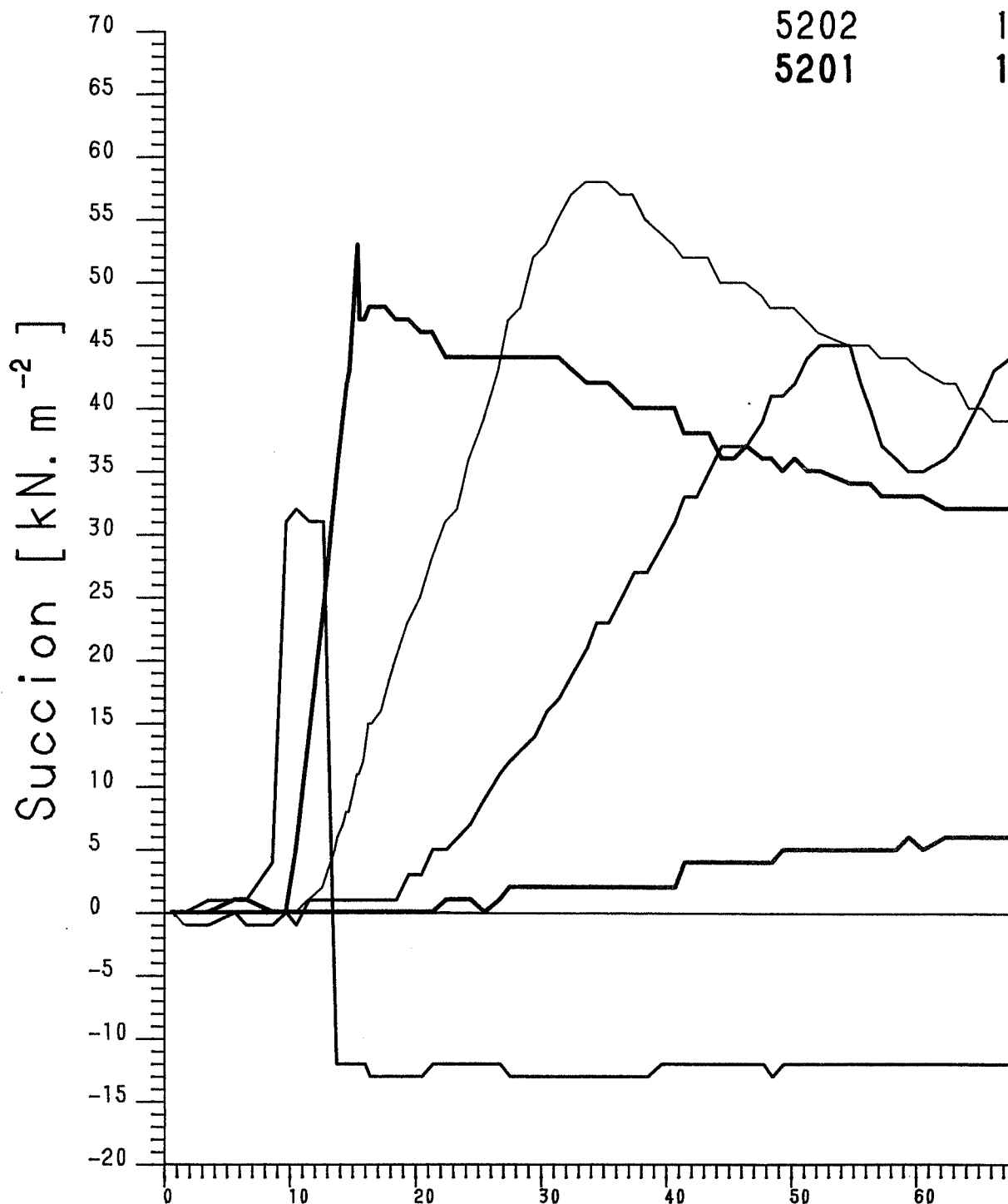
capteur no P

5205 3

5204 **5**

5203 7

5202 1

5201 **1**

Te

72.7

rof

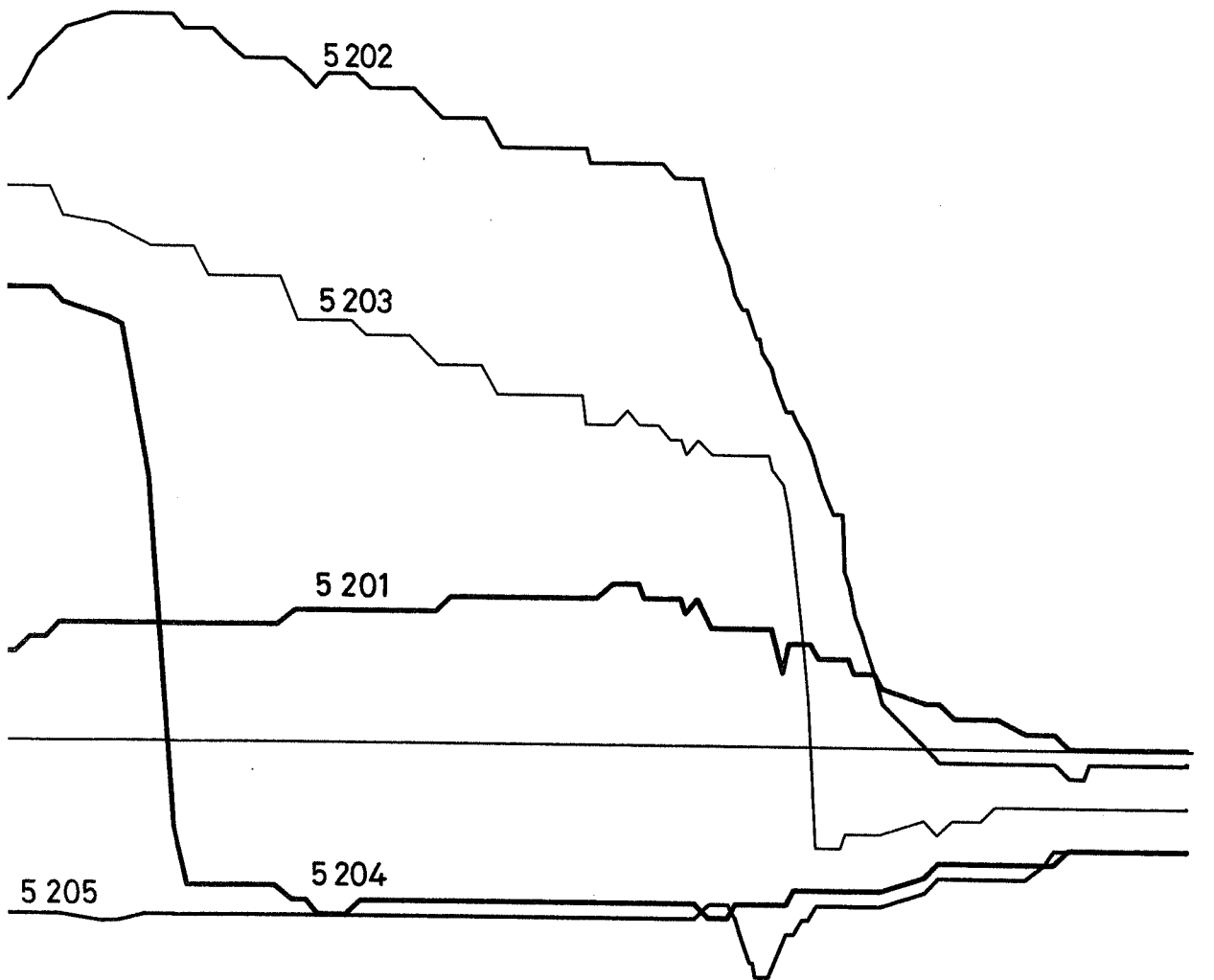
2.2

0.4

3.8

02.0

46.0



70 80 90 100 110 120 130 140 150

aps [jours]

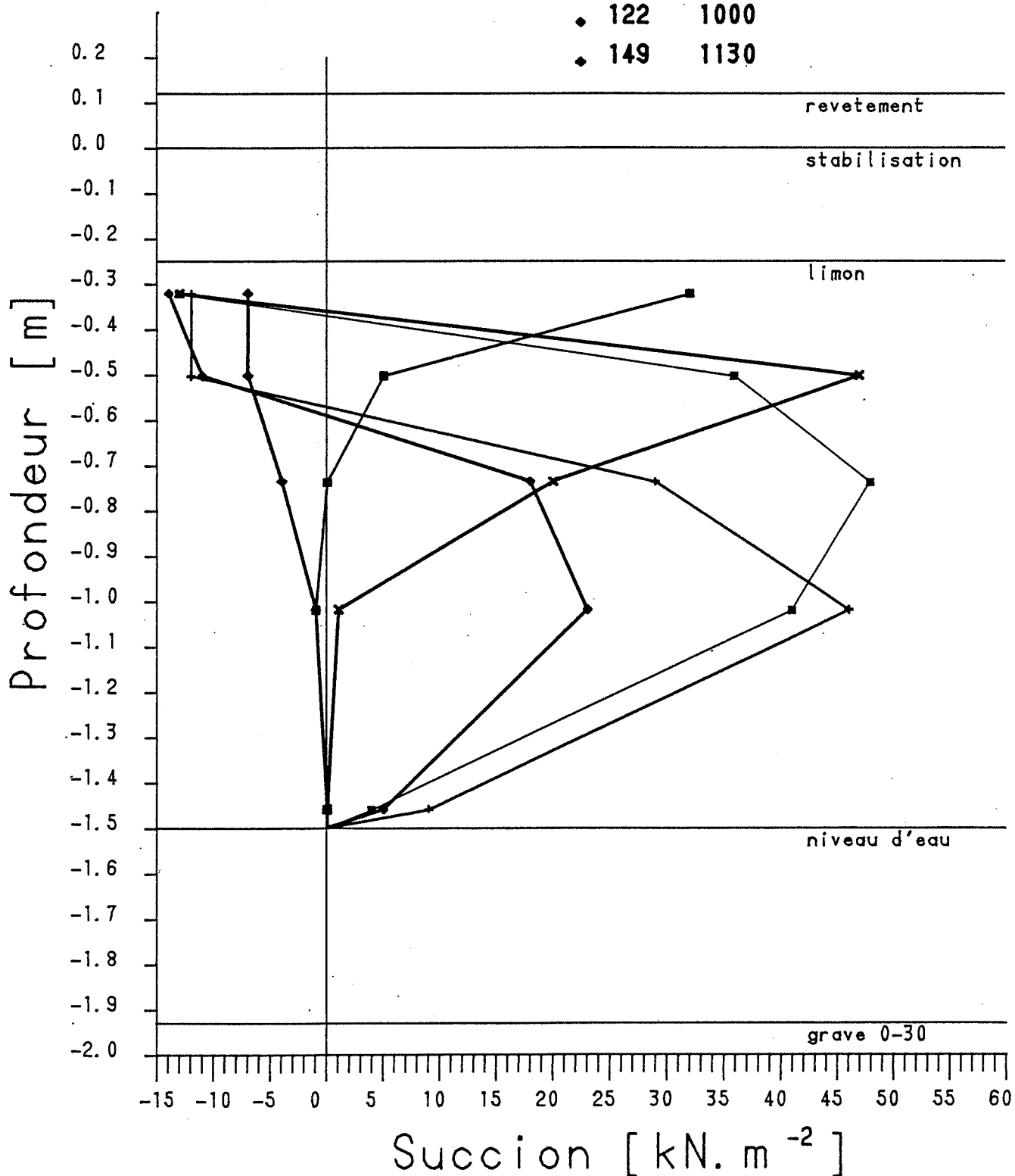
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ 2

Essai 12E

Jour	heure
□ 10	1100
× 18	1000
■ 48	1000
+ 90	1030
◆ 122	1000
◆ 149	1130



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

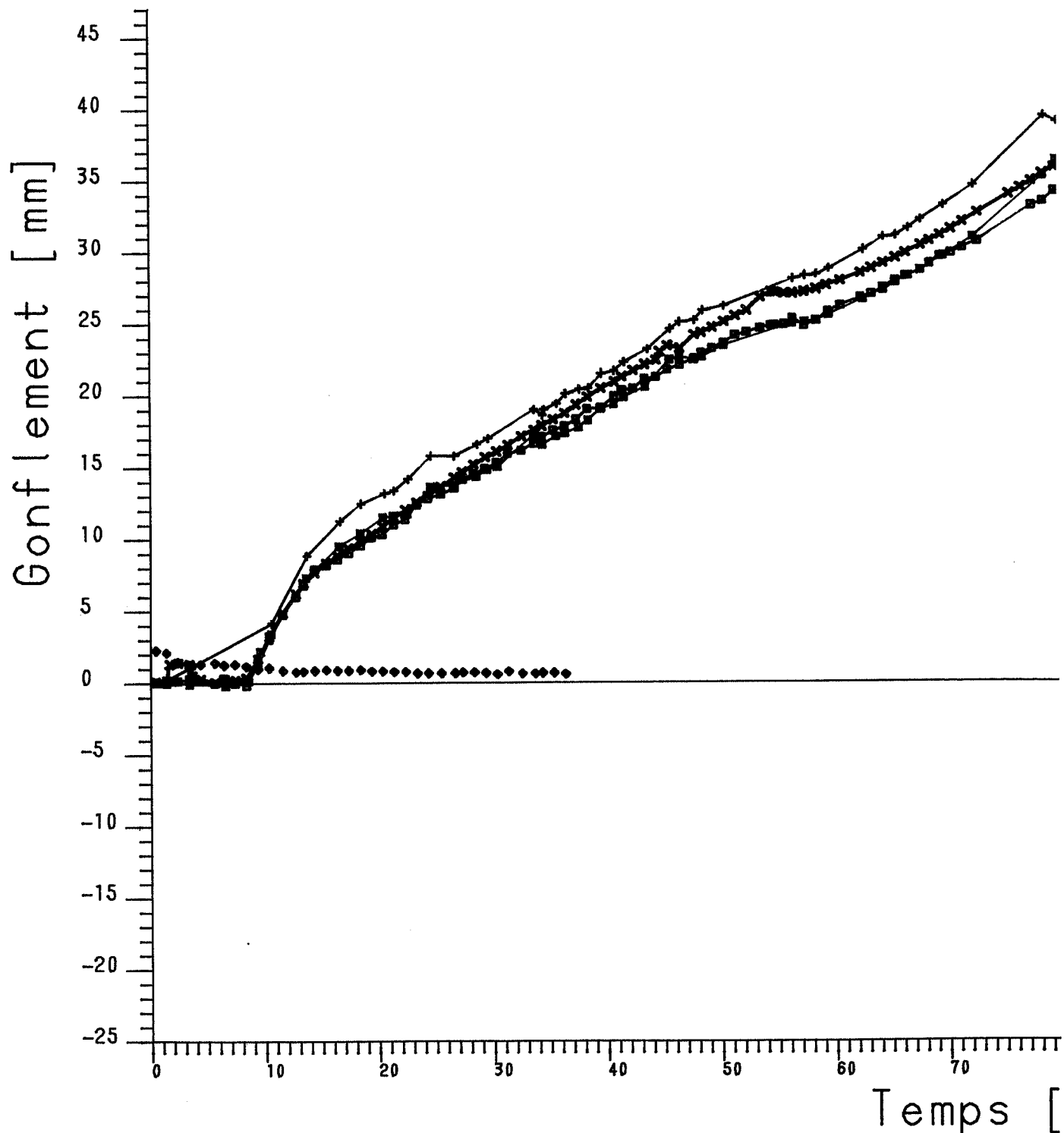
Mesures de gonflement

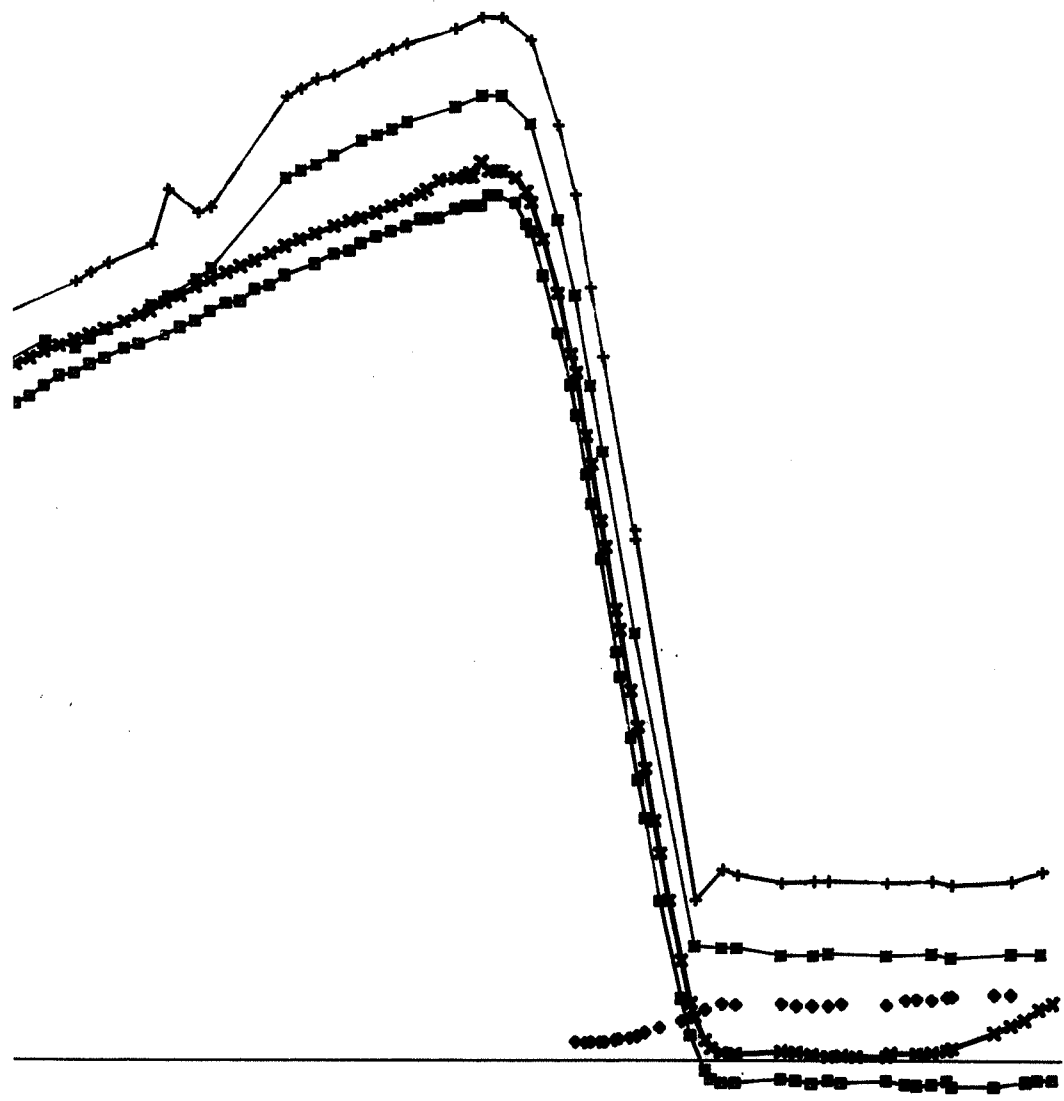
Champ 2

Essai 12E

Debut 7.2.84

- nivellement axe D
- × comparateurs axe E
- bison axe D
- + bison axe E
- ♦ defl. el. axe E * 10



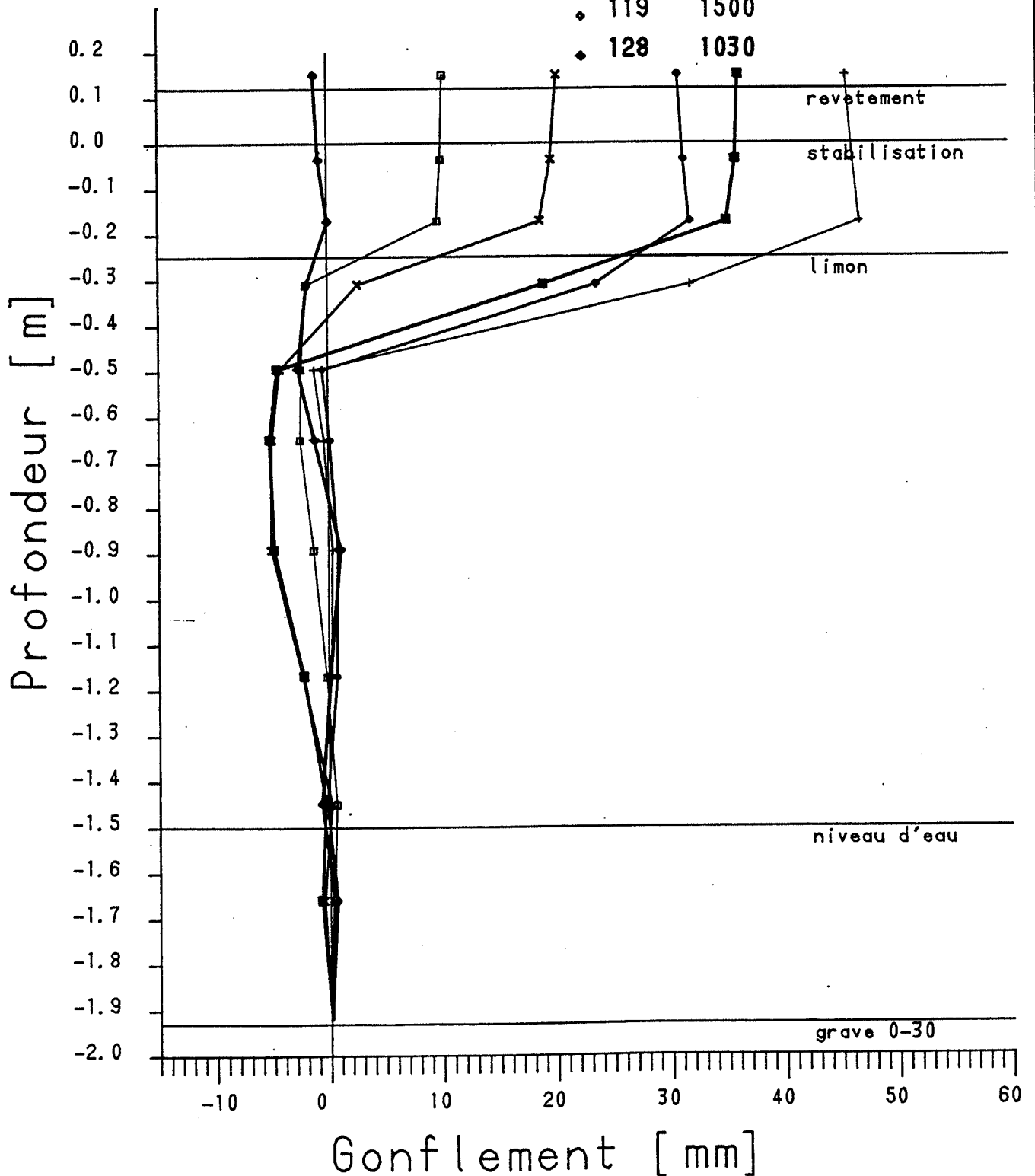


90 100 110 120 130 140 150
jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

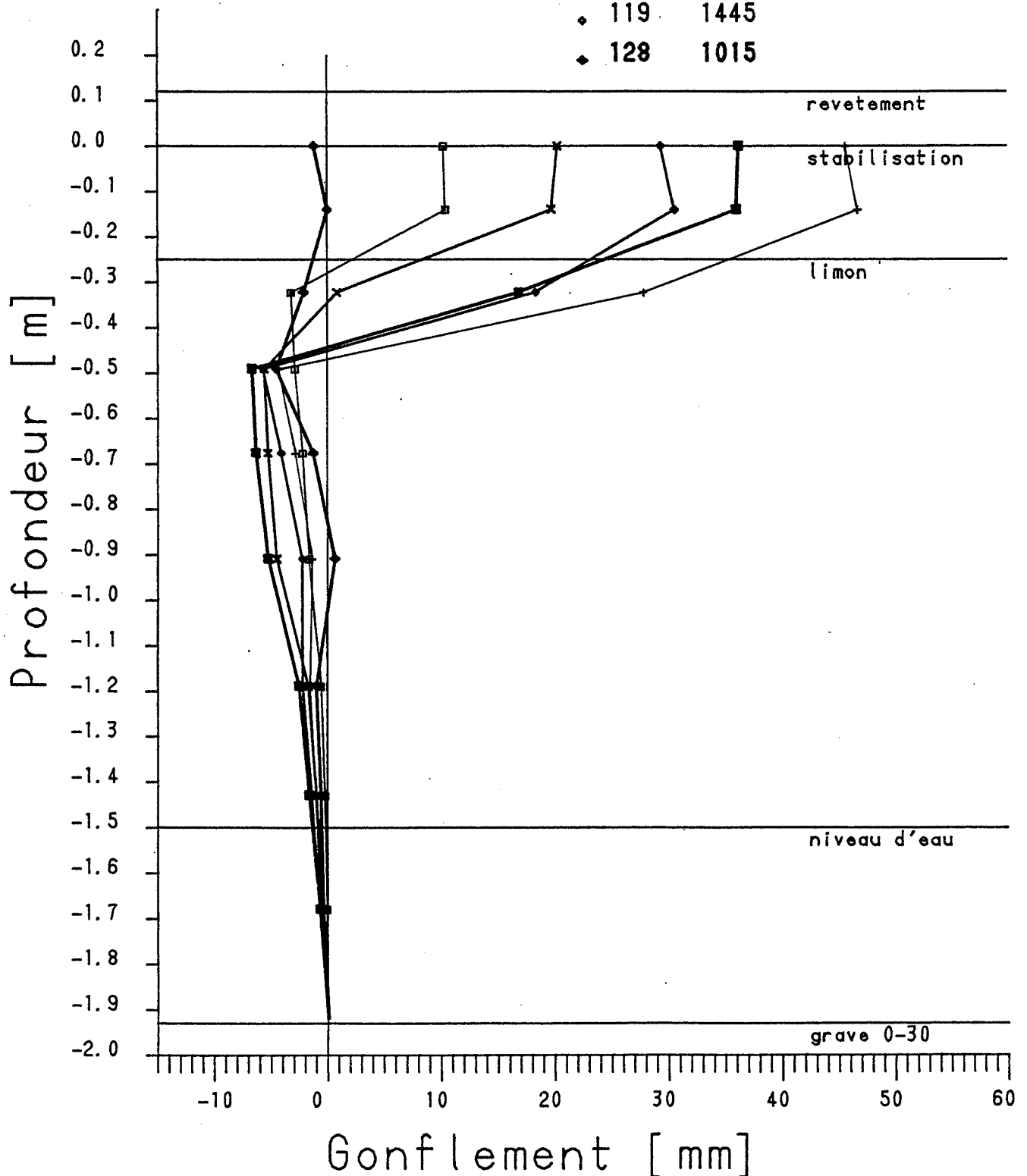
	Jour	heure
Champ 2	20	1015
Essai 12E AXE D	x	41 1300
	■	85 1040
	+	113 1700
	◦	119 1500
	◆	128 1030



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

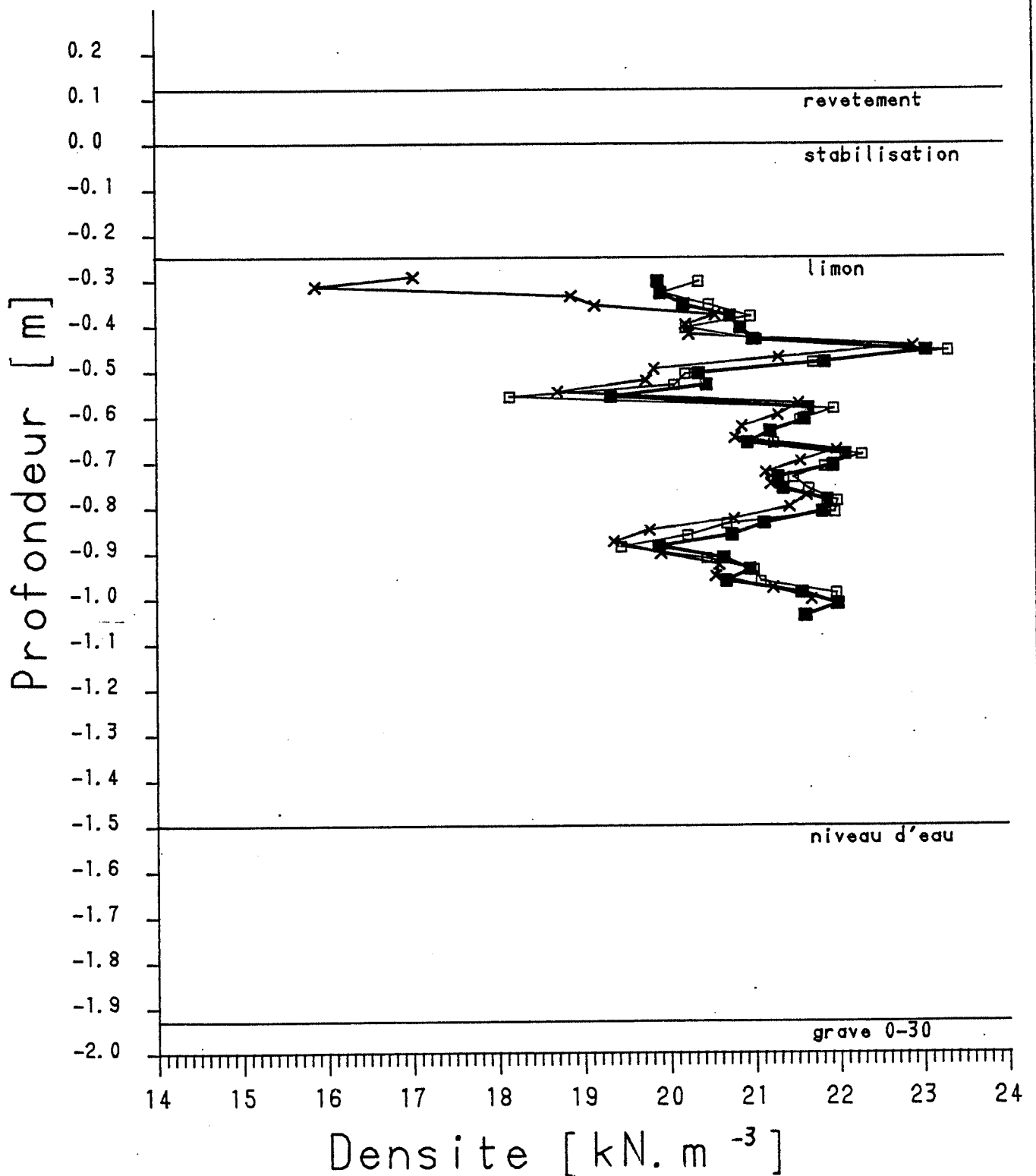
Champ 2		Jour	heure
Essai 12E AXE E	□	20	1300
	×	41	1300
	■	85	1100
	+	113	1715
	◊	119	1445
	◆	128	1015



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

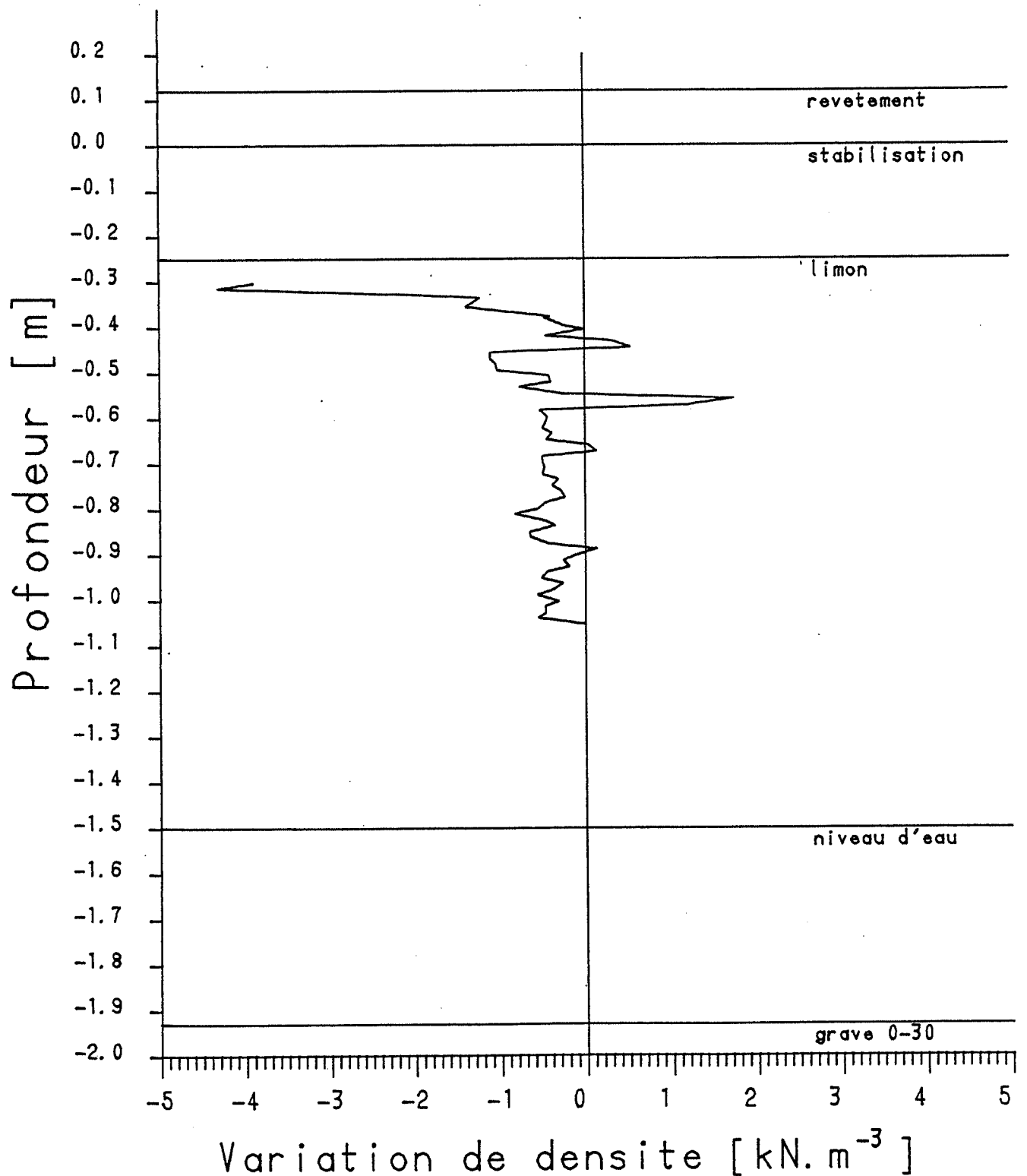
Champ	2	□	mesure du	0	jour
Essai	12E	x	mesure du	85	jour
Axe	F	■	mesure du	150	jour



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

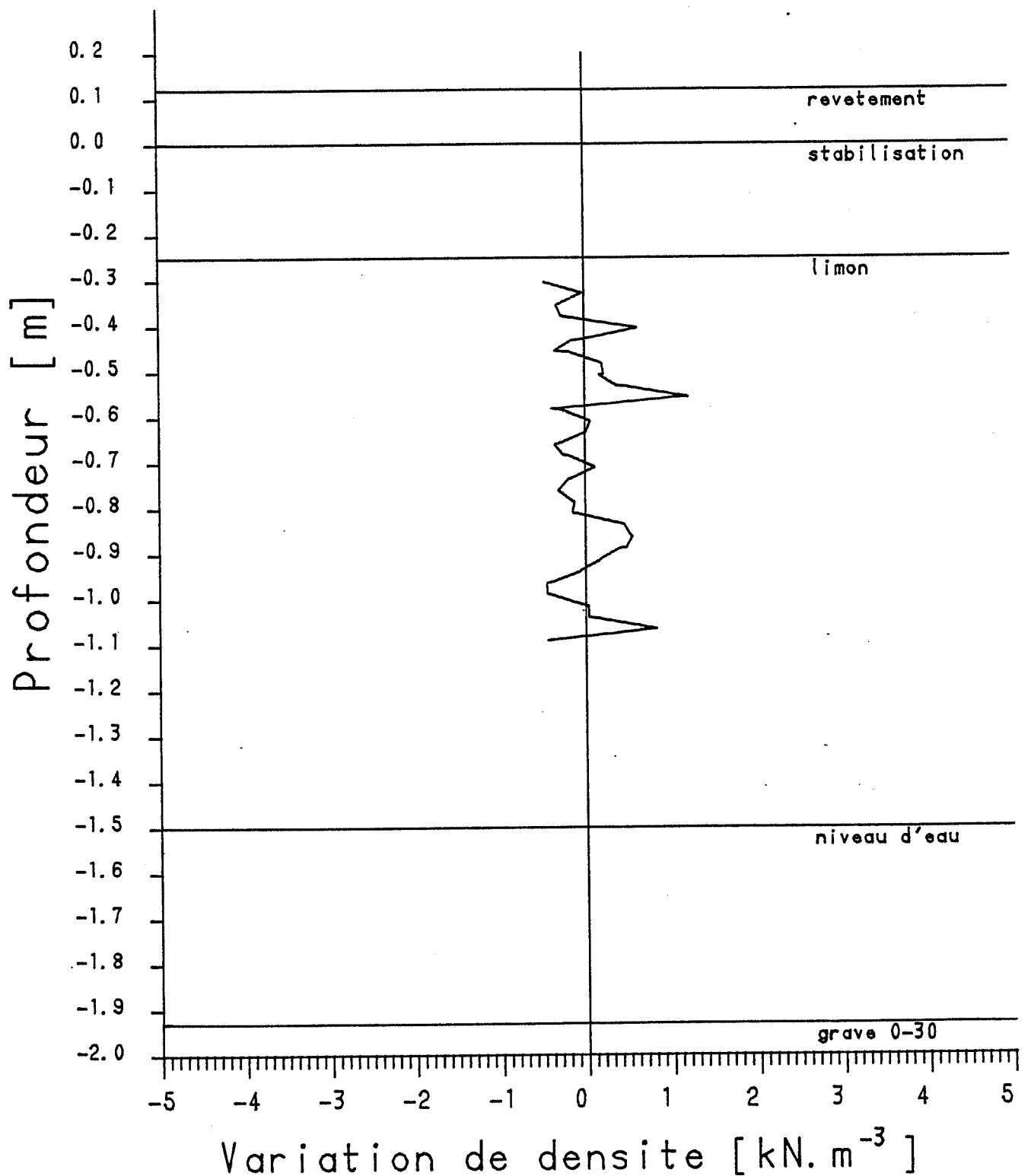
Champ 2 mesure du 0 jour
Essai 12E mesure du 85 jour
Axe F



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

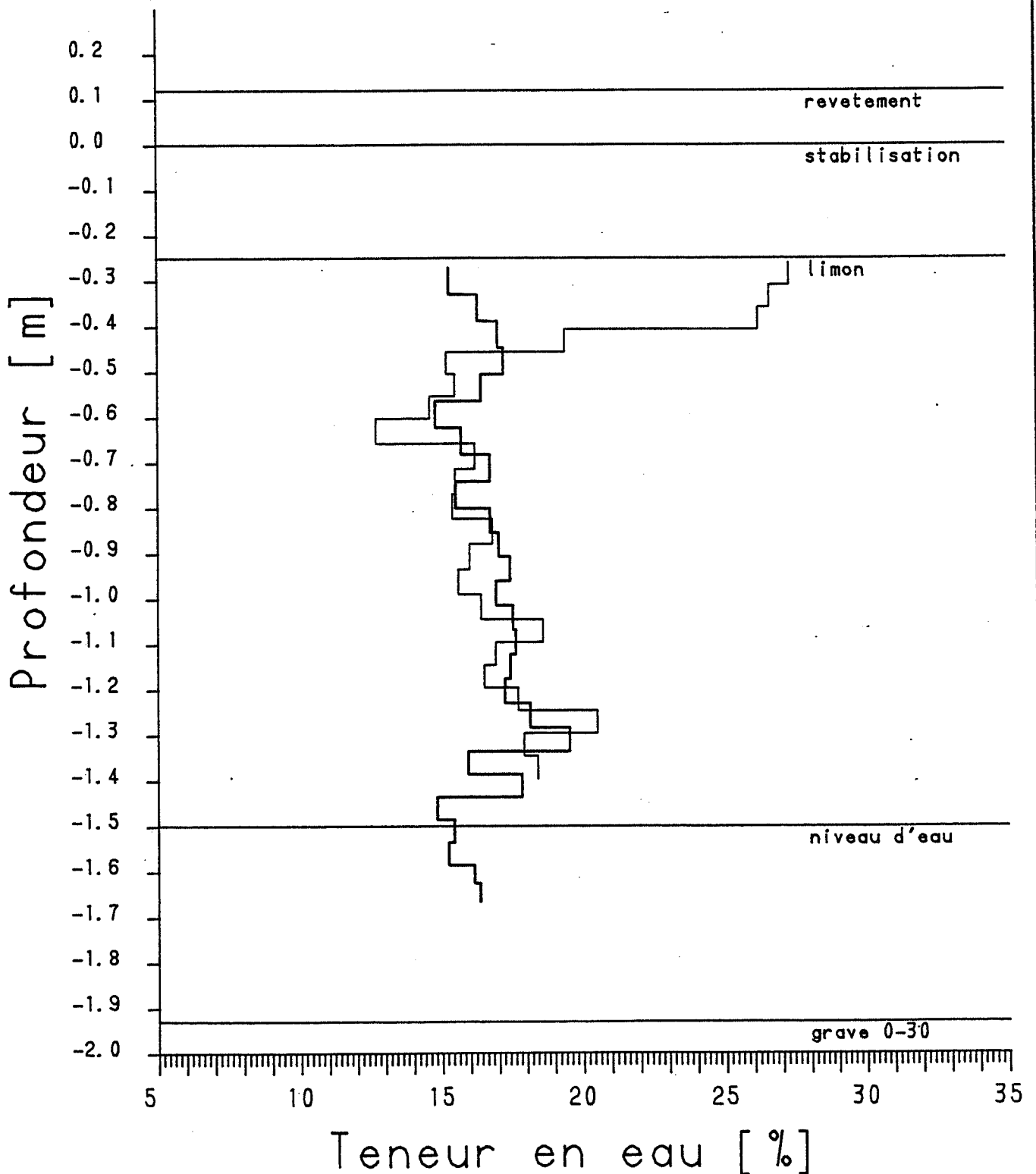
Champ 2 mesure du 0 jour
Essai 12E mesure du 150 jour
Axe F



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de teneur en eau

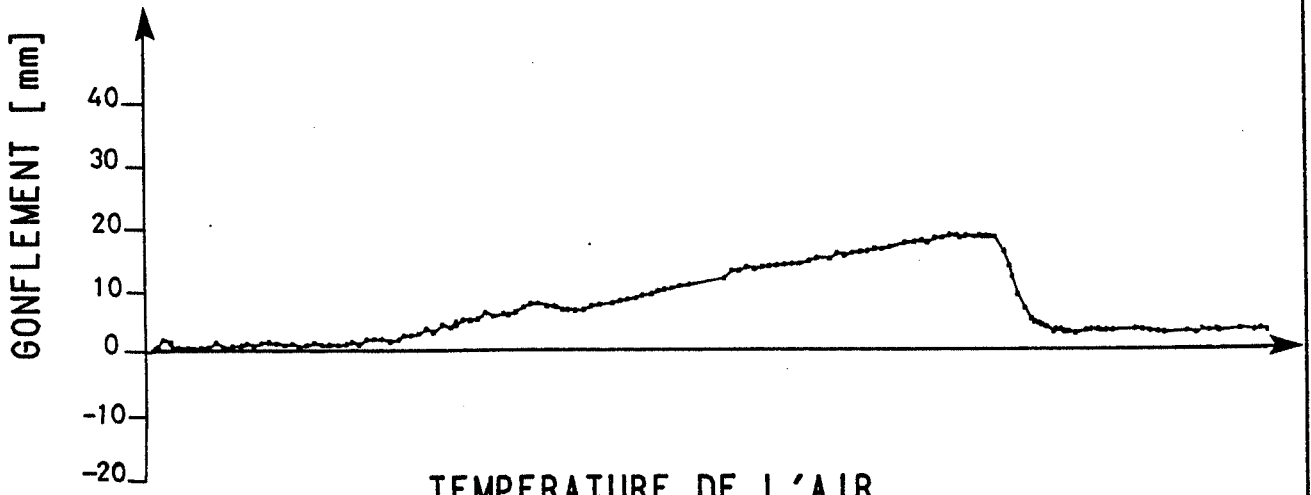
Champ 2 sondage S2 du 111 jour
Essai 12E sondage S5 du 0 jour



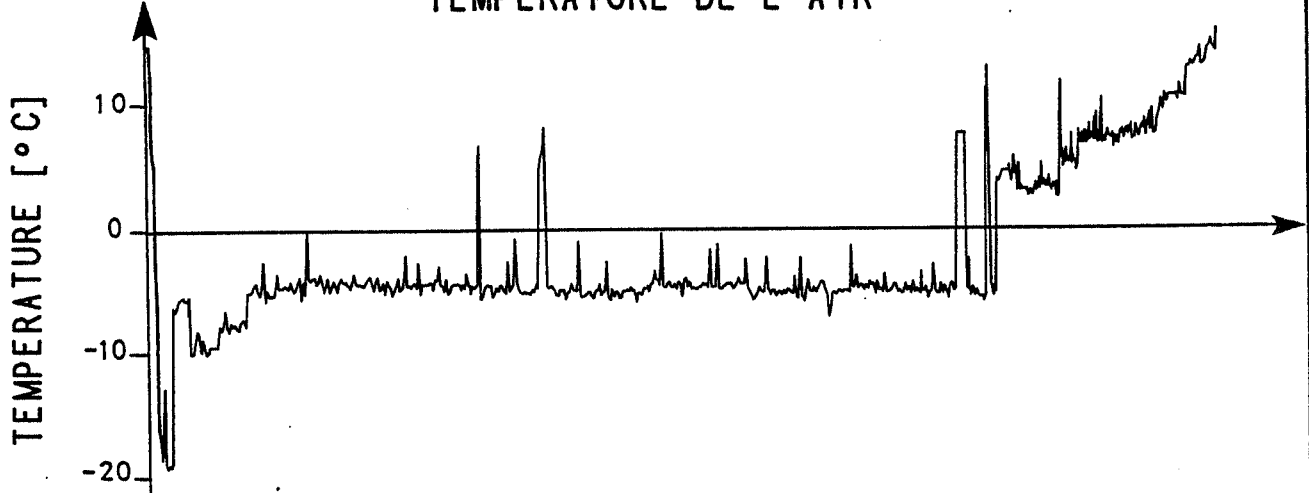
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Essai 12E Champ 3

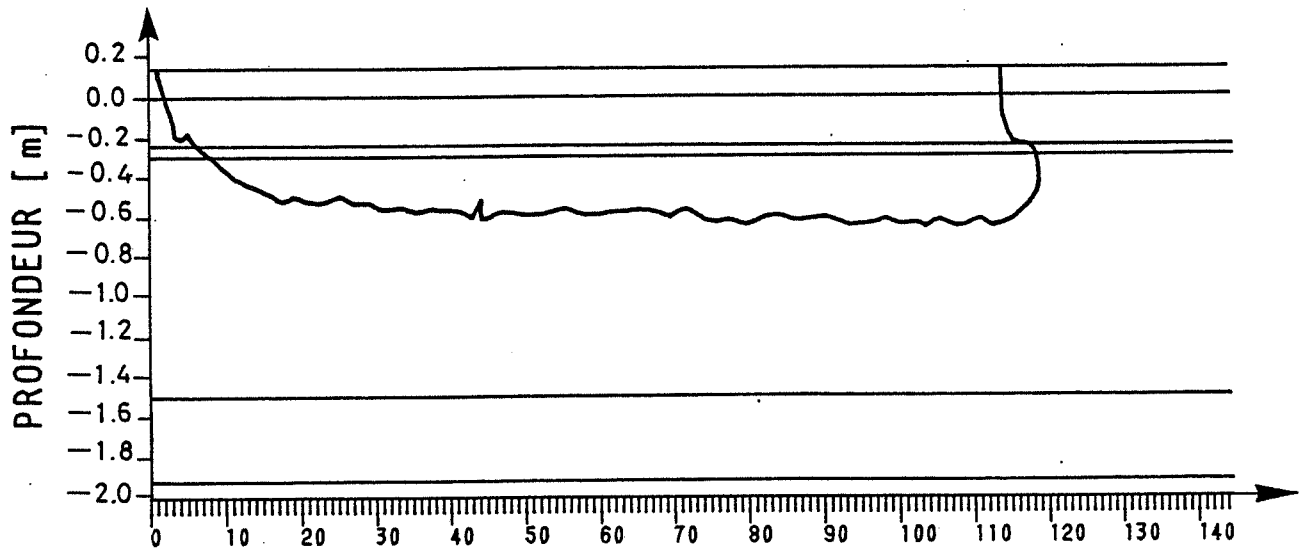
DEFORMATION VERTICALE



TEMPERATURE DE L'AIR



ISOTHERME 0° C

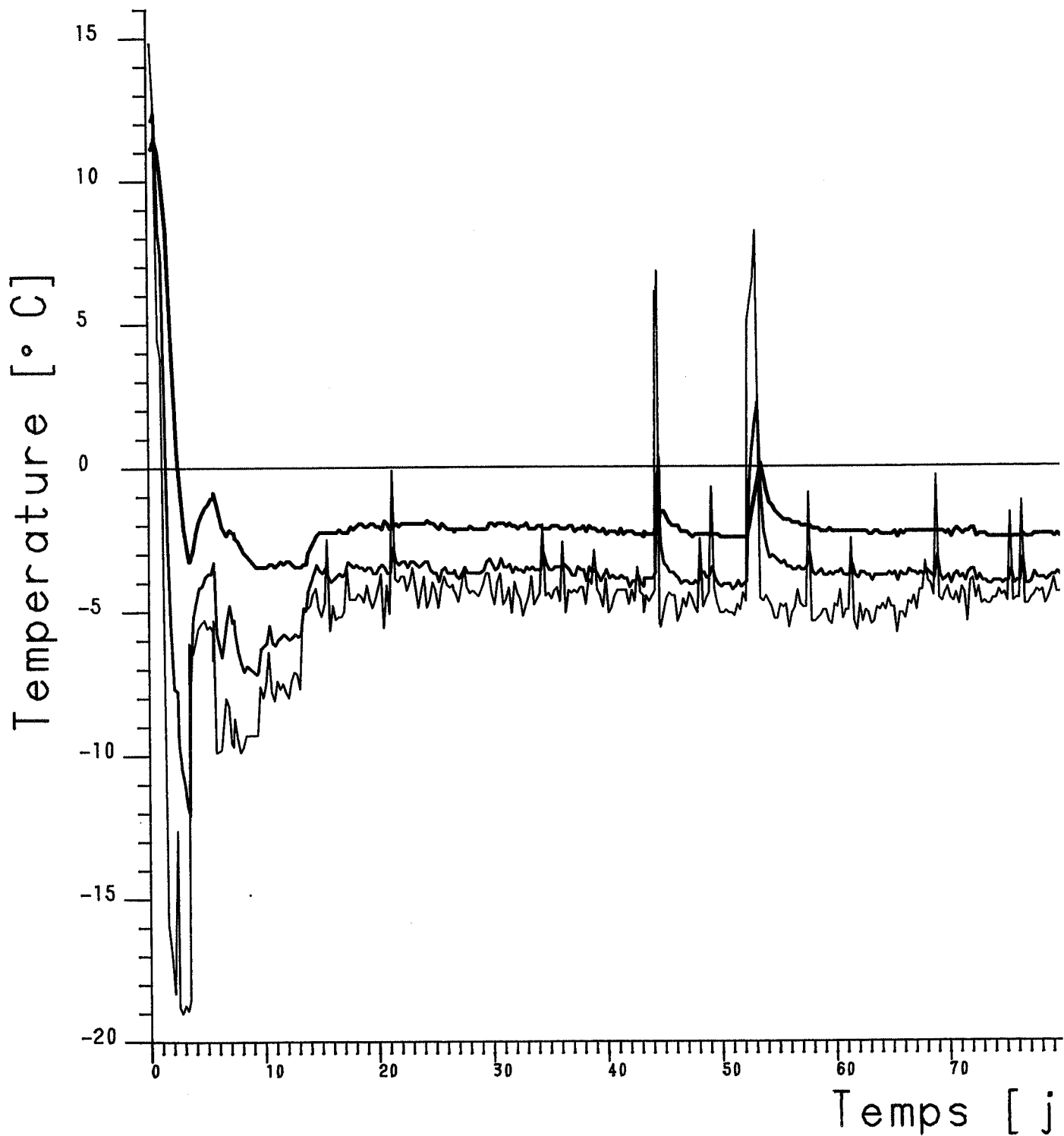


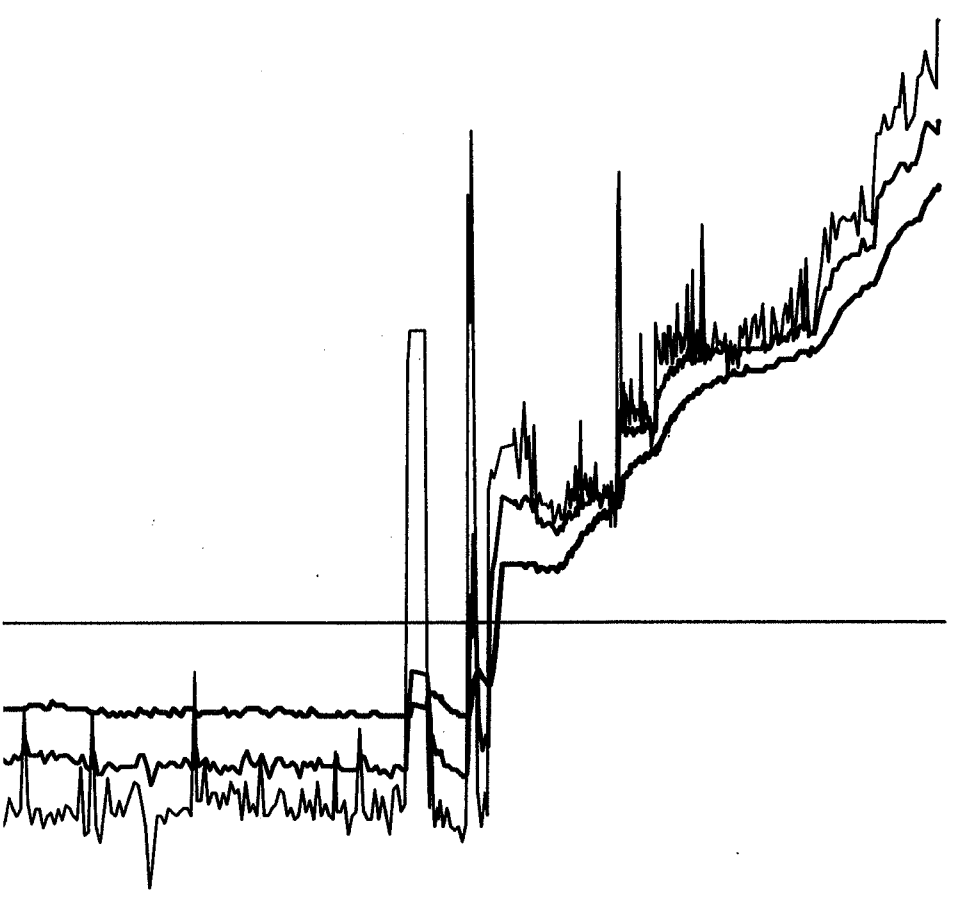
Temps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 3	Capteur no	Prof
Essai 12E	1310	3.7
Debut 7.2.84	1309	17.2
	1308	31.1





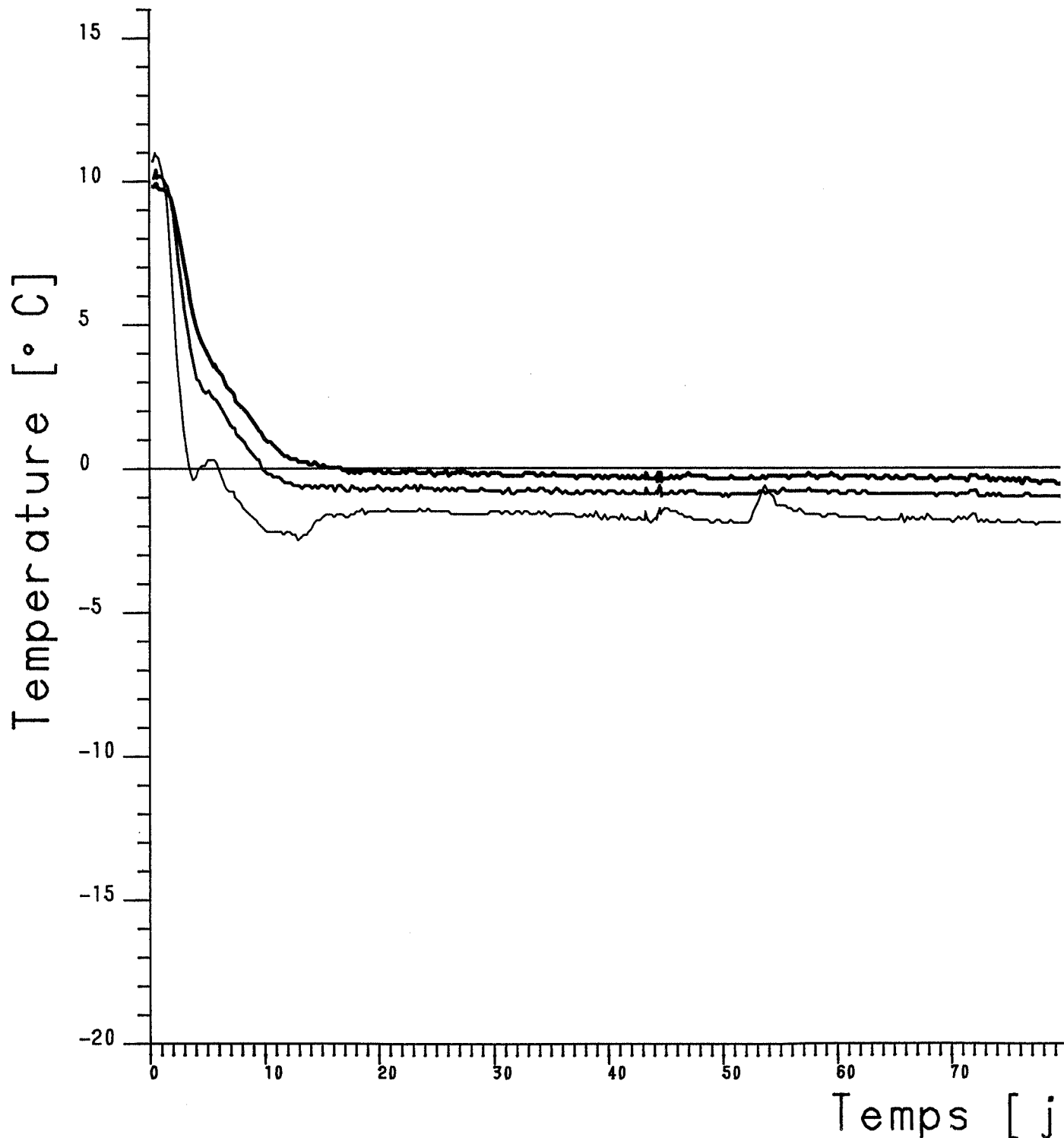
90 100 110 120 130 140

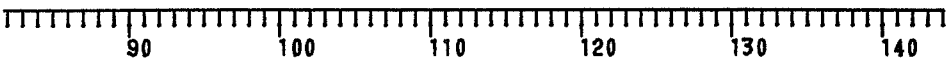
urs]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

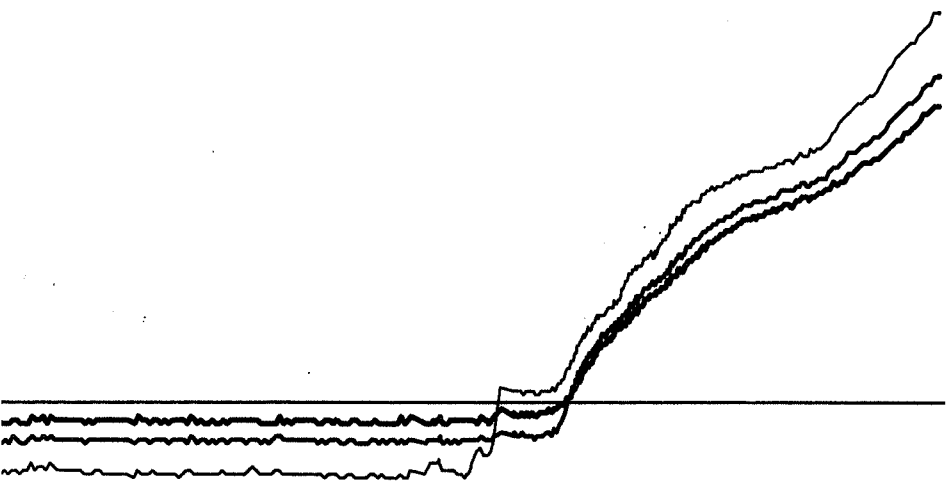
Mesures de temperature

Champ	3	Capteur no	Prof
Essai	12E	1307	49.7
Debut	7.2.84	1306	65.2
		1305	89.3





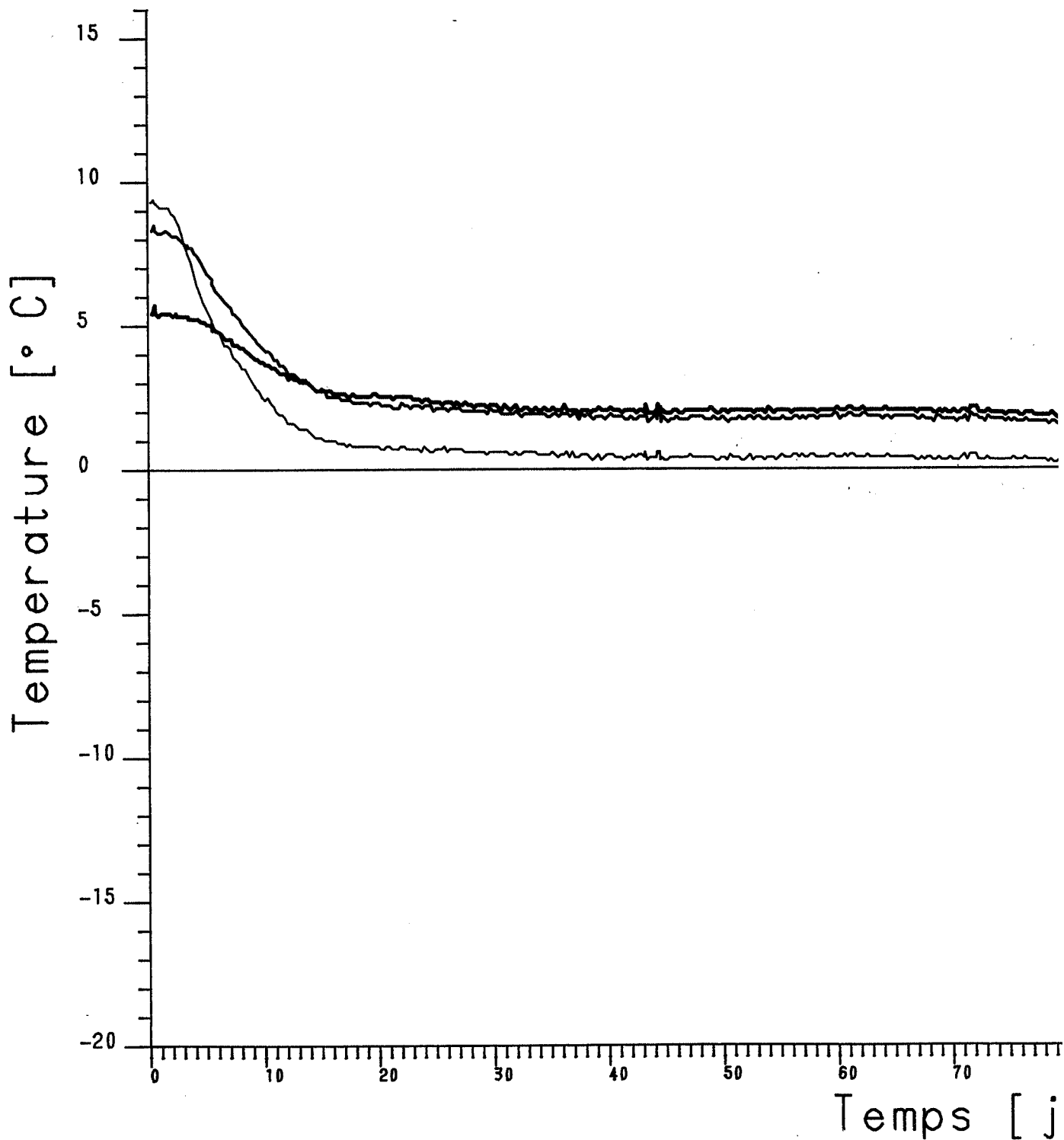
urs]

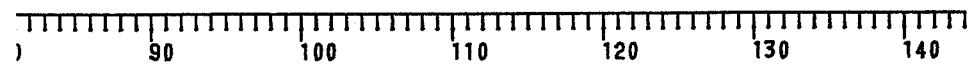
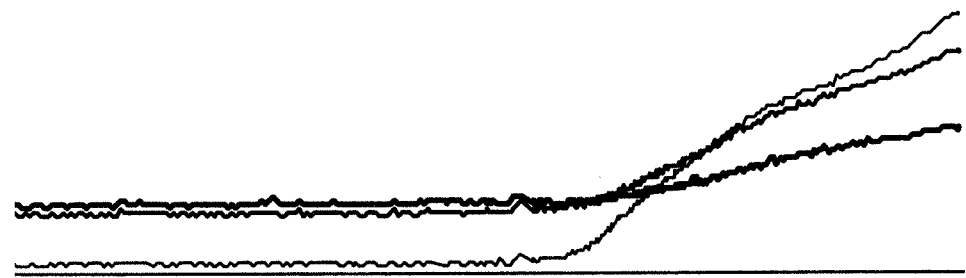


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	3	Capteur no	Prof
Essai	12E	1304	117.0
Debut	7.2.84	1303	145.0
		1302	166.0





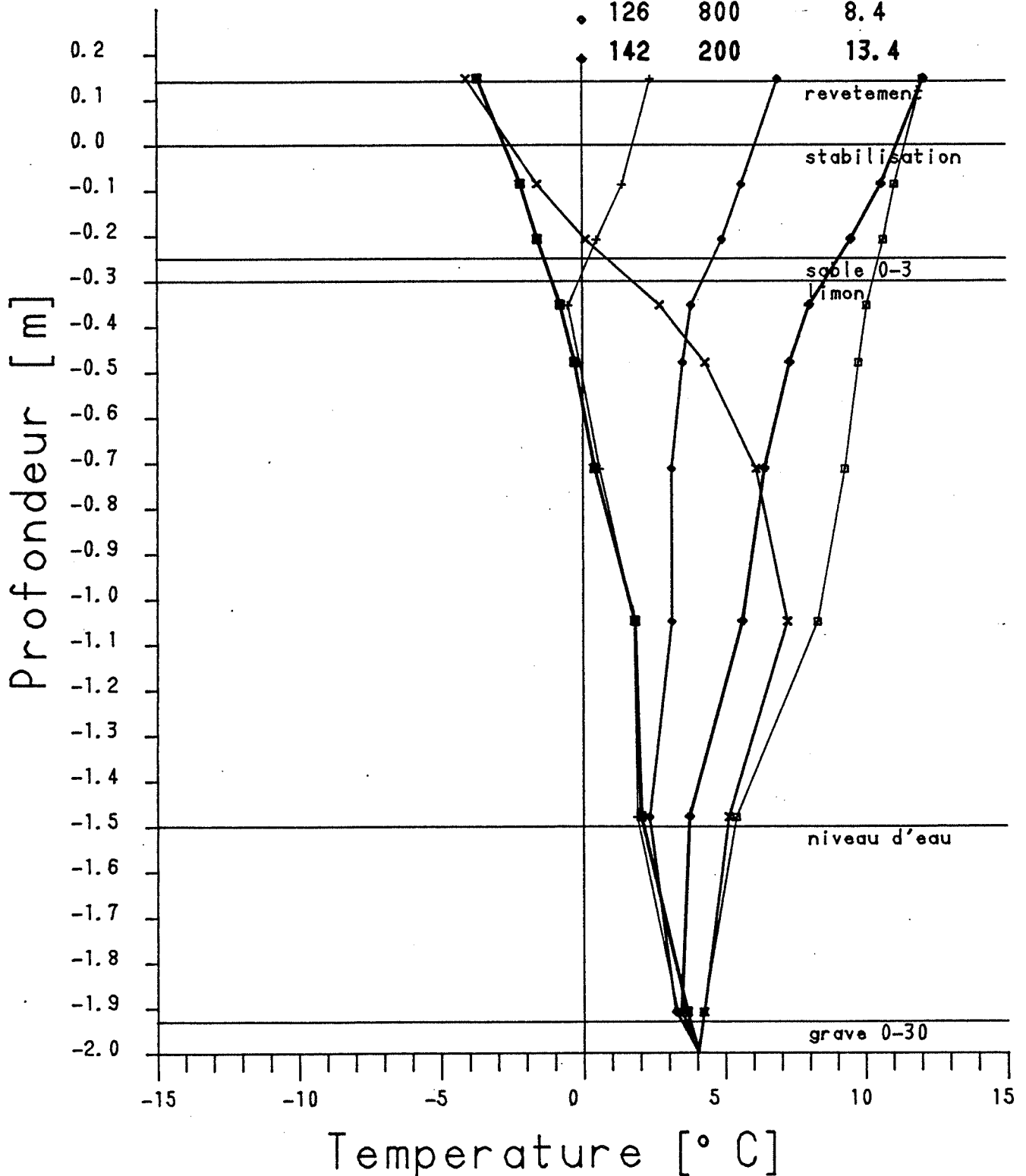
ours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 3
Essai 12E

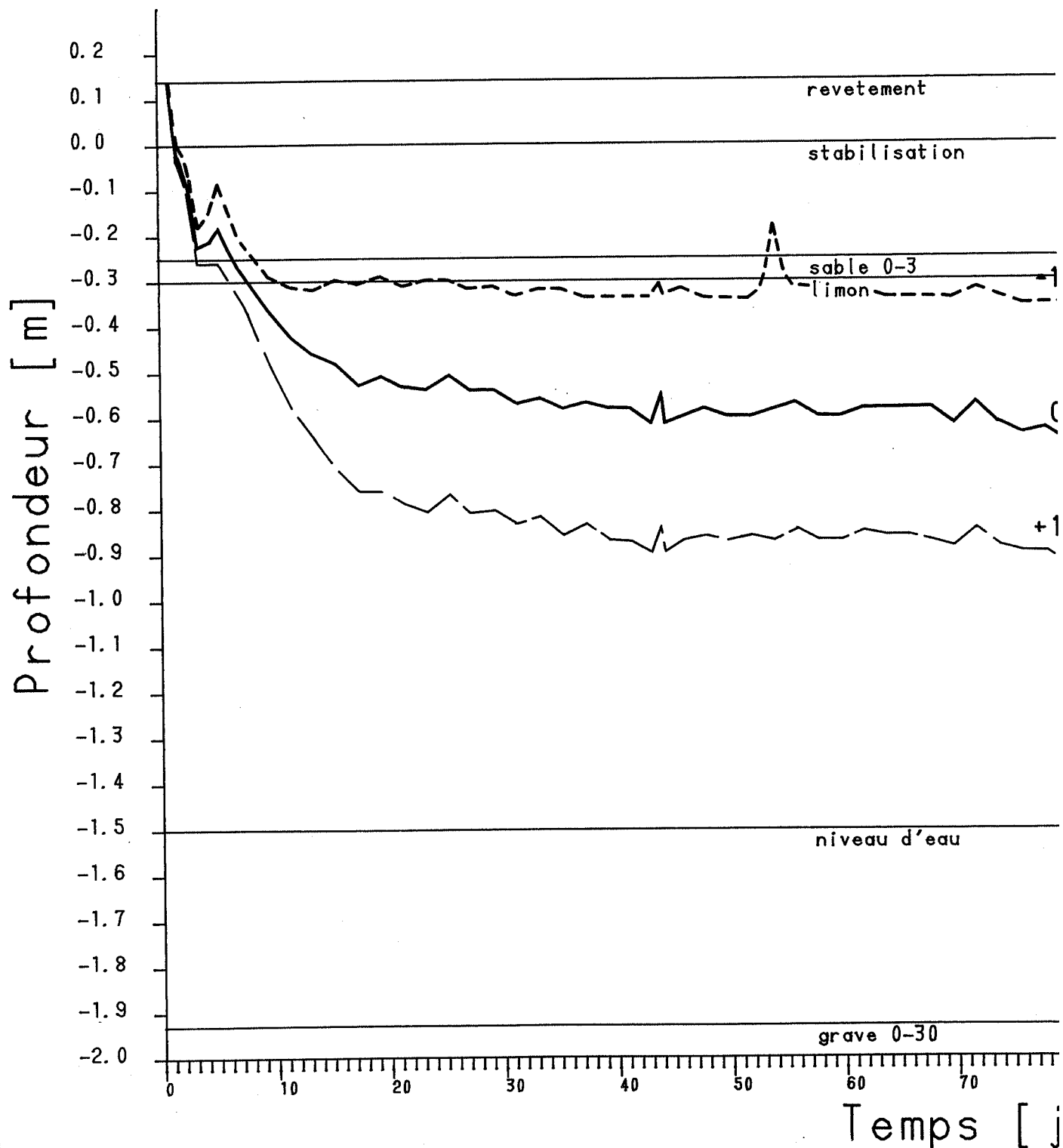
	Jour	heure	temp. air
□	0	822	14.8
×	4	1401	-5.4
■	58	1201	-5.3
+	118	1300	2.7
•	126	800	8.4
◊	142	200	13.4

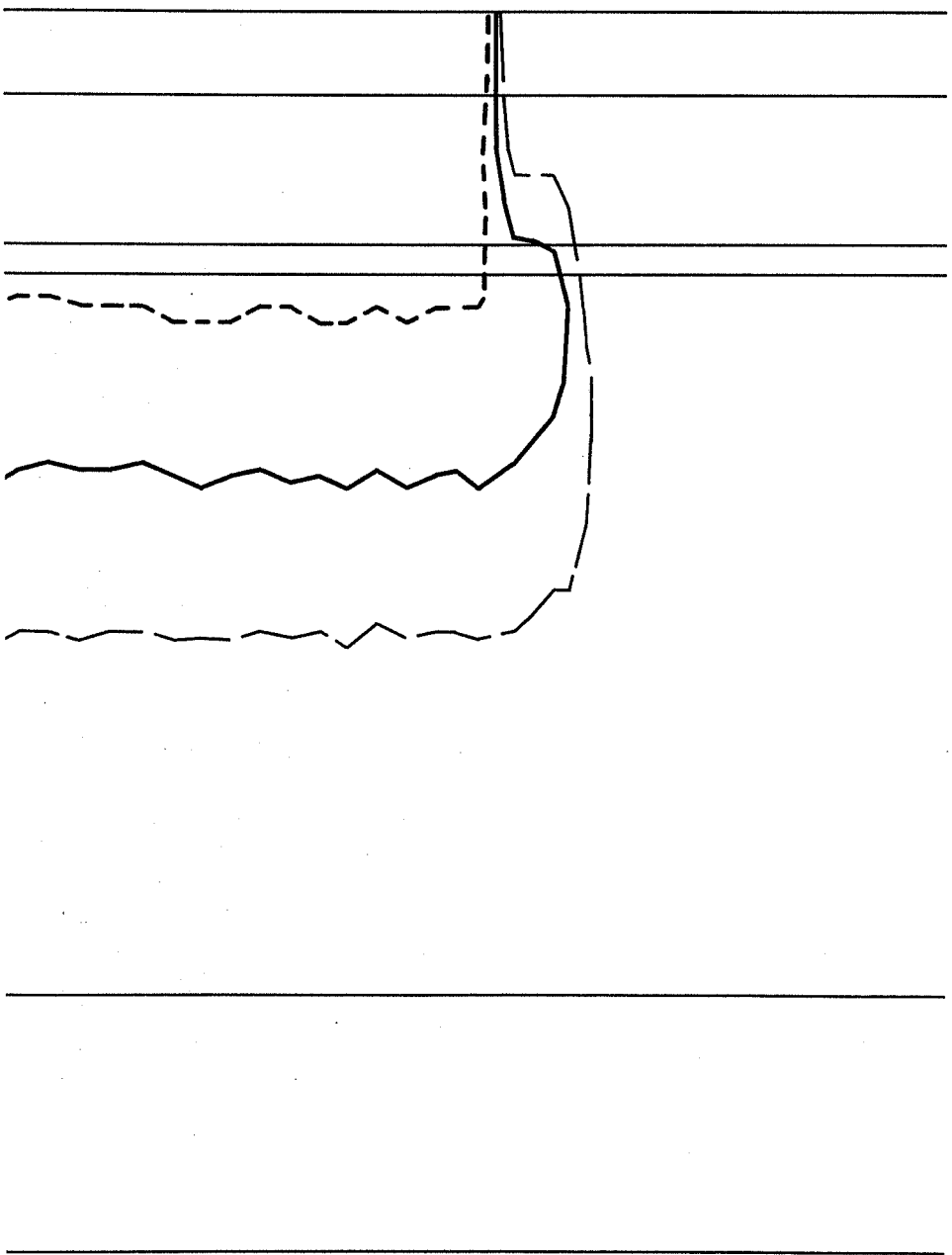


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ISOTHERMES

Champ 3
Essai 12E



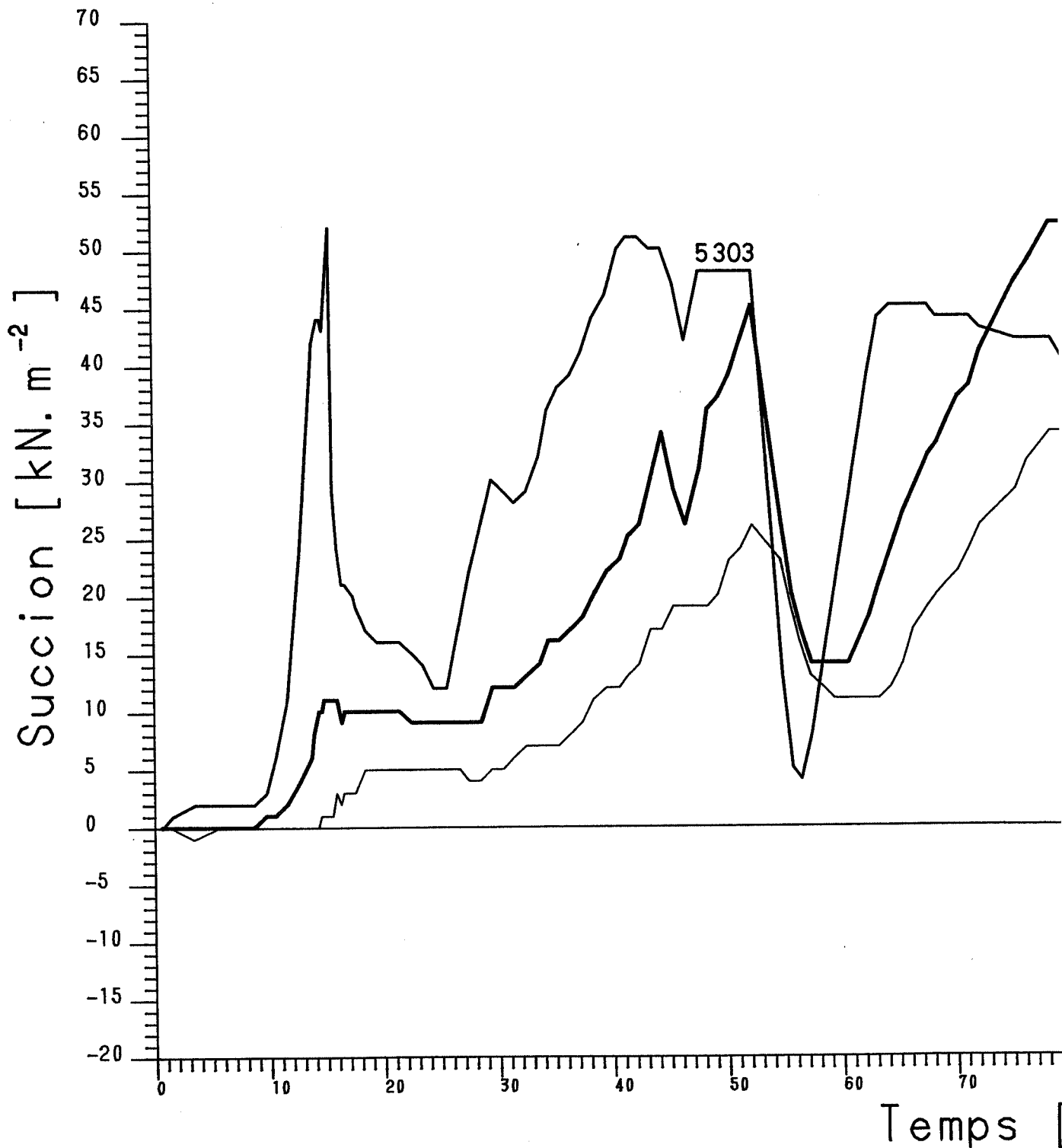


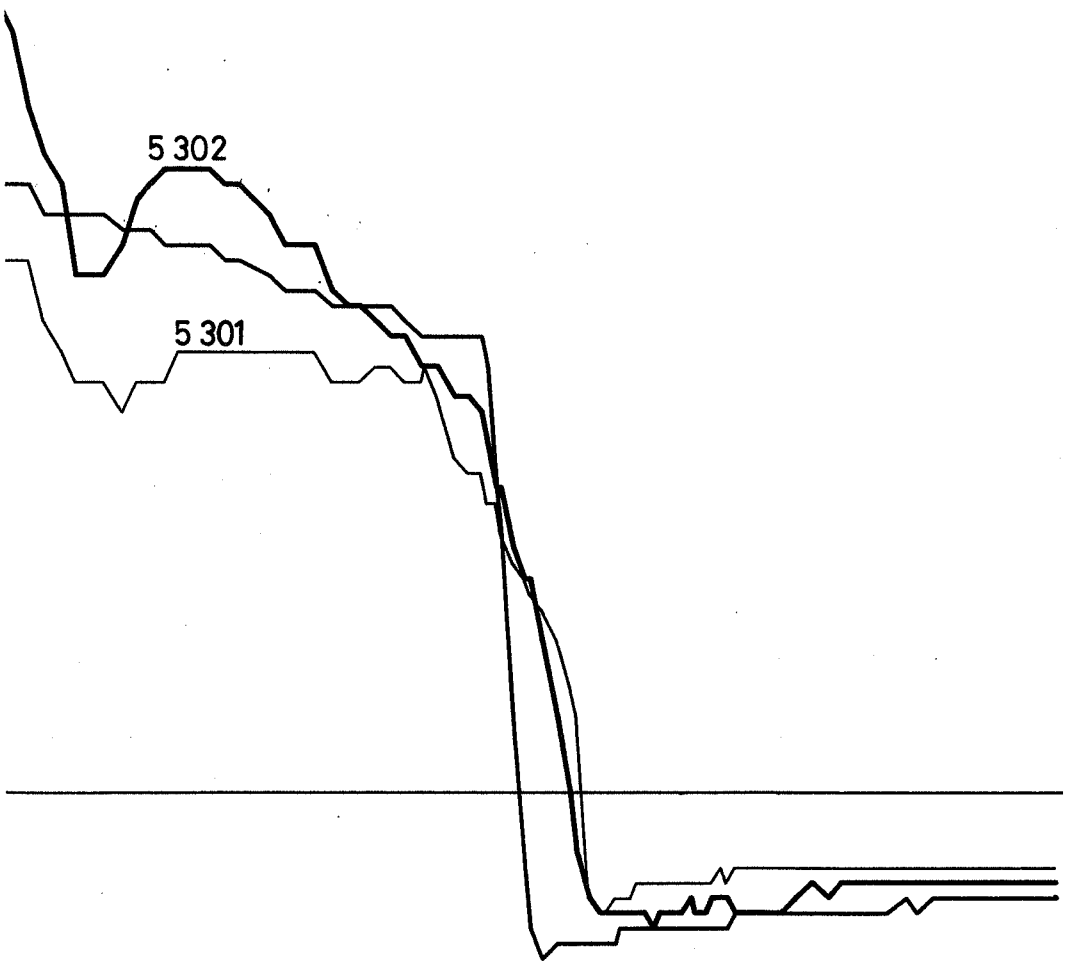
ours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ	3	capteur no	Prof
Essai	12E	5303	36.3
Debut	3.2.84	5302	56.3
		5301	71.6





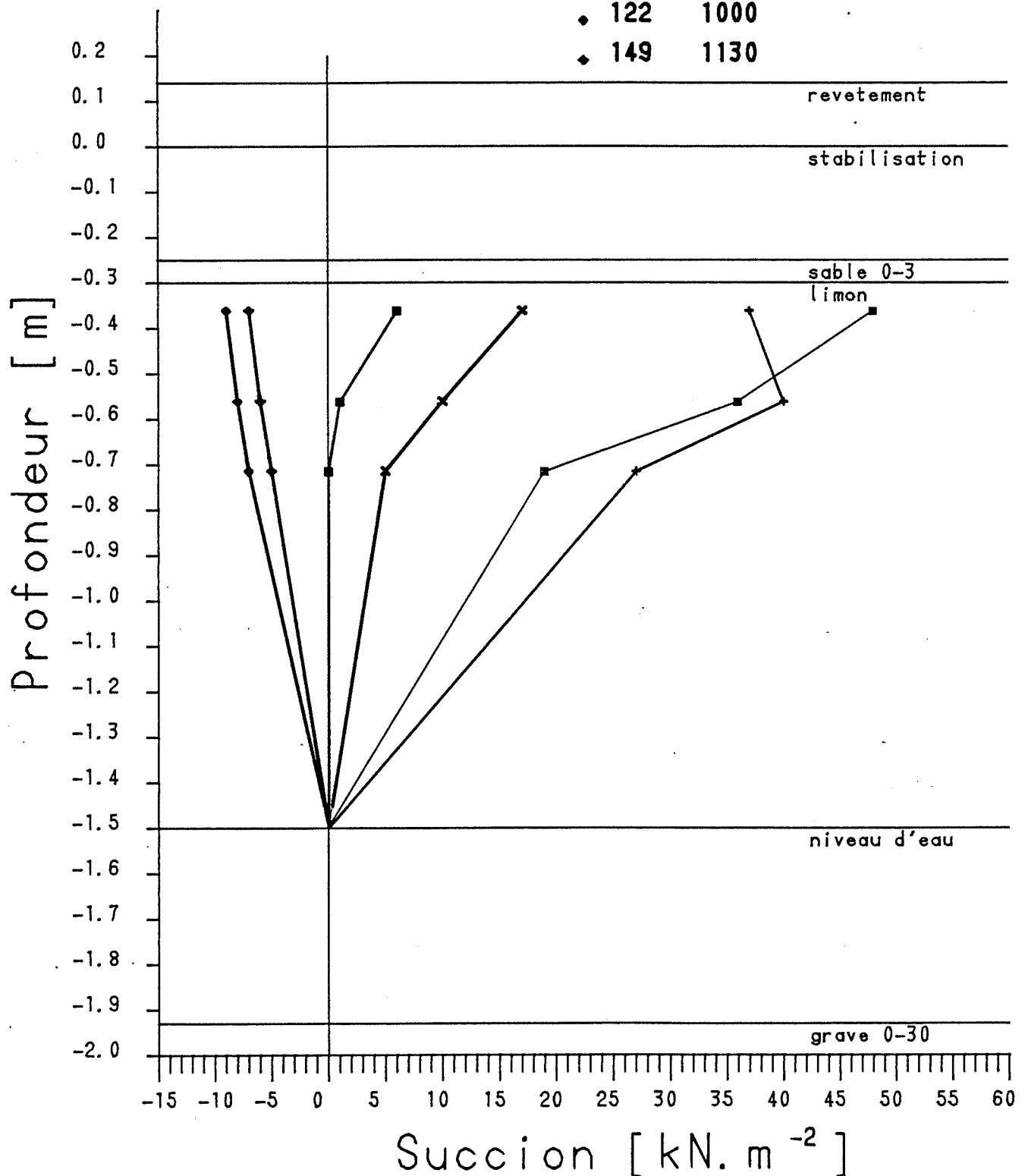
90 100 110 120 130 140 150

jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

	Jour	heure
Champ 3	10	1100
Essai 12E	18	1000
	48	1000
	90	1030
	122	1000
	149	1130



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

Champ 3

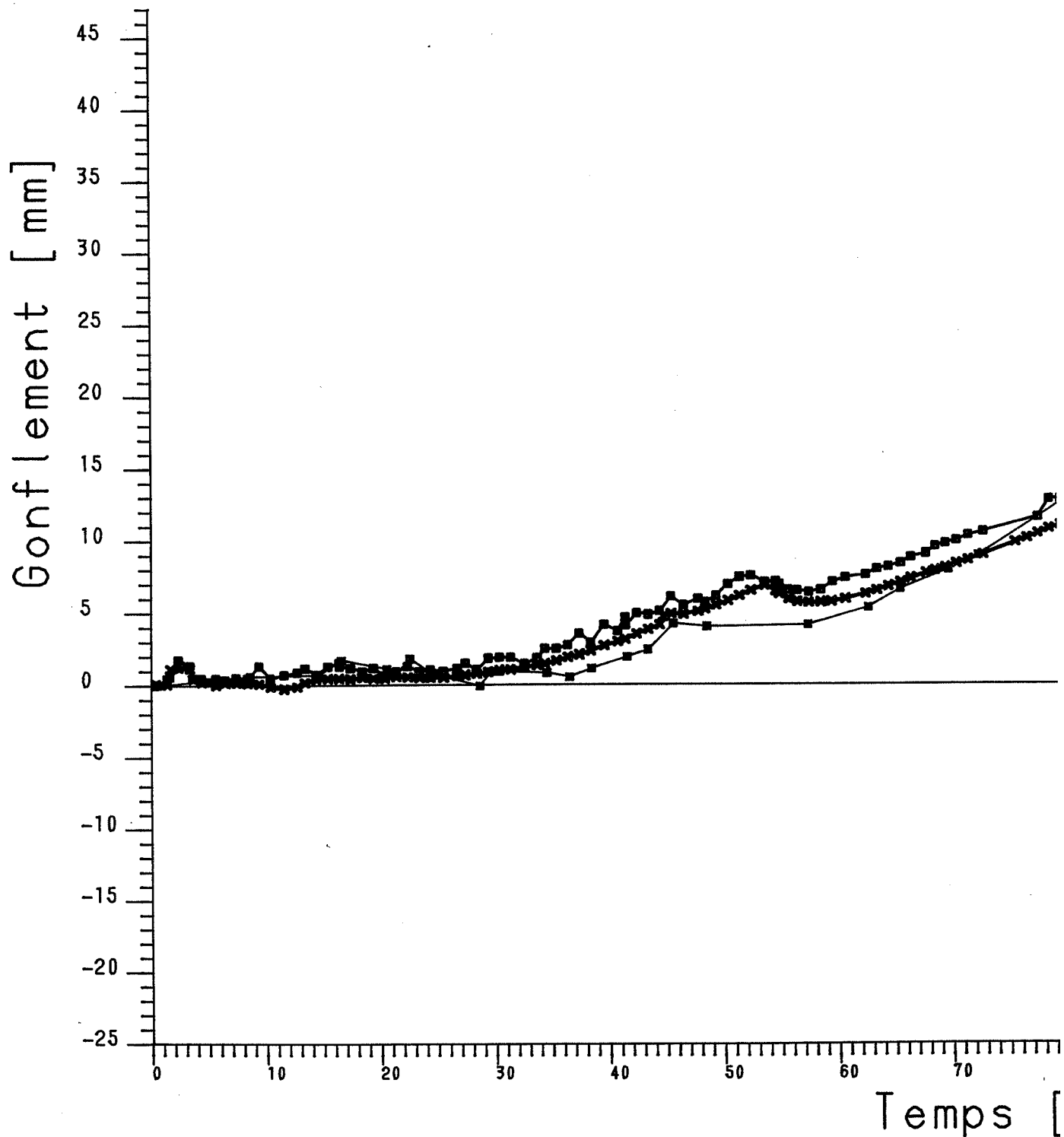
Essai 12E

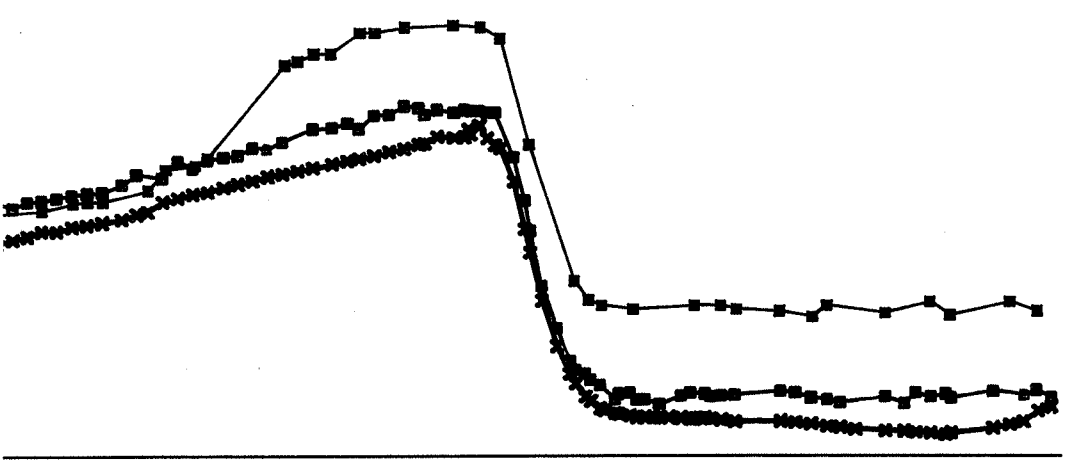
Debut 7.2.84

□ nivellement axe H

× comparateur axe H

■ bison axe H





0 90 100 110 120 130 140 150

jours]

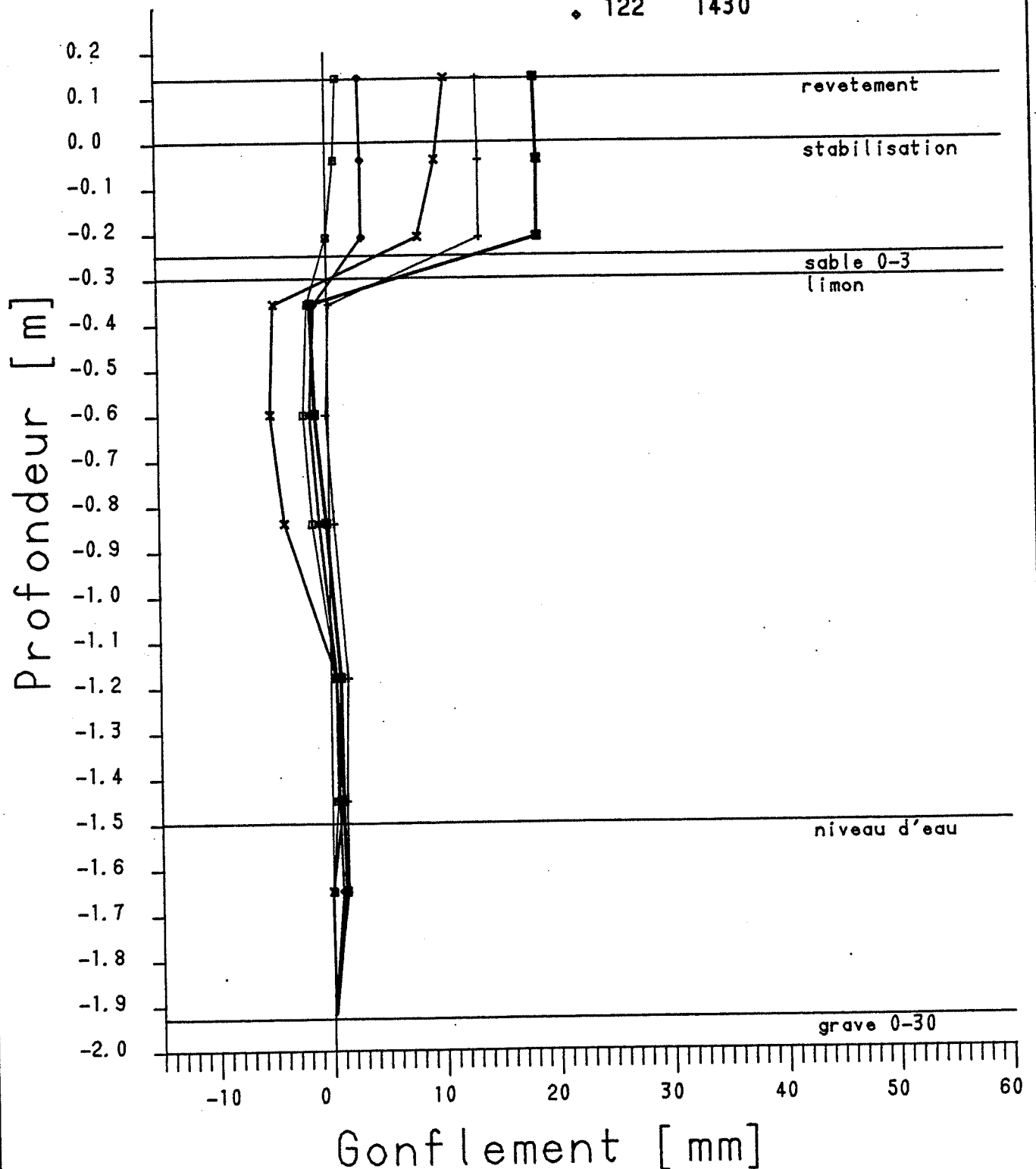
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

Champ 3

Essai 12E AXE H

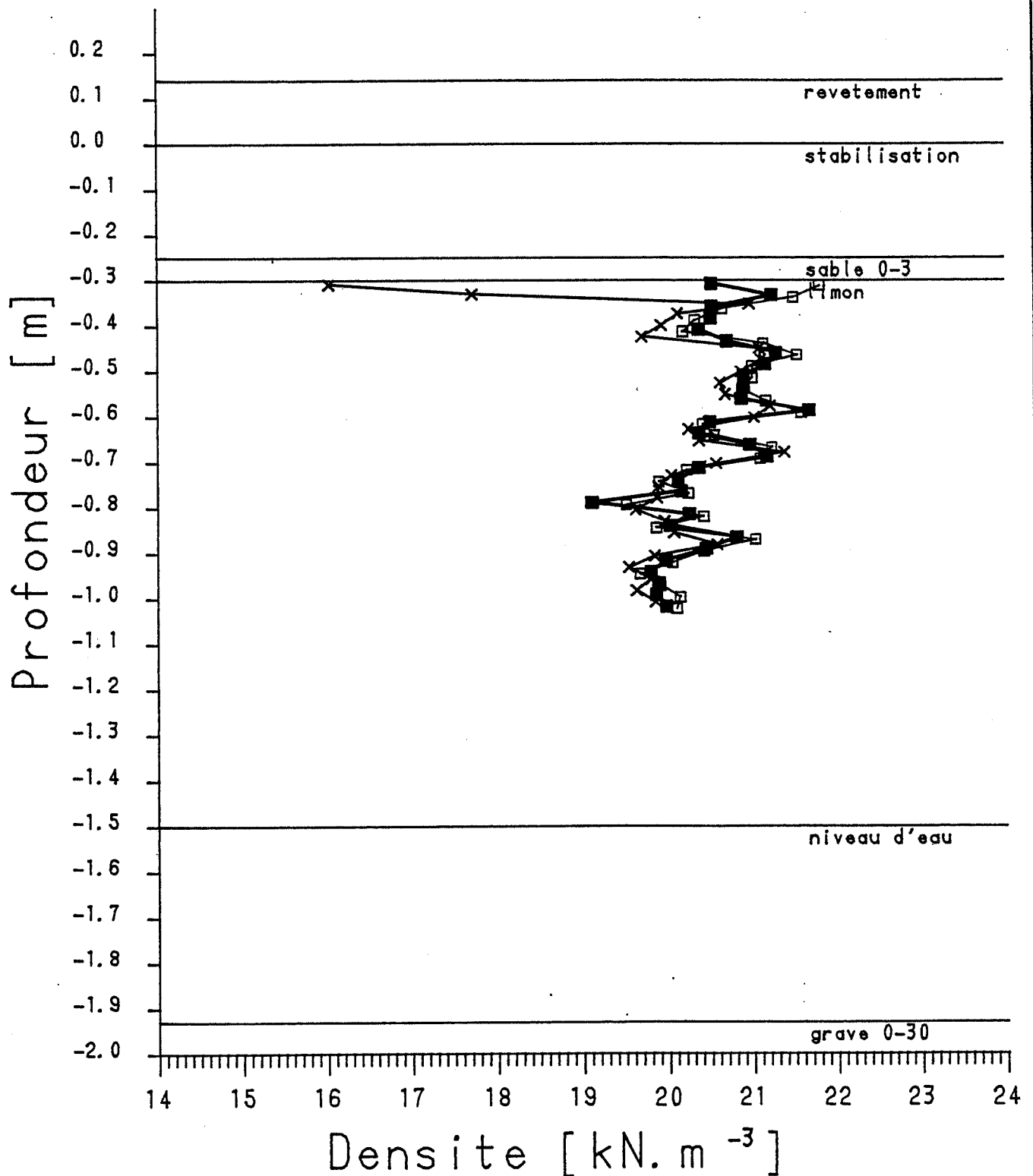
	Jour	heure
□	24	1430
×	72	700
■	107	1000
+	115	1530
◇	122	1430



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

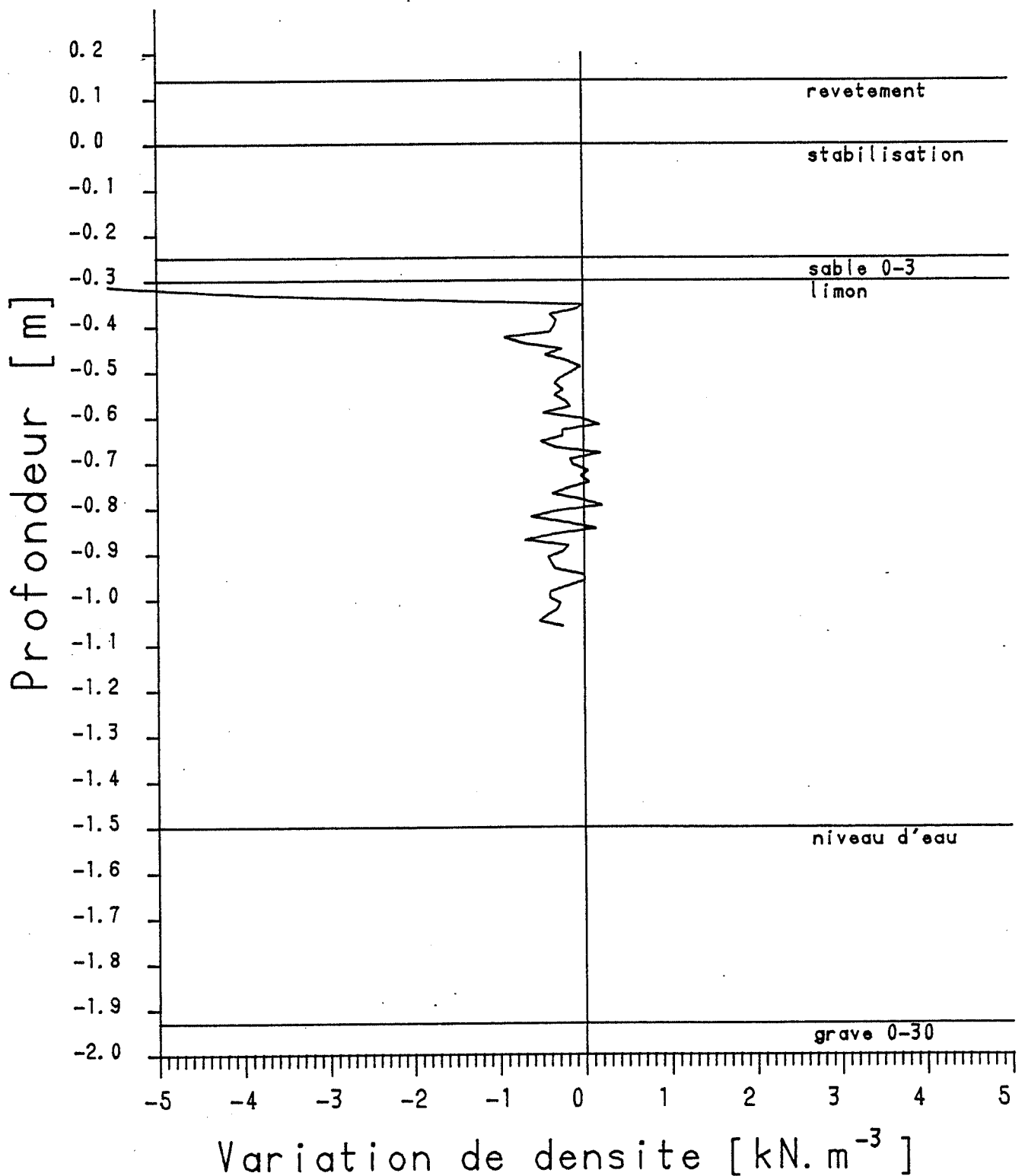
Champ	3	□	mesure du	0	jour
Essai	12E	x	mesure du	85	jour
Axe	G	■	mesure du	150	jour



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

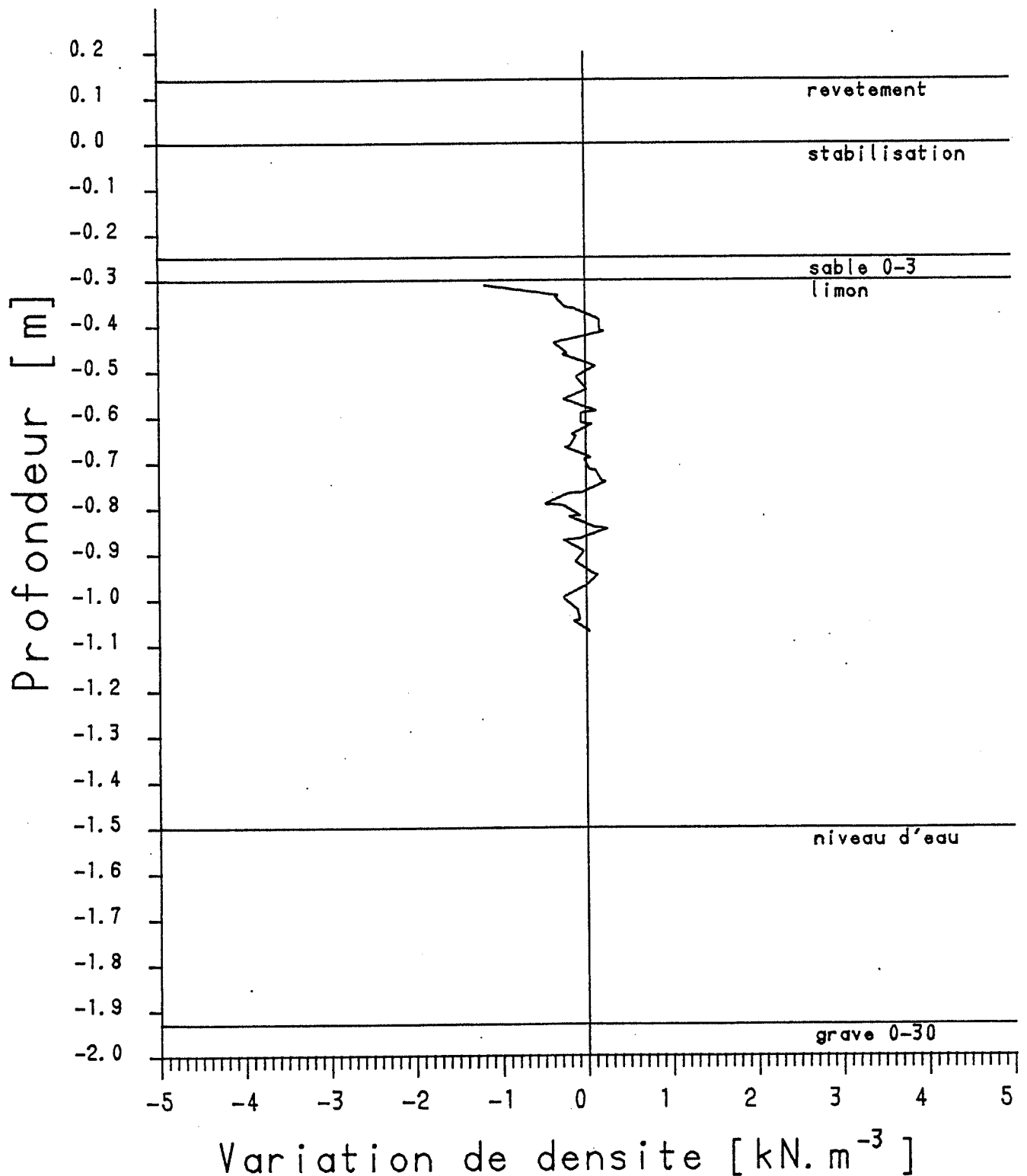
Champ 3 mesure du 0 jour
Essai 12E mesure du 85 jour
Axe G



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

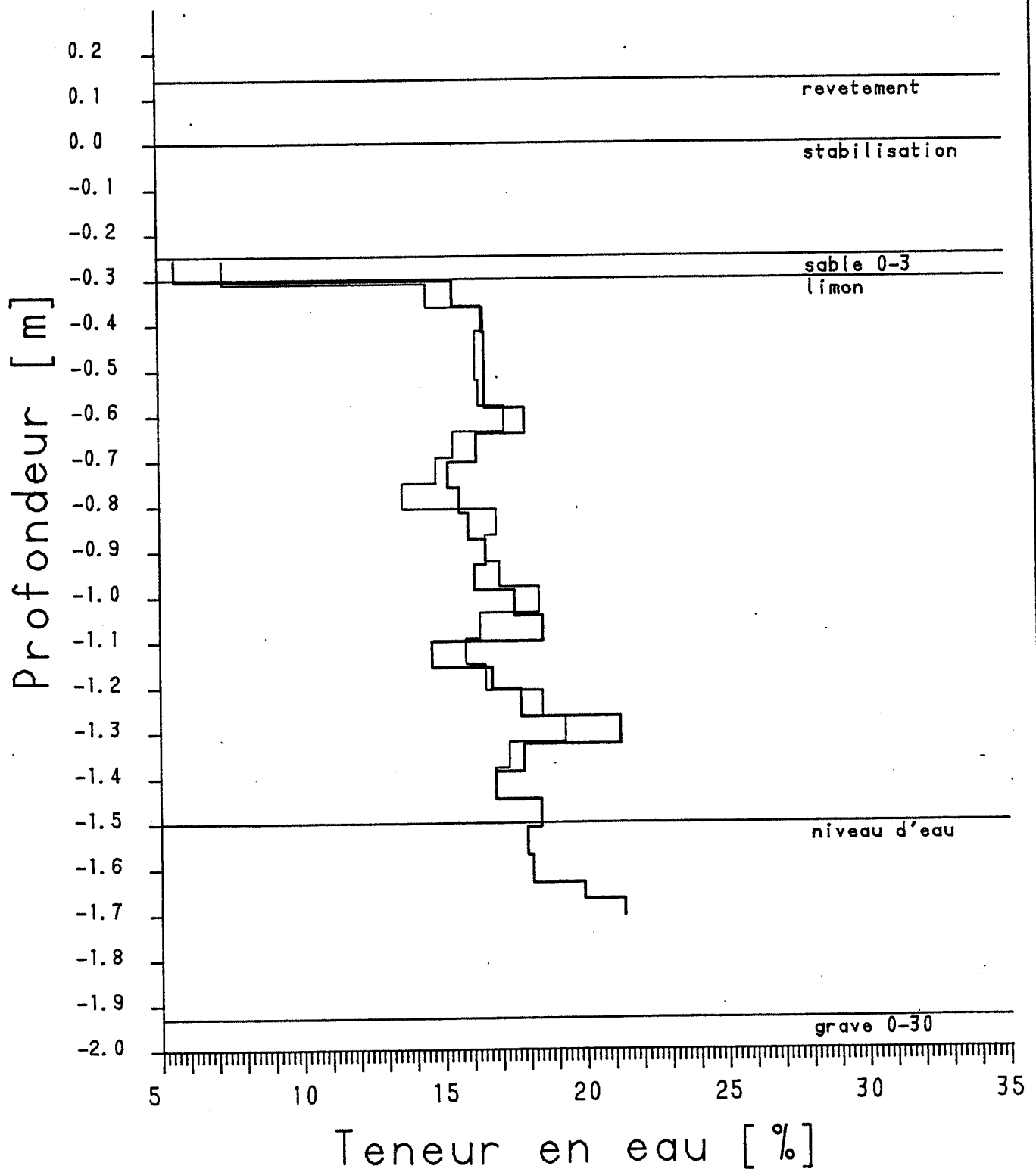
Mesures de densite avec TROXLER

Champ 3 mesure du 0 jour
Essai 12E mesure du 150 jour
Axe G



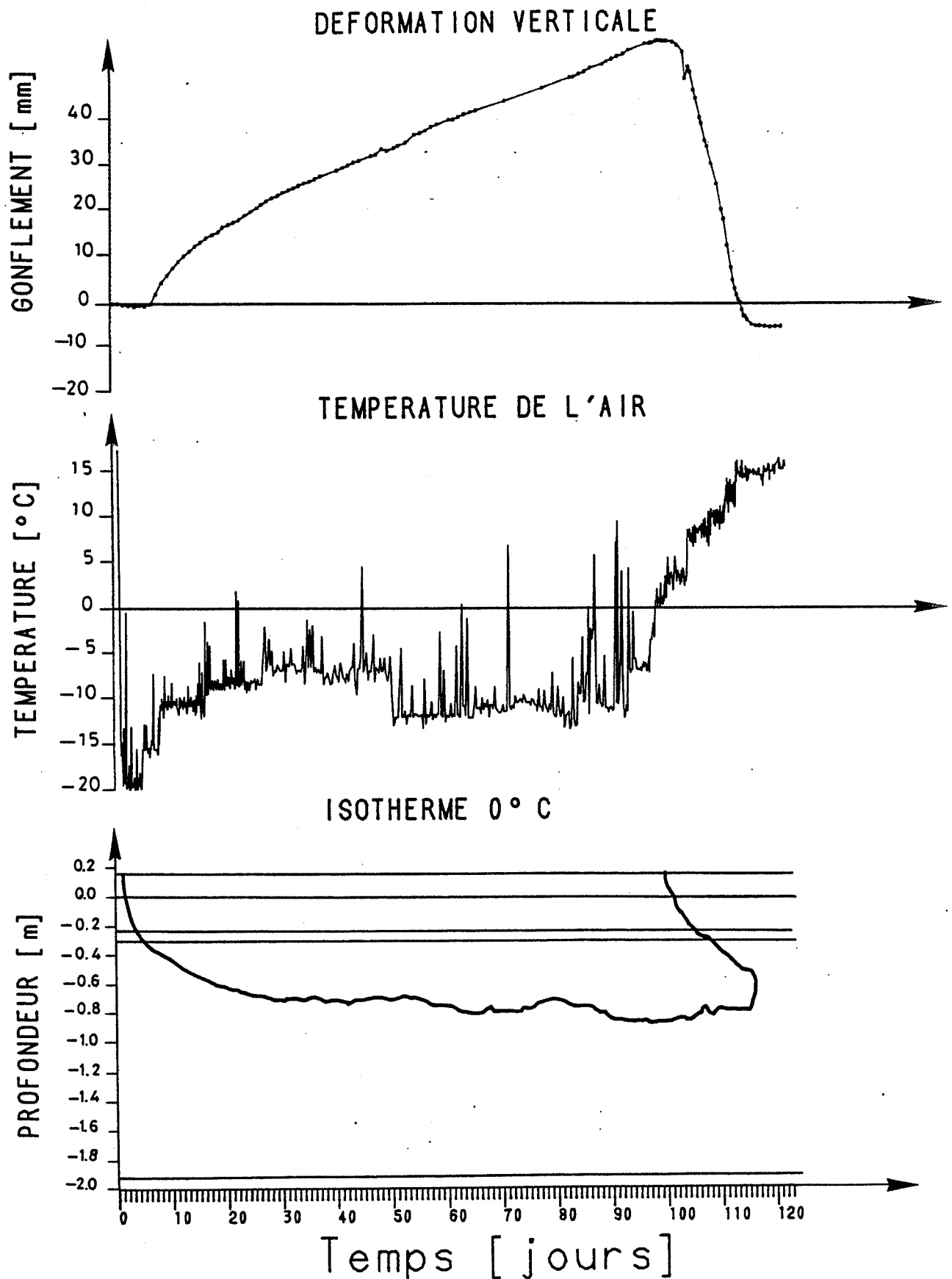
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de teneur en eau

Champ
Essai3
12Esondage S3 du 111 jour
sondage S6 du 0 jour

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

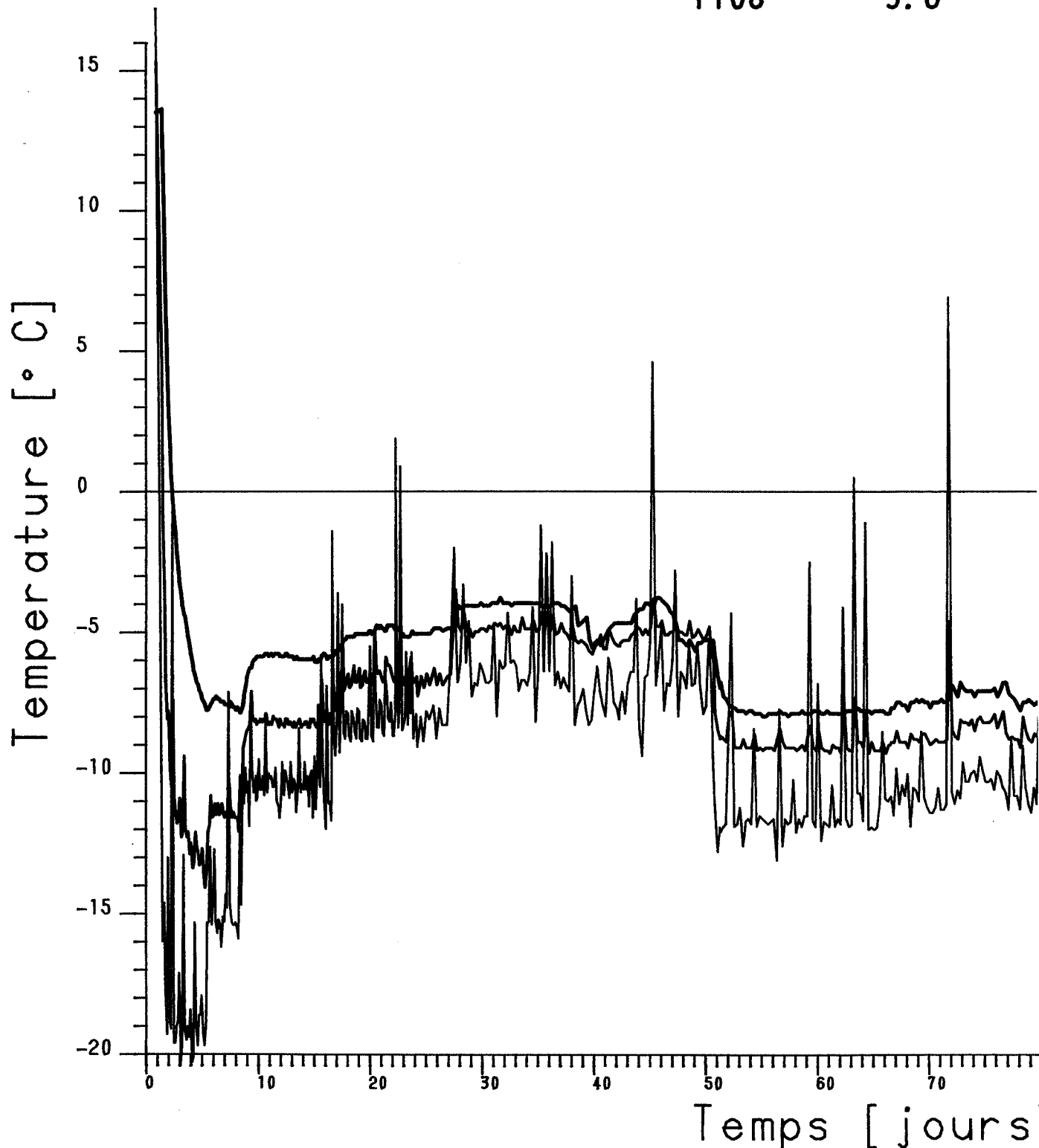
Essai 22E Champ 1

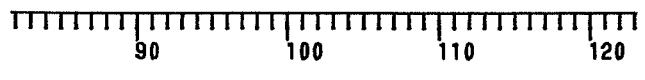
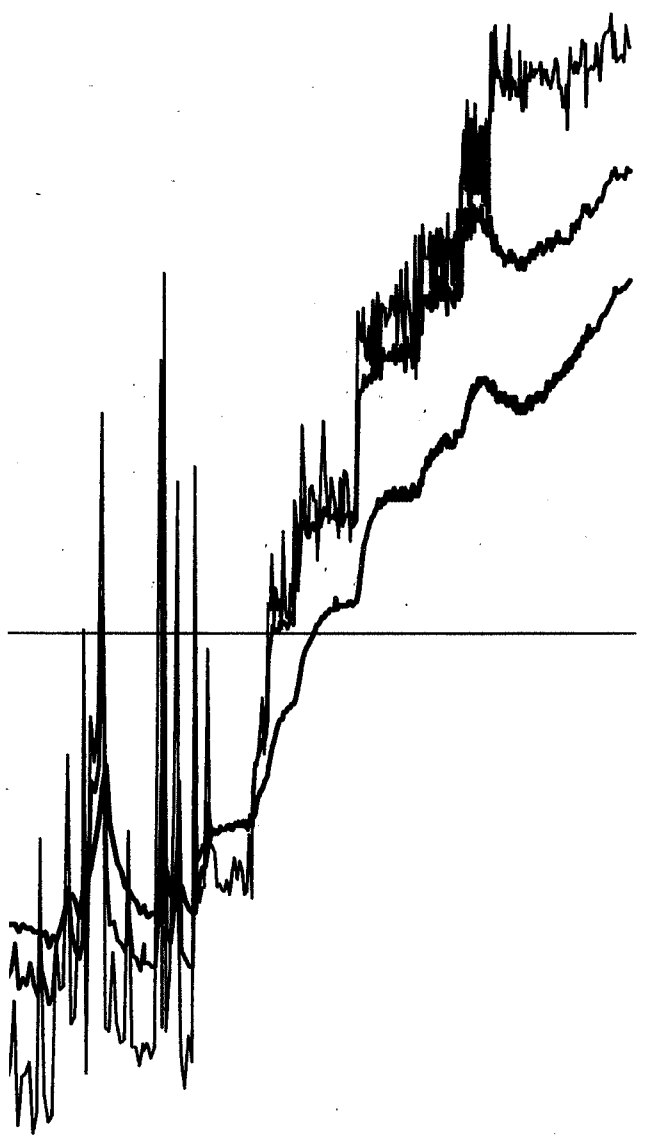


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1	Capteur no	Prof
Essai 22E	1110	-100.0
Debut 16.10.84	1109	-14.8
	1108	3.6

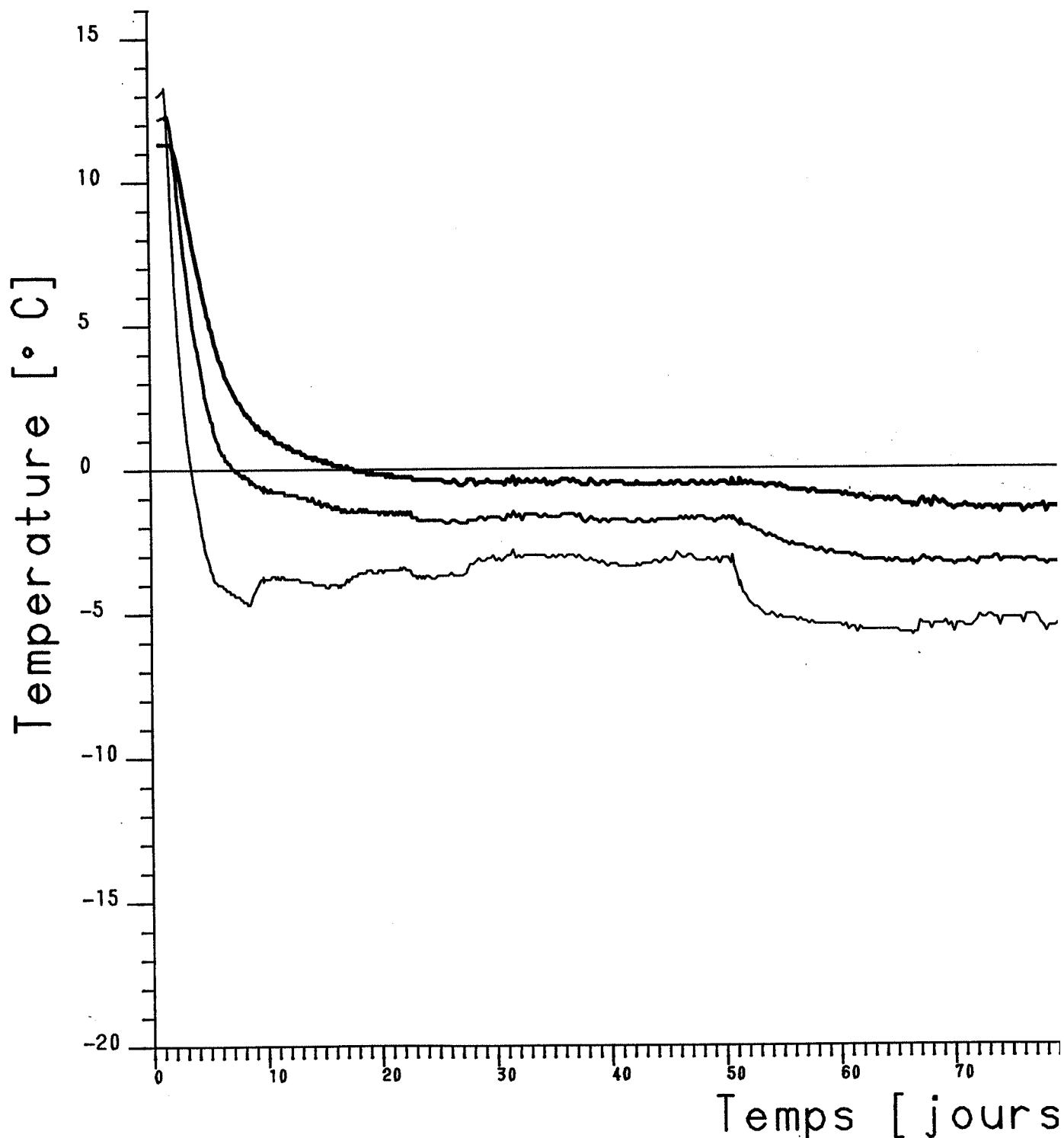


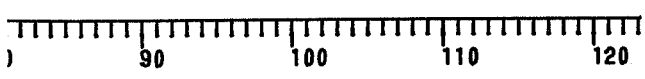
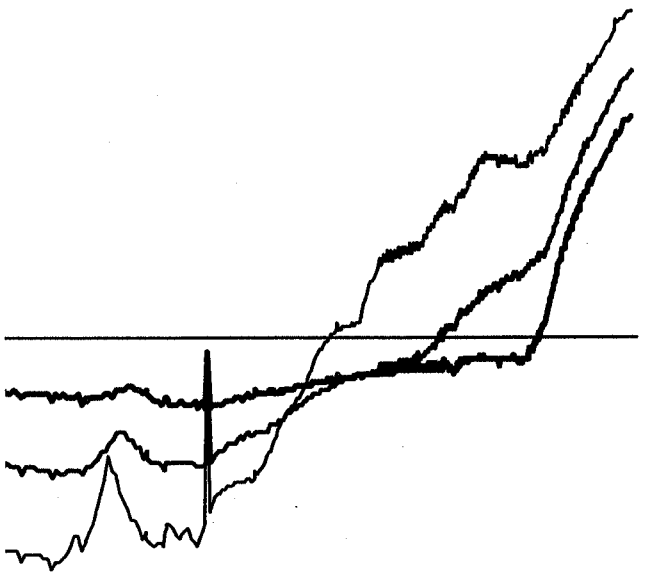


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	1	Capteur no	Prof
Essai	22E	1107	16.6
Debut	16.10.84	1106	39.1
		1105	58.6

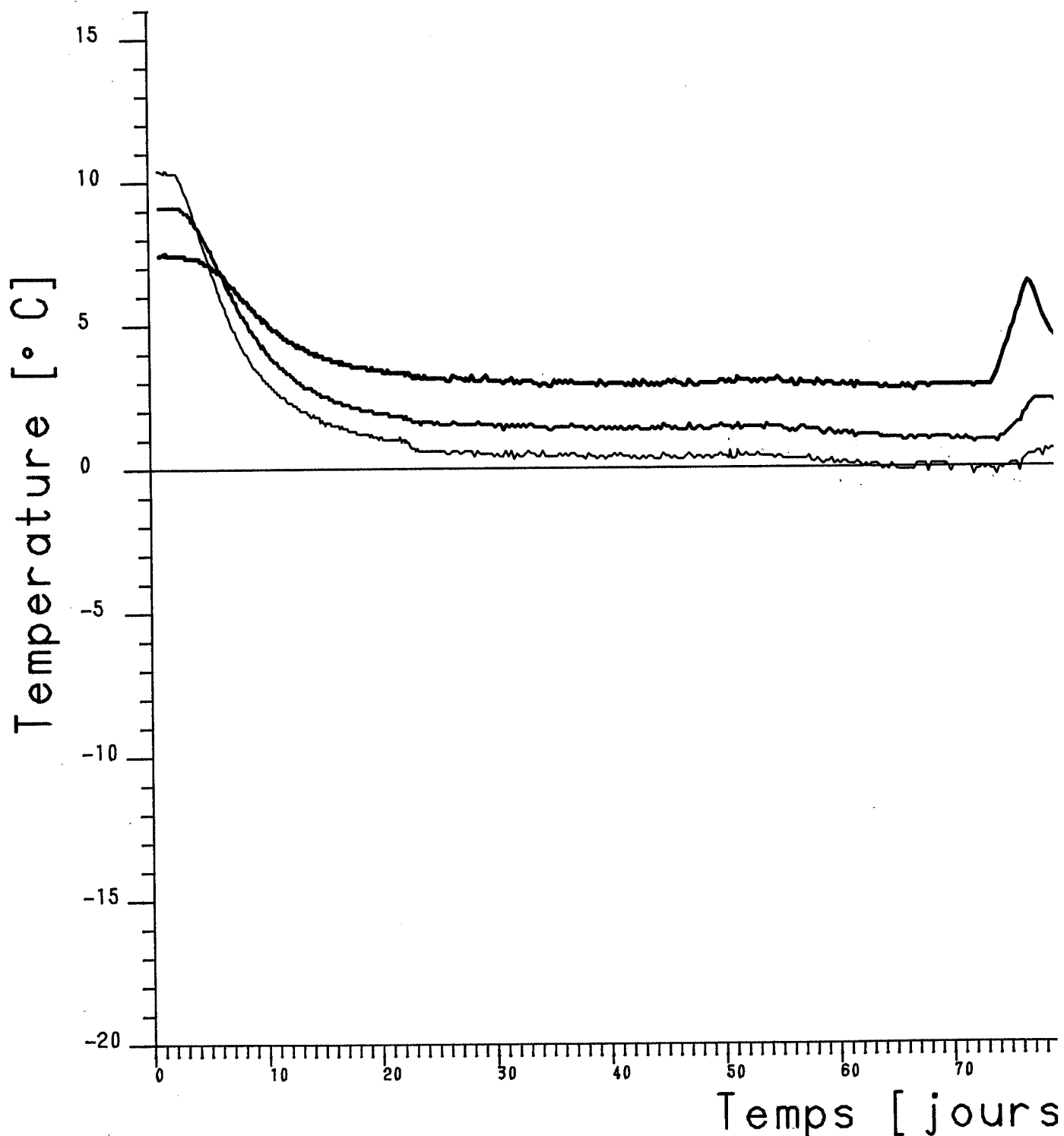


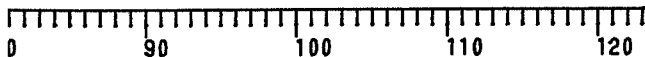
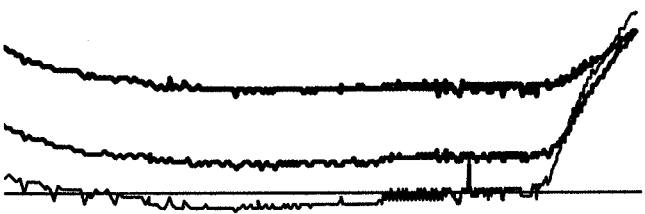


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1	Capteur no	Prof
Essai 22E	1104	81.6
Debut 16.10.84	1103	104.0
	1102	145.0



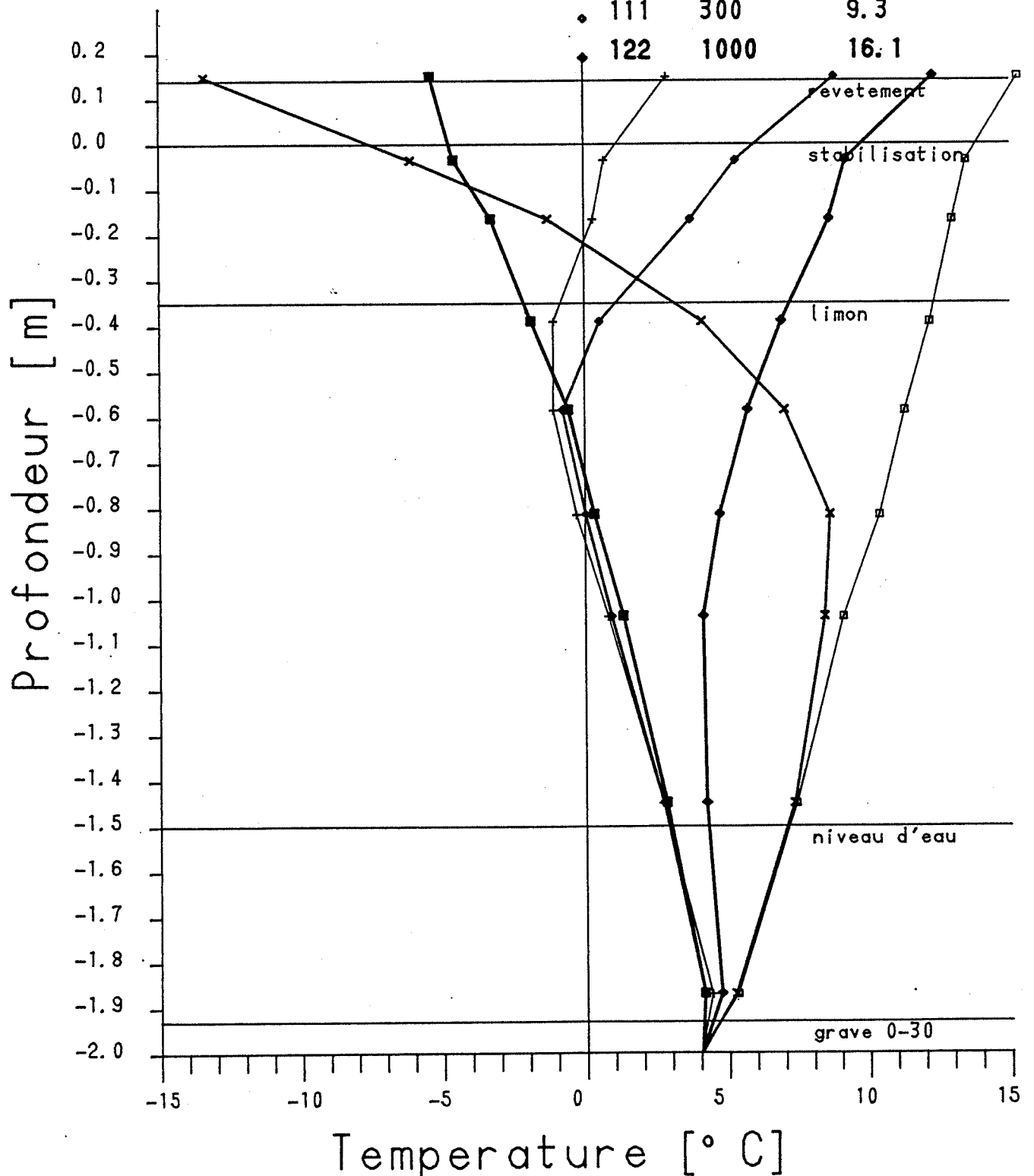


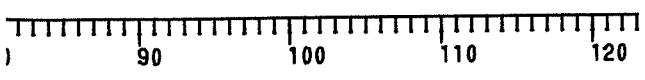
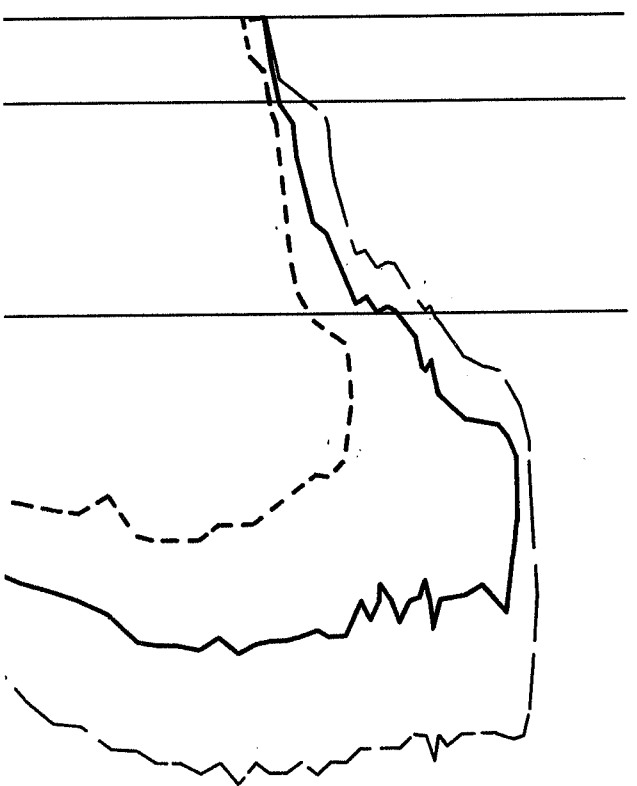
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 1
Essai 22E

Jour	heure	temp. air
0	2100	17.2
4	200	-20.3
39	201	-7.0
103	1300	2.8
111	300	9.3
122	1000	16.1

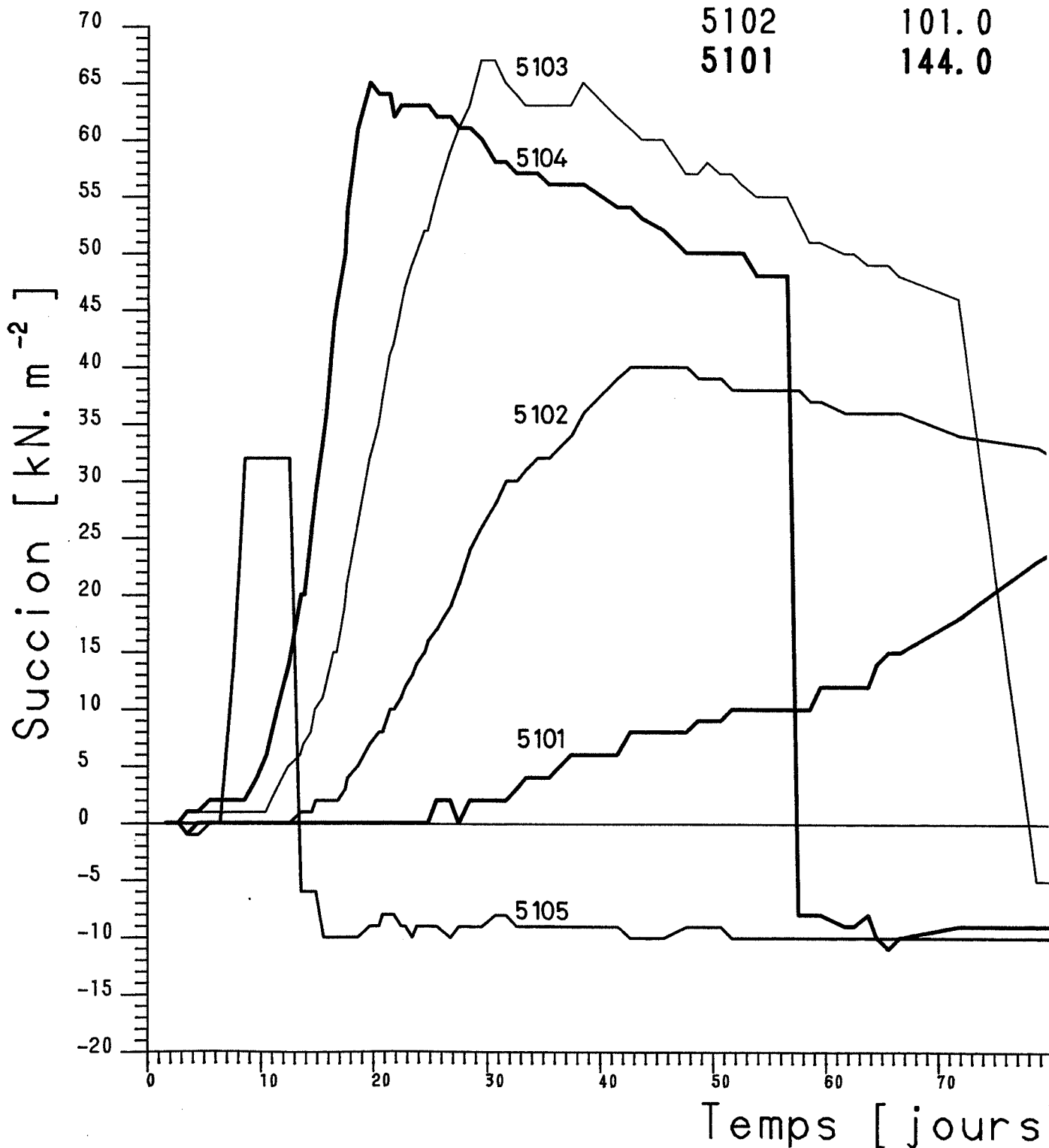


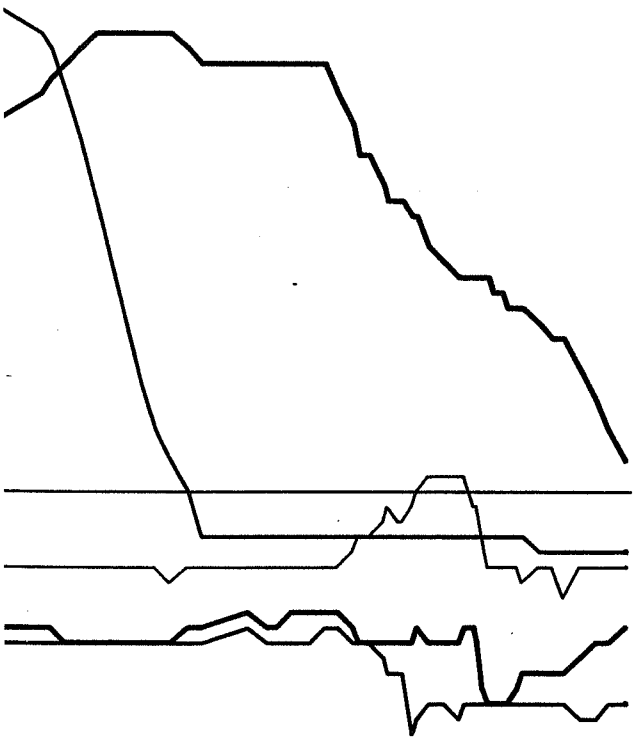


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ 1	capteur no	Prof
Essai 22E	5105	40.3
Debut 16.10.84	5104	58.6
	5103	81.6
	5102	101.0
	5101	144.0





90 100 110 120

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

Champ 1

Essai 22E

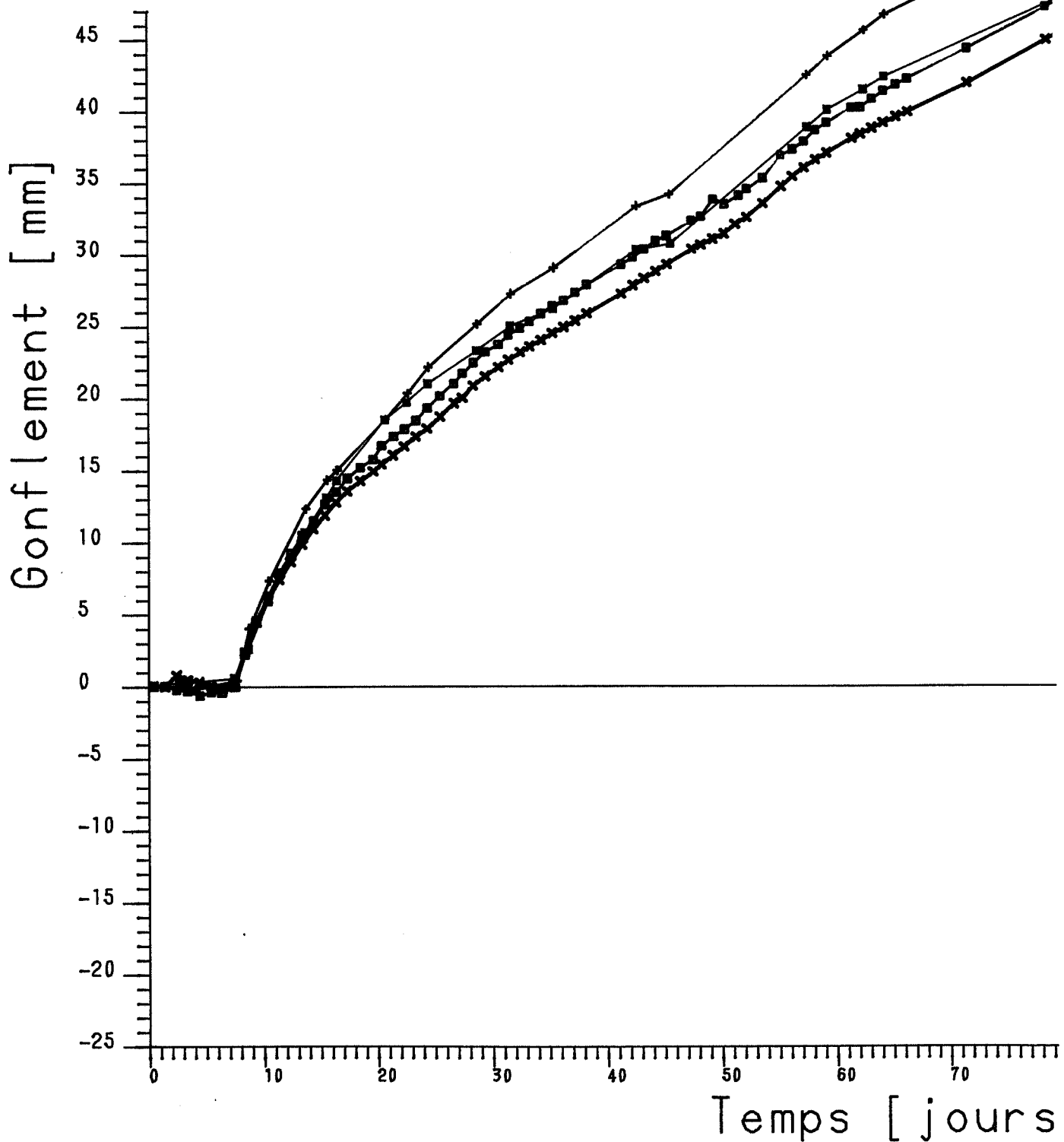
Debut 16.10.84

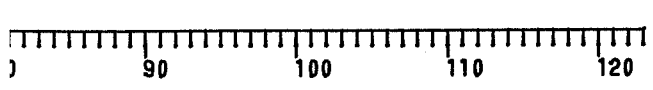
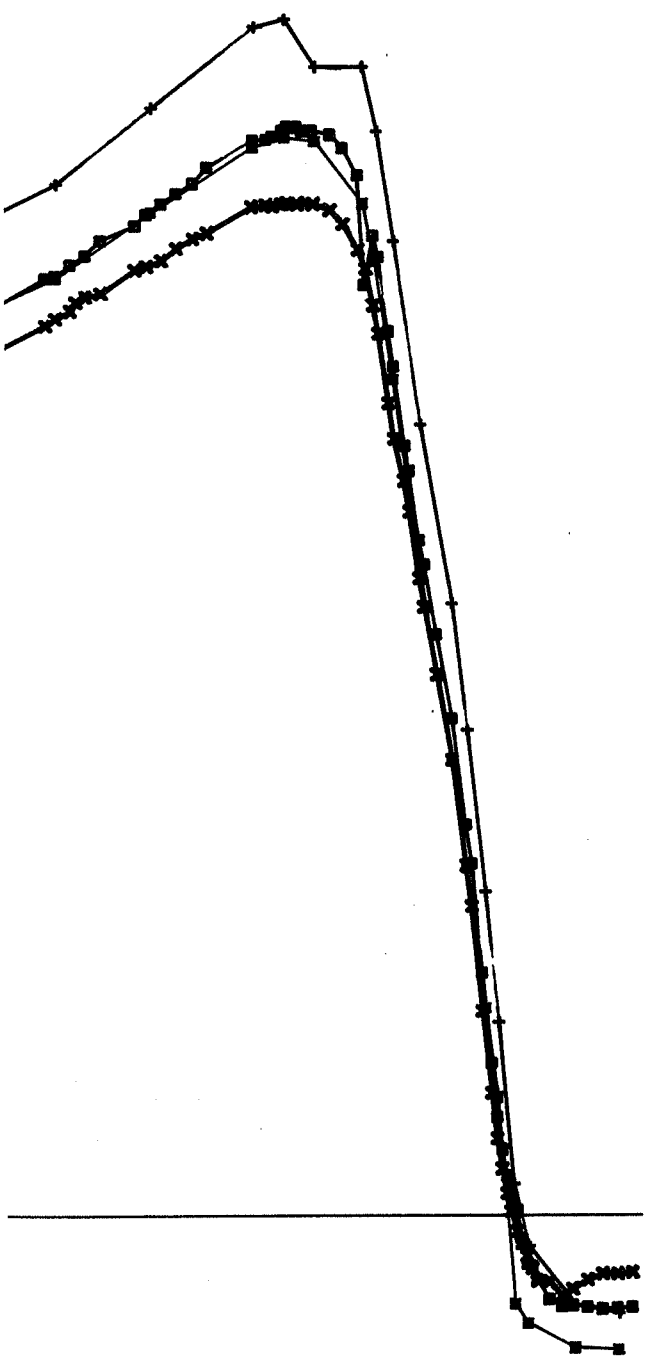
□ nivellement axe B

× comparateur axe B

■ bison axe A

+ bison axe B

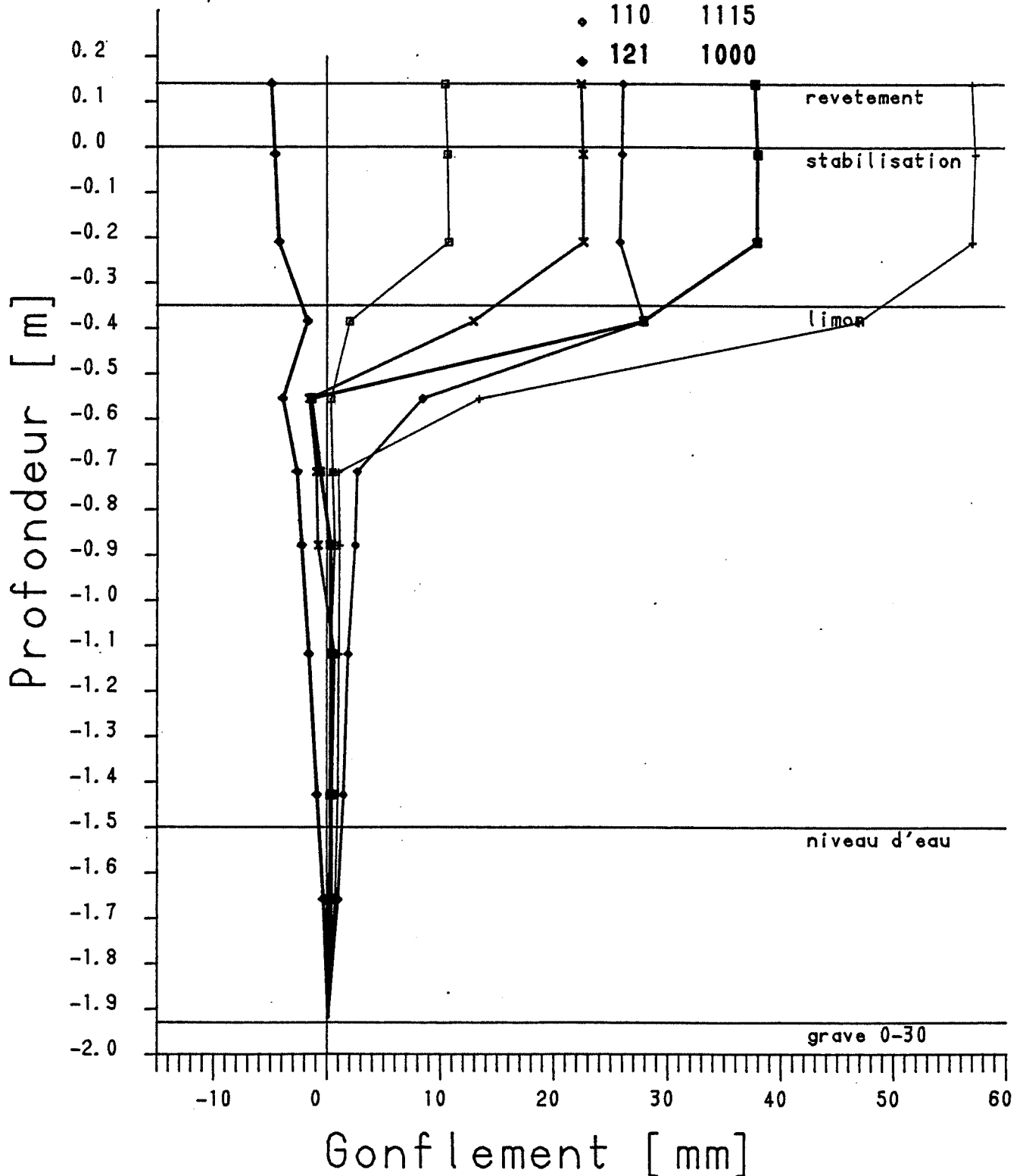




LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

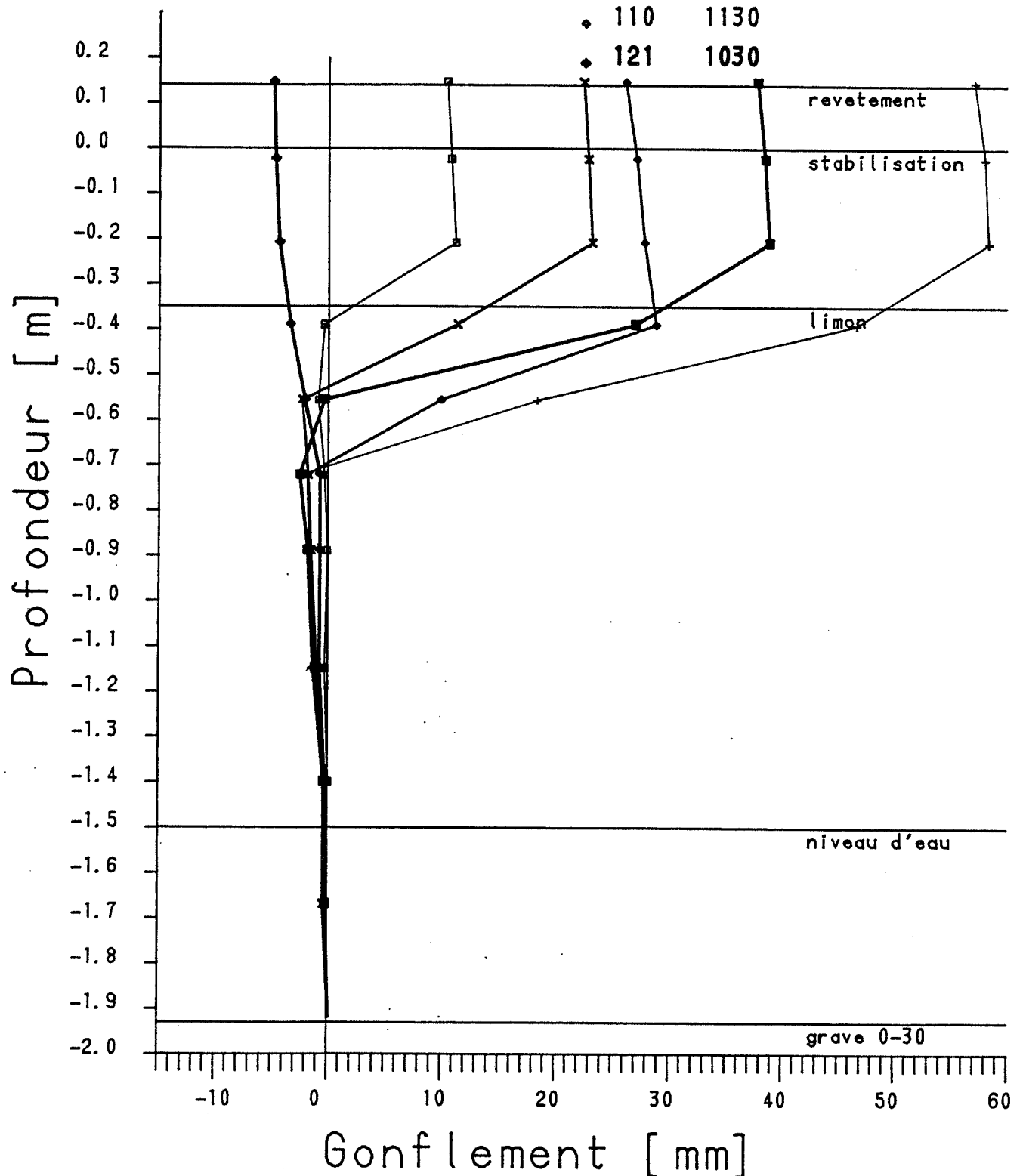
	Jour	heure
Champ 1	13	1530
Essai 22E AXE A	x	28 1615
	■	57 1500
	+	99 1400
	•	110 1115
	◆	121 1000



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

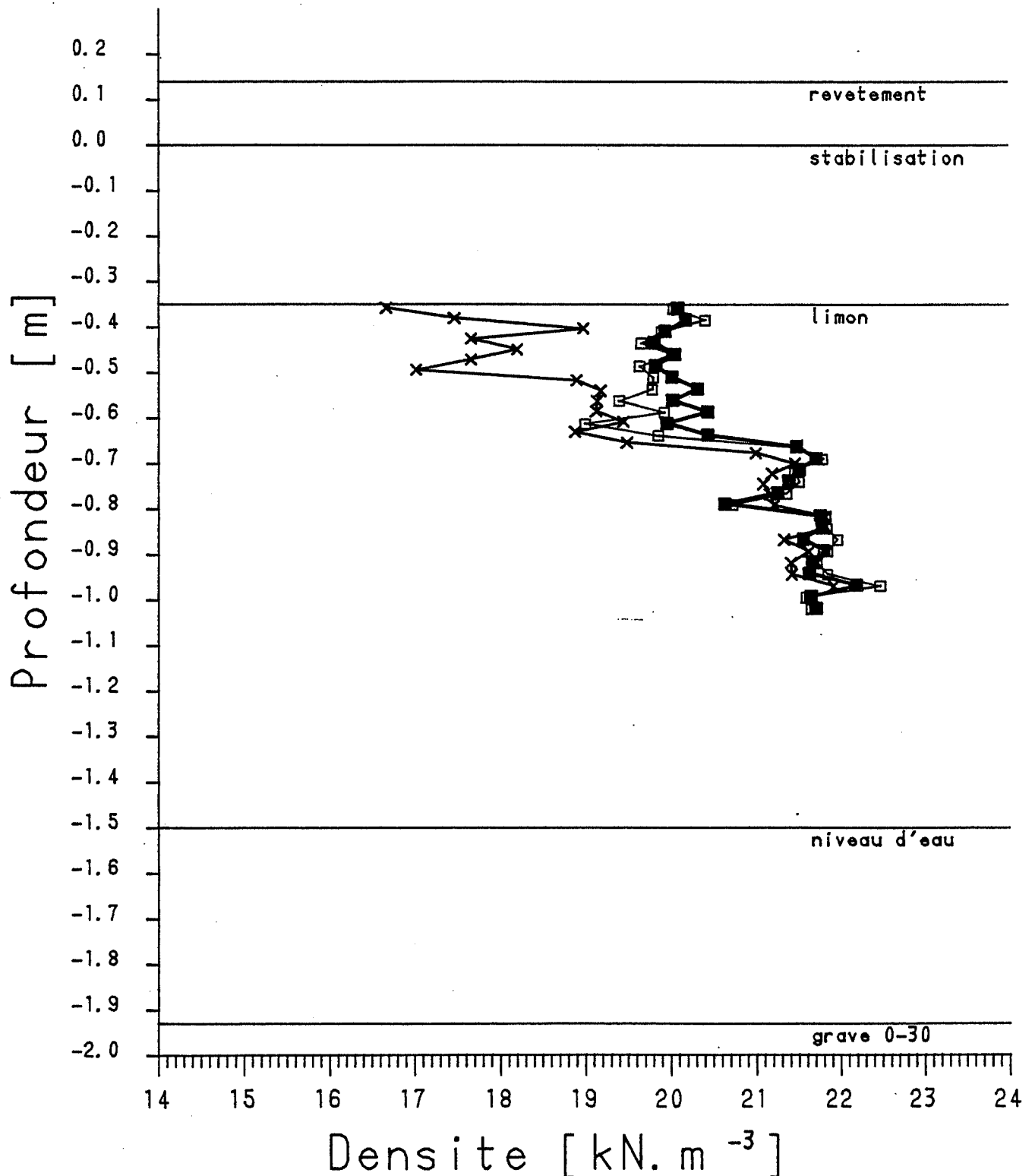
Champ 1		Jour	heure
Essai 22E AXE B	□	13	1600
	×	28	1715
	■	57	1400
	+	99	1300
	◇	110	1130
	◆	121	1030



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

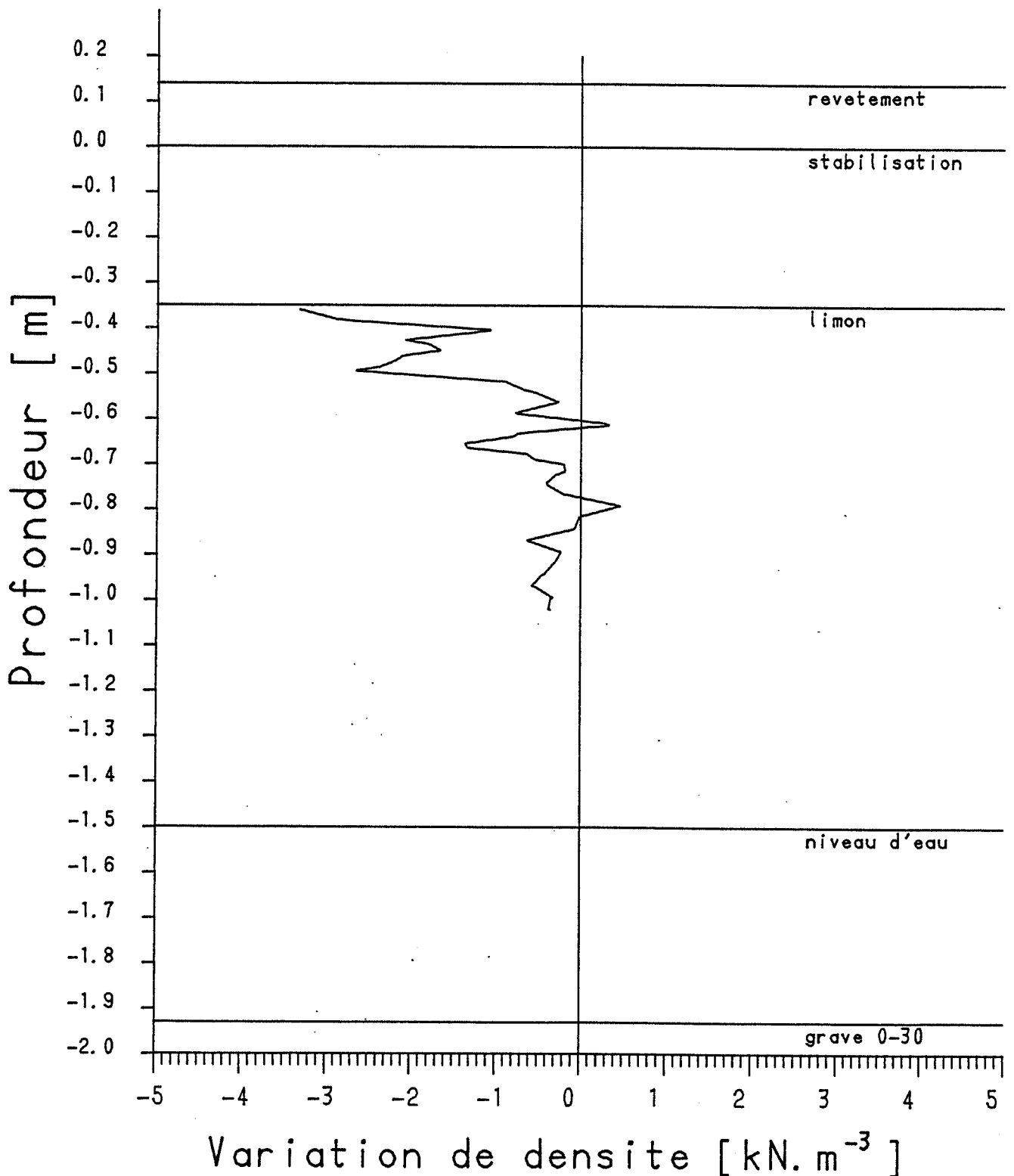
Champ	1	□	mesure du	0	jour
Essai	22E	x	mesure du	85	jour
Axe	C	■	mesure du	120	jour



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

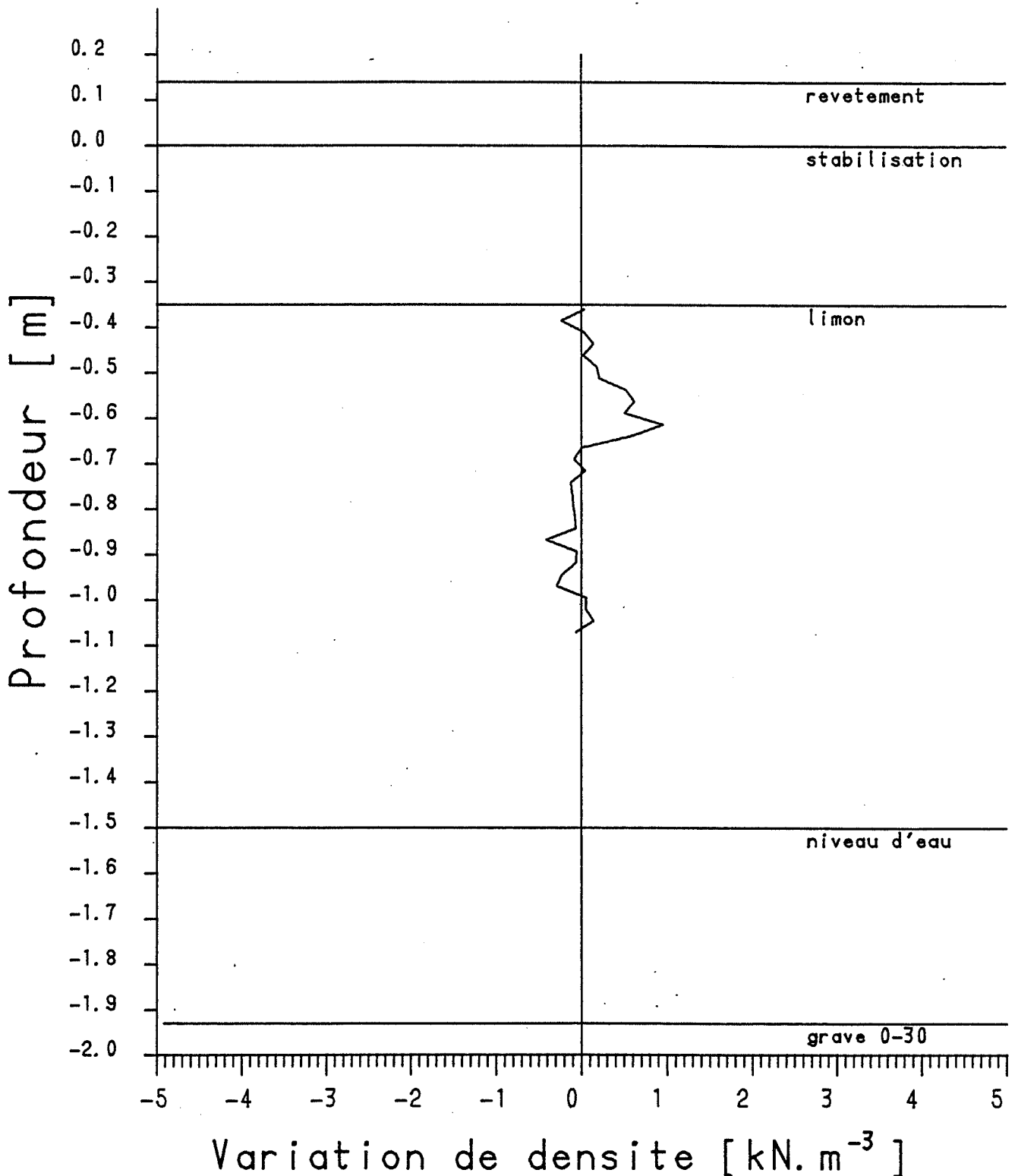
Champ 1 mesure du 0 jour
Essai 22E mesure du 85 jour
Axe C



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

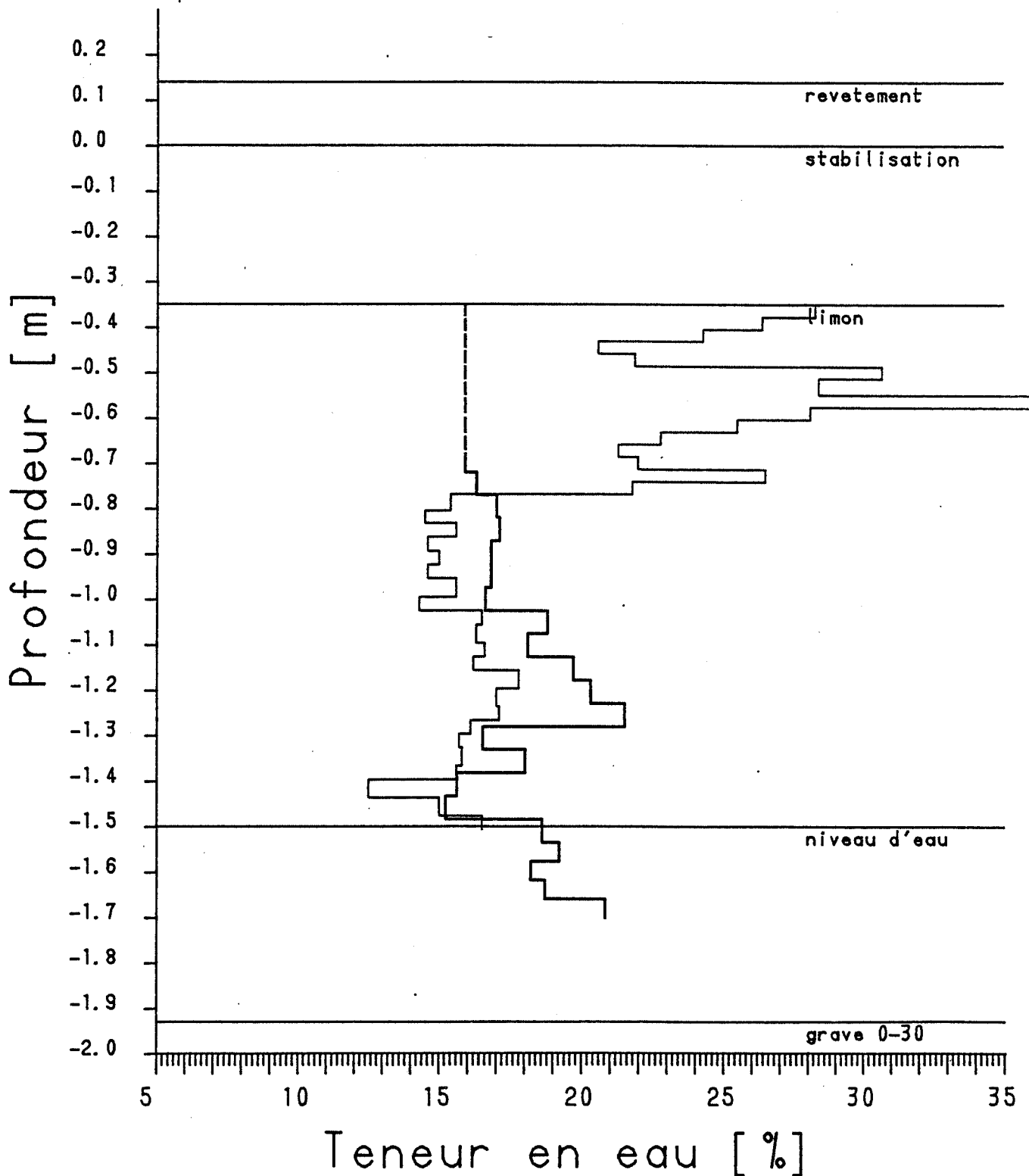
Mesures de densite avec TROXLER

Champ 1 mesure du 0 jour
Essai 22E mesure du 120 jour
Axe C



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

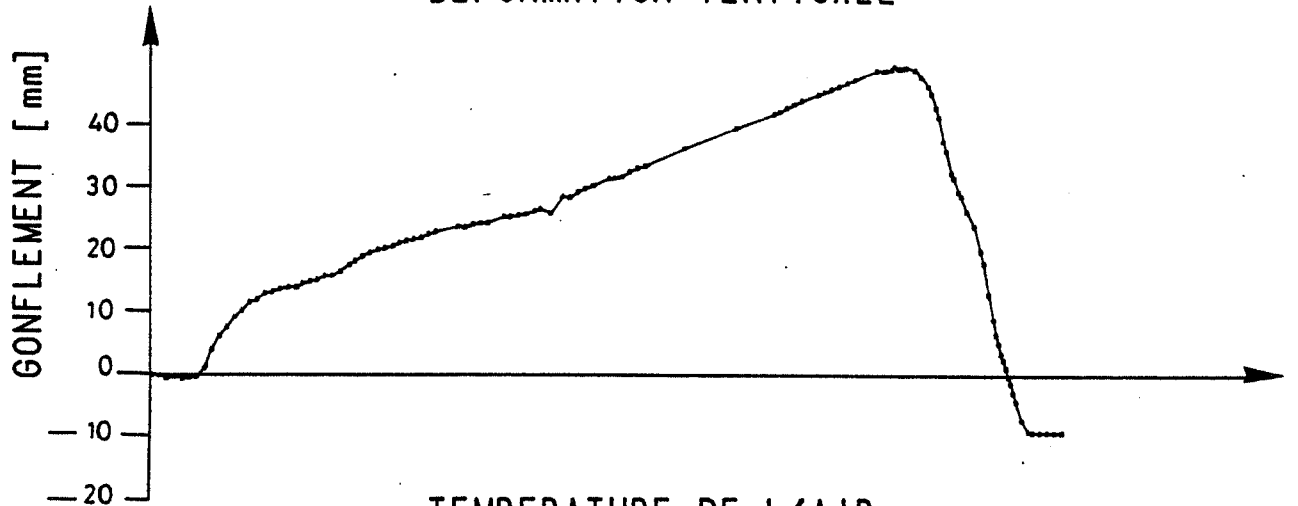
Mesures de teneur en eau

Champ
Essai1
22Esondage S10 du 92 jour
sondage S4 du 0 jour

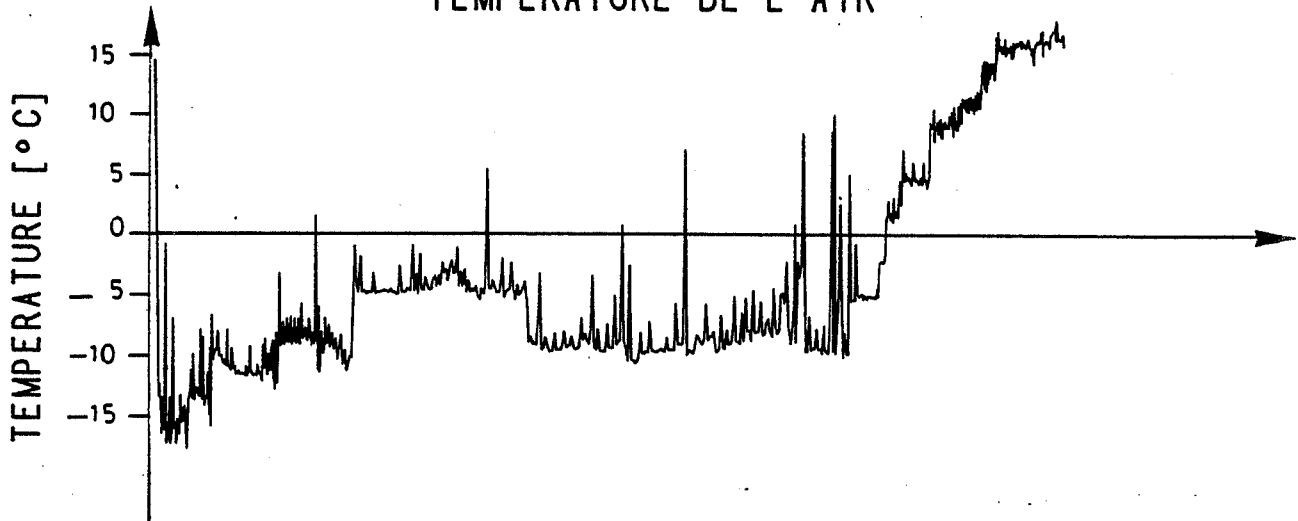
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Essai 22E Champ 2

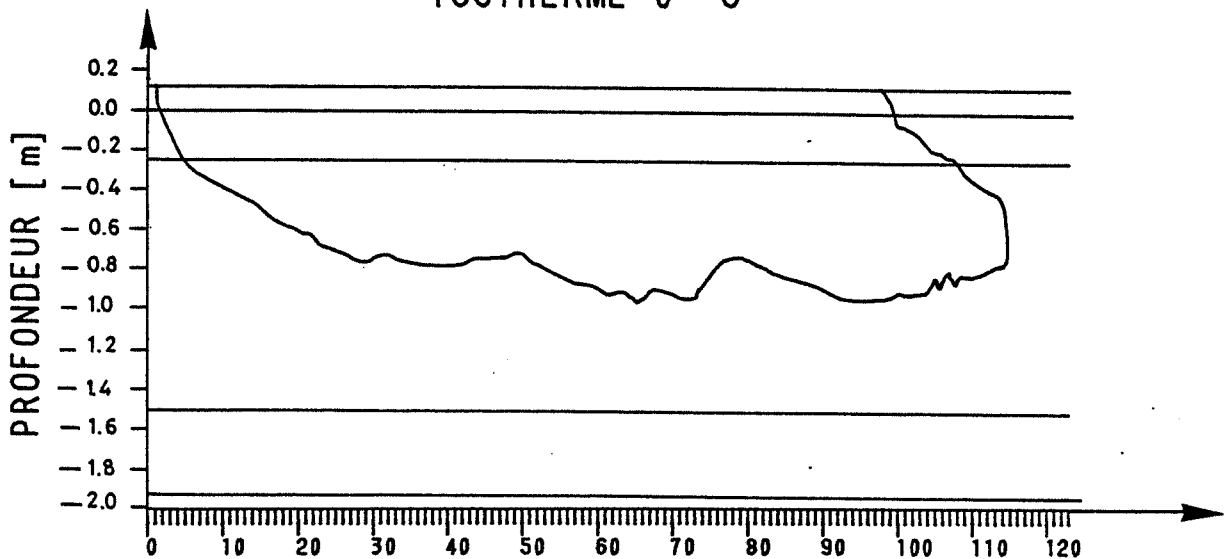
DEFORMATION VERTICALE



TEMPERATURE DE L'AIR



ISOTHERME 0° C

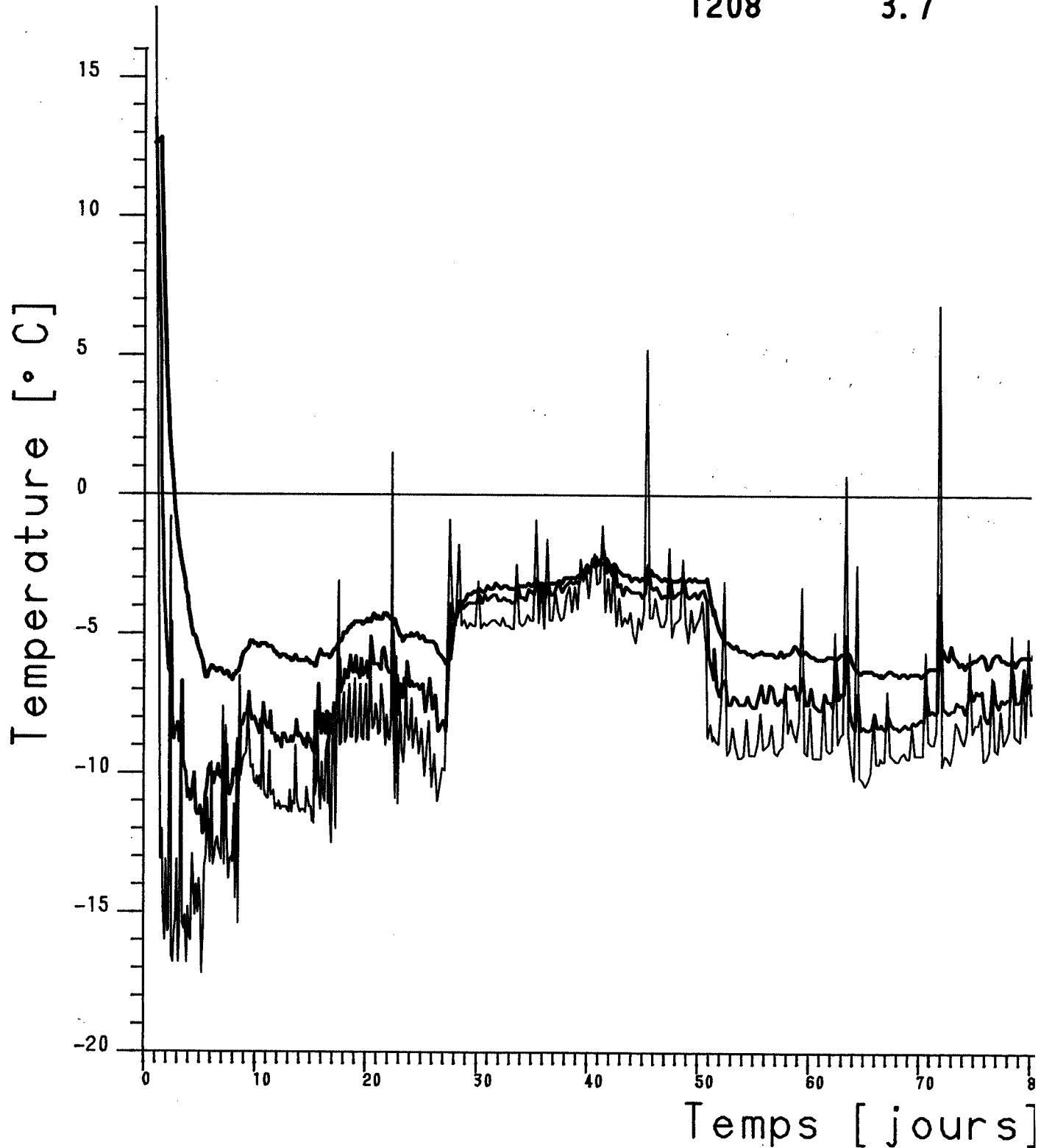


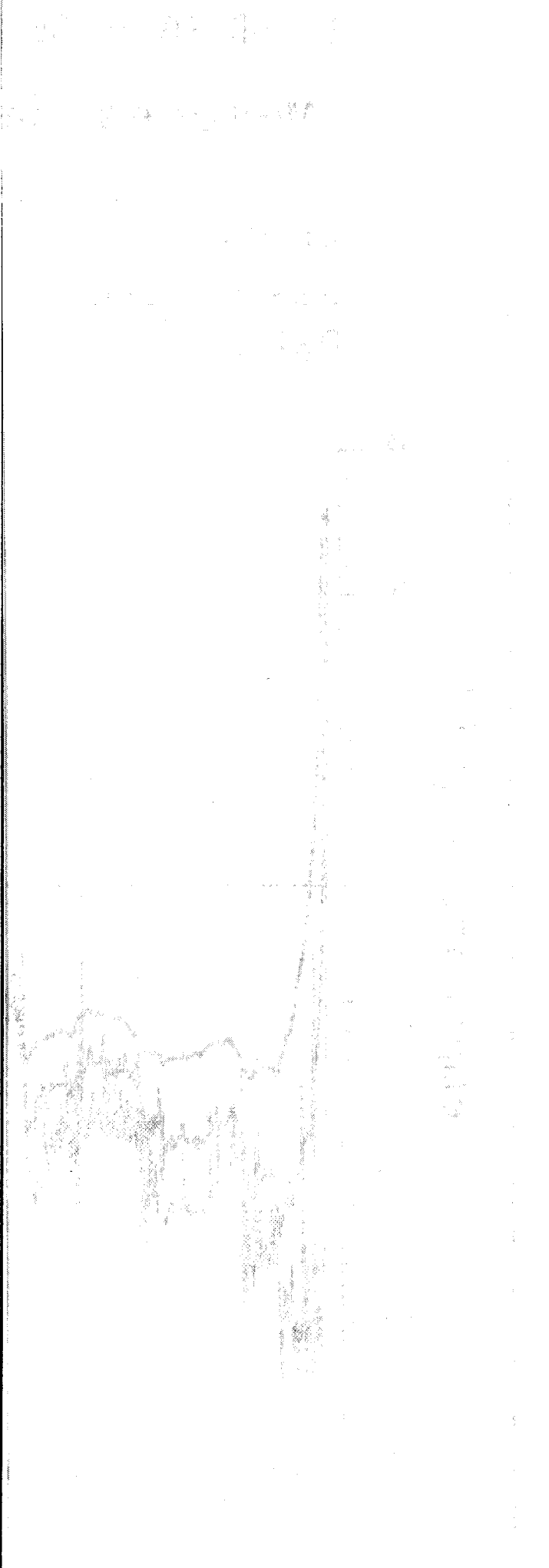
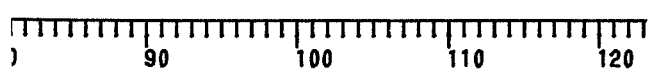
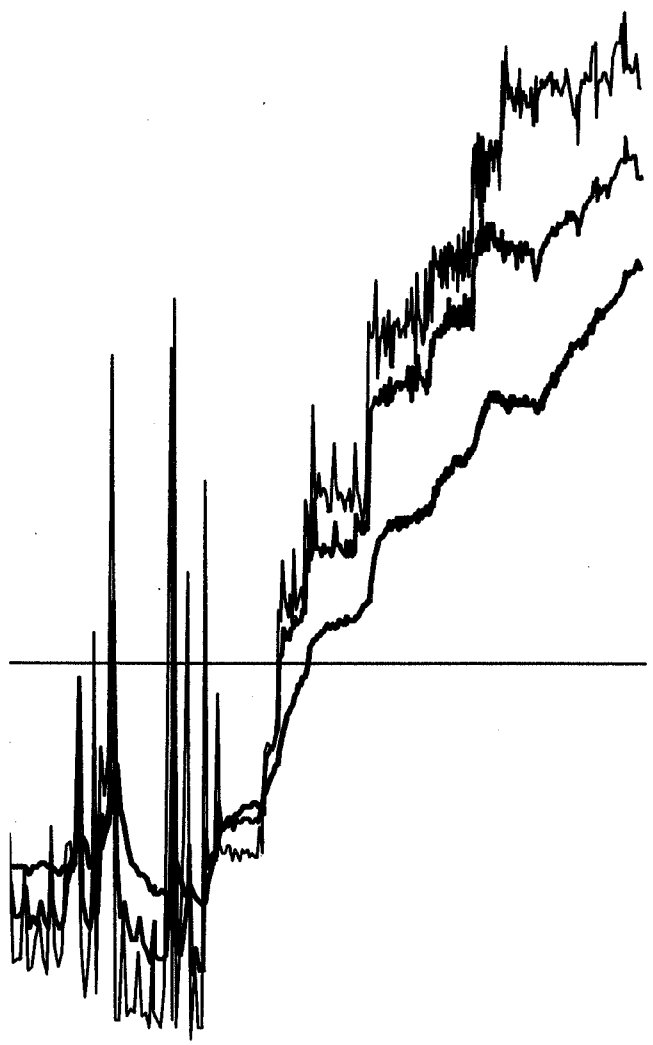
Temps [jours]

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	2	Capteur no	Prof
Essai	22E	1210	-100.0
Debut	16. 10. 84	1209	-12.8
		1208	3.7

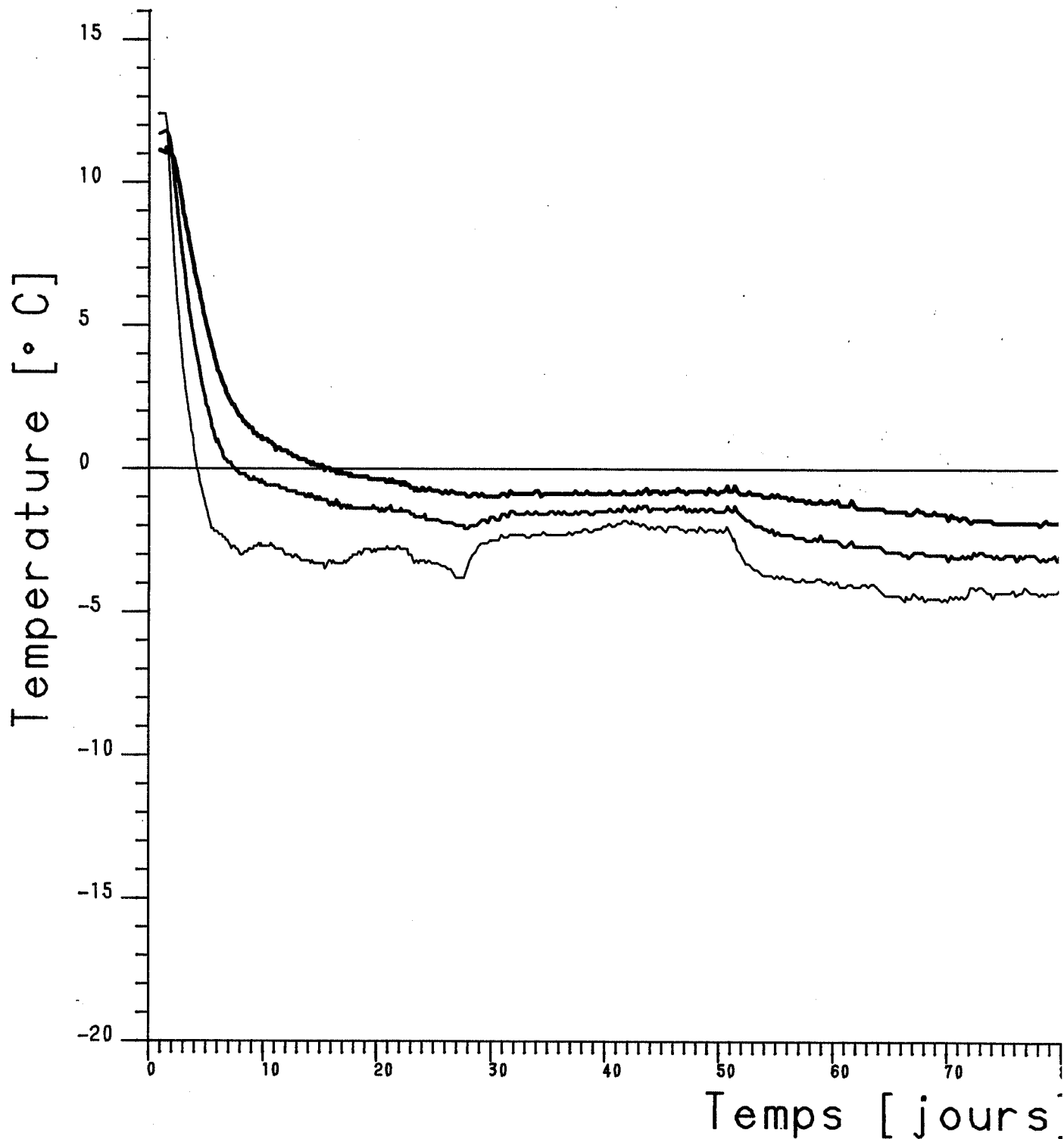


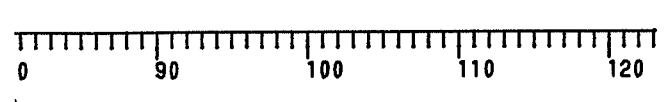


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	2	Capteur no	Prof
Essai	22E	1207	17.0
Debut	16. 10. 84	1206	31.4
		1205	49.6

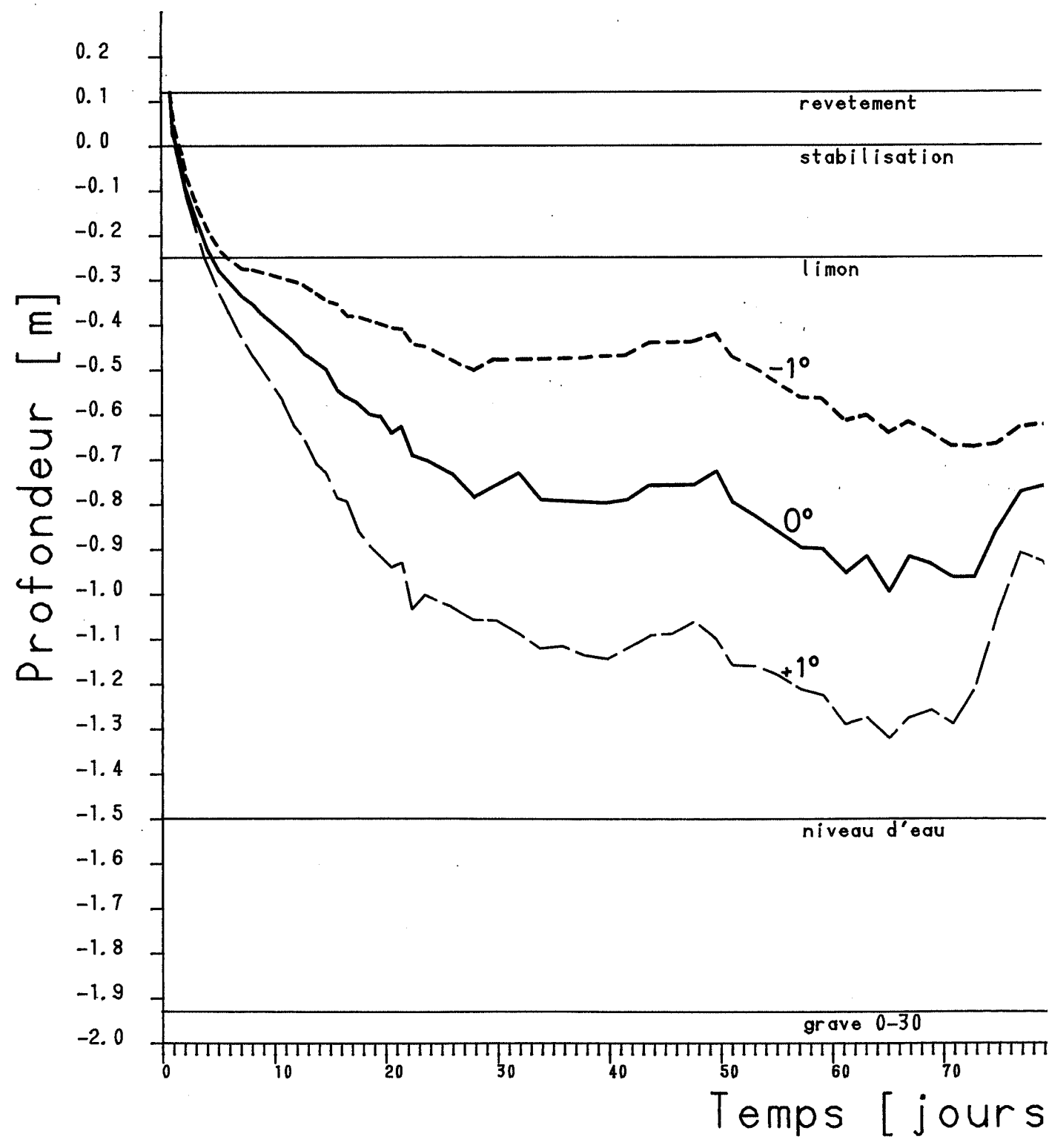


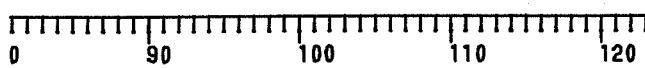
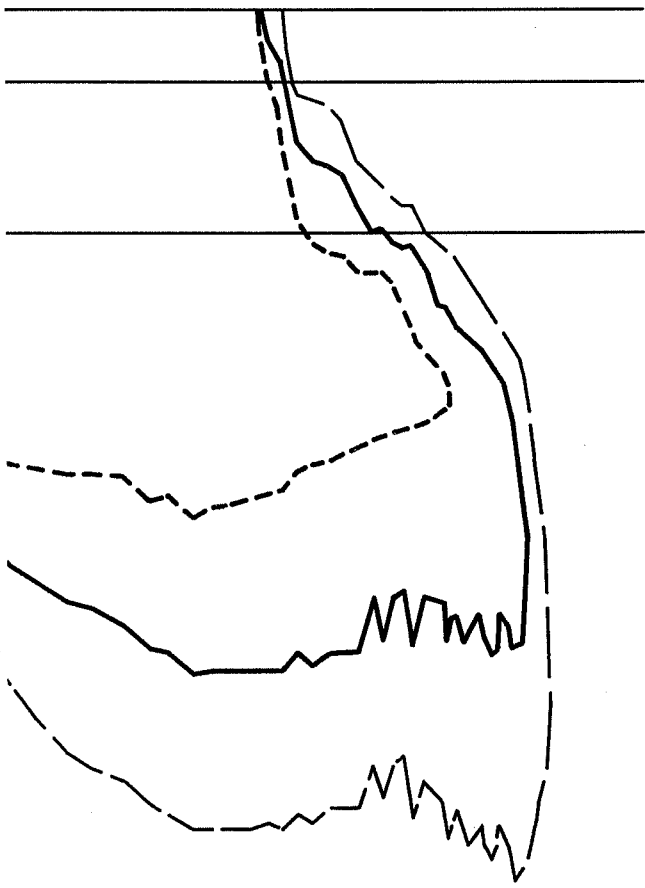


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ISOTHERMES

Champ 2
Essai 22E

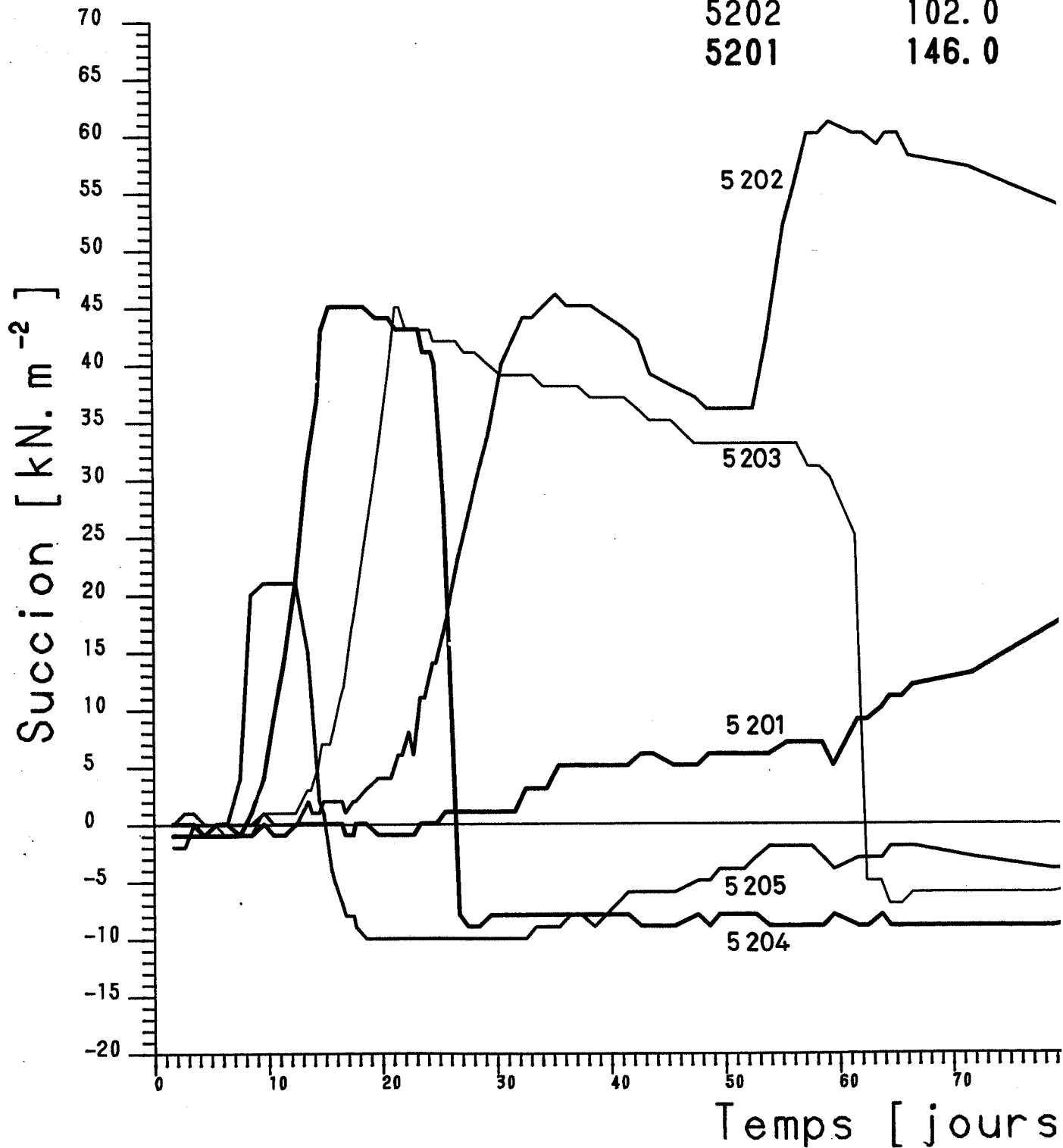


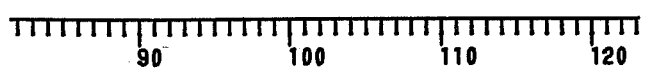
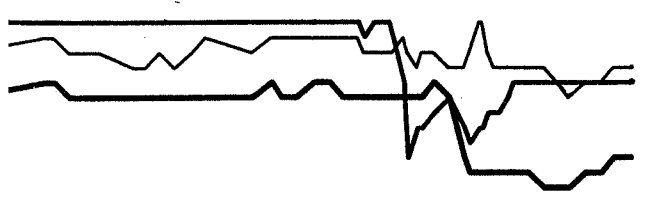
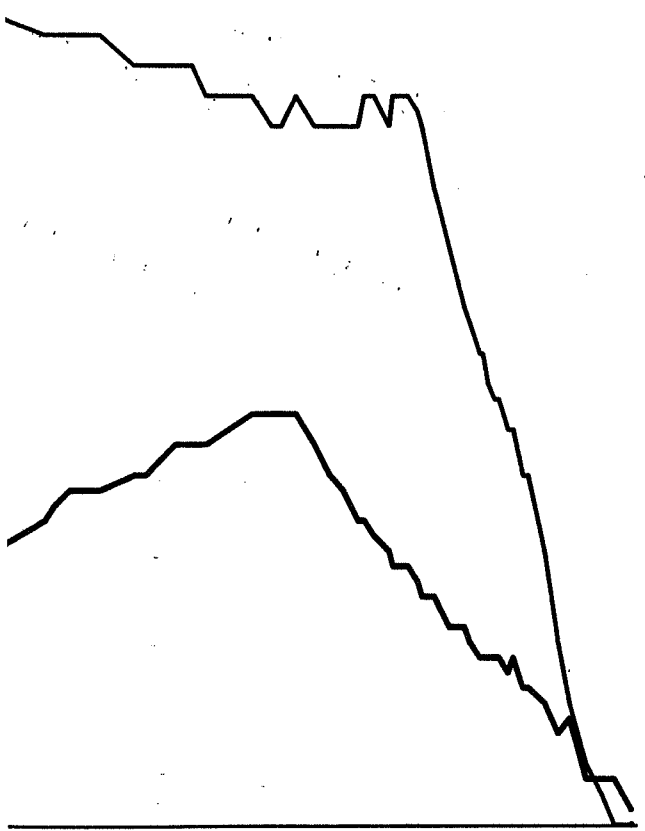


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ	2	capteur no	Prof
Essai	22E	5205	32.2
Debut	16.10.84	5204	50.4
		5203	73.8
		5202	102.0
		5201	146.0





LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

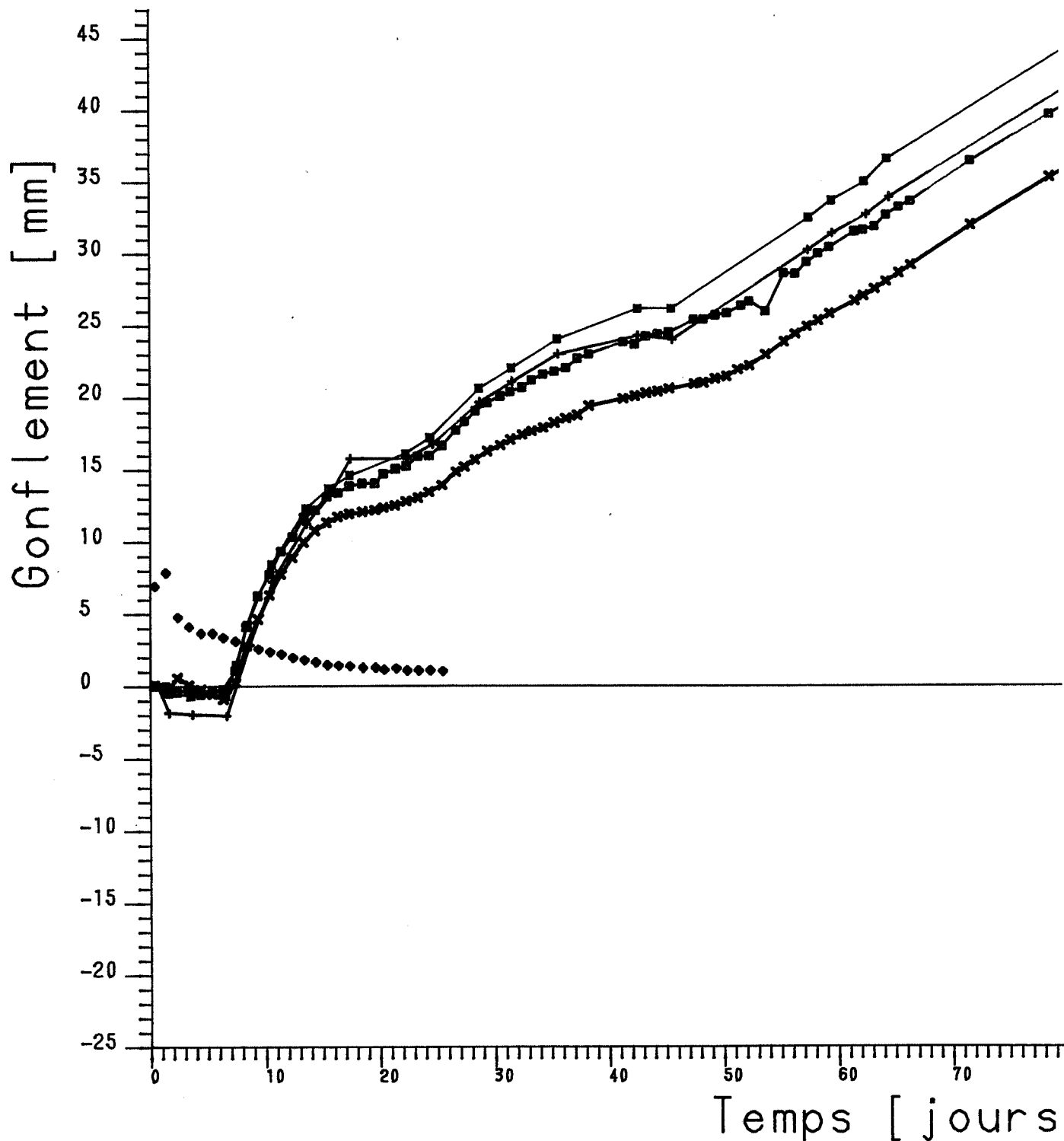
Mesures de gonflement

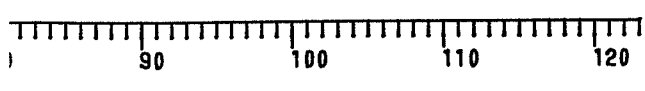
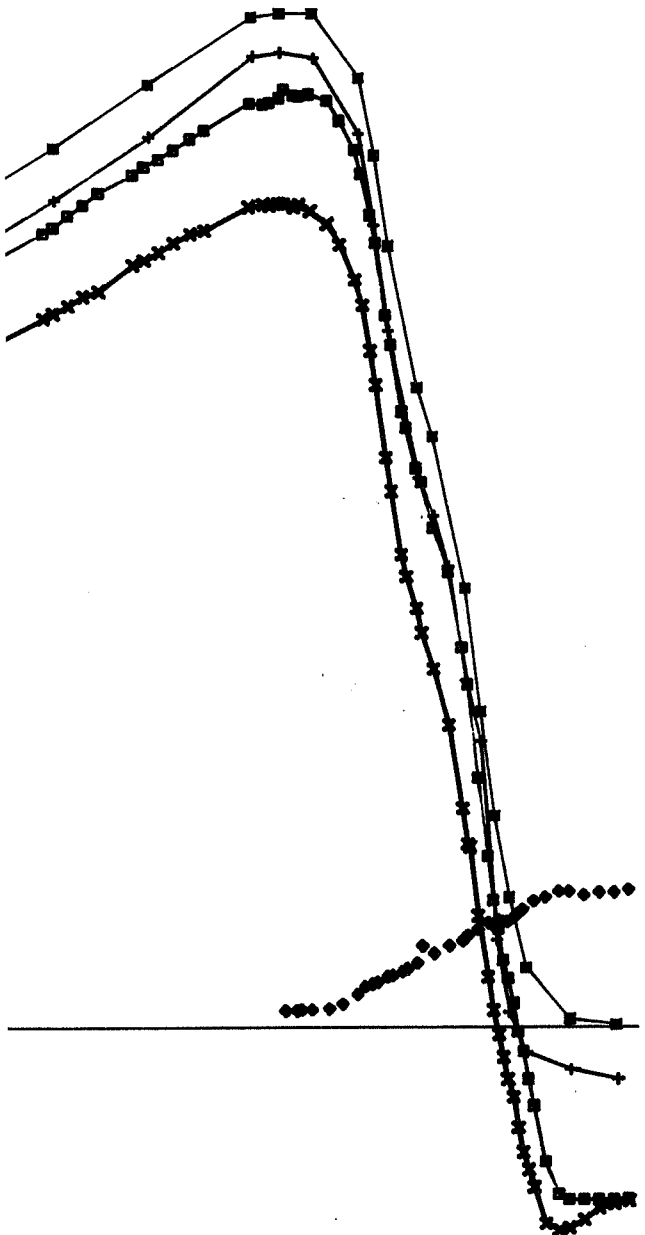
Champ 2

Essai 22E

Debut 16.10.84

- nivellement axe D
- × comparateurs axe E
- bison axe D
- + bison axe E
- defl. el. axe E * 10

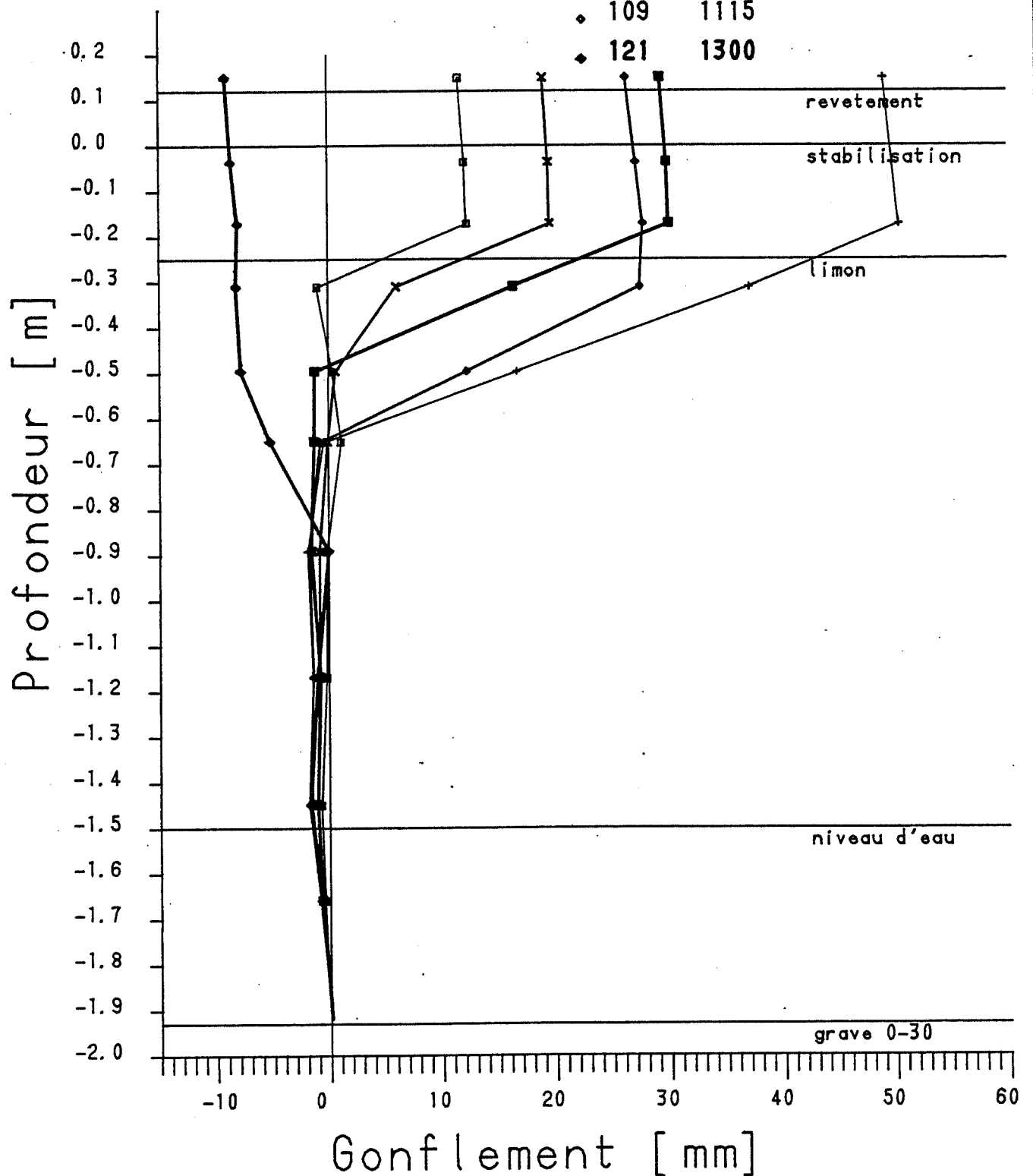




LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

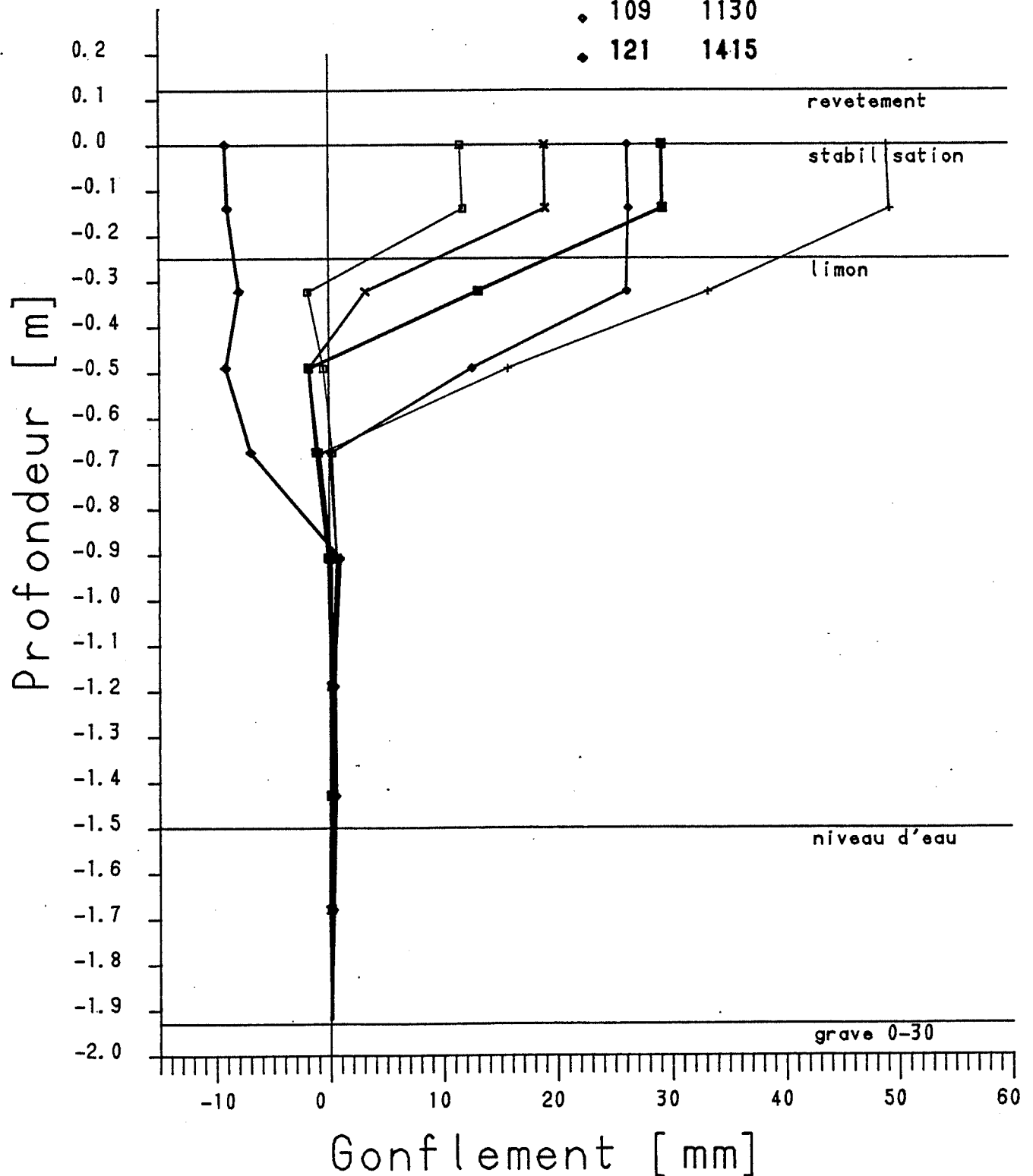
	Jour	heure
Champ 2	13	1400
Essai 22E AXE D	28	1730
	57	1300
	101	1415
	109	1115
	121	1300



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

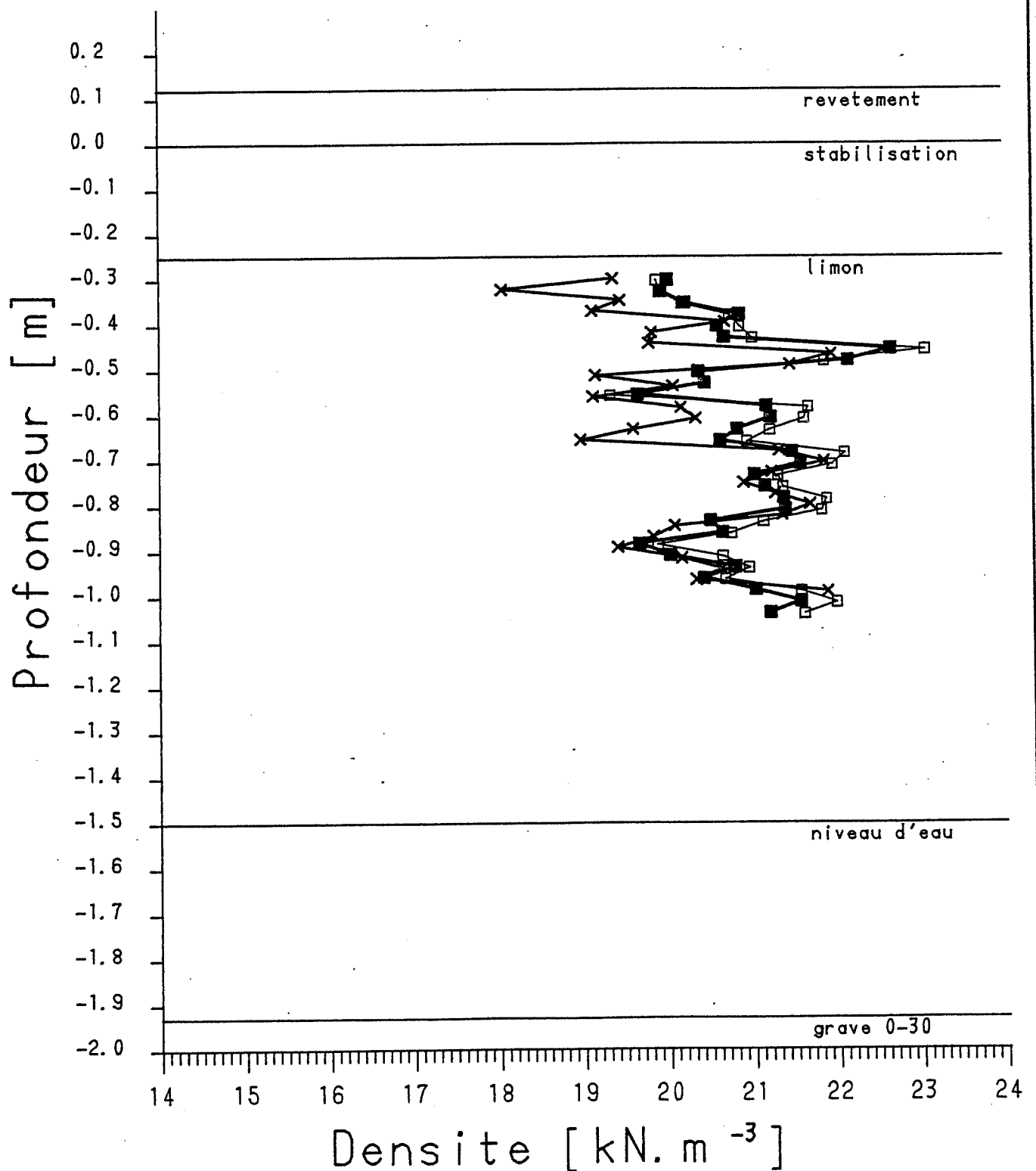
	Jour	heure
Champ 2	13	1430
Essai 22E AXE E	28	1745
	57	1030
	101	1500
	109	1130
	121	1415



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

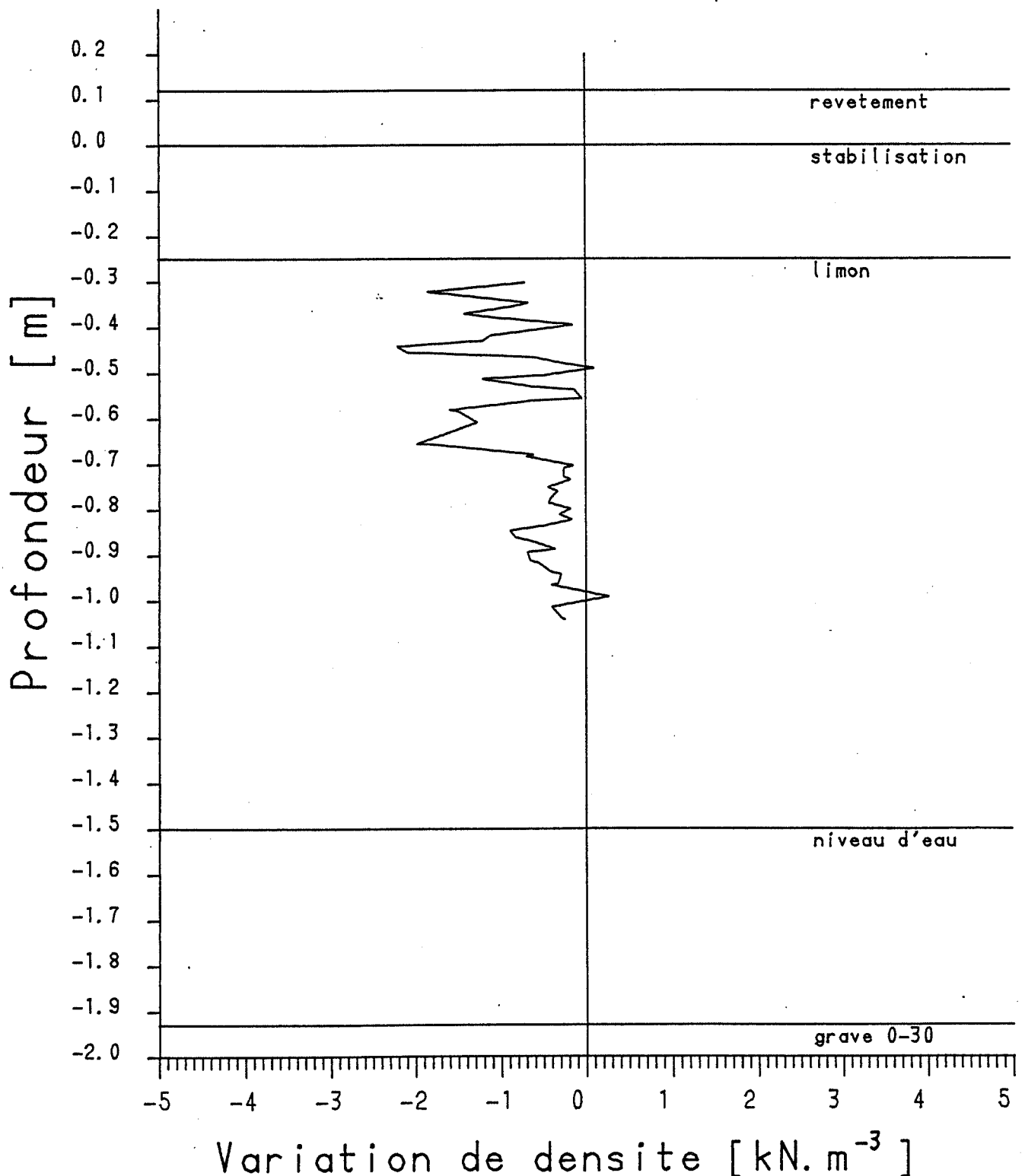
Champ	2	□	mesure du	0	jour
Essai	22E	x	mesure du	99	jour
Axe	F	■	mesure du	119	jour



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

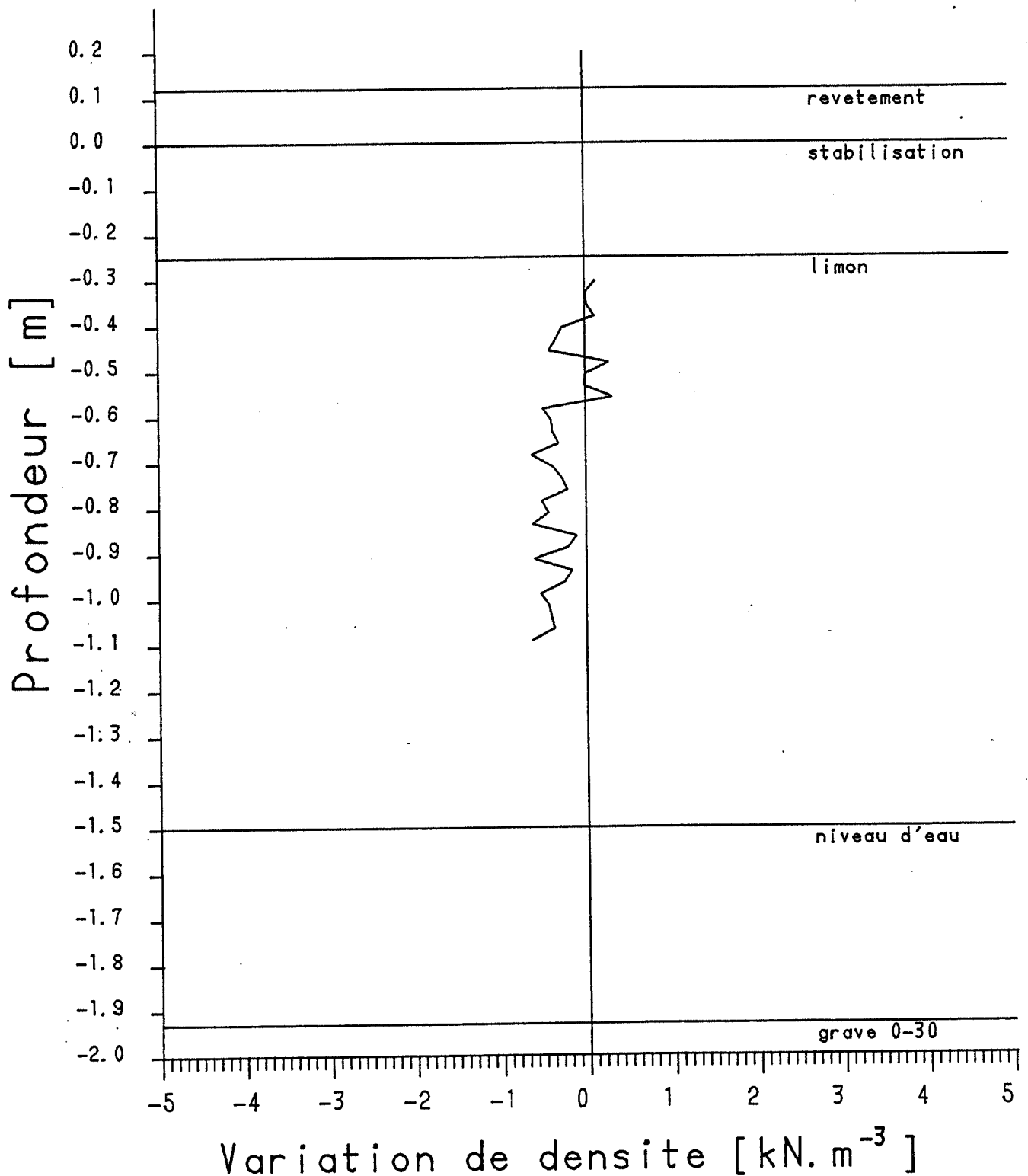
Champ 2 mesure du 0 jour
Essai 22E mesure du 99 jour
Axe F.



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

Champ 2 mesure du 0 jour
Essai 22E mesure du 119 jour
Axe F



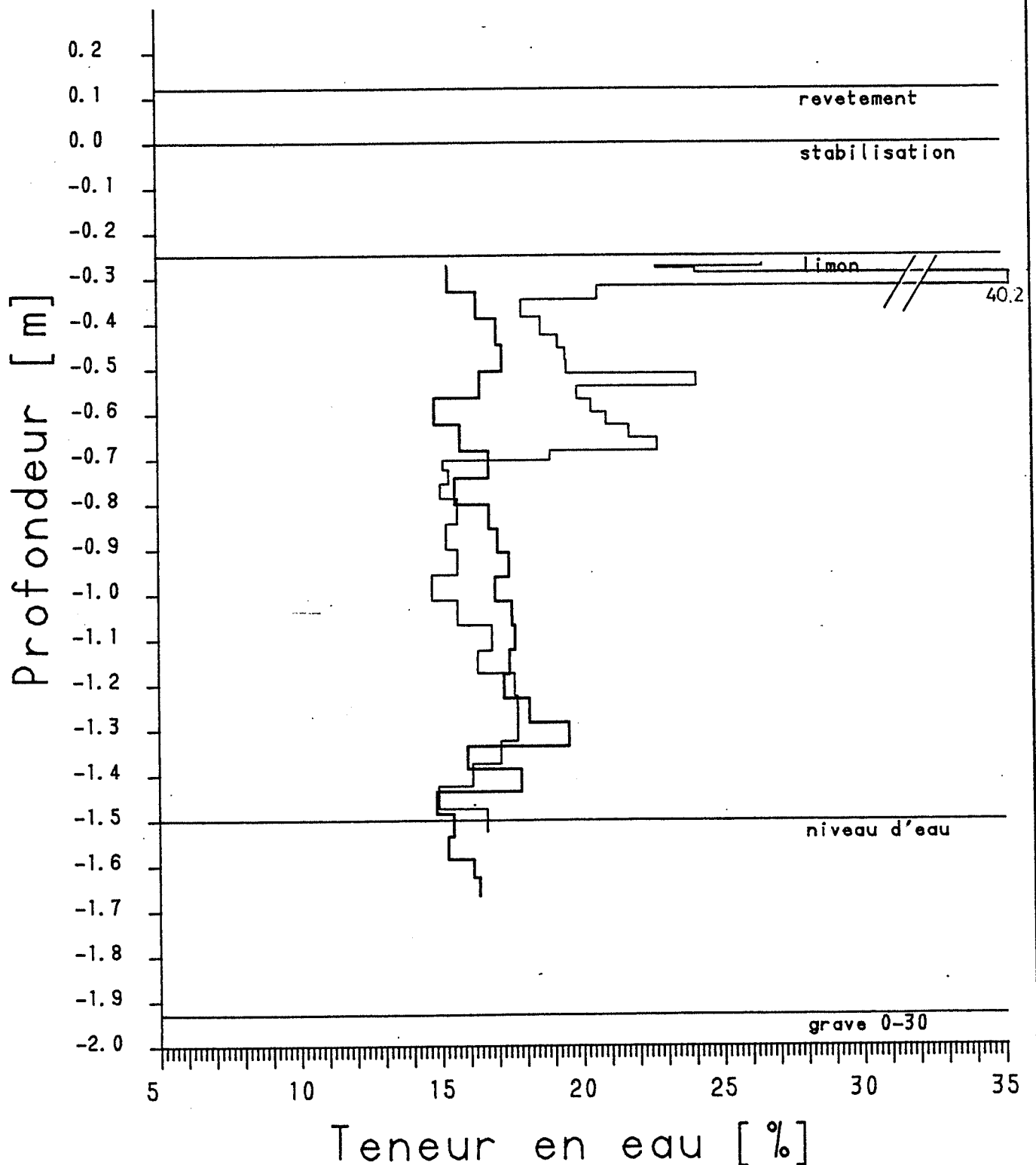
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de teneur en eau

Champ 2
Essai 22E

sondage S11 du 91 jour

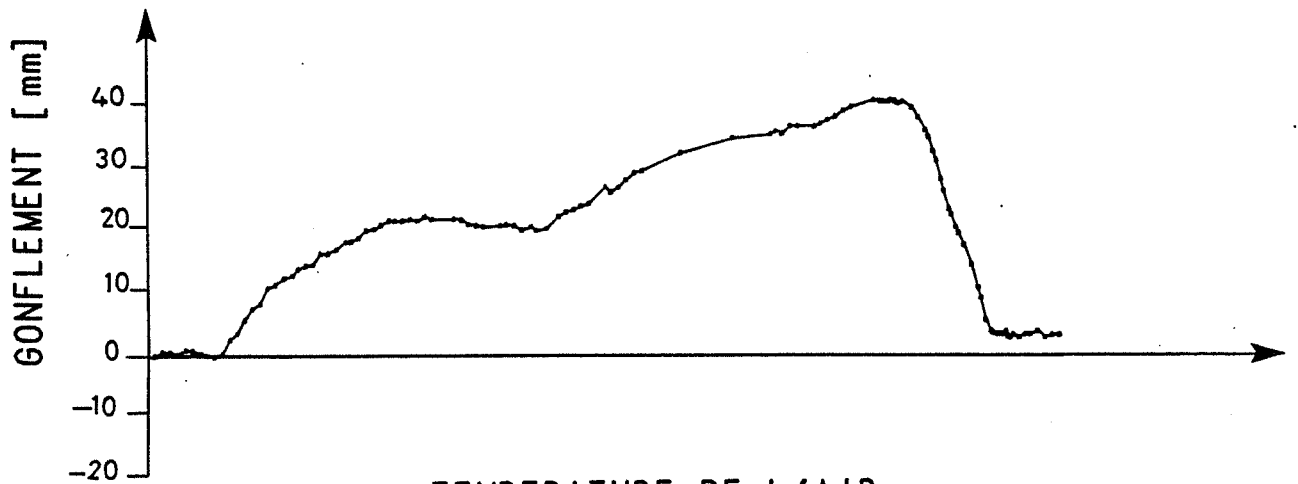
sondage S5 du 0 jour



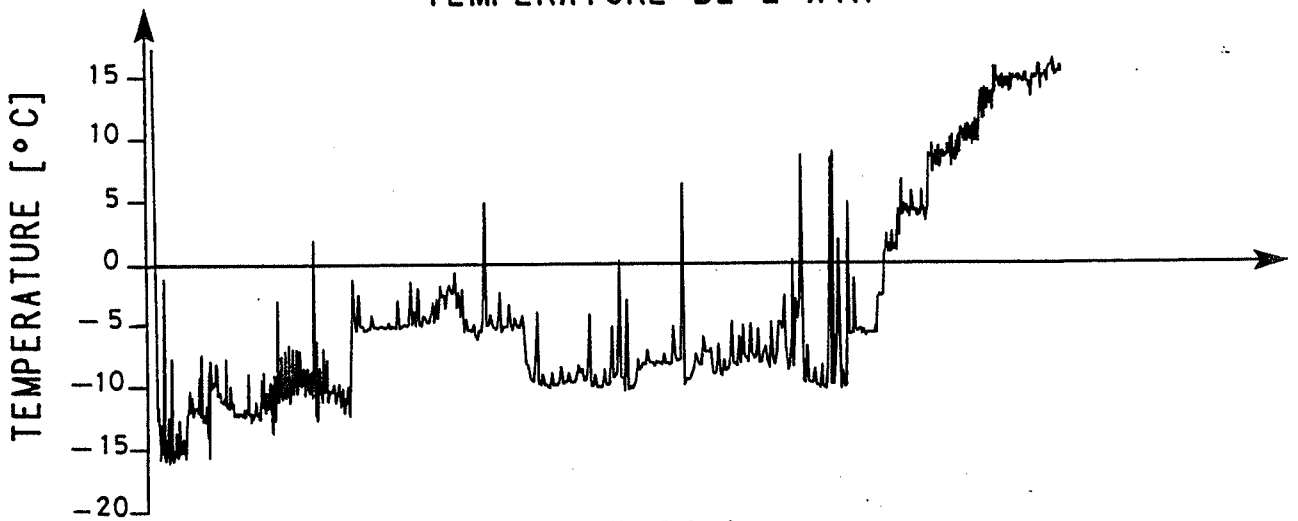
LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Essai 22E Champ 3

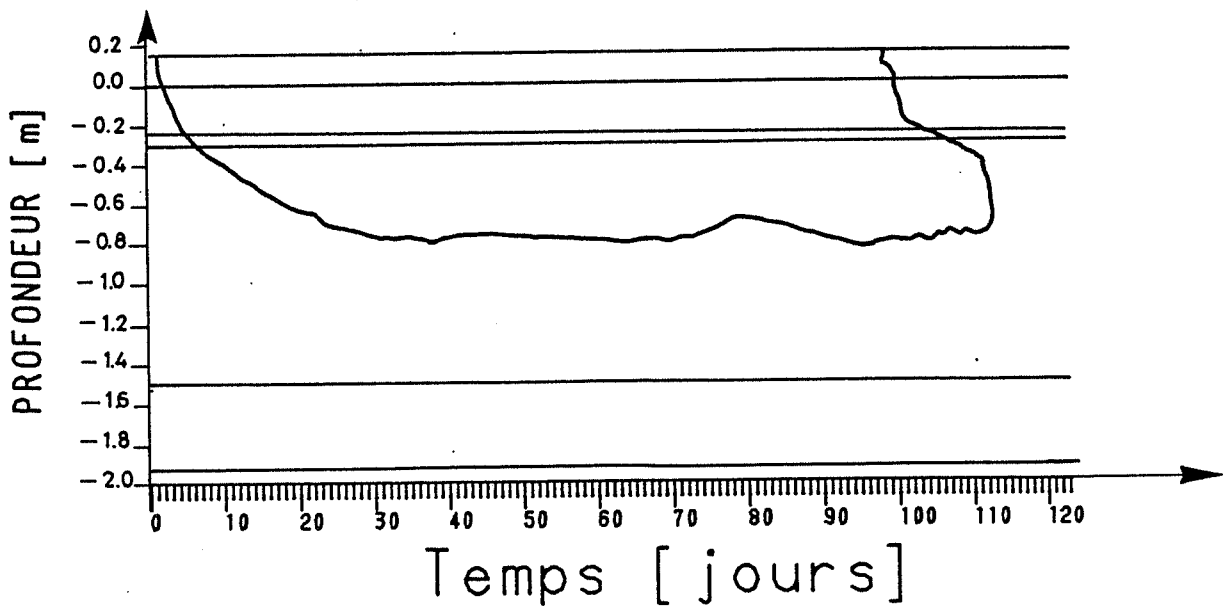
DEFORMATION VERTICALE



TEMPERATURE DE L'AIR



ISOTHERME 0° C

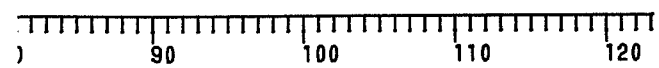
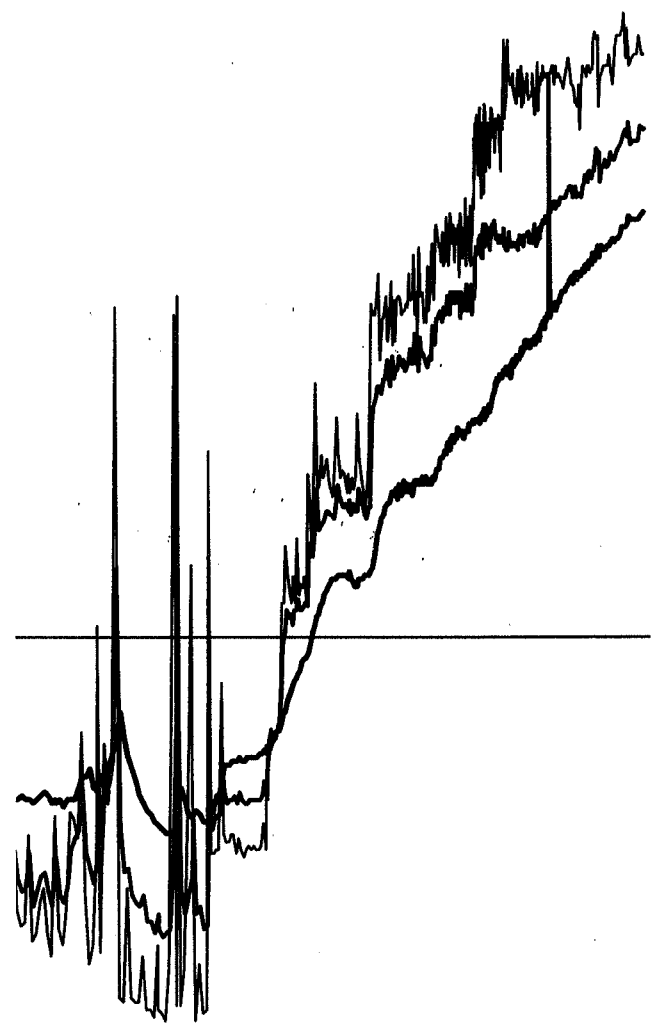


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 3	Capteur no	Prof
Essai 22E	1310	-100.0
Debut 16.10.84	1309	-14.5
	1308	8.7

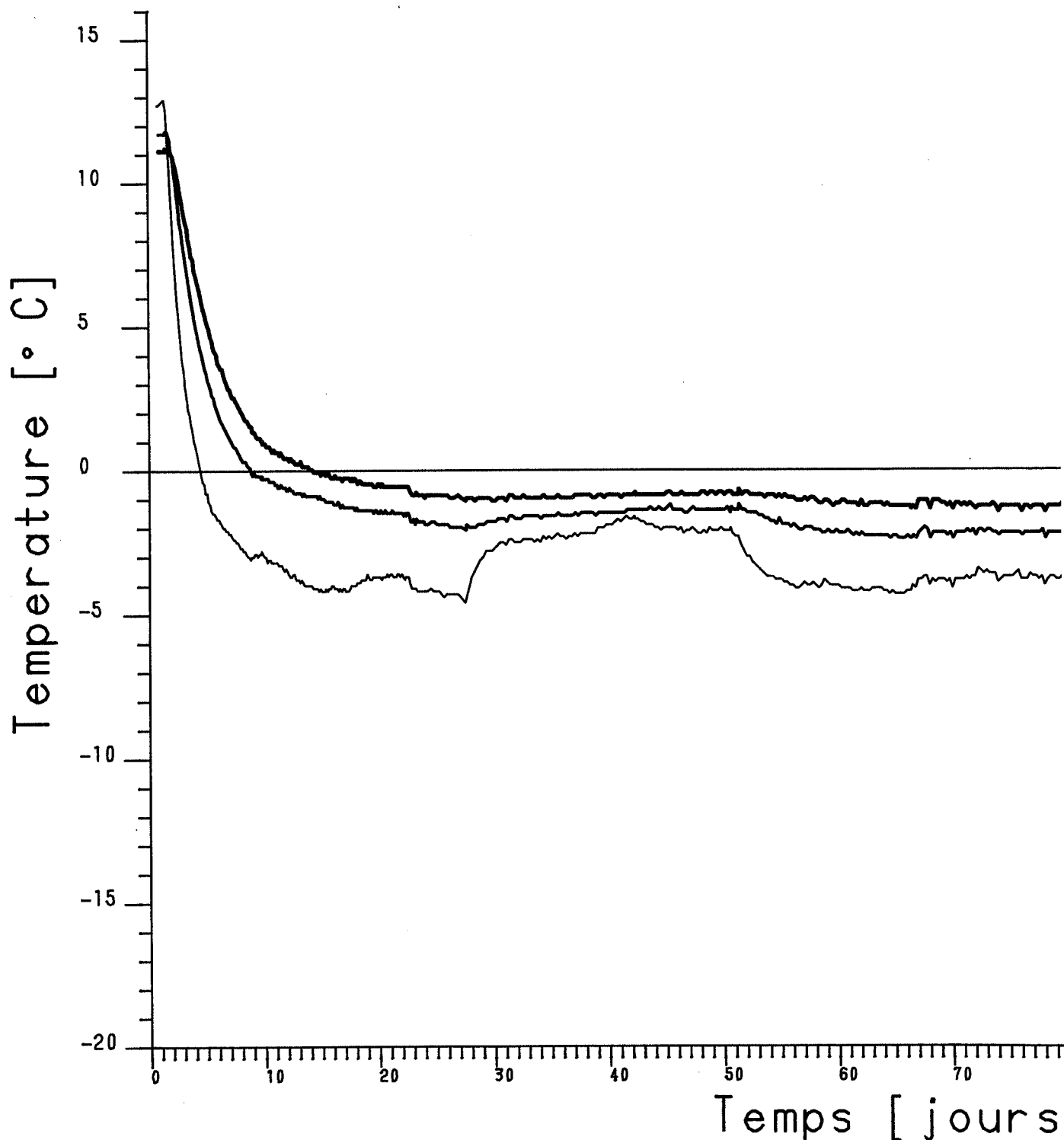


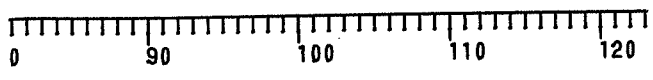


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	3	Capteur no	Prof
Essai	22E	1307	20.9
Debut	16. 10. 84	1306	35.4
		1305	48.0

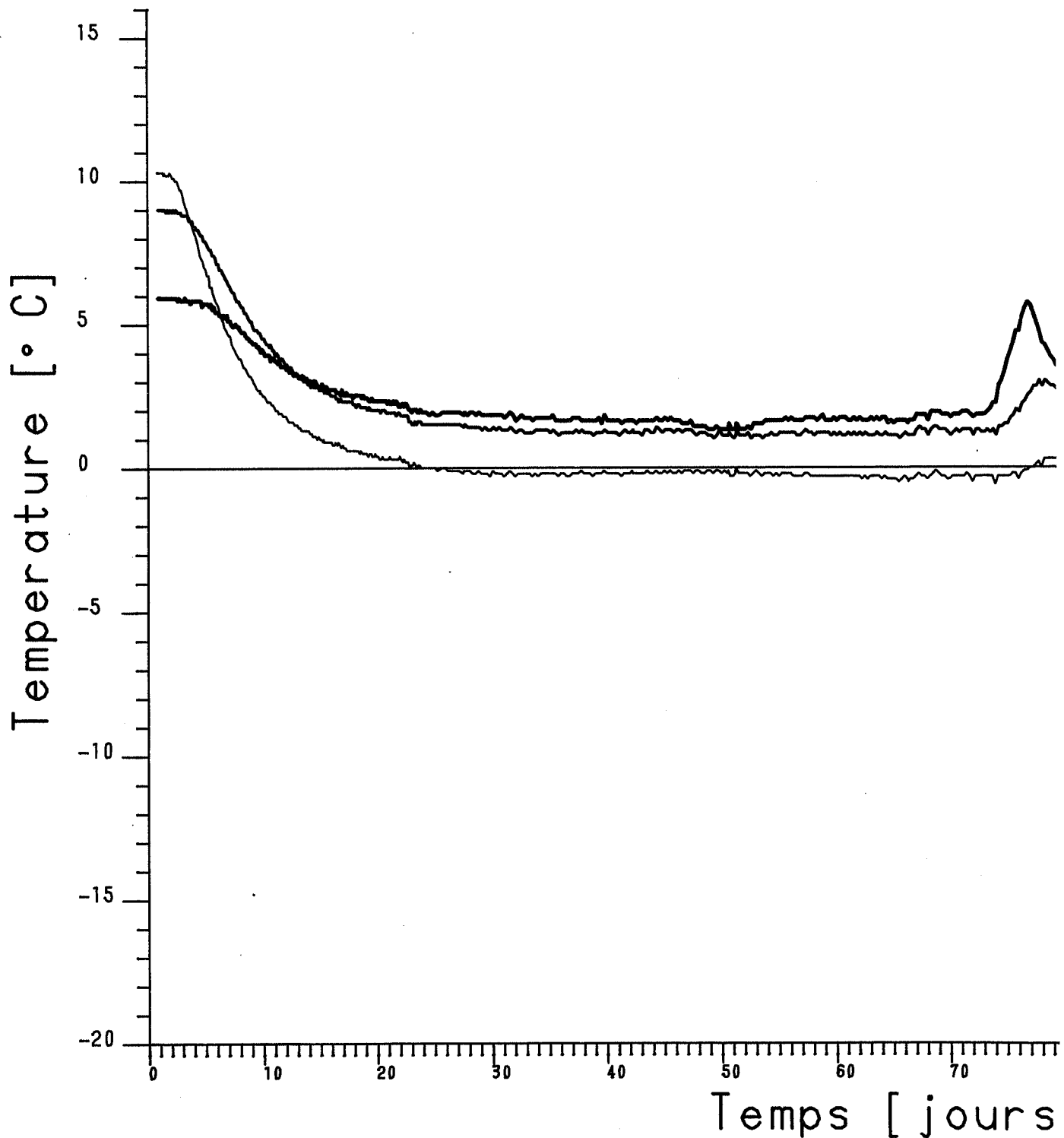


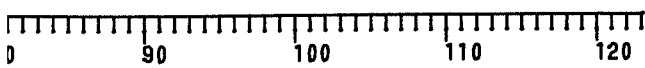
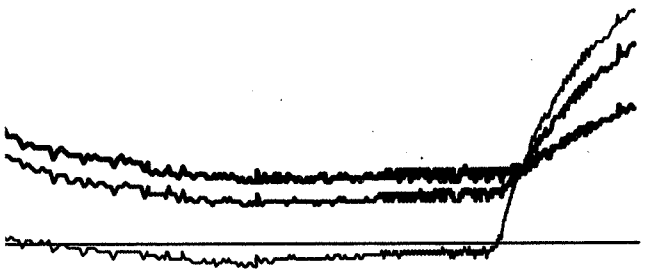


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ	3	Capteur no	Prof
Essai	22E	1304	71.4
Debut	16. 10. 84	1303	105.0
		1302	148.0



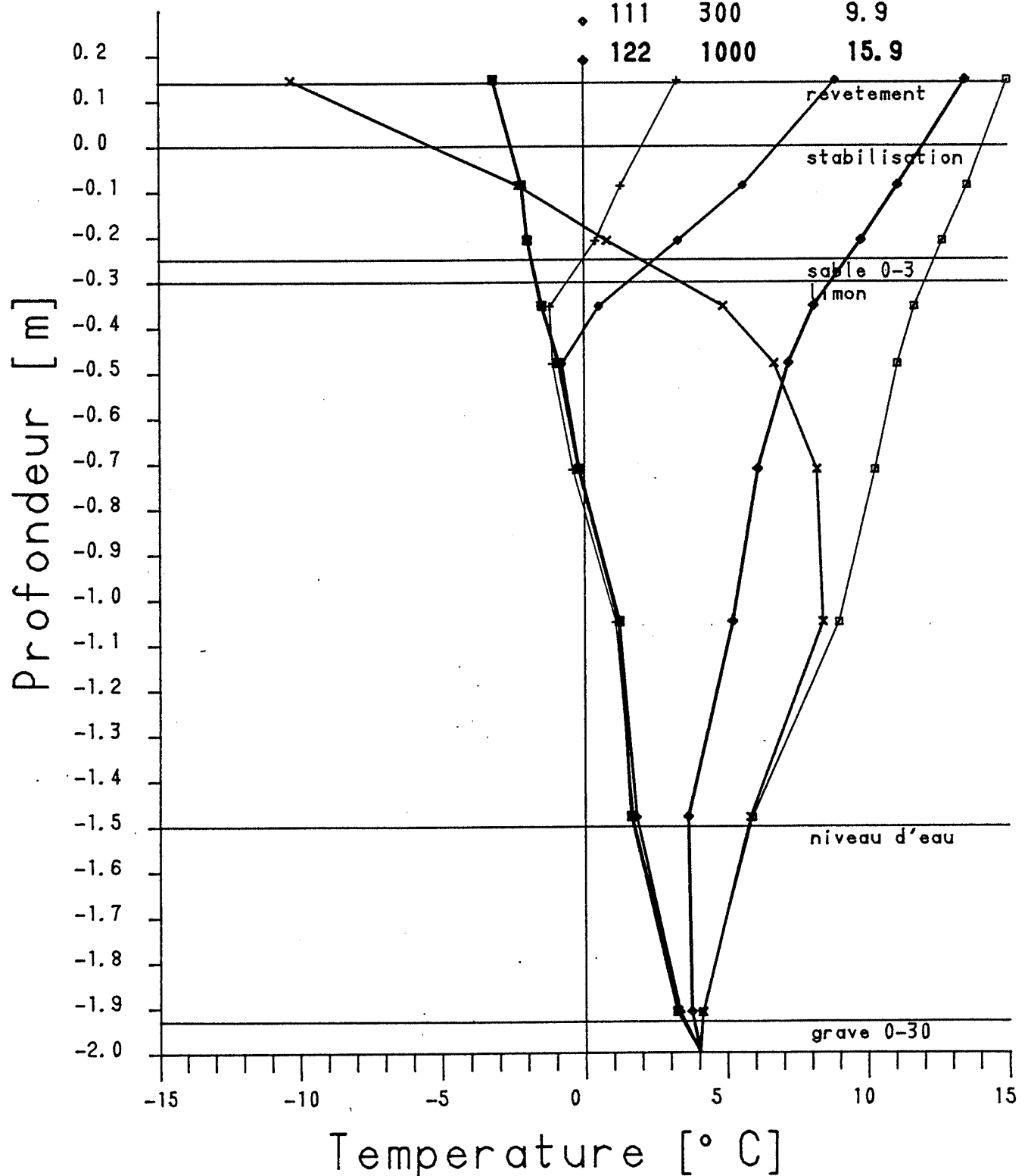


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de temperature

Champ 3
Essai 22E

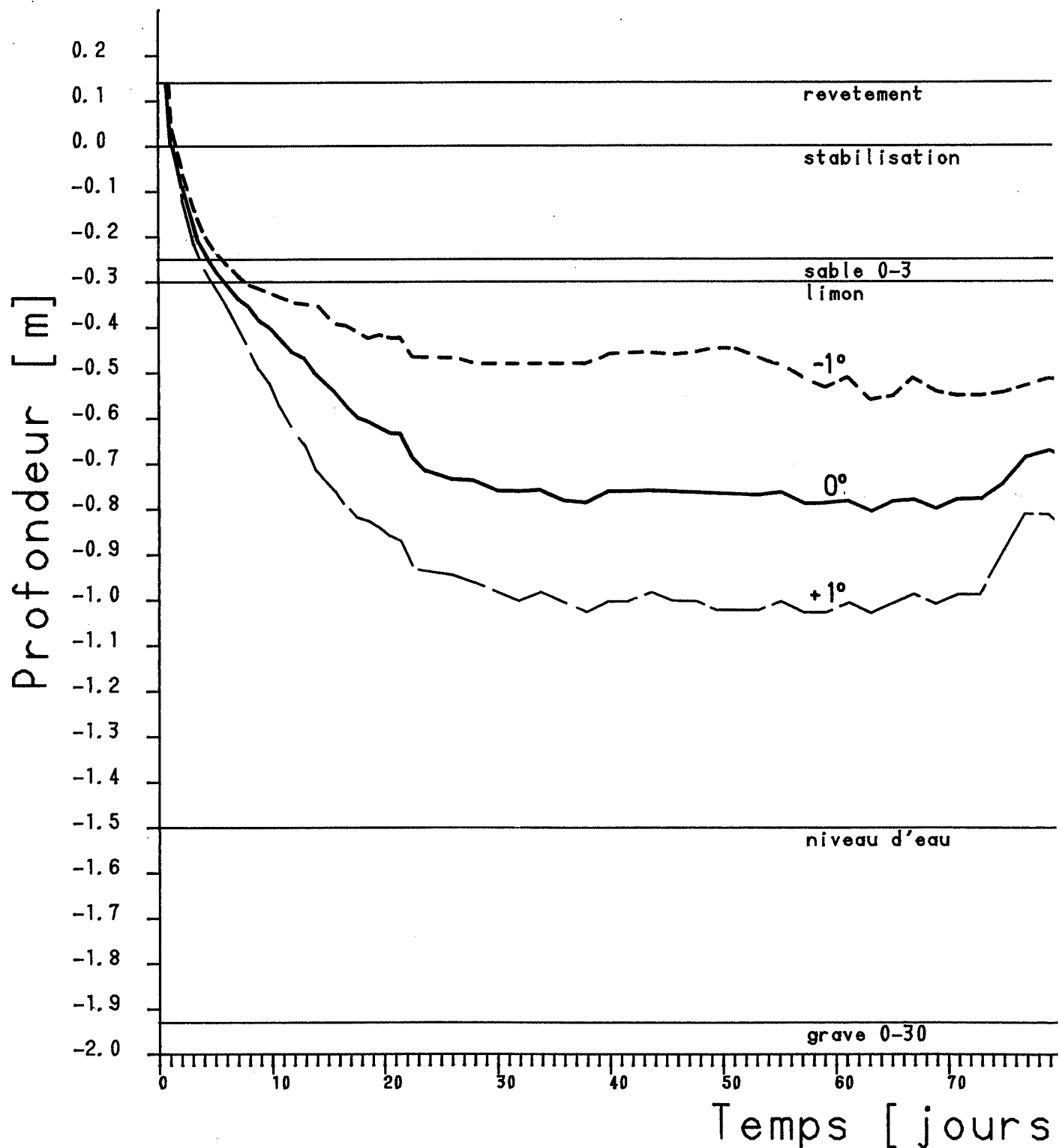
Jour	heure	temp. air
0	2100	17.3
4	200	-15.2
39	201	-4.3
103	1300	4.3
111	300	9.9
122	1000	15.9

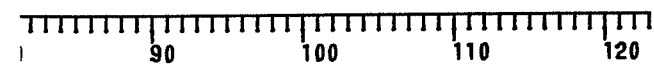
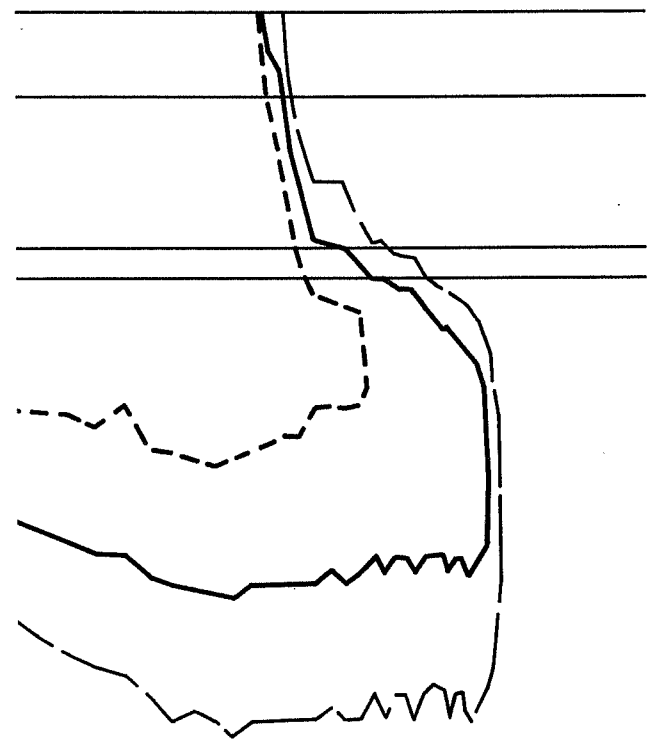


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ISOTHERMES

Champ 3
Essai 22E

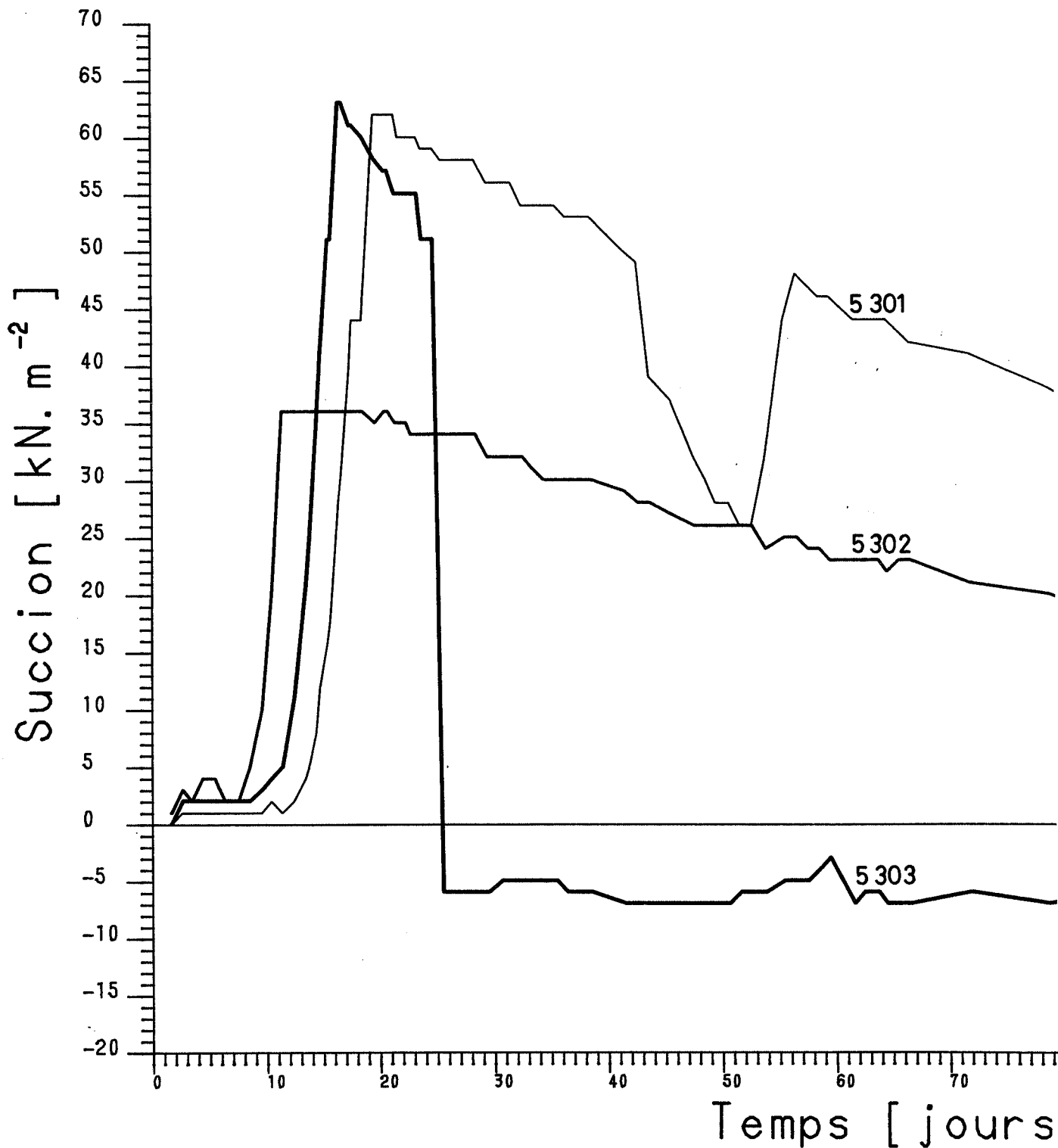


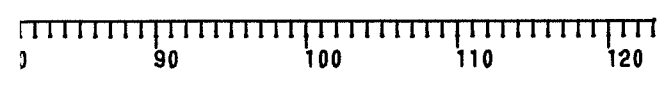
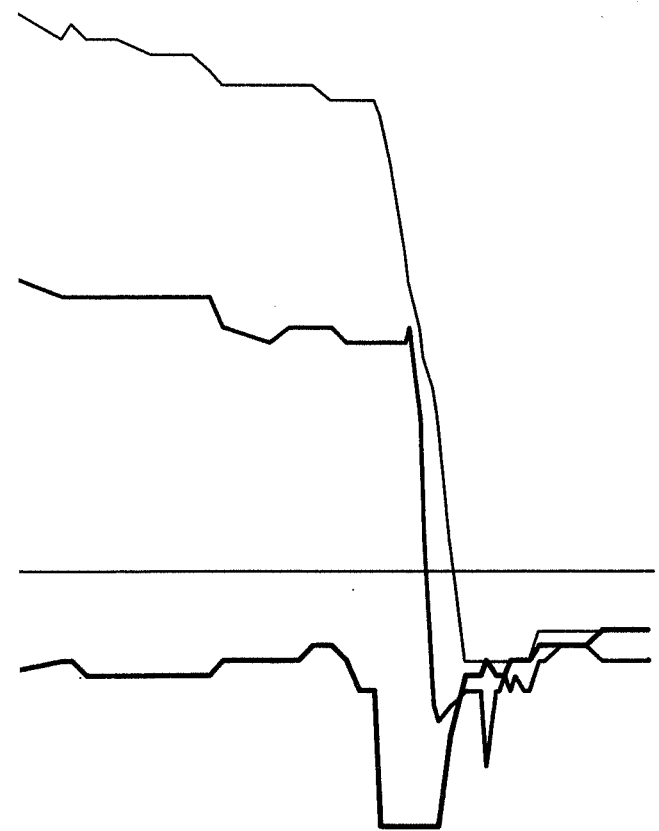


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ	3	capteur no	Prof
Essai	22E	5303	36.3
Debut	16.10.84	5302	56.3
		5301	71.6



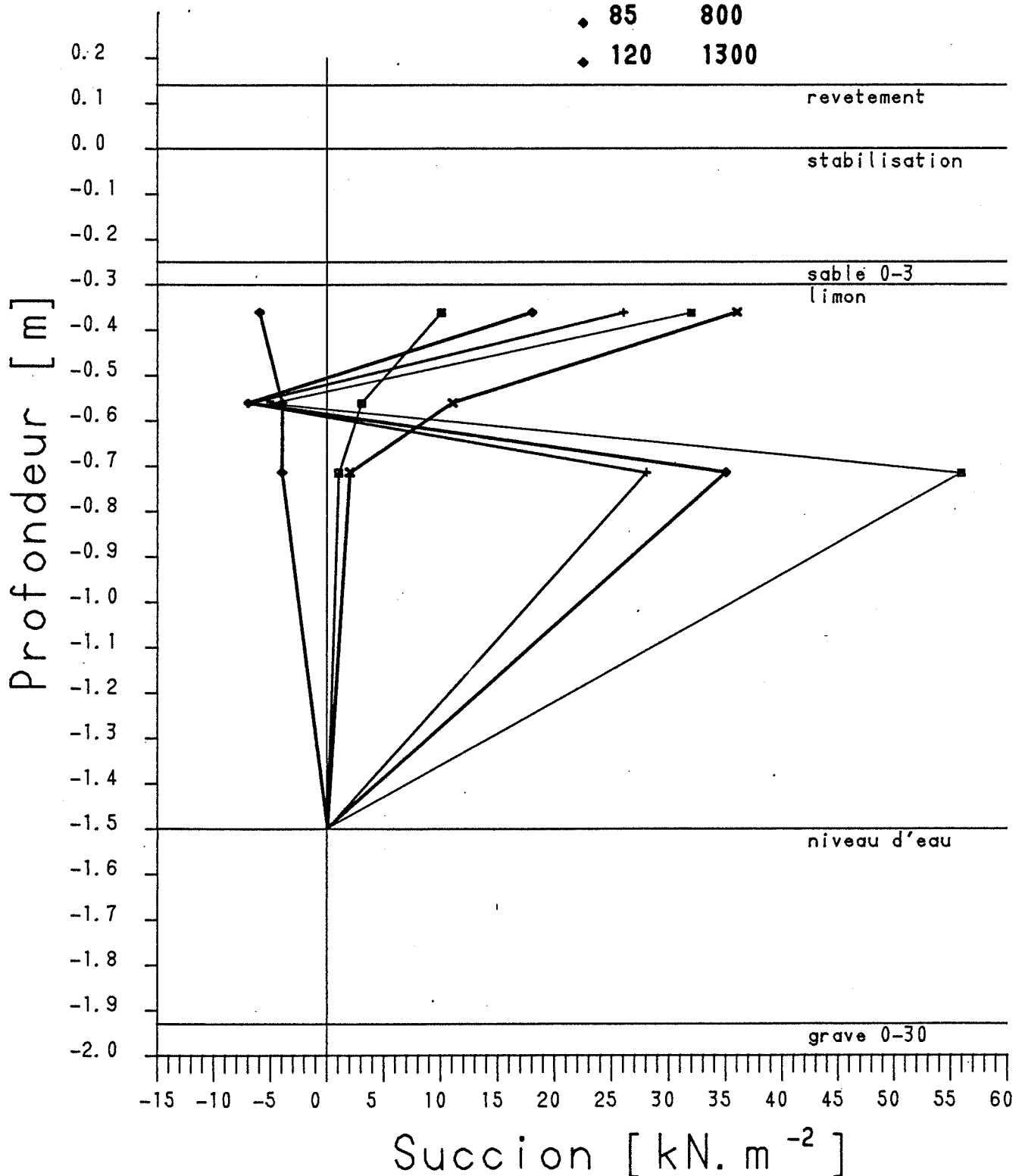


LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de succion

Champ 3
Essai 22E

Jour	heure
9	1300
12	900
30	1400
50	1300
85	800
120	1300



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

Champ 3.

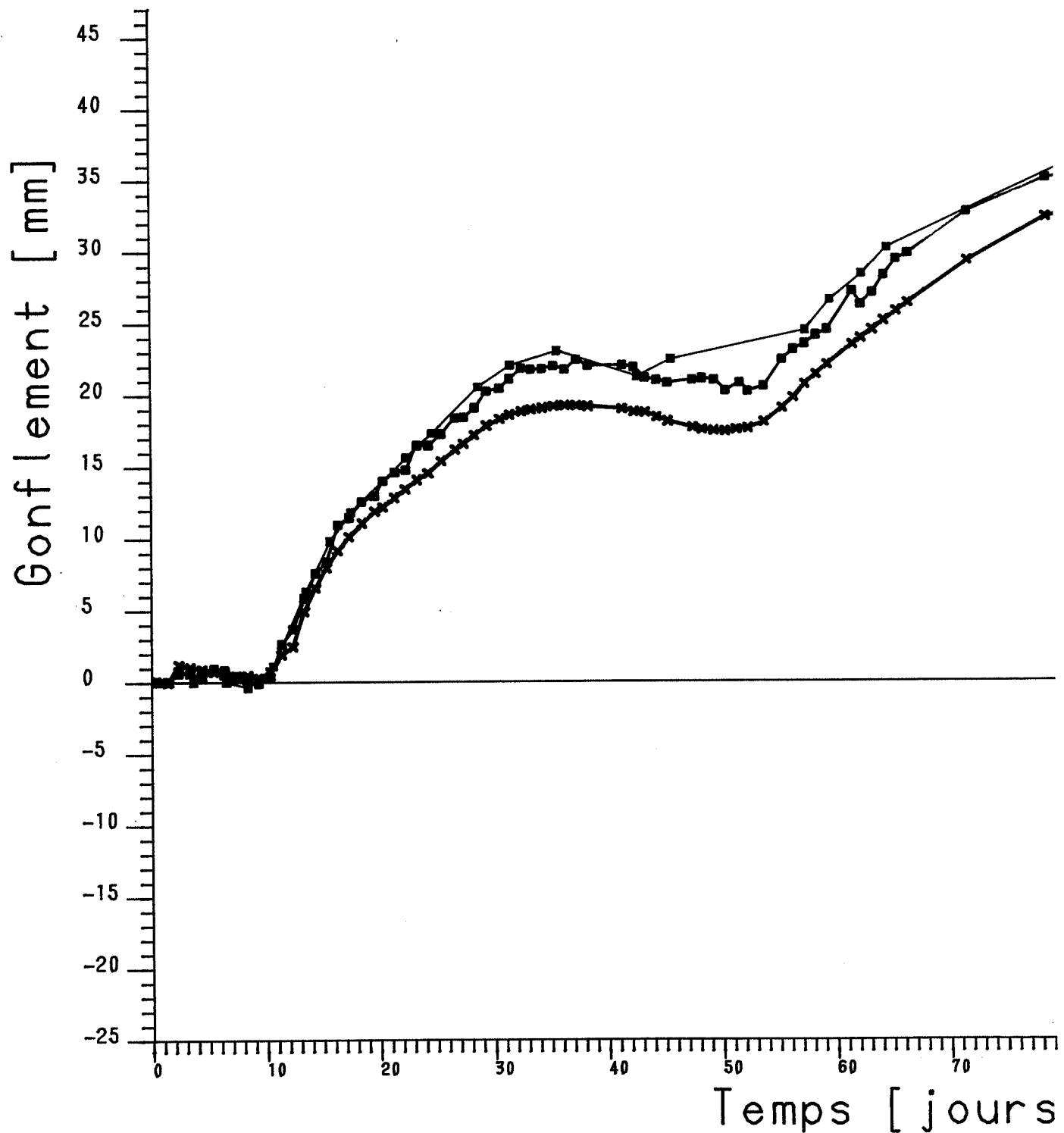
Essai 22E

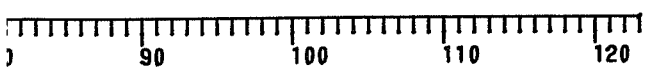
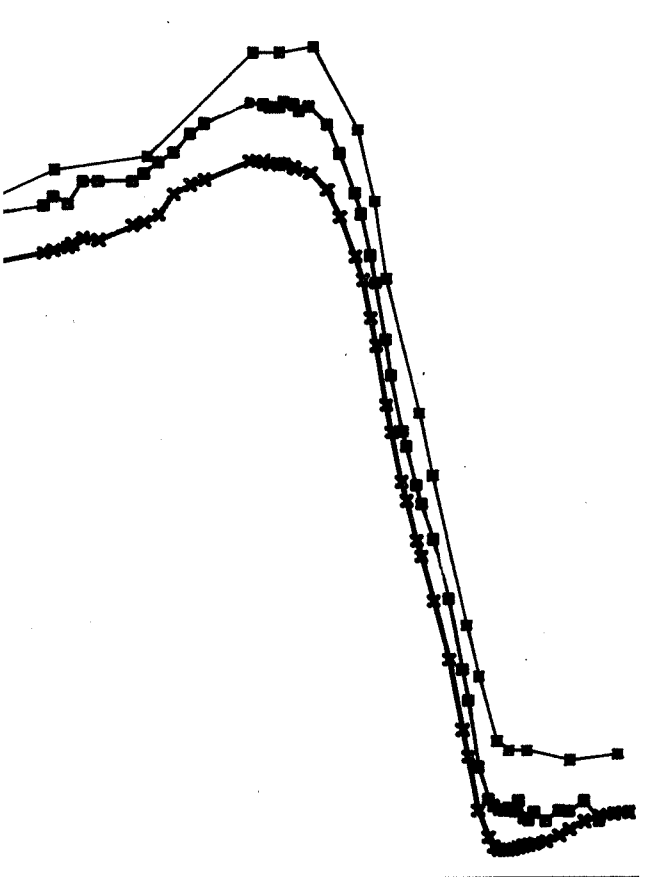
Debut 16.10.84

□ nivellement axe H

× comparateur axe H

■ bison axe H

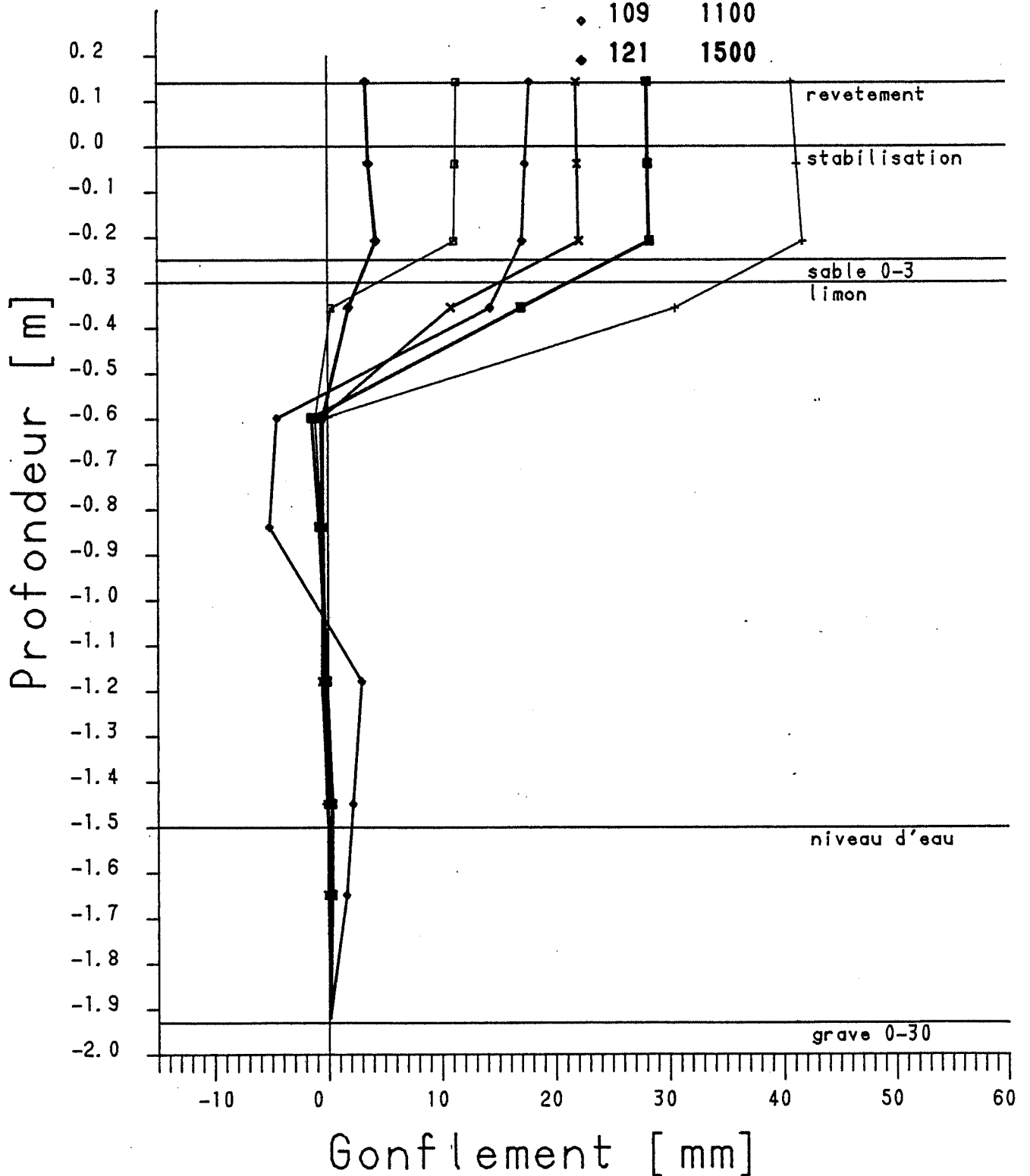




LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de gonflement

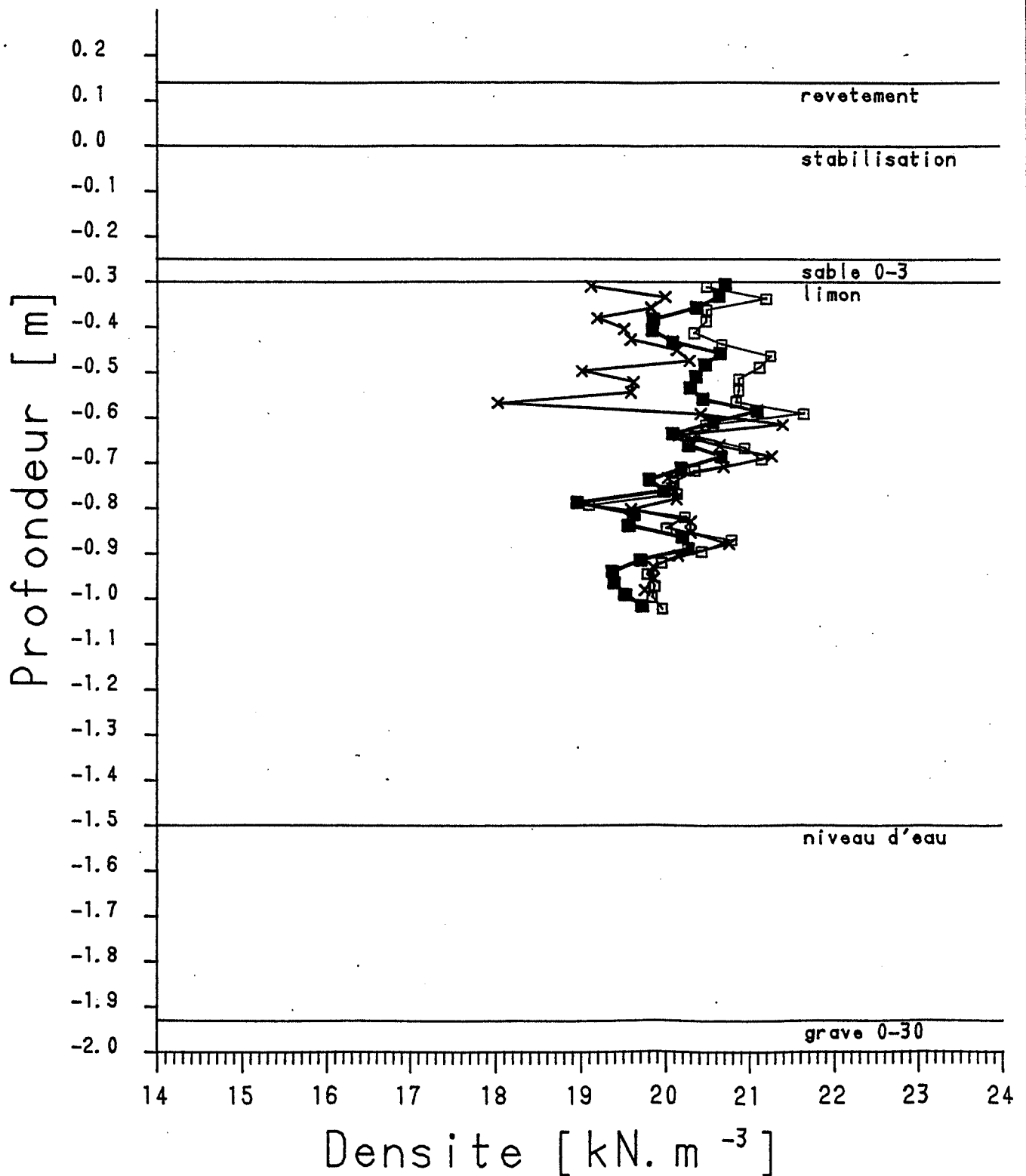
	Jour	heure
Champ 3	17	1330
Essai 22E AXE H	35	1630
	64	1600
	97	1600
	109	1100
	121	1500



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

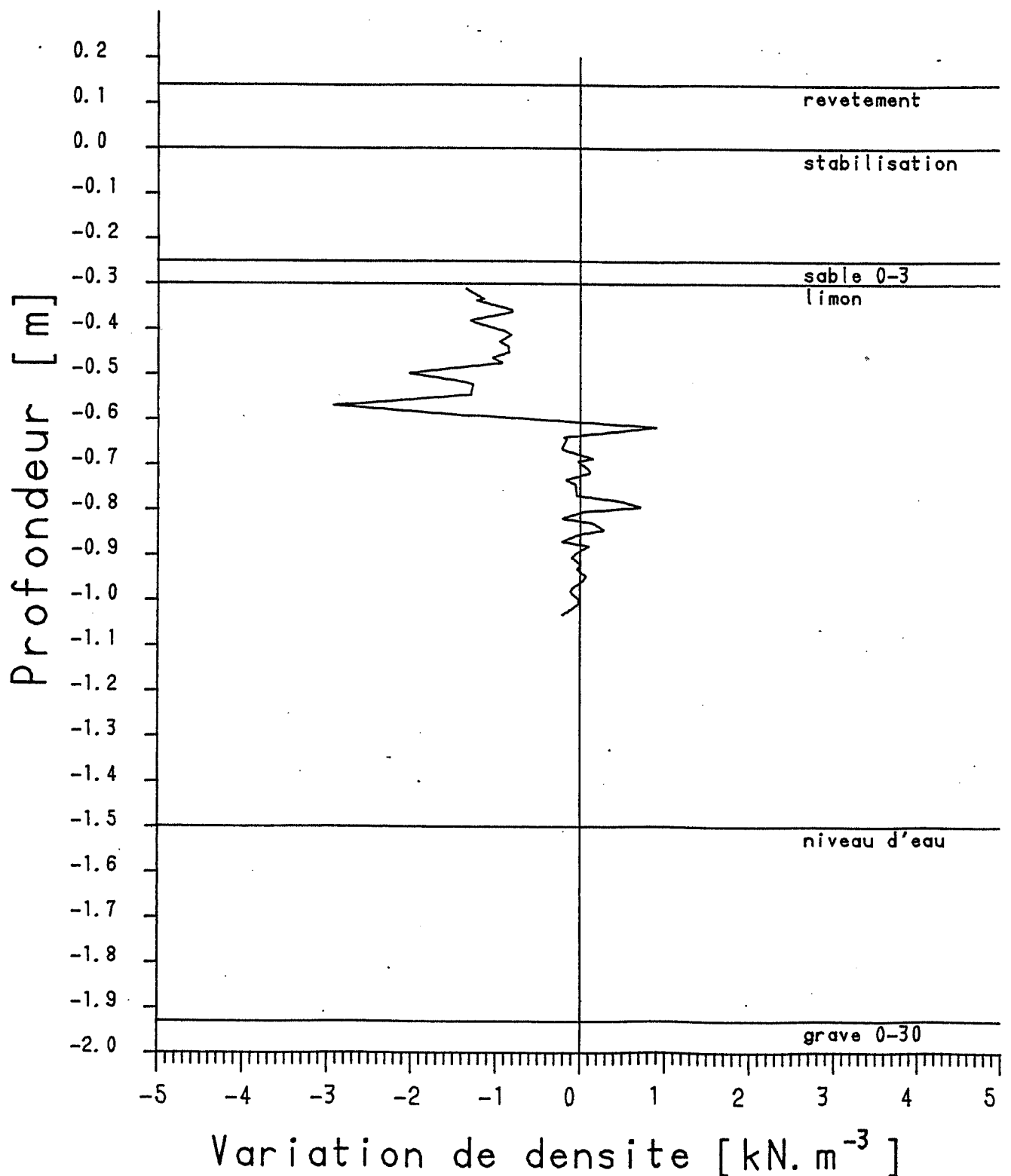
Champ	3	□	mesure du	0 jour
Essai	22E	×	mesure du	100 jour
Axe	G	■	mesure du	119 jour



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

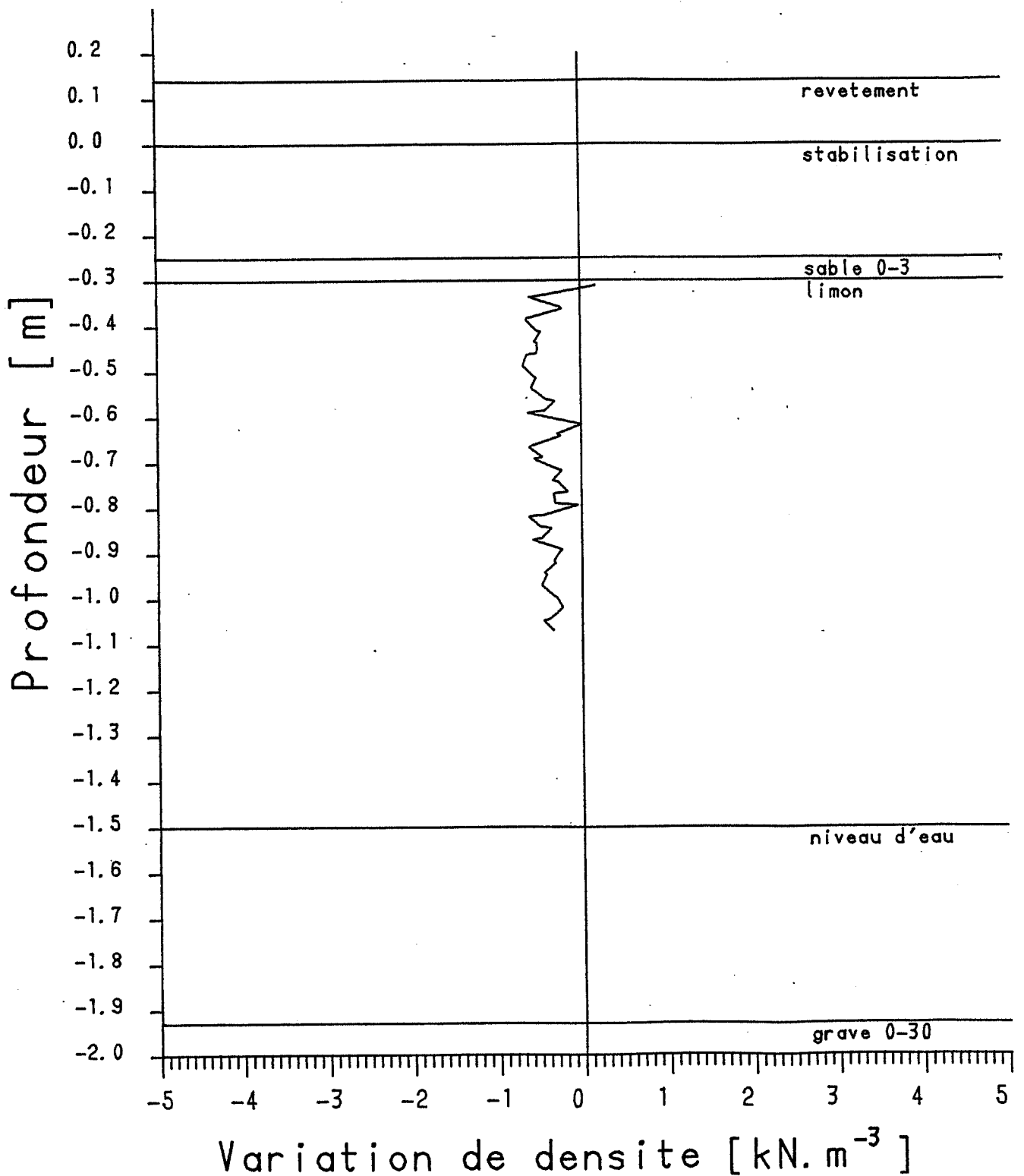
Champ 3 mesure du 0 jour
Essai 22E mesure du 100 jour
Axe G



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de densite avec TROXLER

Champ 3 mesure du 0 jour
Essai 22E mesure du 119 jour
Axe G



LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesures de teneur en eau

Champ
Essai3
22Esondage S12 du 91 jour
sondage S6 du 0 jour