

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: **GENIE CIVIL**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**SUJET**

**INFLUENCE DE LA VITESSE  
DE CHARGEMENT SUR LES  
TASSEMENTS**

Proposé par :

**L.N.H.C**

Etudié par :

**A.Djahra**

**R.Abdelaziz**

Dirigé par :

**R.ZENTAR**

PROMOTION : **JUIN 86**

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### S U J E T

INFLUENCE DE LA VITESSE  
DE CHARGEMENT SUR LES  
TASSEMENTS

Proposé par :

L.N.H.C

Etudié par :

A.Djahra

R.Abdelaziz

Dirigé par :

R.ZENTAR

PROMOTION : **JUIN 86**

## Dedicaces .

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Je dedie ce modeste travail à :

- mon père et ma mère
- ma tante
- mes frères et sœurs
- tous ceux qui me sont chers.

Abderrouf.

---

Je dedie ce modeste travail à :

- ma mère et mon père Kamel.
- ma grande mère "Mani" .
- mes frères et mes sœurs .
- mes tantes
- tous ceux qui me sont chers

Rachid .

## Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur : Monsieur . R. ZENTAR , pour l'aide si précieuse que nous avons toujours trouvée auprès de lui, ainsi-que pour la confiance qu'il a placée en nous quant à notre aptitude de mener à bien un tel sujet .

Nous remercions : Monsieur A. MOKHTARI , chef de département pour son aide et ses conseils .

Nous sommes également reconnaissants au personnel du L.N.H.C . Oued.smar , en particulier à :

Monsieur R. FEKIRI

Monsieur . HACENE

À tous les professeurs qui ont contribué à notre formation, aux membres du jury qui nous font l'honneur de juger notre modeste travail .

## Sommaire.

	Page
- Introduction .	2
- Chapitre I : Présentation de l'essai oedométrique Classique .	8
- Chapitre II : Accélération de l'essai oedométrique par élévation de la température (C.E.B.T.P.) .	17
- Chapitre III : Accélération de l'essai oedométrique par augmentation de la vitesse de chargement et de déchargement .	28
- Chapitre IV : Résultats et comparaisons .	33
- Conclusion .	45
- Courbes de consolidations .	46
- Courbes de compressibilités .	60
- Bibliographie .	

## INTRODUCTION

### 1. Tassement et comportement d'un sol

Le comportement d'un sol sous charge comprend plusieurs phases successives au gré de l'accroissement des sollicitations, la phase ou l'étape ultime étant la plastification.

Ce que l'on appelle couramment tassement se situe normalement dans la première phase que l'on appellera pseudo-élastique. Cette déformation n'est pas en effet parfaitement élastique au sens propre du terme, car il n'y a pas réversibilité complète lors du chargement : il persiste une déformation résiduelle, ceci résulte de la structure discontinue du sol.

Dans un tel milieu, le tassement est dû partiellement au réarrangement des grains entre eux, évolution non réversible, (par opposition à ce qui se passe dans un milieu continu).

Examinons maintenant plus en détail sous l'aspect physique du phénomène, les composantes du tassement proprement dit, c'est-à-dire la phase de déformation "pseudo-élastique" telle qu'elle apparaît globalement dans un essai de chargement.

Ce tassement comporte trois composantes principales :

#### 1-a. le tassement élastique.

Cette composante du tassement est quasi-instantanée,

c'est à dire qu'elle se produit pratiquement au cours de la construction et de la mise en charge des ouvrages. De ce fait elle passe souvent inaperçue, elle n'est pas pour autant toujours négligeable.

C'est une déformation globale du terrain sollicité qui se produit à volume constant.

Cette phase de déformation prend place avant le phénomène de consolidation.

### 1.b. le tassement de consolidation primaire (ou Hydrodynamique)

Lors de l'application rapide d'une charge sur un sol saturé, l'eau par suite de sa déformabilité plus faible que celle du squelette reprend toute la charge à l'instant initial (apparition d'une pression interstitielle). Il se produit ainsi un gradient de pression au sein du liquide interstitiel entre la zone chargée et la zone environnante non, ou moins chargée.

Sous l'action de ce gradient centrifuge, l'eau a donc tendance à s'écouler d'une part vers les zones moins chargées puis vers les zones non chargées, d'autre part vers les zones plus perméables.

C'est cet écoulement d'eau qui va permettre au squelette du sol de se resserrer au fur et à mesure, par rapprochement et réarrangement des grains.

La vitesse de cet écoulement est conditionnée directement par la perméabilité du milieu qui joue ainsi

le rôle d'un amortisseur du phénomène.

Ce rôle a été montré en premier par M Terzaghi à l'aide d'un modèle très connu.

Ainsi dans un milieu sableux très perméable, cet écoulement a lieu au fur et à mesure du chargement ; On ne parlera d'ailleurs même plus de consolidation et ce tassement prolongera directement la phase élastique initiale sans distinction.

En revanche, moins le milieu est perméable, plus le tassement de consolidation peut se poursuivre sur de longues périodes après la mise en charge : de plusieurs mois à de nombreuses années.

Les conditions de drainage (présence de couches plus perméables, épaisseur du massif argileux) ont une incidence importante sur la durée du phénomène de consolidation, toute fois, ce n'est plus une propriété intrinsèque du milieu, mais une influence de sa géométrie.

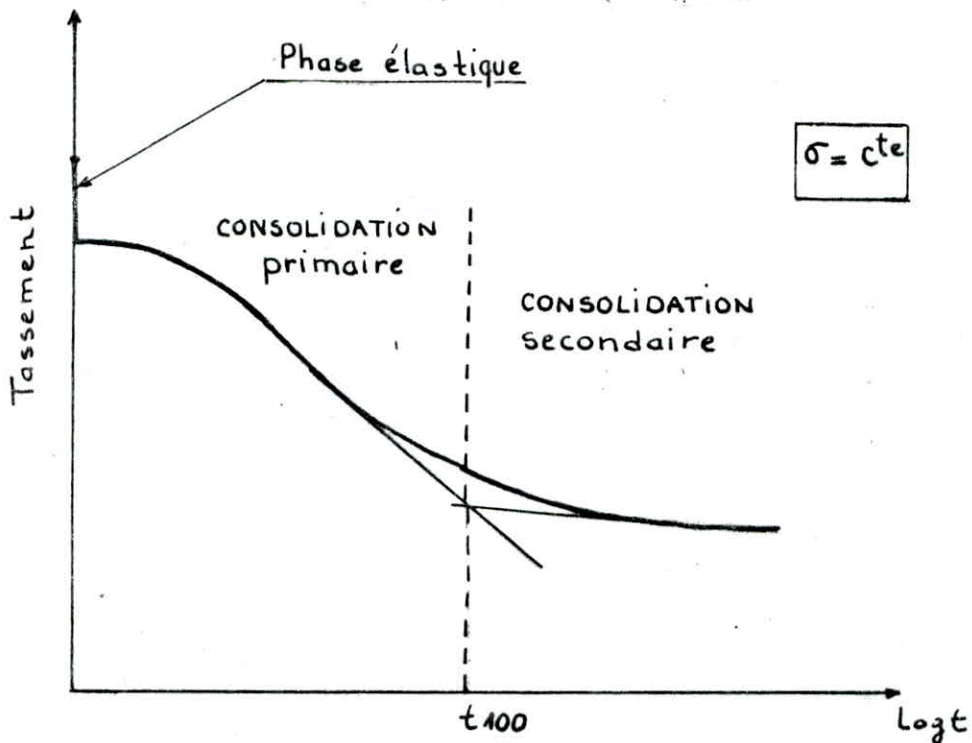
#### 1.c. le tassement de consolidation secondaire

Dans les argiles, la consolidation primaire est souvent prolongée par une troisième phase : la consolidation secondaire, il s'agit là d'un phénomène analogue à un fluage assez mal connu et, en tout cas, pratiquement incalculable dans les études de sol courantes.  
Ce



Ce phénomène a lieu sans écoulement d'eau et semble correspondre à un réarrangement interne du milieu; le tassement qui en résulte est sensiblement proportionnel au logarithme du temps.

On peut représenter les différentes étapes précédentes par la courbe suivante appelée: COURBE DE CONSOLIDATION.



Courbe de Consolidation

Conclusion:

Comme nous venons de le montrer, le comportement d'un sol sous une charge constante passe par trois phases. La deuxième phase, la plus importante (consolidation

primaire), est relativement lente et fonction de la perméabilité du sol.

C'est dans cette étape que s'effectue la presque totalité des tassements.

## 2- Moyens d'essais :

Pour pouvoir prédire à l'avance (sans trop d'erreurs) l'amplitude des tassements sous une construction, l'ingénieur dispose de moyens d'essais suivants :

### a- Sur terrain :

- essai pressiométrique
- essai pénétrométrique statique.
- essai pénétrométrique dynamique.

### b- Au laboratoire

- essai de compressibilité à l'œdomètre.
- essai triaxial.

L'essai pressiométrique est relativement rapide et donne d'assez bons résultats sous les constructions pour lesquelles la surface chargée est réduite. Ce sont les constructions pour lesquelles les déformations de cisaillement sont prépondérantes. L'un des inconvénients de cet essai est qu'il ne permet pas d'appréhender le gonflement du sol (s'il y'a lieu).

Il est de même pour le pénétromètre statique.

- l'essai triaxial est une manipulation relativement compliquée et lente qui nécessite une main d'œuvre très qualifiée.
- l'essai œdométrique étant la méthode la plus communément employée dans le monde pour évaluer les tassements des ouvrages.

Cette méthode donne une bonne approximation des tassements réels, tout particulièrement lorsque la surface chargée a de grandes dimensions par rapport aux épaisseurs des couches. L'inconvénient de cet essai est sa lenteur : le temps nécessaire à la réalisation des essais œdométriques classiques grèvent lourdement les délais d'étude.

Le chapitre suivant donne un aperçu général sur l'essai œdométrique classique.

## CHAPITRE I :

### Presentation de l'essai oedométrique

#### Classique.

#### 1. Généralités :

##### 1.a. but :

Cet essai a pour objet essentiel d'étudier la consolidation d'échantillons, sol intacts ou remaniés, soumis à des charges verticales, drainés suivant cette direction et maintenus latéralement par une paroi rigide.

Pratiquement, cet essai permet de prévoir l'importance et la durée des tassements des sols, sous réserve de nombreuses hypothèses dont il faut vérifier le bien fondé dans chaque cas.

On obtient deux propriétés caractéristiques du sol en place :

- $C_c$  : indice de compression qui définit la compressibilité du sol.
- $C_v$  : coefficient de consolidation qui permet de déterminer les temps de consolidation sous une charge donnée.

La courbe effet-déformation ( $e - \log \sigma$ ) obtenue fournit également de précieux renseignements sur l'histoire du sol.

- Sol normalement consolidé
- Sol surconsolidé
- Sol sous consolidé

## 1.b. Principe de la methode.

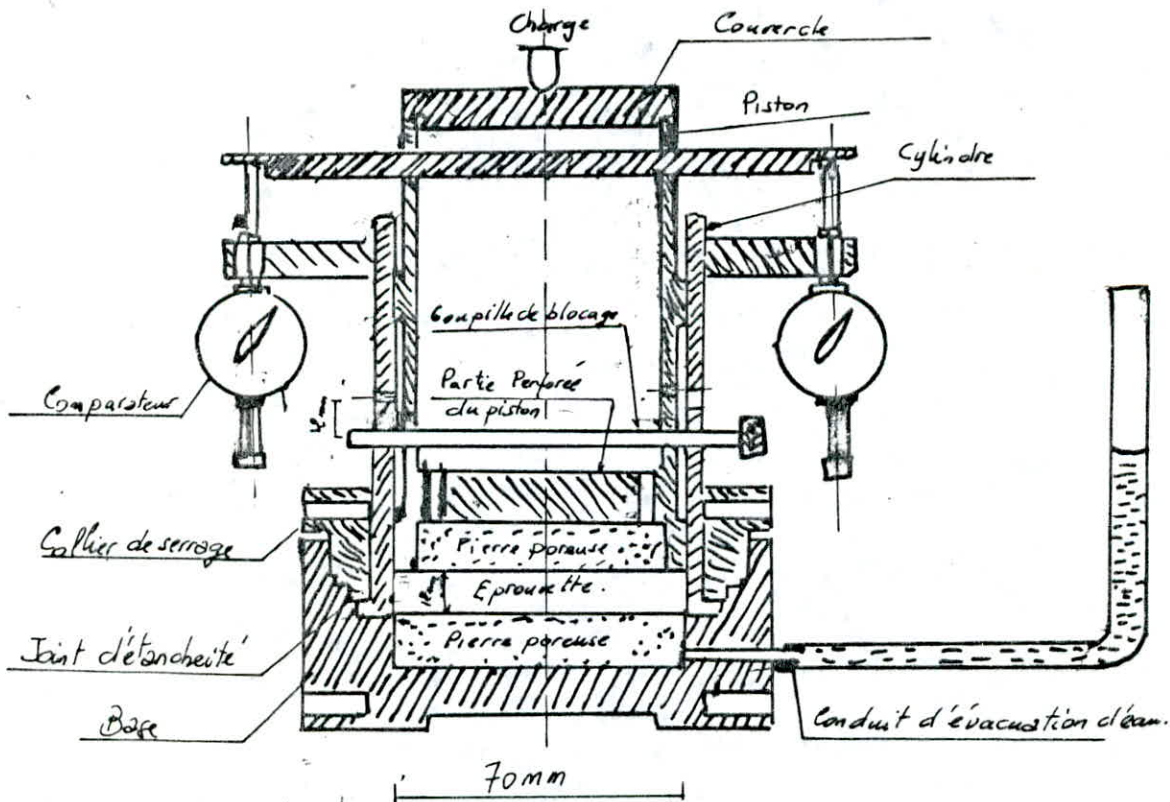
C'est un essai de mesure des deformations à charge constante d'une éprouvette cylindrique, avec déformation latérale nulle et drainage sur les deux faces inférieure et supérieure.

## 2. Appareillage.

Differentes variantes existent dans la conception du moule oedométrique, mais qui repandent toutes au principe défini dans le paragraphe ci-dessus.

Le moule oedométrique, qui est représenté sur la figure suivante, est le moule de M<sup>r</sup> Berzaghi.

Il comprend essentiellement,



- Un piston creux coulissant, sans jeu ni frottement dans un cylindre de 70 mm de diamètre intérieur.
- Une goupille, pouvant bloquer l'ensemble piston-cylindre dans deux positions telles que le logement destiné à l'éprouvette d'essai ait une hauteur de 12 ou 24 mm.
- Une base comprenant un conduit d'évacuation d'eau
- Deux pierres poreuses, permettent de drainer et d'évacuer l'eau qui est expulsée au cours de l'essai.
- Des comparateurs au 1/100 de mm servent à la mesure des déformations.
- Et un bâti de consolidation, qui comprend essentiellement un levier qui transmet les charges à l'éprouvette par l'intermédiaire du piston.

On dispose aussi d'une série de poids :

la série est : 1 , 2 , 5 , 10 , 20 , 20 , 20 (en kg)  
au total : 78 kg.

### 3. Exécution de l'essai :

#### 3.1 Saturation de l'éprouvette :

Le moule étant mis sur le bâti de consolidation, l'éprouvette doit être saturée, en remplissant :

- à ras-bord d'eau distillée le tube d'évacuation
- le piston creux d'eau distillée jusqu'au niveau du trou de goupille.

### 3.2. Chargement de l'éprouvette :

Après avoir enlevé la goupille et saturé l'éprouvette, la première charge à appliquer sera celle qui donne la pression du piston (0,05 bars). généralement, dans les argiles, on observe après quelques secondes un gonflement. - pour empêcher ce gonflement, on augmente la pression, jusqu'à l'apparition d'un début de tassement. - On maintient cette pression, tant que les lectures sur comparateurs restent instables. C'est à dire jusqu'à obtenir une différence entre deux lectures successives, égale ou inférieure à 10 microns. L'attente de la stabilité des lectures, est en général de 24 heures, parfois même plus. - Une fois ayant obtenu une stabilité, on passe au second palier, en respectant le même principe, que dans le palier précédent. Et ainsi de suite, jusqu'à arriver à la dernière charge.

La pratique courante des laboratoires, consiste à doubler la pression lors de chaque chargement, ce procédé donne de bons résultats.

Les paliers de charges sont :

- 0,05 - 0,175 - 0,425 - 1,050 - 2,300.  
- 4,800 - 7,300 - 10 - (en bars).

### 3.3 Dechargement :

Cette opération commence aussitôt après la stabilité des lectures du dernier palier de chargement. Elle se base sur les mêmes principes que dans le chargement. (stabilité des lectures) la cadence de déchargement étant différente de celle du chargement, car on passe par trois paliers seulement, qui sont :

4,800 - 1,050 - 0,050 (en bars).

On note qu'il faut conserver l'éprouvette immergée pendant toute la durée de l'essai.

En fin d'essai, on exécute les opérations suivantes, qui servent au calcul des indices des vides, qui sont :

- On vide le moule oedométrique de son échantillon
- On pèse ce dernier, pour obtenir le poids humide ( $P_h$ ) de l'échantillon à la fin de l'essai.
- On passe notre échantillon dans l'étuve, réglée à 50°C, pendant 2 jours, pour obtenir le poids sec ( $P_s$ ) de notre échantillon à la fin d'essai.

En fin, on détermine les caractéristiques physiques de l'échantillon (telles que : teneur en eau, indice des vides), pour pouvoir tracer la courbe de compressibilité ( $e - \log \sigma$ ).

### 4. Calcul des indices de vides :

Par définition, l'indice des vides, est égal au rapport du volume



des vides sur le volume du solide.

Il est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

$V_v$  : Volume des pores.

$V_s$  : Volume des grains solides.

Pour une éprouvette de hauteur initiale  $H$  et d'une section  $S$ , en supposant que la section des pores (vide) est égale à la section du solide (section de l'éprouvette). La formule précédente s'écrit sous la forme suivante :

$$e_i = \frac{H_{\text{initiale}} - H_s - \Delta H_i}{H_s}$$

où :

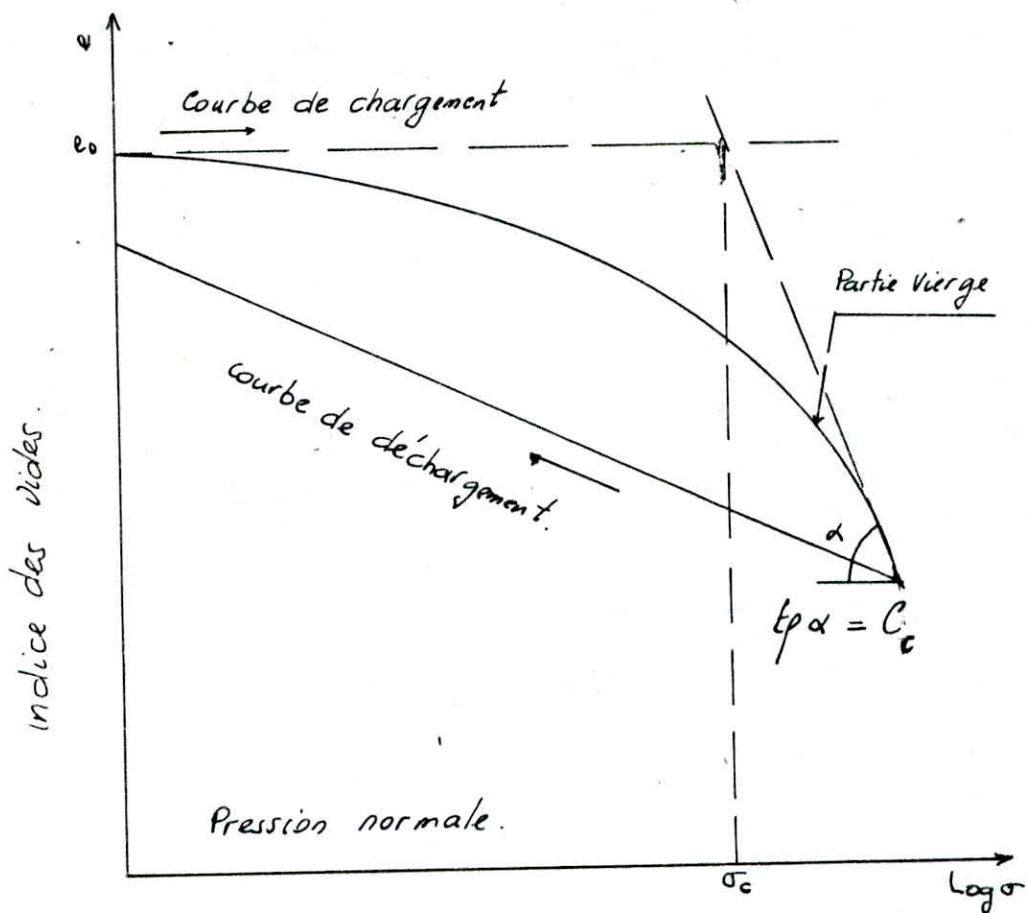
$\Delta H_i$  : est le tassement dû à la  $i$ -ième charge.

$e_i$  : indice des vides correspondant à cette même charge.

### 5. Tracé de la courbe de compressibilité :

Ayant déterminé l'indice des vides correspondant à chaque palier. On trace alors la courbe (ou) courbe de compressibilité

graphique représentant une courbe de compressibilité.



Cette courbe de compressibilité renferme deux courbes, formant ainsi une boucle :

- Courbe de chargement.
- Courbe de déchargement.

La première donne l'évolution des tassements en fonction de l'augmentation de la charge. La deuxième explique le chemin de retour c'est à dire le gonflement du sol.

### 6. Évaluation des tassements à partir de l'essai œdométrique :

Du fait, que le sol présente une certaine hétérogénéité, le calcul

des tassements est trop compliqué. Pour simplifier ce calcul, la méthode classique de calcul des tassements suppose que le sol est :

- Élastique
- Homogène
- Isotrope.

Pour pouvoir évaluer les tassements des couches de sol, on doit tout d'abord déterminer les valeurs des surcharges, qui s'exercent en tout point du milieu. Pour ce faire, on utilise la formule de Boussinesq, qui est valable pour n'importe quel cas de fondation, sans entrer trop dans les détails, ce qui n'est pas le but de notre projet. Ayant déterminé la valeur de la surcharge qui s'exerce dans un point donné, on peut tirer la valeur de l'indice des vides, à partir de la courbe de compressibilité, qui correspond à la valeur de la surcharge déterminée précédemment. par suite on calcule le tassement relatif  $\frac{\Delta H}{H}$ , tout en employant la formule donnée ci-dessus.

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

où :

$e_0$  : est l'indice des vides initial, avant l'application de la charge.

Ayant obtenu le tassement relatif dans un tel point du milieu, on peut calculer le tassement définitif de la couche, d'où on a enlevé cet échantillon.

En sommant tous les tassements obtenus dans les différentes couches, on peut déterminer la valeur du tassement globale que subira le sol sous la construction.

D'après ce que nous venons de montrer, l'essai œdométrique, présente une importance primordiale quant à l'évaluation des tassements. Le seul inconvénient à signaler dans cet essai et sa longueur en général, elle peut dépasser 03 semaines, ce qui fait bloquer les études menées par les ingénieurs.

Pour réduire le temps d'exécution de cet essai M<sup>r</sup> PHILIPPONNAT a proposé d'élever la température de l'échantillon au cours de l'essai. Un bref résumé de la méthode est donné dans le chapitre suivant.

## CHAPITRE II

### ACCELERATION DE L'ESSAI OEDOMETRIQUE PAR ELEVATION DE LA TEMPERATURE.

#### 1. ELEMENTS THEORIQUES.

L'idée première qui vient à l'esprit lorsqu'on examine l'effet de la température sur la vitesse de consolidation des sols est la modification de viscosité de l'eau interstitielle.

On sait que lorsque la température augmente, la viscosité de l'eau libre diminue rapidement.

On a en particulier :

$$\nu_{20} \approx 26 \nu_{70} .$$

avec  $\nu_{70}$  et  $\nu_{20}$  : viscosité de l'eau à 70°C et 20°C.

corrélativement, la perméabilité des sols augmente et l'on a d'après

SCMNE BELI :

$$k_{\theta} = k_{20} \frac{\theta - 20}{40}$$

soit  $k_{70} = 2,25 k_{20}$ .

L'eau étant moins visqueuse et la perméabilité plus grande à 70°C qu'à 20°C, la vitesse de consolidation doit donc être sensiblement plus rapide.

C'est effectivement ce que l'on constate. Cependant le problème n'est pas aussi simple, car la température influence également sur l'expansion et les propriétés des couches adsorbées lors des tassements.

Il est montré que l'augmentation de température a une influence

très importante sur la vitesse de consolidation.

L'augmentation de température influe très peu sur l'amplitude des tassements.

Autrement dit, On peut accélérer la vitesse des essais sans fausser le calcul des tassements.

Cette assertion a une importance considérable et est la base de la conception de l'essai accéléré qui va être décrit ci-dessous.

## 2. DESCRIPTION DE L'OEDOMETRE ACCÉLÉRÉ. C.E.B.T.P.

### 2-1. PRINCIPE.

L'appareil repose sur les principes suivants:

- chargement automatique des éprouvettes d'essai.
- Enregistrement automatique des mesures.
- accélération de la vitesse de consolidation par immersion des éprouvettes d'essai dans un bain thermostatique à  $70^{\circ}\text{C}$ .

L'appareil est composé de trois organes essentiels

Le bâti oedométrique, la console de commande et l'enregistreur.

### 2-2. LE BÂTI OEDOMÉTRIQUE.

Ce bâti est réalisé de façon à pouvoir effectuer cinq essais simultanés. Il comporte: une batterie de cinq verins à air comprimé qui permettent de mettre en charge les cellules

Oedométrique standard et un bain thermostatique réglé entre 68 et 70°C dans lequel sont immergées les cellules oedométriques.

### 2.3. LA CONSOLE DE COMMANDE.

La pression de l'air comprimé est pré-réglée à l'aide de sept régulateurs sensibles. Une tubulure appropriée permet le passage automatique d'une pression à l'autre par l'intermédiaire d'électro-vannes et d'une horloge.

Le système est conçu de telle manière que l'on dispose, outre la mesure initiale et finale sous le poids des pistons de l'oedomètre et du verin de six paliers de chargement et de deux de déchargement.

### 2.4. L'ENREGISTREUR.

Il s'agit d'un enregistreur à six voies ; cinq sont reliés aux cinq capteurs de déplacement. La sensibilité correspond à 5/100 mm. Une voie est branchée sur le tuyau d'alimentation des verins ; il s'agit d'un simple contrôle pour déceler toute défaillance éventuelle du circuit d'air comprimé.

### 3. MODE OPERATOIRE.

L'éprouvette d'essai est moulée dans une cellule oedométrique classique à laquelle on a simplement enlevé le système porte-comparateurs. La cellule est mise en place dans le bac oedométrique sous une pression de  $1,05 \cdot 10^4$  Pa correspondant au poids du piston de la

cellule et du verrin

Le dispositif anti-gonflement est bloqué : On remplit le bain thermostatique avec l'eau et on règle le thermostat sur  $68^{\circ}\text{C}$ .

Les opérations successives sont en suite :

- mise en route du cycle de chargement automatique selon du paliers de 8 heures au chargement et de 4 heures au déchargement
- retour sous le poids du piston, stabilisation des lectures, vidange du bain.
- mesure de la teneur en eau finale et calcul des courbes de compressibilité et de consolidation.

#### 4. ETUDE COMPARATIVE DES COURBES DE COMPRESSIBILITE'

##### 4.1. CHOIX DES SOLS TESTES

Les essais ont porté sur des prélèvements intacts, cependant certains échantillons étant manifestement très hétérogènes, il est apparu nécessaire d'entreprendre également des essais comparatifs sur des sols reconstitués en laboratoire, pour ces derniers essais on a pétri une pâte de consistance très molle que l'on a mis à consolider sous forme d'une éprouvette triaxiale de 100 mm de diamètre sous des pressions sphériques variable de 0.02 à 0.1 MPa.

Le tableau I donne les résultats comparatifs de quelques essais réalisés.

Pour chaque valeur  $\sigma_0$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  la dispersion entre les deux essais classique et accéléré, est exprimé en pourcentage à l'aide de la formule suivante :



$$\Delta \% = \frac{P_{70} - P_{20}}{P_{20}} \times 100$$

$P_{70}$  : parametre mesuré à 70°C

$P_{20}$  : parametre mesuré à 20°C

Nous ne pouvons donner tous les diagrammes de compressibilité, mais les figures 1, 2, 3 et 4 montrent quelques uns des essais comparatifs réalisés.

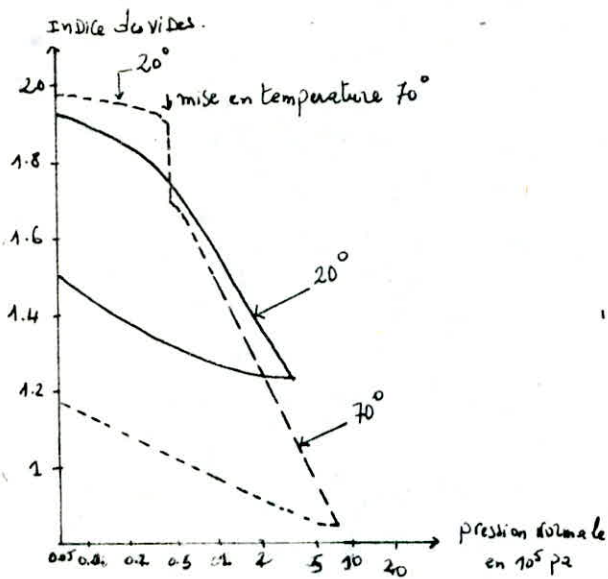


Fig. 1.

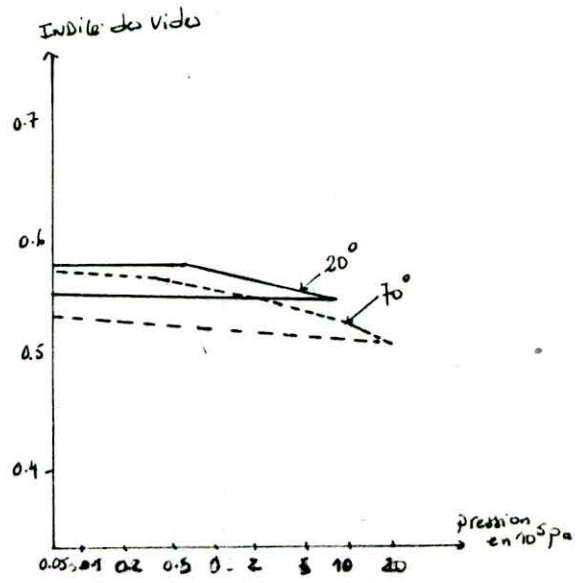


Fig. 2.

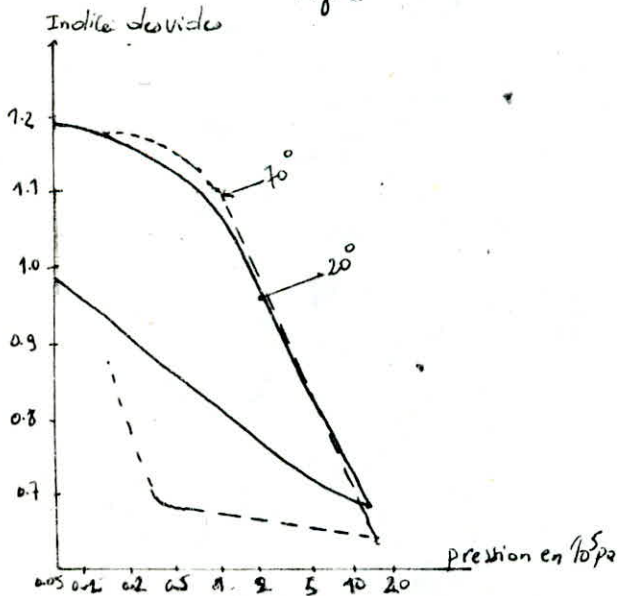


Fig. 3

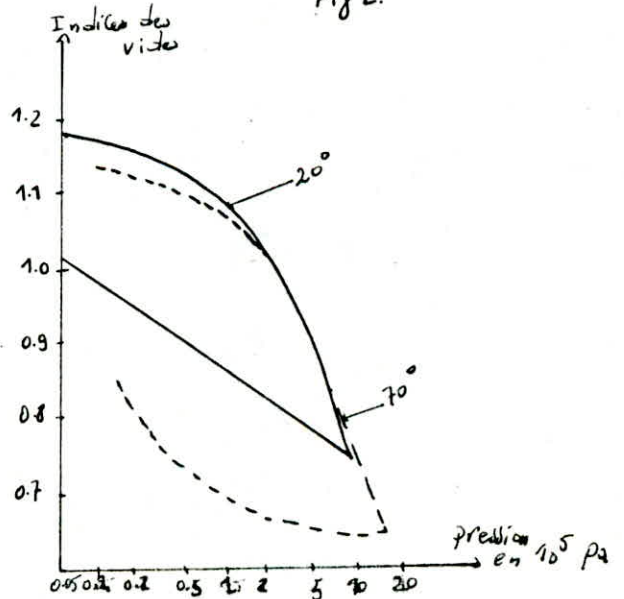


Fig. 4

#### 4-2 INTERPRETATION DES RESULTATS.

Si les graphes 1, 2, 3 et 4 montrent bien qualitativement la bonne correspondance entre les deux types d'essais, il est indispensable de regarder la part des écarts due à l'hétérogénéité des échantillons d'essais.

On pourra donc analyser uniquement les essais réalisés sur les sols remaniés et reconstitués en laboratoire pour lesquels l'homogénéité est particulièrement bonne par rapport aux essais sur sols naturels. Il s'agit des essais donnés dans le tableau "I".

TAB LEAU I.

REF ESSAI N°	ORIGINE ET NATURE DU SOL	INDICES DES VIDES INITIALES			PRESSION DE CONSOLI- DATION EN $10^5$ Pa			COEFFICIENT DE COMPRESSION		
		$e_{70}$	$e_{20}$	$\Delta\%$	$\sigma_{70}$	$\sigma_{20}$	$\Delta\%$	$C_{e70}$	$C_{e20}$	$\Delta\%$
1	Argile des Flandres Dunkerque	0.979	0.941	+4.0	2.4	3.2	-25.0	0.316	0.344	-8.1
2	Argile des Flandres Dunkerque	1.027	0.967	+6.2	2.3	3.2	-28.1	0.325	0.303	+7.3
3	Argile reconstituée sous $0.2 \cdot 10^5$ Pa	1.569	1.608	-2.4		0.22		0.505	0.480	+5.2
4	Argile reconstituée sous $0.8 \cdot 10^5$ Pa	1.2	1.180	+0.5	0.75	0.775	-3.2	0.480	0.366	+14.7
5	Argile reconstituée sous $\sigma_1 = \sigma_3 = 0.8 \cdot 10^5$ Pa	2.4	1.145	-4.0	0.800	0.85	-5.9	0.412	0.494	-16.6
6	" " " "	3.6	1.149	+1.5	0.900	0.725	+24.1	0.430	0.386	+11.4
MOYENNE ALGÈBRE				+1%			-7.6			+2.3%

On constate que si les écarts sur  $\sigma_0$  et  $C_e$  semblent assez importants pour certains essais, ils se réduisent considérablement lorsqu'on considère la moyenne algébrique de ces six essais. Regardons maintenant les écarts sur quelques essais classés à  $20^\circ\text{C}$  répétés sur le même sol. Series (1 et 2), Series (4, 5 et 6). Une comparaison des tableaux I et II montre que les écarts dus

à la fidélité de l'essai œdométrique classique sont du même ordre de grandeur. Ces écarts peuvent être attribués à l'homogénéité des échantillons "qui n'est jamais parfaite."

TABLEAU II.

ESSAIS à 20°C sur le même sol reconstitué

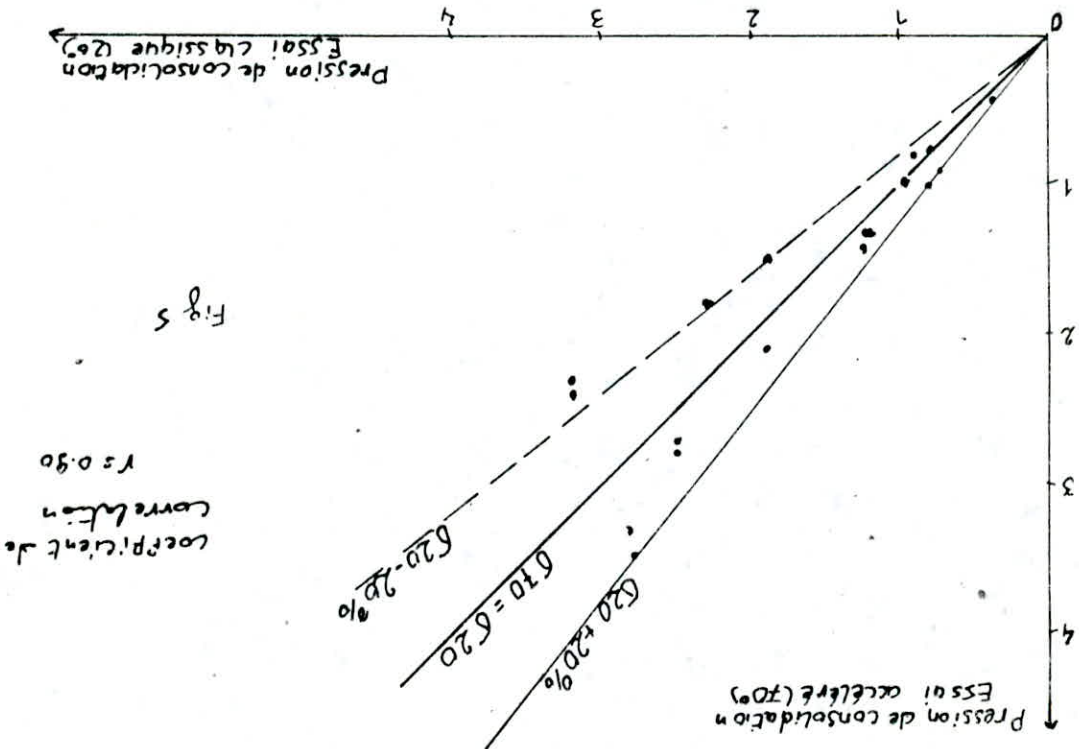
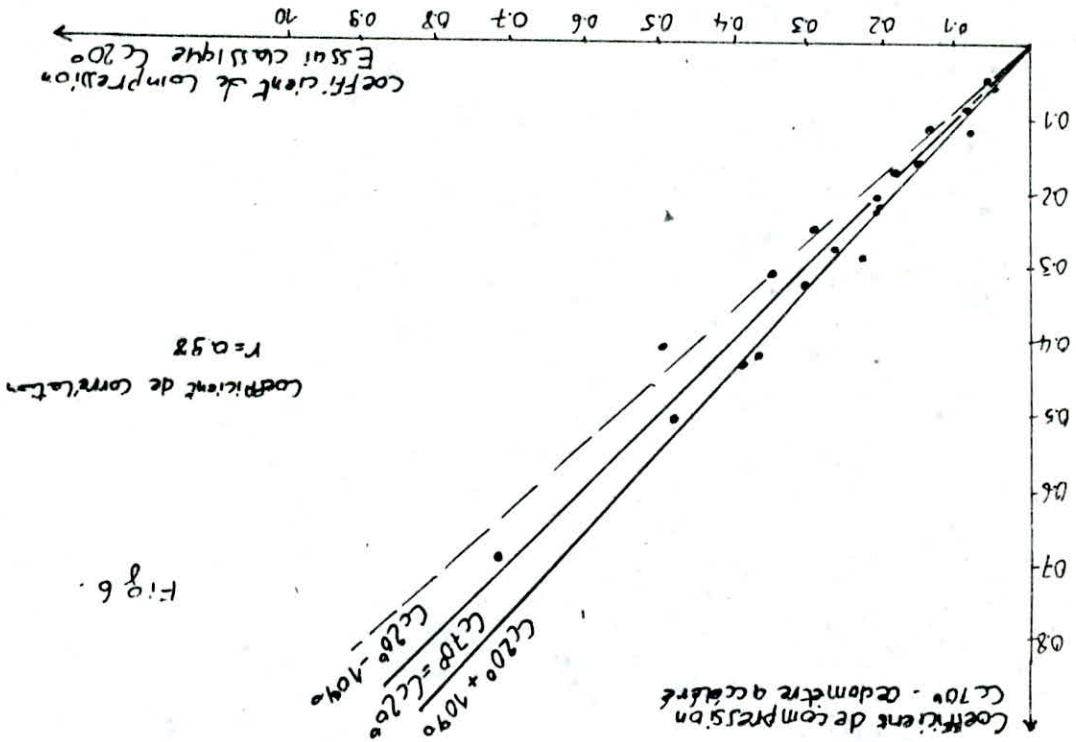
Argile	ÉCART SUR e en %	ÉCART SUR D <sub>50</sub> en %	ÉCART SUR C <sub>c</sub> en %
écart entre essais 1 et 2 à 20°C	-2.7	+4.5	+13.5
écart entre essais 4 et 5 à 20°C	1.61	+9.7	+35.0
écart entre essais 5 et 6 à 20°C	-5.1	-14.7	-21.8
écart entre essais 6 et 4 à 20°C	+3.7	+6.9	+5.4

Une conclusion qui ne concerne pas directement le sujet, mais qui est importante même par la méthode classique, il est indispensable de réaliser plusieurs essais œdométriques sur une couche "homogène" pour avoir une estimation acceptable des tassements. Les résultats des calculs basés sur un seul essai sont aléatoires.

#### 4.3. Comparaison sur l'ensemble des résultats

Les figures 5 et 6 montrent l'ensemble des résultats sur les échantillons remaniés figurant dans le tableau "I" et aussi les résultats sur les échantillons intacts qu'on a jugé inutile de donner.

Le caractère aléatoire des écarts enregistrés est prouvé par les moyennes algébriques de ceux-ci qui s'établissent pour l'ensemble des essais à 1% sur 60 et 3% sur 6 (Tableau I)



## 5. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA VITESSE DE CONSOLIDATION

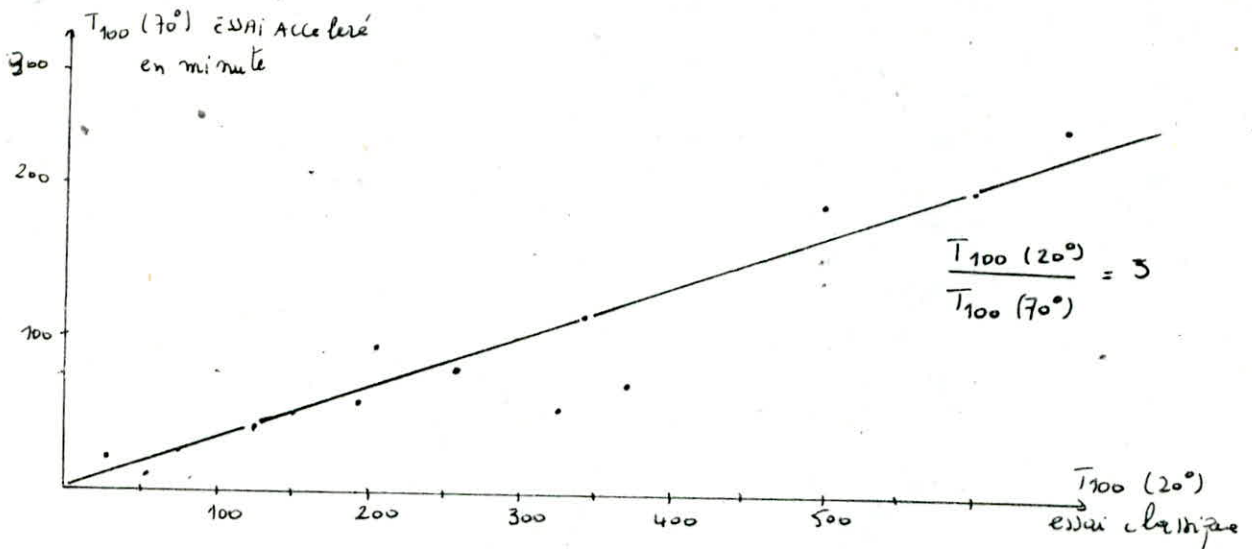
### 5.1 COMPARAISON DES VITESSES DE CONSOLIDATION

Afin de comparer les vitesses de consolidation, nous nous attachons au paramètre  $T_{100}$  car la somme des tassements quasi-instantanés et primaire représente la presque totalité du tassement final et  $T_{100}$  est le paramètre nécessaire pour obtenir la quasi-totalité du tassement par suite nous le tableau "III" qui donne la mesure de la compressibilité des sols par un essai oedométrique et la comparaison des temps de consolidation primaire à  $20^{\circ}\text{C}$  et  $70^{\circ}\text{C}$ .

TABLEAU III

Référence essai n°	Nombre de mesure	$T_{100}$ à $20^{\circ}\text{C}$ en minute	$T_{100}$ à $70^{\circ}\text{C}$ en minute	$\frac{T_{100}(20^{\circ})}{T_{100}(70^{\circ})}$
1	1	500	180	2.8
2	1	600	200	3.0
3	5	192	61.8	3.1
4	4	125	42	3.0
5	3	340	141	2.4
6	2	665	245	2.9
7	1	370	72	5.1
8	2	52	6.7	7.8
9	3	265	79	3.35
10	2	205	93	2.2
11	2	325	52.5	6.2
12	5	29	19	1.5

La figure (7) nous donne la comparaison des valeurs de  $T_{100}$  dans les deux types d'essais.



## 5.2 Interpretation

On constate bien que la vitesse de consolidation est en moyenne multipliée par un facteur de l'ordre de 3. Ce rapport moyen est à rapprocher de la diminution de la vitesse de l'eau qui est divisé par 2.6. Cependant par l'élévation de température, on peut dire qu'un palier de chargement de 8h avec l'œdomètre accéléré est équivalent à un palier de chargement de 24 h avec l'œdomètre classique.

## 6. Conclusion

Les études comparatives réalisées confirment que l'élévation de température de 20° à 70°C permet d'accélérer très sensiblement la vitesse de consolidation primaire.

Les courbes de compressibilité obtenues par l'essai rapide sont presque identiques à ceux du classique. Des écarts qui peuvent se produire sont masqués par ceux provenant de la fiabilité limitée de l'essai œdométrique lui-même.

On note à ce sujet que même avec les essais classiques, il est indispensable de réaliser plusieurs essais oedométrique classique sur une couche de sol (homogène) pour obtenir une appréciation acceptable des tassements réels. L'oedométrie accélérée ne permet pas de mesurer les coefficients de consolidation dans le temps.

Nous proposons d'accélérer cette manipulation en augmentant la vitesse de chargement et de déchargement. La méthodologie que nous proposons est largement décrite dans le chapitre suivant.

## CHAPITRE III :

### Accélération de l'essai oedométrique par augmentation de la vitesse de chargement.

#### 1. but =

Le but de notre projet est de rechercher une méthodologie de chargement et de déchargement en vue de diminuer le temps de réalisation de l'essai oedométrique sans trop sacrifier la précision des calculs de tassements.

Cette méthodologie est caractérisée par l'augmentation de la vitesse de chargement et de déchargement.

#### 2. Méthode d'essai proposée =

L'appareil utilisé est celui décrit précédemment (au chapitre I), sans aucune modification. La méthode que nous proposons consiste à suivre le procédé suivant :

- Saturation de l'éprouvette.
- Empêchement du gonflement (s'il y a lieu).
- Chargement toute les heures, sans attendre la stabilité des lectures.
- Noter les lectures à la fin de l'heure de chargement pour chaque palier.



- Laisser le dernier palier jusqu'au lendemain.

- Prendre la lecture du lendemain.

- Déchargement toutes les heures, palier par palier, en notant les lectures de chaque palier en fin d'heure.

- Laisser le dernier palier correspondant à la pression du piston jusqu'à la stabilité des lectures.

- Ensuite, on effectue les mêmes opérations que dans l'essai classique (percées, passage à l'étape ...).

Nous avons pris une heure de chargement et de déchargement pour les raisons suivantes :

1°. Les courbes de consolidations, données ci-après, montrent bien que dans une heure s'effectue la majeure partie des tassements (environ 80%).

2°. Essayer d'entrer dans une journée de travail (8 heures).

Cette méthode comme on vient de l'exposer, ne prend pas assez de temps pour l'exécution de l'essai œdométrique.

Il faut simplement, une journée pour le chargement, et une autre pour le déchargement, et 48 heures pour obtenir la stabilité complète des tassements, Au total, quatre ou cinq jours pour l'exécution de cet essai.

### 3. Tracé de la courbe de compressibilité :

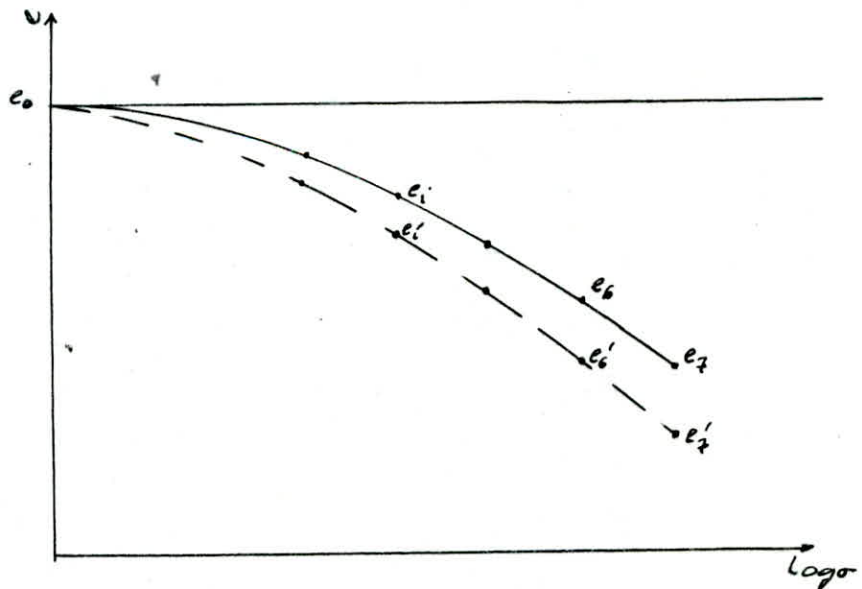
Cette méthode d'essai, nous permet de tracer la courbe de compressibilité, en utilisant le même procédé que celui de la courbe élastique (calcul des indices des aires), cette courbe a la même allure que celle obtenue à partir de l'essai oedométrique élastique, sauf que la première (rapide) présente certaines discontinuités, à la fin de la courbe de chargement, et à la fin de la courbe de déchargement.

La courbe de compressibilité ainsi obtenue est ensuite corrigée.

Cette correction se traduit par l'homothétisation des deux courbes (chargement et déchargement), chacune à part.

#### 3. a. Tracé de la courbe de chargement corrigée :

La méthode consiste à tracer une droite horizontale ayant pour ordonnée  $e_0$ .



La courbe en trait continu, est la courbe rapide, l'autre courbe après correction.

Sont  $e_7, e_6, e_i \dots$  = les indices des vides de l'éprouvette sous les contraintes 10 bars ; 7,3 bars et à l'une contrainte de la courbe rapide obtenue.

et  $e'_7, e'_6, e'_i$  = les indices des vides de l'éprouvette pour les mêmes contraintes, sur la courbe corrigée.

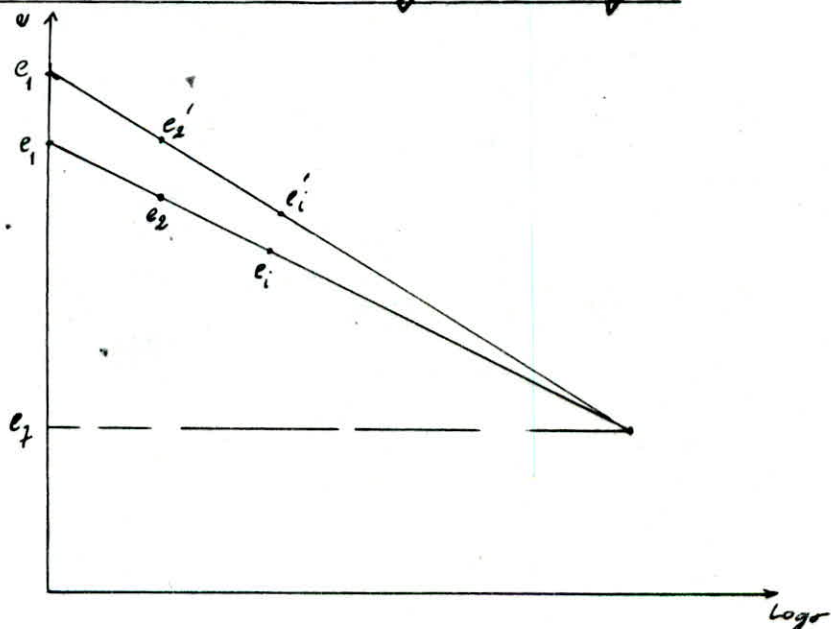
On estime que les rapports suivants sont égaux par homothétie:

$$\frac{e_0 - e'_7}{e_0 - e_7} = \frac{e_0 - e'_6}{e_0 - e_6} = \dots = \frac{e_0 - e'_i}{e_0 - e_i}$$

d'où on peut tirer les valeurs de  $e'_6, e'_5, \dots$

Ainsi de cette courbe on obtient une autre courbe homothétique, qui se rapproche le plus de la courbe classique

### 3.b. Tracé de la courbe de déchargement corrigée



La courbe en trait continu, est la courbe rapide, l'autre est la courbe rapide corrigée.

Soient  $e_1, e_2, \dots, e_i$  : les indices des vides sous les contraintes du piston (0,05 bars), 0,175 bars, et à l'ième contrainte.  
et  $e'_1, e'_2, \dots, e'_i$  : les indices des vides sous les mêmes contraintes, quand la stabilité est obtenue (ce qui est fait pour le dernier palier de déchargement).

On aura donc :

$$\frac{e'_1 - e_7}{e_1 - e_7} = \frac{e'_2 - e_7}{e_2 - e_7} = \dots = \frac{e'_i - e_7}{e_i - e_7}$$

d'où on peut tirer les valeurs de  $e'_2, e'_3, \dots$ .

Et ainsi on trace la deuxième courbe homothétique des déchargement.

### Conclusion :

Les tassements peuvent ainsi être calculés à partir des courbes corrigées.

Le chapitre suivant est réservé à l'exposé des résultats obtenus selon cette méthode et à leur comparaison aux résultats obtenus selon la méthode oedométrique classique.

## CHAPITRE IV :

### Resultats et Comparaisons :

#### 1. Resultats =

##### 1.1 Commentaires =

1.1. a) - Les courbes de chargement obtenues à partir de l'essai oedométrique rapide sont généralement confondues avec les courbes classique, comme l'indiquent les graphes ci-joint de (1-15) .

1.1. b) Les courbes de déchargement obtenues à partir des deux essais (classique et rapide) sont parallèles et rapprochées l'une de l'autre .

##### 1.2 Interprétation :

1.2. a) Les tassements dans une couche de sol, sont donnés par la formule suivante :

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

où :

$$\Delta e = e_{\text{initial}} - e_{\text{final}} = e_0 - e_{\text{final}}$$

Pour une charge donnée, l'indice des vides calculé successivement à partir des courbes rapides corrigées et classiques sont les mêmes en général.

Le tassement obtenu, en utilisant ces deux courbes donne les mêmes résultats .

1.2.b) Vu que les courbes de déchargement rapides corrigées et classique, sont parallèles, le coefficient de déchargement calculé à l'aide de l'une ou de l'autre courbe est le même.

Le coefficient de déchargement (ou de gonflement)  $C_g$  représente la pente de la courbe de déchargement.

## 2. Comparaisons

2.1 Comparaison des pressions de consolidation. ( $P_c$ ) =

2.1.a Définition :

C'est la pression maximale qu'a subie le sol durant son histoire, elle divise la courbe de compressibilité en deux domaines :

1. Un domaine de très faible compressibilité pour  $\sigma < \sigma_c$
2. Un domaine de compressibilité variable (courbe vierge) selon la nature du sol pour  $\sigma > \sigma_c$ .

Les avis diffèrent sur la façon de déterminer  $\sigma_c$ . Nous avons adopté la méthode qui, à notre avis, fournit le moins de dispersion et de source d'erreur, c'est à dire que nous admettons conventionnellement, qu'elle est l'intersection des deux parties quasi-rectilignes de la courbe de compressibilité.

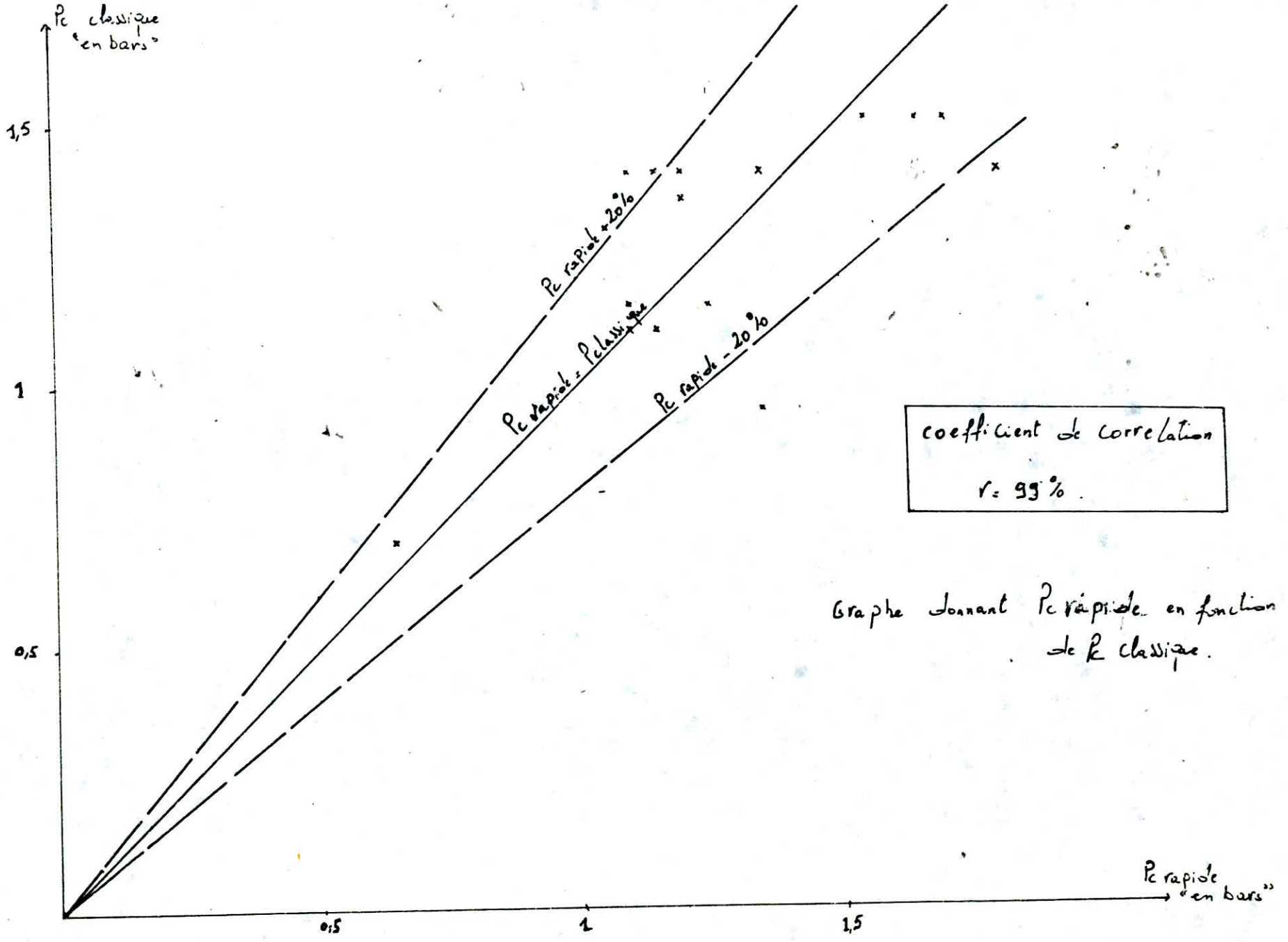
2.1.b. Comparaisons des résultats obtenus :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Numero d'essai	Prestion de consolidation classique $P_{c.c}$ (bars)	Prestion de consolidation rapide corrigée $P_{c.R}$ (bars)	$\delta_1$ %	$\delta_2$ %
1	1,150	1,100	4	4
2	1,150	1,250	8	8
3	1,500	1,700	12	13
4	1,400	1,100	21	24
5	0,95	1,350	30	35
6	1,500	1,550	3	3
7	1,500	1,650	9	9
8	0,700	0,650	7	7
9	1,400	1,150	11	12
10	1,350	1,200	11	12
11	1,100	1,100	0	0
12	1,400	1,350	4	4
13	1,400	1,800	22	25
14	1,100	1,150	4	4
15	1,400	1,200	14	15
Erreurs moyennes			11 %	12 %

Le calcul d'erreurs s'effectue par les deux formules suivantes :

$$\delta_1 \% = \frac{|P_{c \text{ classique}} - P_{c \text{ rapide}}|}{\max \{P_{c.c}, P_{c.R}\}}$$



Graphes montrant  $P_c$  rapide en fonction de  $P_c$  classique.



$$\delta_2 \% = \frac{|P_{c \text{ classique}} - P_{c \text{ rapide corrigé}}|}{\frac{P_{c \text{ classique}} + P_{c \text{ rapide}}}{2}}$$

l'erreur commise sur les valeurs de la pression de consolidation classique et rapide corrigé est de l'ordre de 15 %.

## 2.2. Comparaison des coefficient de tassement (Compressibilité) $C_c =$

### 2.2.a. Définition :

C'est au signe près, la pente de la tangente à la courbe vierge.

donné par la formule suivante :  $C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma}$

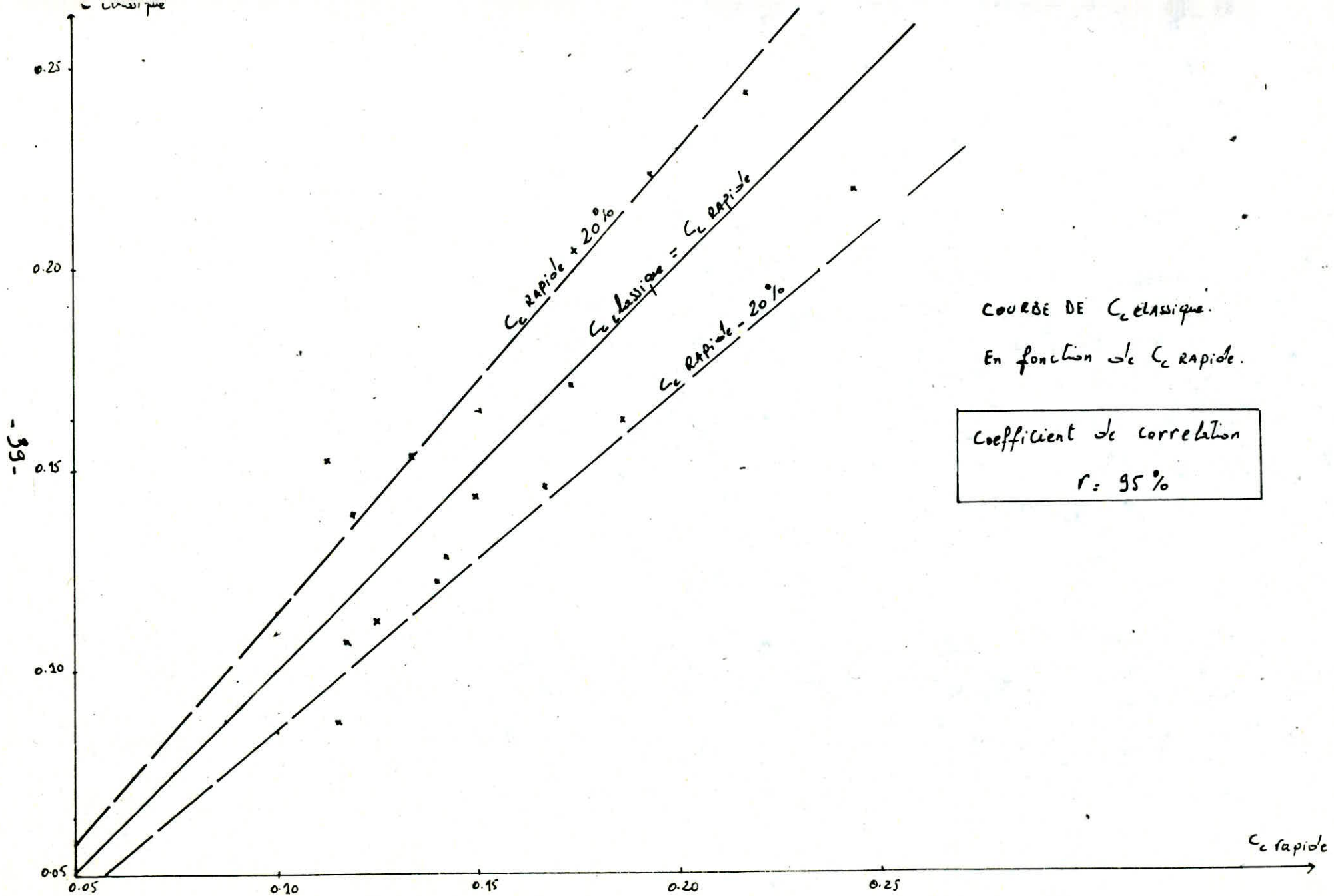
### 2.2.b. Comparaison des résultats obtenus :

Les résultats obtenus à partir des deux essais, sont donnés dans le tableau suivant :

le calcul d'erreur est le même que dans le cas 1

Número d'essai	Coefficient de tassement classique $C_{c.c.}$	Coefficient de tassement rapide corrigé $C_{c.r.}$	$\delta_1$ %	$\delta_2$ %
1	0,162	0,186	15	14
2	0,144	0,150	4	4
3	0,220	0,244	10	10
4	0,088	0,115	23	27
5	0,244	0,218	11	11
6	0,152	0,112	26	30
7	0,146	0,168	15	14
8	0,224	0,194	13	14
9	0,122	0,140	13	10
10	0,113	0,125	9	10
11	0,129	0,142	9	10
12	0,154	0,134	13	14
13	0,108	0,118	8	9
14	0,171	0,174	2	2
15	0,139	0,119	14	16
Erreur moyenne			12%	13%

l'erreur commise sur les valeurs du coefficient de compression  $C_c$  est de l'ordre de 12%, ce qui peut être admis.



### 3. Evaluation des tassements à partir des deux essais

Soit la semelle isolée de dimensions :  $1,20 \times 1,20$  (m<sup>2</sup>), ayant la charge  $q_0 = 2$  bars.

#### 3.1 Evaluation des tassements à partir de l'essai œdométrique rapide

Le tableau ci-dessous regroupe tous les résultats.

Numero d'essai	Hauteur des couches (cm)	$\sigma_0$ (bars)	$e_0$	$\Delta\sigma$ (bars)	$\sigma_1 + \Delta\sigma$ (bars)	$e_1$	$e_1 - e_0$	$1 + e_0$	tassement $\Delta H$ cm
1	100	0,416	0,6525	0,220	0,636	0,6460	0,0065	1,6525	0,39
2	-	0,744	0,5970	0,060	0,804	0,5960	0,0010	1,5970	0,06
3	-	0,800	0,7300	0,056	0,856	0,7280	0,0020	1,7300	0,11
4	-	0,840	0,6040	0,056	0,896	0,6030	0,0010	1,6040	0,06
5	-	0,880	0,8160	0,048	0,928	0,8140	0,0020	1,8160	0,11
6	-	1,120	0,4910	0,025	1,145	0,4900	0,0010	1,4910	0,07
7	-	1,440	0,6410	0,016	1,456	0,6470	0,0010	1,6460	0,06
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	0,240	0,5530	0,472	0,712	0,5450	0,0080	1,5530	0,51
10	-	0,600	0,5100	0,104	0,704	0,5080	0,0020	1,5100	0,13
11	-	0,220	0,4800	0,048	0,268	0,4780	0,0020	1,4800	0,14
12	-	0,840	0,5780	0,052	0,892	0,5760	0,0020	1,5780	0,13
13	-	1,240	0,5100	0,024	1,264	0,5080	0,0010	1,5100	0,07
14	-	0,200	0,6050	0,672	0,872	0,5800	0,025	1,6050	1,56
15	-	1,120	0,6230	0,024	1,144	0,6130	0,0010	1,6230	0,06

### 3.2. Évaluation des tassement à partir de l'essai oedométrique classique.

Les résultats du calant, sont donnés dans le tableau suivant.

Numero d'essai	Hauteur des couches (cm)	$\sigma_0$ (bars)	$e_0$	$\Delta\sigma$ (bars)	$\sigma_0 + \Delta\sigma$ (bars)	$e_1$	$e_1 - e_0$	$1 + e_0$	tassement $\Delta H$ (cm)
1	100	0,416	0,6520	0,220	0,636	0,6450	0,0070	1,6520	0,42
2	"	0,744	0,5930	0,060	0,804	0,5920	0,010	1,5930	0,06
3	"	0,800	0,7200	0,056	0,856	0,7180	0,0020	1,7200	0,12
4	"	0,840	0,6140	0,056	0,896	0,6130	0,0010	1,6140	0,06
5	"	0,880	0,7840	0,048	0,928	0,7820	0,0020	1,7840	0,11
6	"	1,120	0,4630	0,025	1,145	0,4620	0,0010	1,4630	0,07
7	"	1,440	0,6310	0,016	1,456	0,6300	0,0010	1,6310	0,06
8	"	—	—	—	—	—	—	—	—
9	"	0,240	0,5670	0,472	0,712	0,5600	0,0070	1,5670	0,45
10	"	0,600	0,5120	0,104	0,704	0,5100	0,0020	1,5120	0,13
11	"	0,720	0,4900	0,048	0,768	0,4880	0,0020	1,4900	0,13
12	"	0,840	0,5780	0,052	0,832	0,5760	0,0020	1,5780	0,12
13	"	1,240	0,5050	0,024	1,264	0,5040	0,0010	1,5050	0,07
14	"	0,200	0,6050	0,672	0,872	0,5860	0,0130	1,6050	1,20
15	"	1,120	0,6190	0,024	1,144	0,6180	0,0010	1,6190	0,06

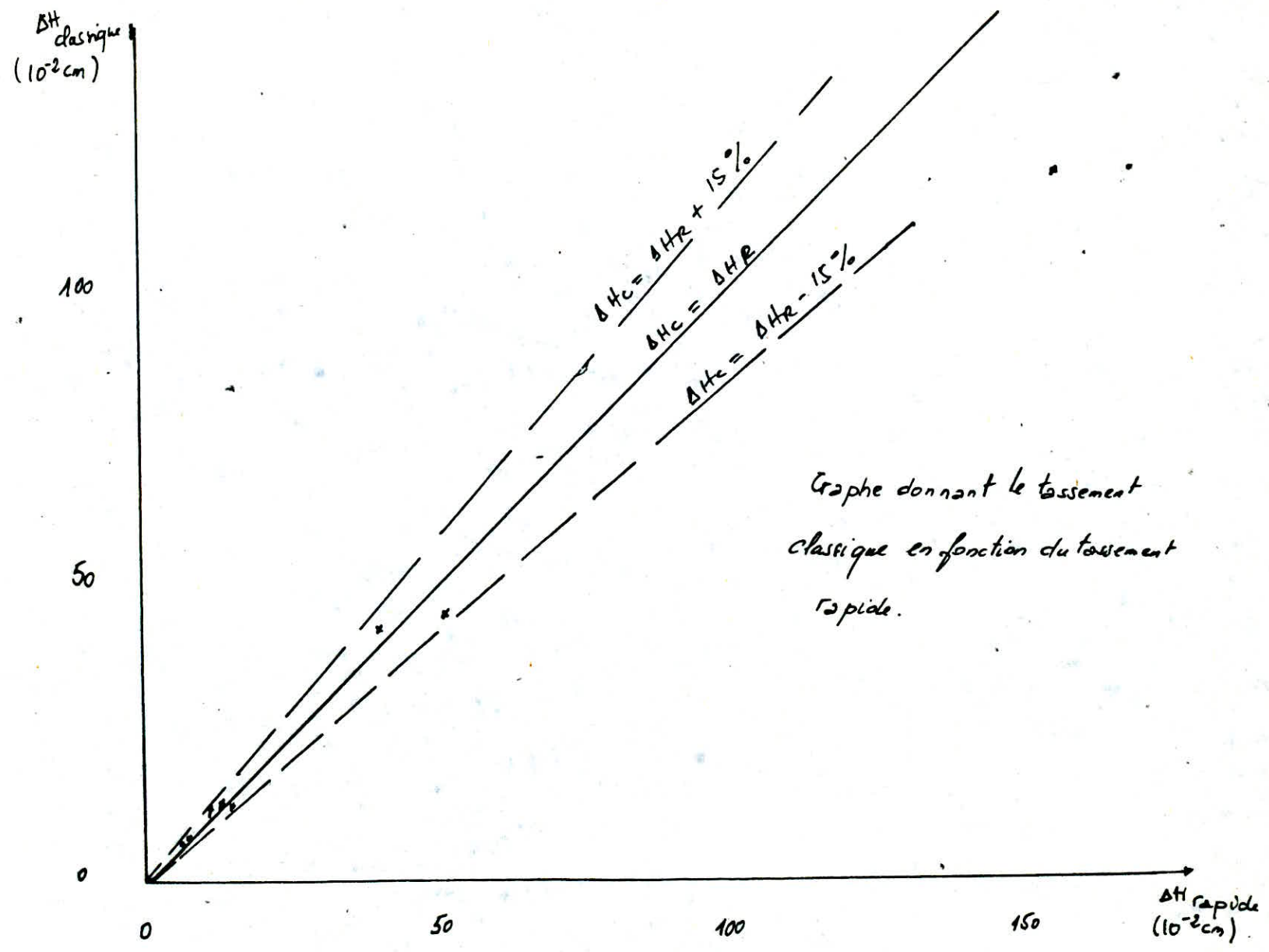
### 3.3. Comparaison des résultats

Le tableau suivant, résume la comparaison des résultats obtenus à partir des deux essais :

Numero d'essai	tassement à partir de l'essai rapide $\Delta H_R$ (cm)	tassement à partir de l'essai classique $\Delta H_C$ (cm)	$\delta_1$ %	$\delta_2$ %
1	0,39	0,42	7	7
2	0,06	0,06	0	0
3	0,11	0,12	8	9
4	0,06	0,06	0	0
5	0,11	0,11	0	0
6	0,07	0,07	0	0
7	0,06	0,06	0	0
8	-	-	-	-
9	0,51	0,45	12	12
10	0,13	0,13	0	0
11	0,14	0,13	7	7
12	0,13	0,12	7	8
13	0,07	0,07	0	0
14	1,56	1,20	23	26
15	0,06	0,06	0	0

Le calcul des tassements à partir de l'essai oedométrique rapide est très proche de celui de l'essai oedométrique classique, l'erreur commise étant inférieure à 10% .

-43-



Graph showing classical settlement as a function of rapid settlement.

Conclusion



L'étude que nous avons faite montre que l'accélération de la vitesse de chargement donne des résultats très appréciables.

Les courbes de compressibilités obtenues en 4 jours ne sont pas significativement différentes des courbes obtenues par la méthode classique.

Bien que la série d'essais que nous avons fait soit trop peu conséquente pour qu'on puisse lui attribuer une valeur statistique, on peut retenir que pour un sol théoriquement parfait des écarts de 20% sur  $\sigma_c$  ( $P_c$ ) et de 10% sur  $C_c$ , sont usuels.

Ces écarts peuvent être attribués à l'homogénéité des échantillons "qui n'est jamais parfaite", mais également à la dispersion supplémentaire introduite par les manipulations au moment du découpage et de la mise en place de l'éprouvette dans la cellule œdométrique.

L'essai œdométrique accéléré ne permet pas de mesurer les coefficients de consolidation dans le temps.

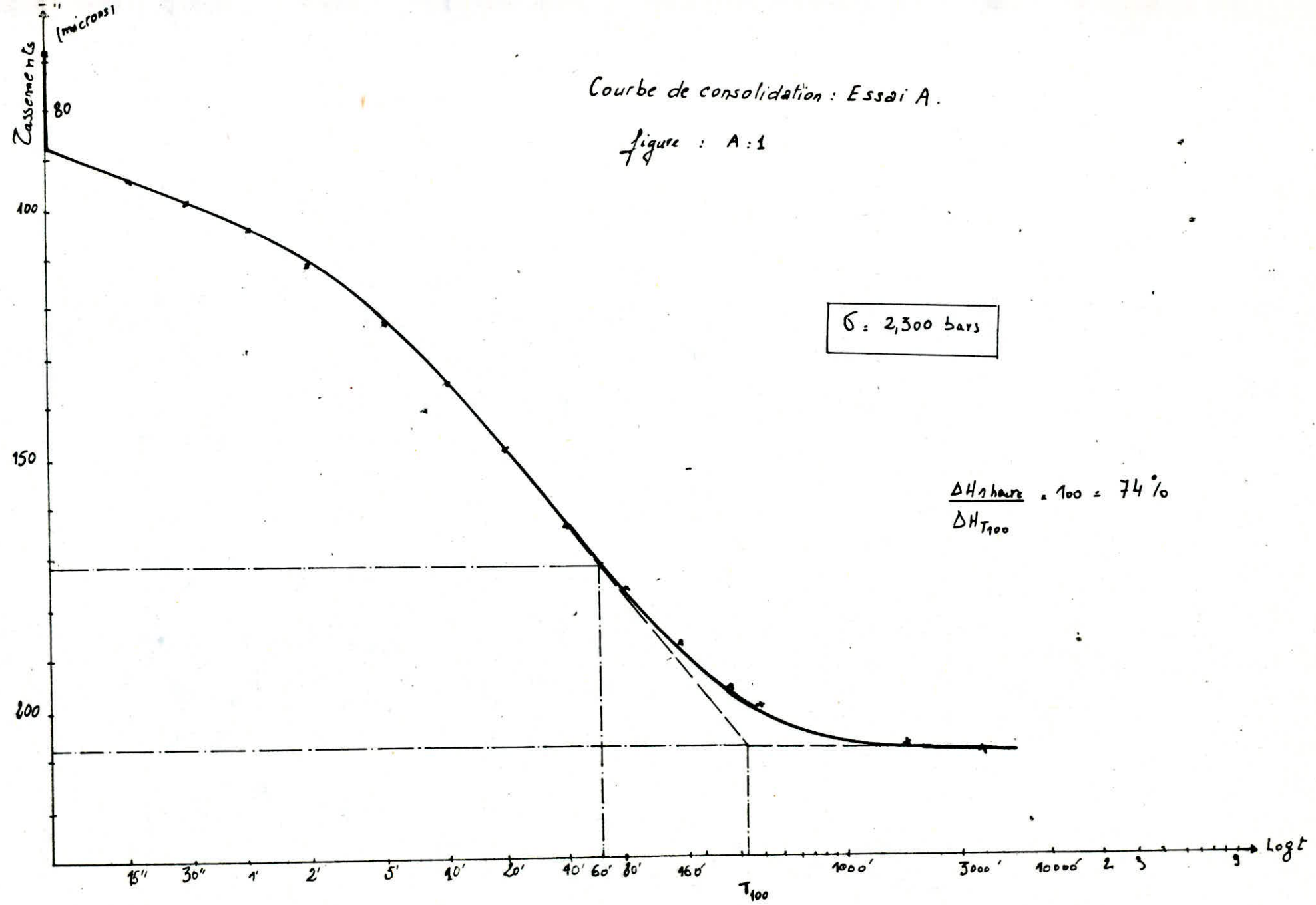
Courbe de consolidation : Essai A.

figure : A:1

$\sigma = 2,300 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{\text{heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 74\%$$

-97-



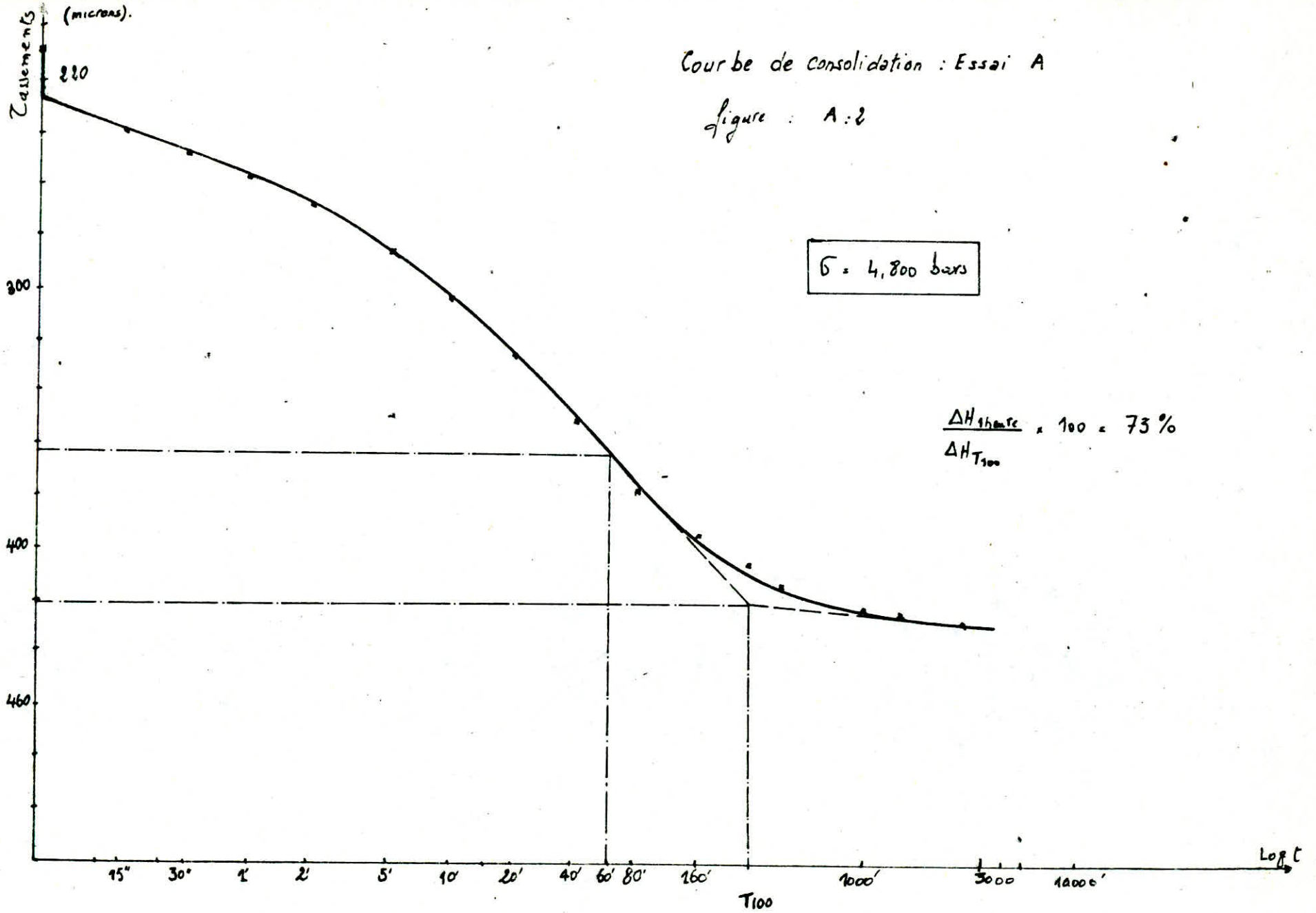
Courbe de consolidation : Essai A

Figure : A:2

$\sigma = 4,800 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{\text{sharc}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 73\%$$

-47-

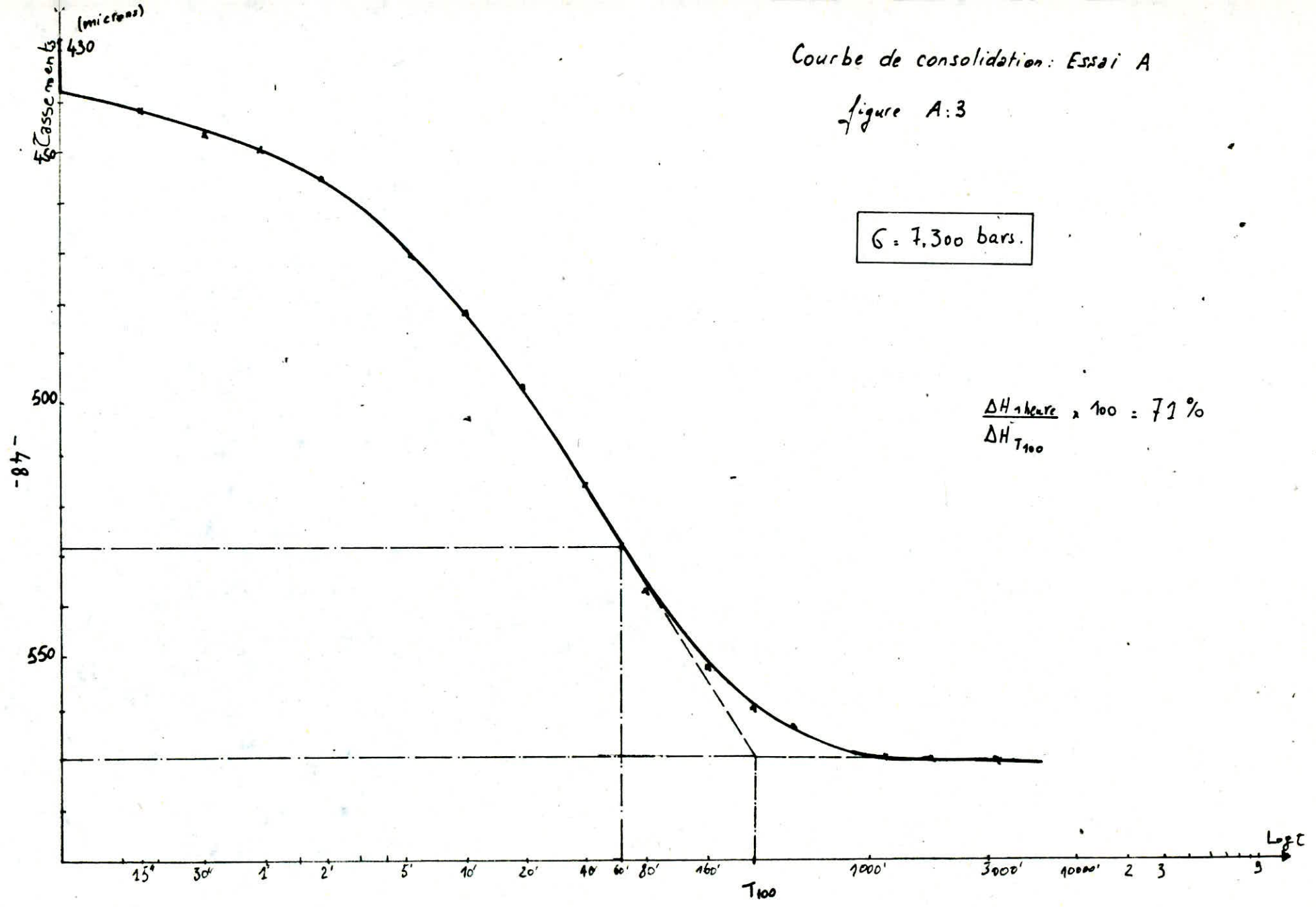


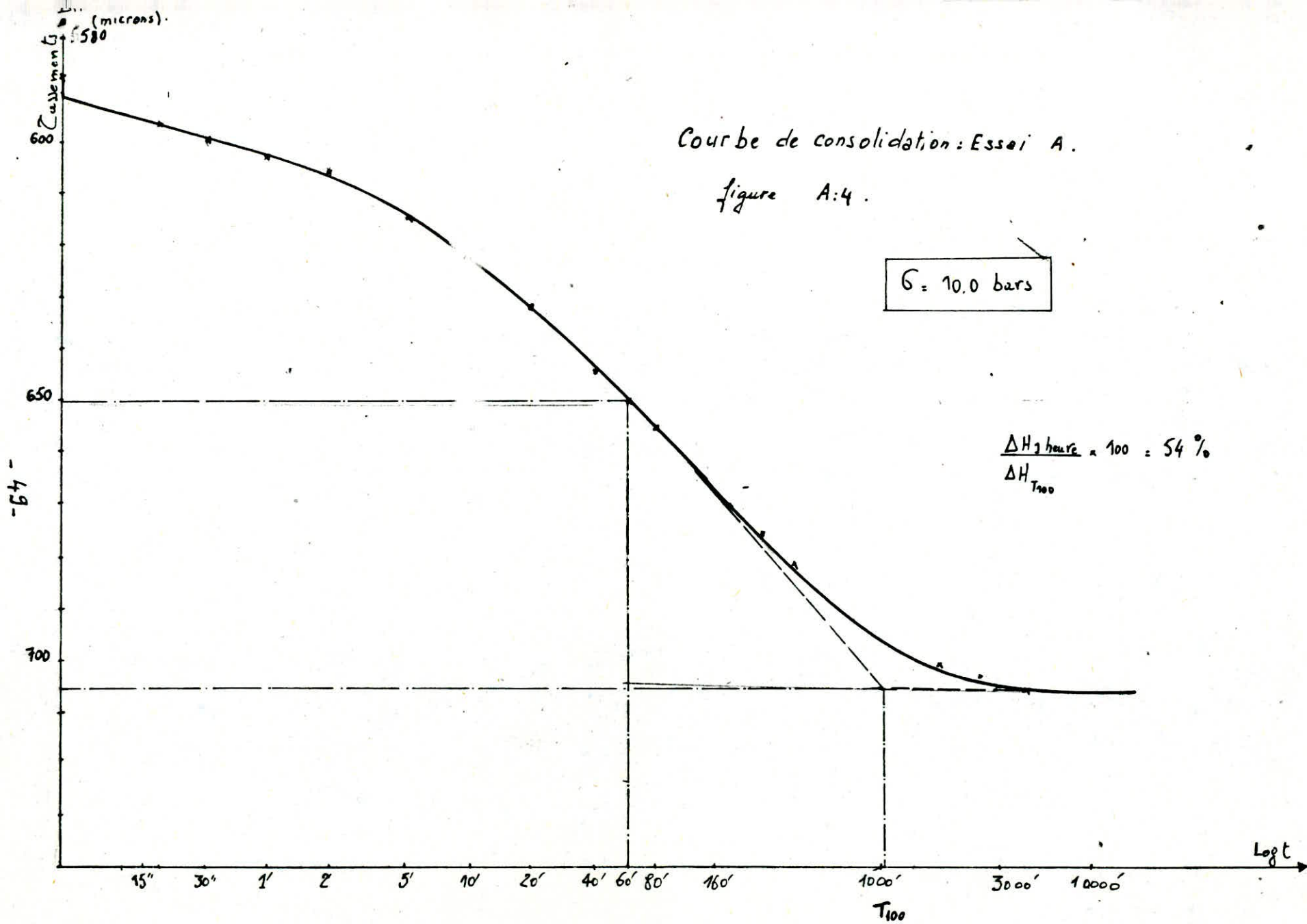
Courbe de consolidation: Essai A

figure A:3

$\sigma = 7,300$  bars.

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 71\%$$





Courbe de consolidation: Essai A.

figure A:4.

$\sigma = 10.0 \text{ bars}$

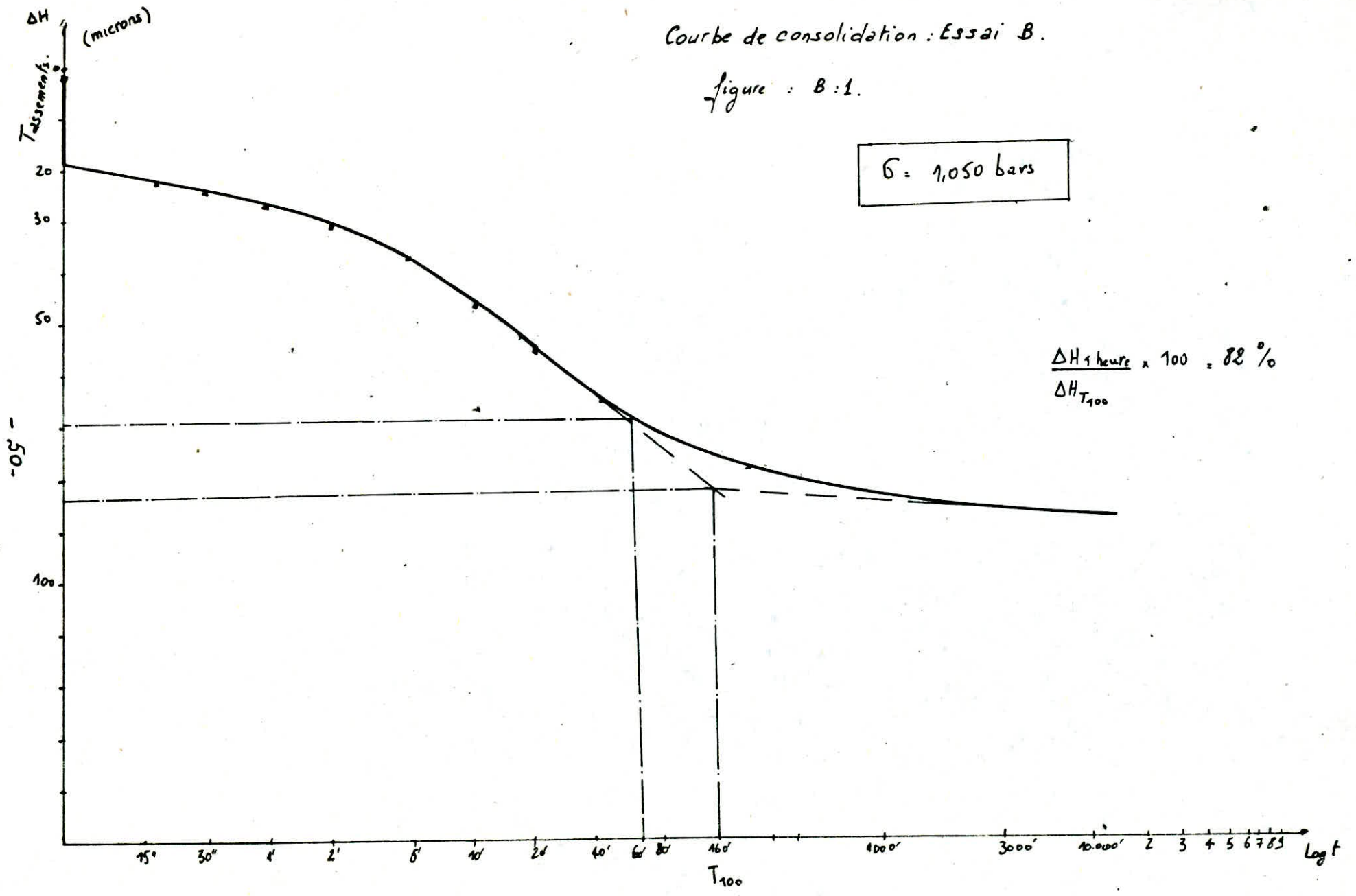
$$\frac{\Delta H}{H} \times 100 = 54\%$$

Courbe de consolidation : Essai B.

figure : B:1.

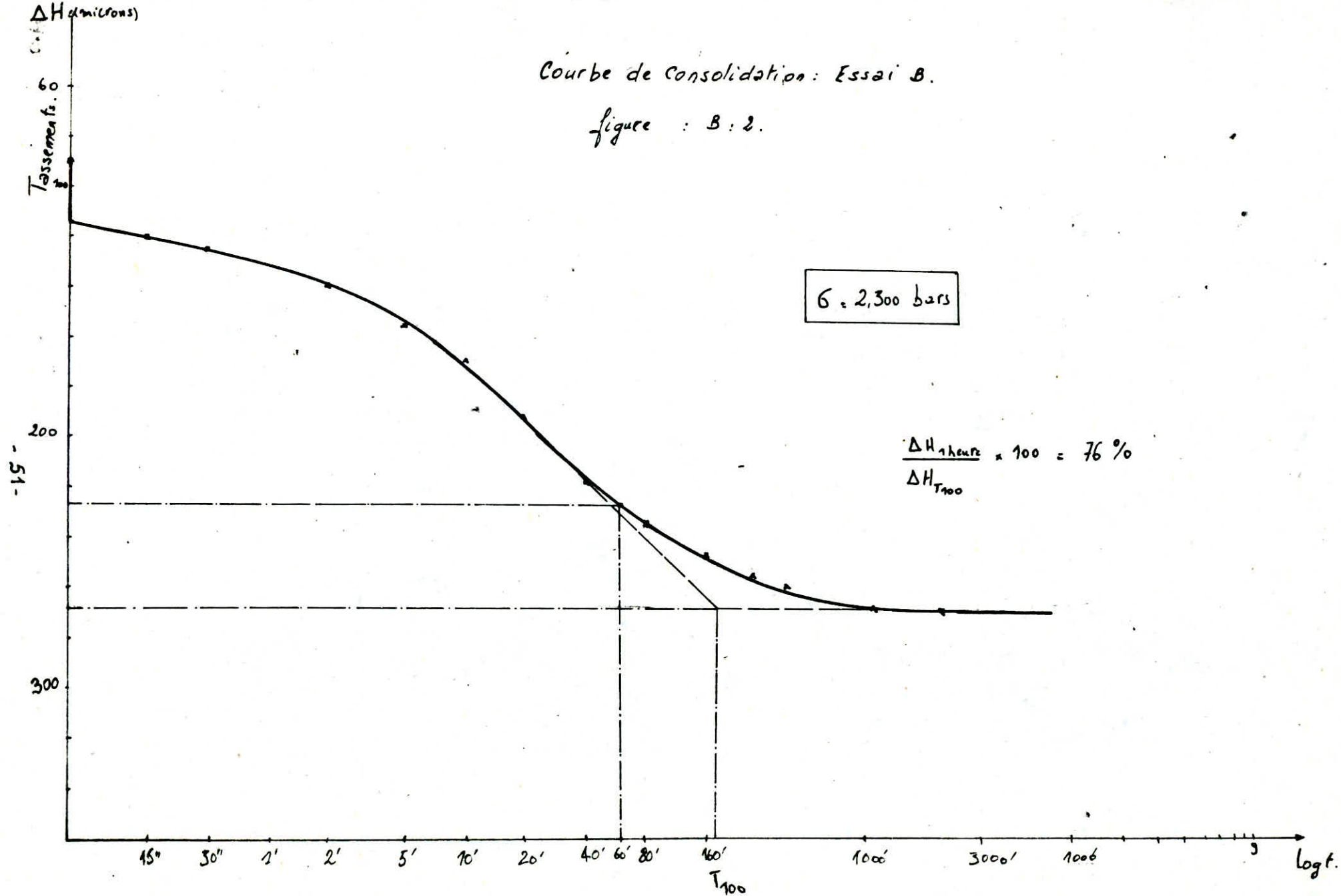
$\sigma = 1,050 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 82 \%$$



Courbe de Consolidation: Essai B.

figure : B : 2.

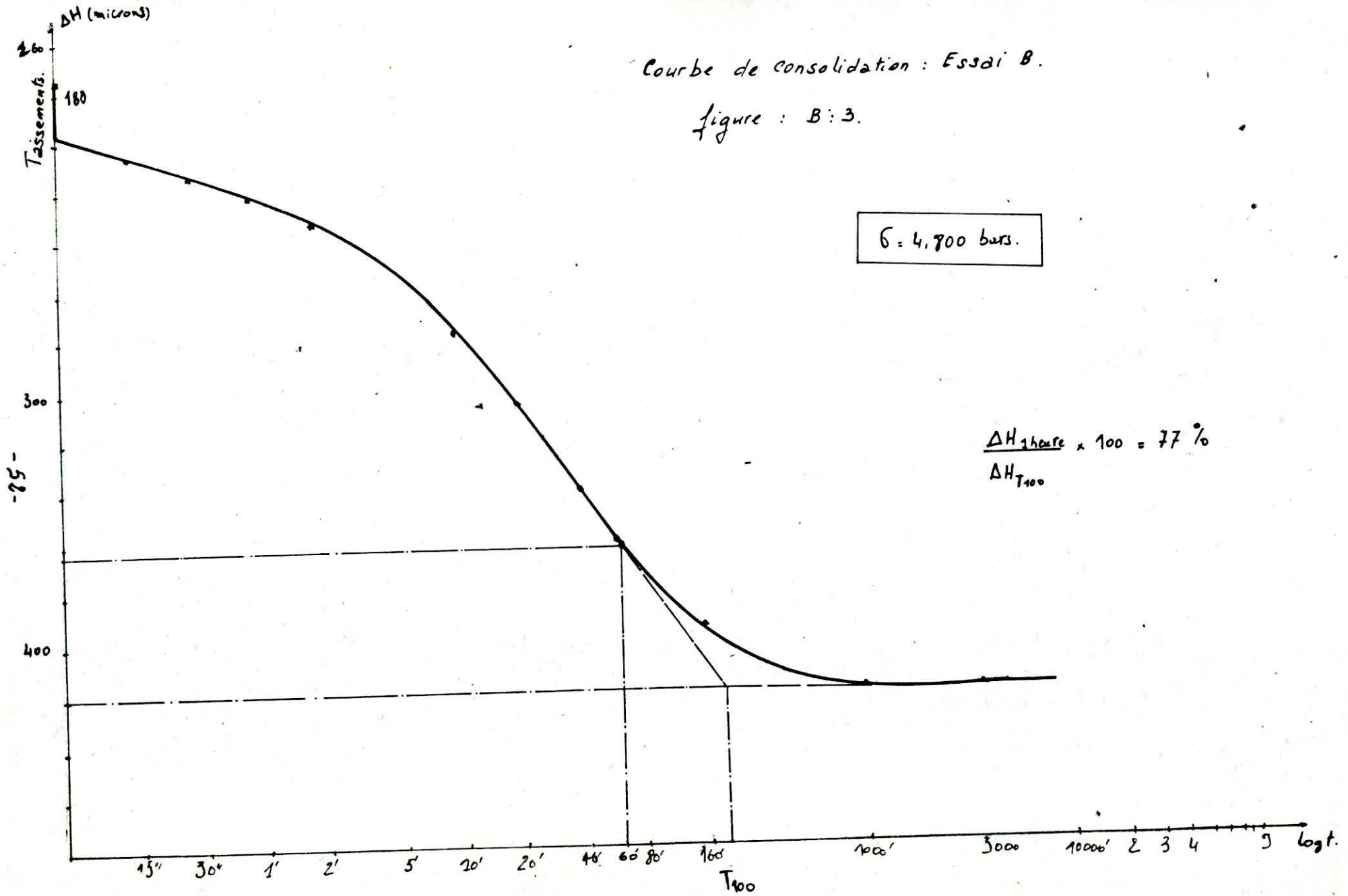


Courbe de consolidation : Essai B.

figure : B:3.

$\sigma = 4,700 \text{ bars.}$

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 77 \%$$



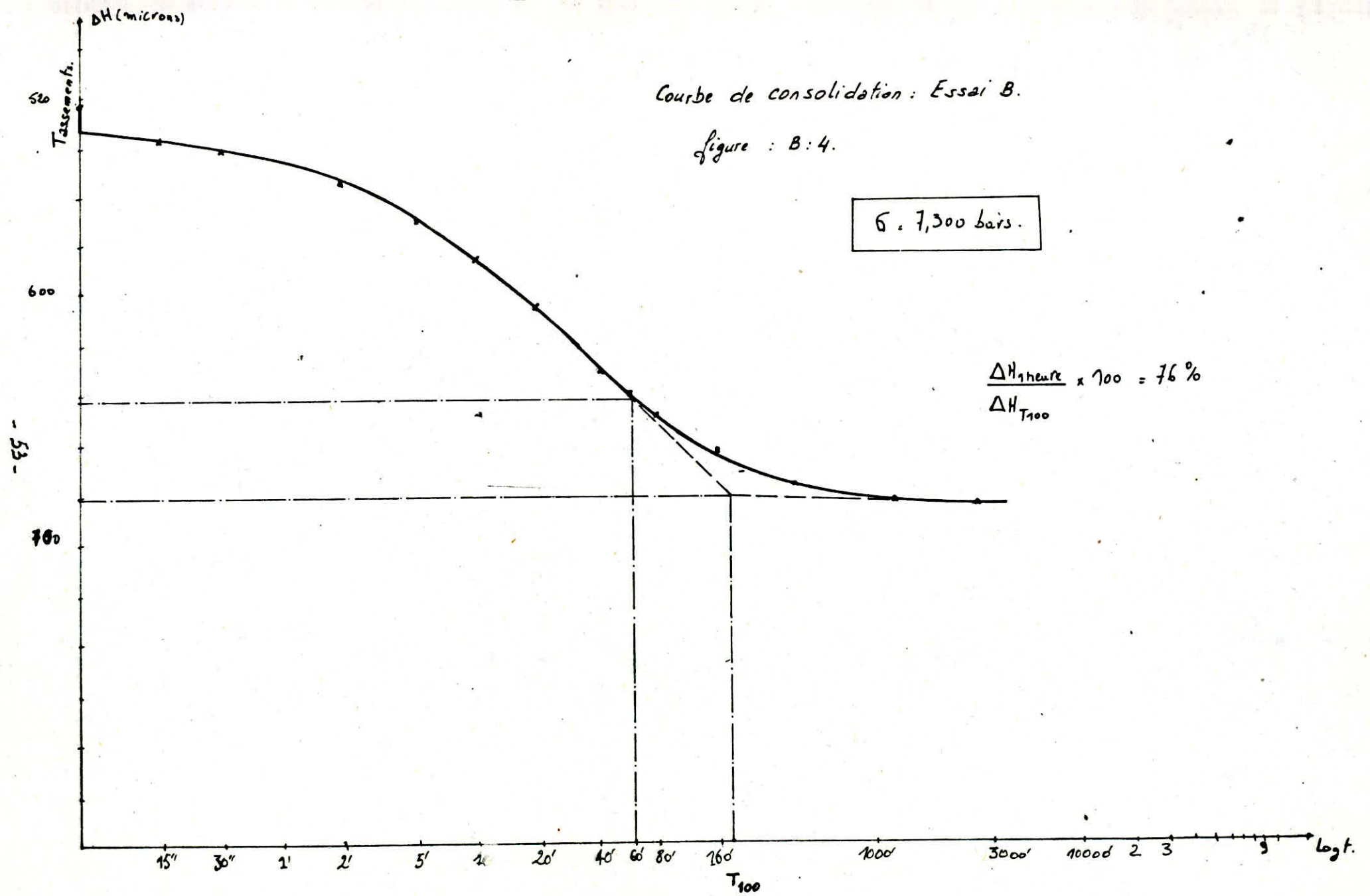


Courbe de consolidation : Essai B.

figure : B:4.

$\sigma = 7,300 \text{ bars.}$

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 76 \%$$



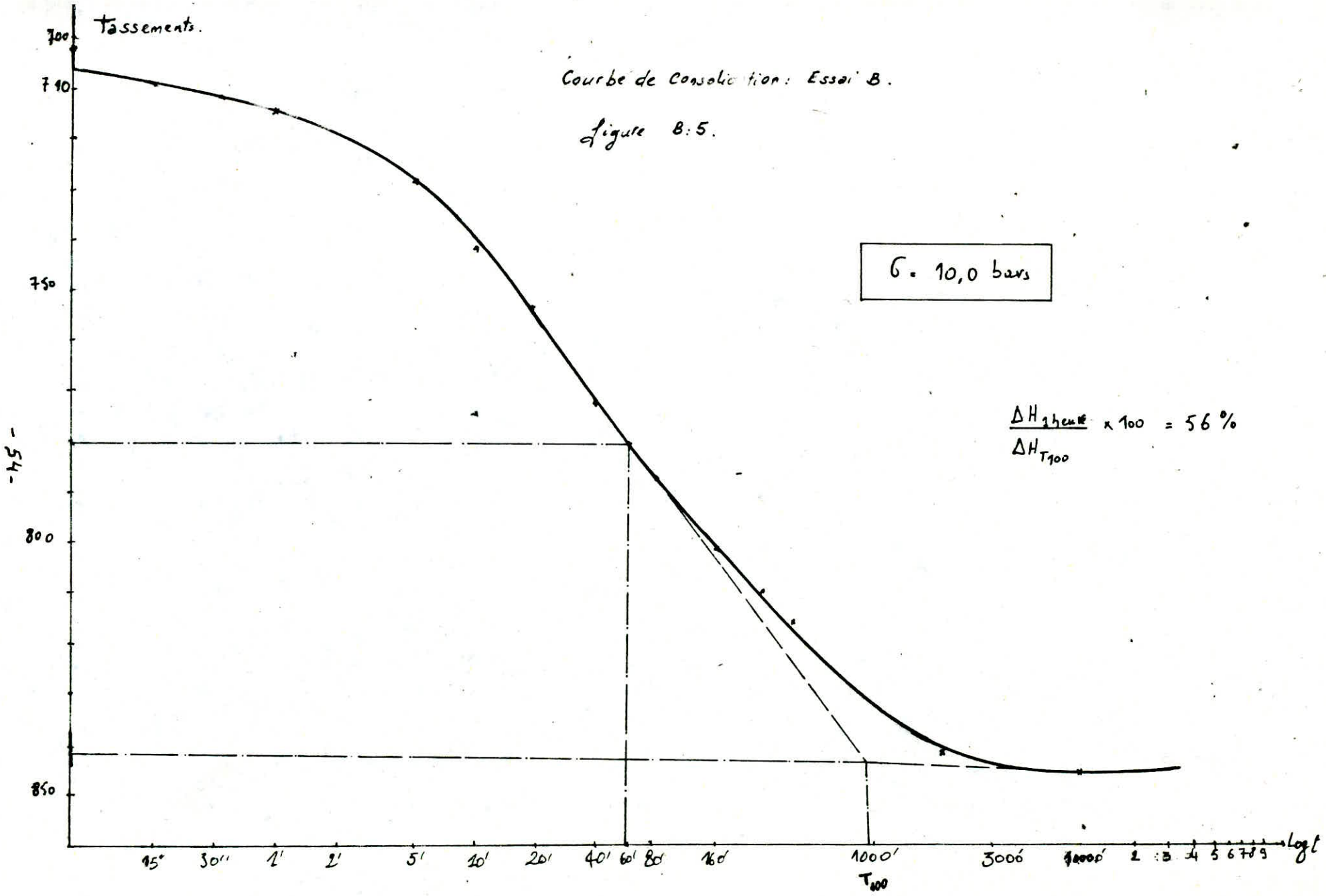
Tassements.

Courbe de consolidation: Essai B.

Figure B:5.

$\sigma = 10,0 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 56\%$$



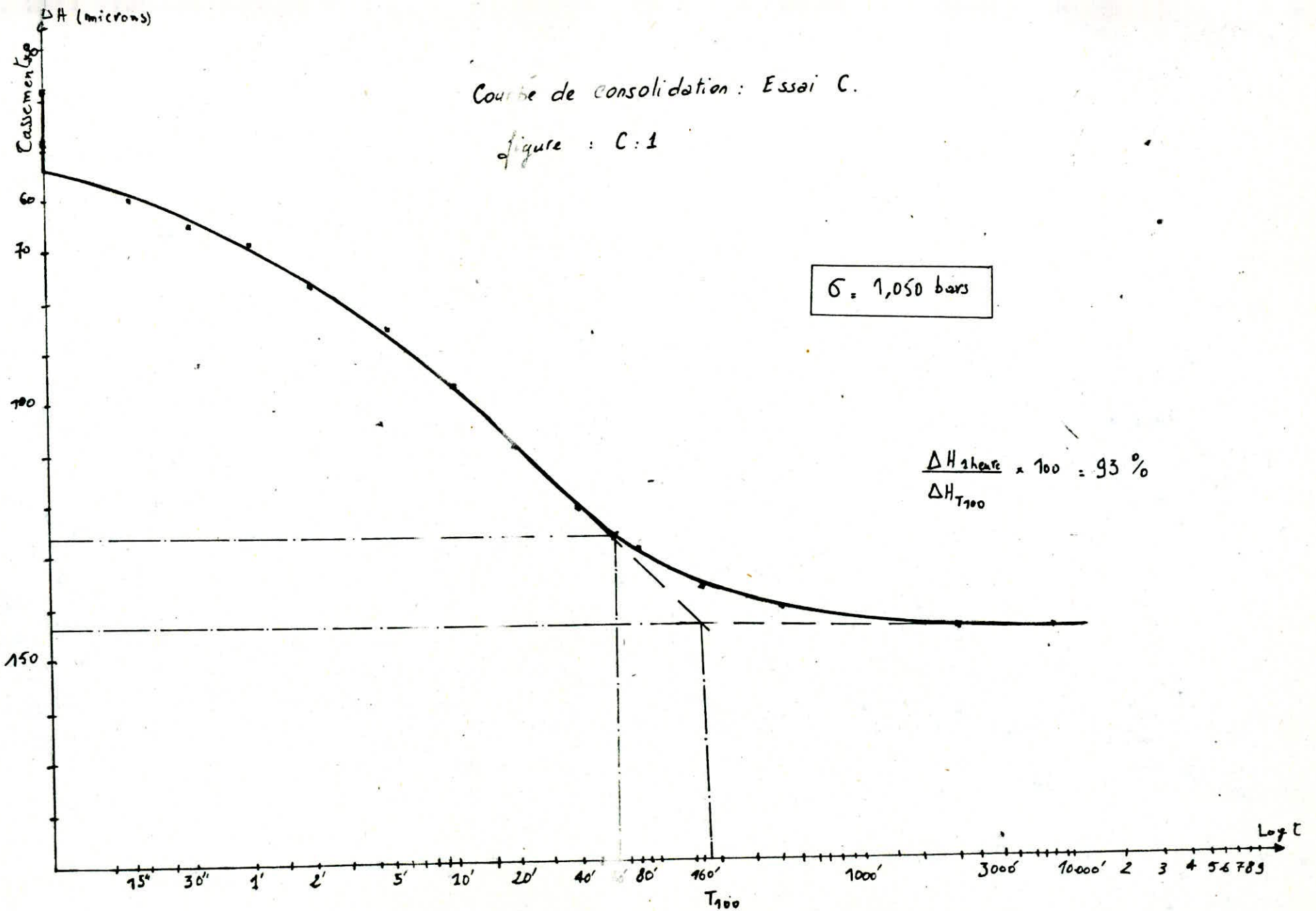
Courbe de consolidation : Essai C.

Figure : C:1

$\sigma = 1,050 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{\text{shear}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 93 \%$$

-55-



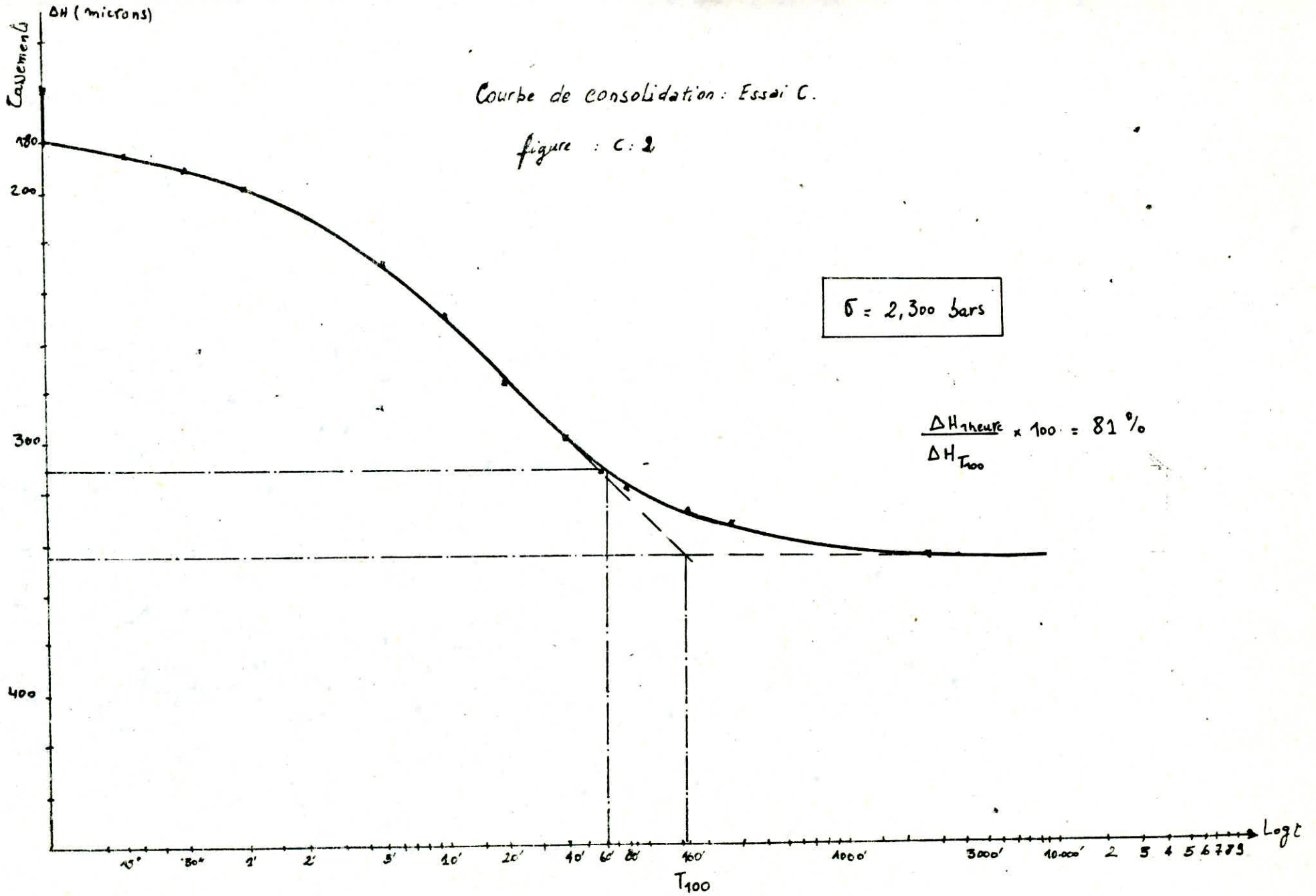
Courbe de consolidation: Essai C.

figure : C: 2

$\sigma = 2,300 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 81 \%$$

-56-



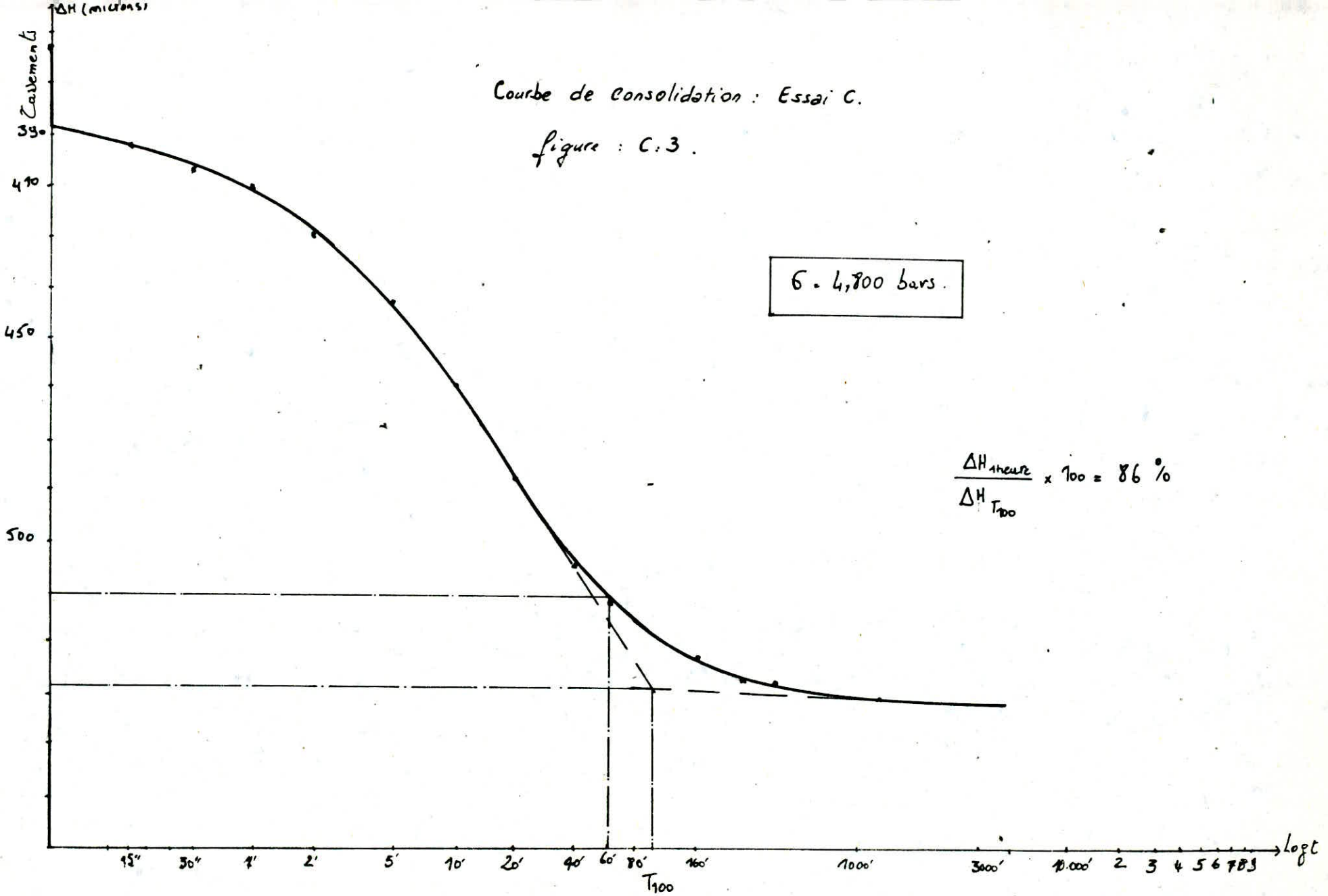
Courbe de consolidation : Essai C.

figure : C.3.

$\sigma = 4,800 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{1 \text{ heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 86 \%$$

- 57 -



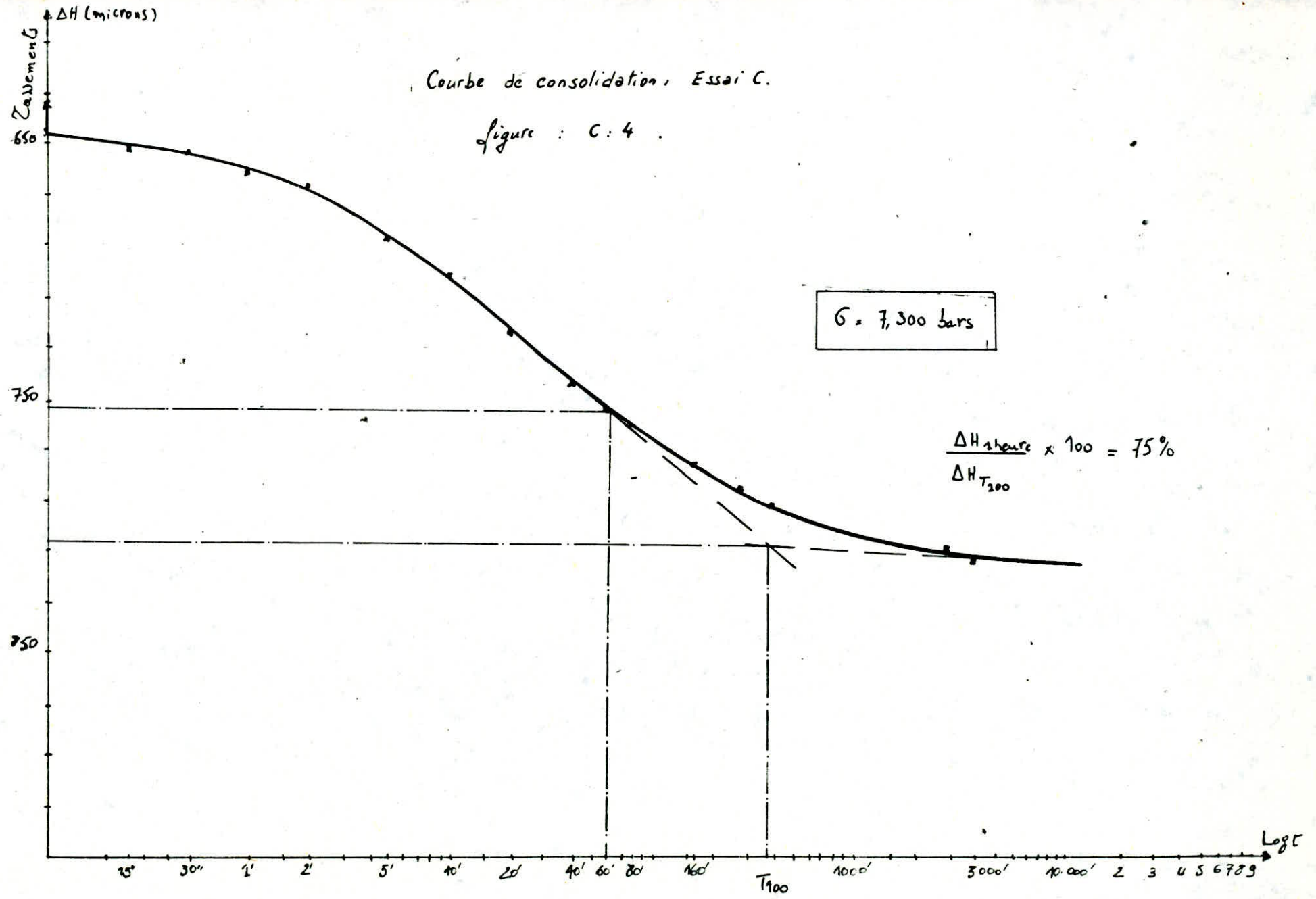
Courbe de consolidation, Essai C.

Figure : C: 4

$\sigma = 7,300 \text{ bars}$

$$\frac{\Delta H_{\text{heure}} \times 100}{\Delta H_{T_{200}}} = 75\%$$

- 85 -



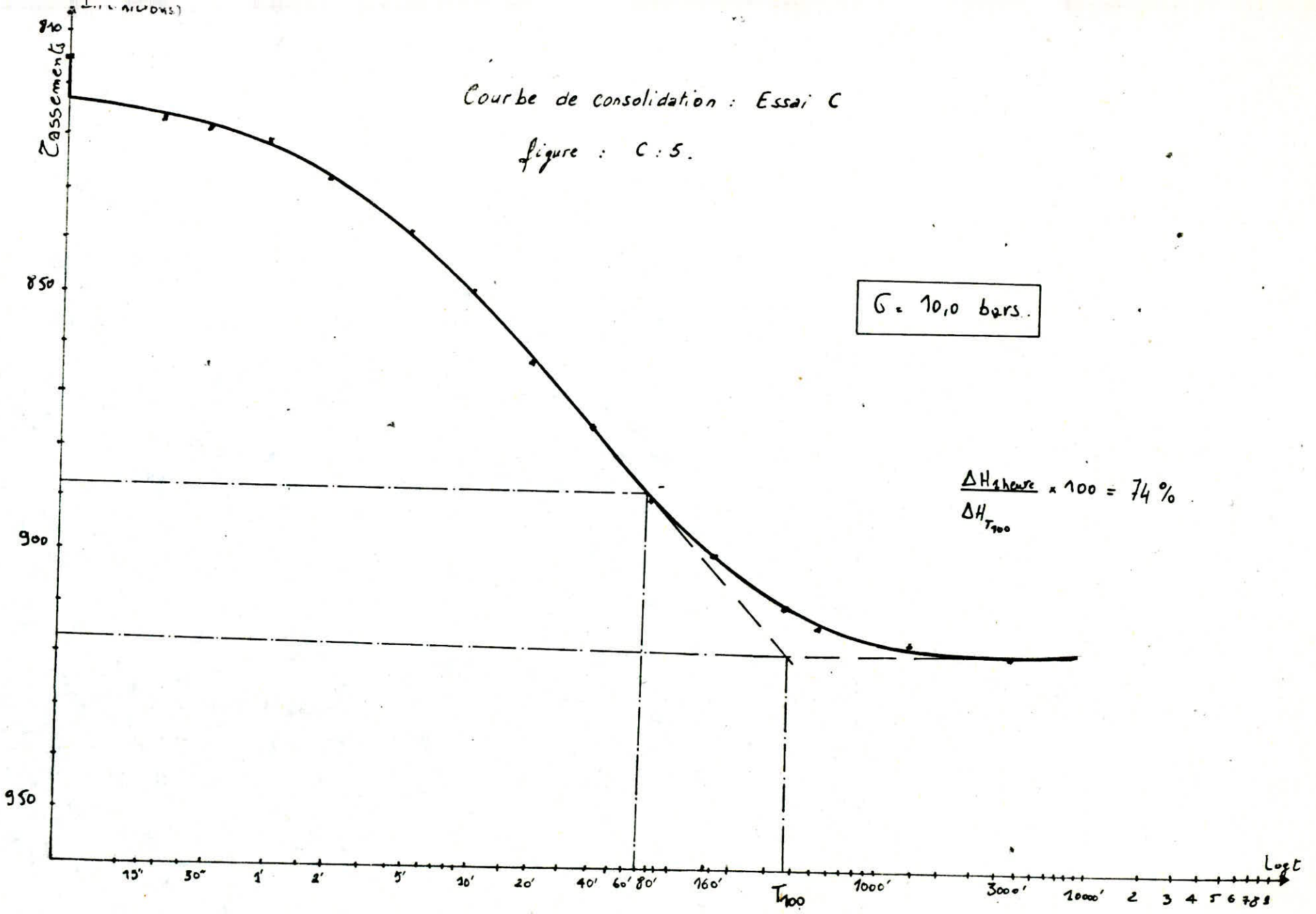
Courbe de consolidation : Essai C

figure : C:5.

$\sigma = 10,0 \text{ bars.}$

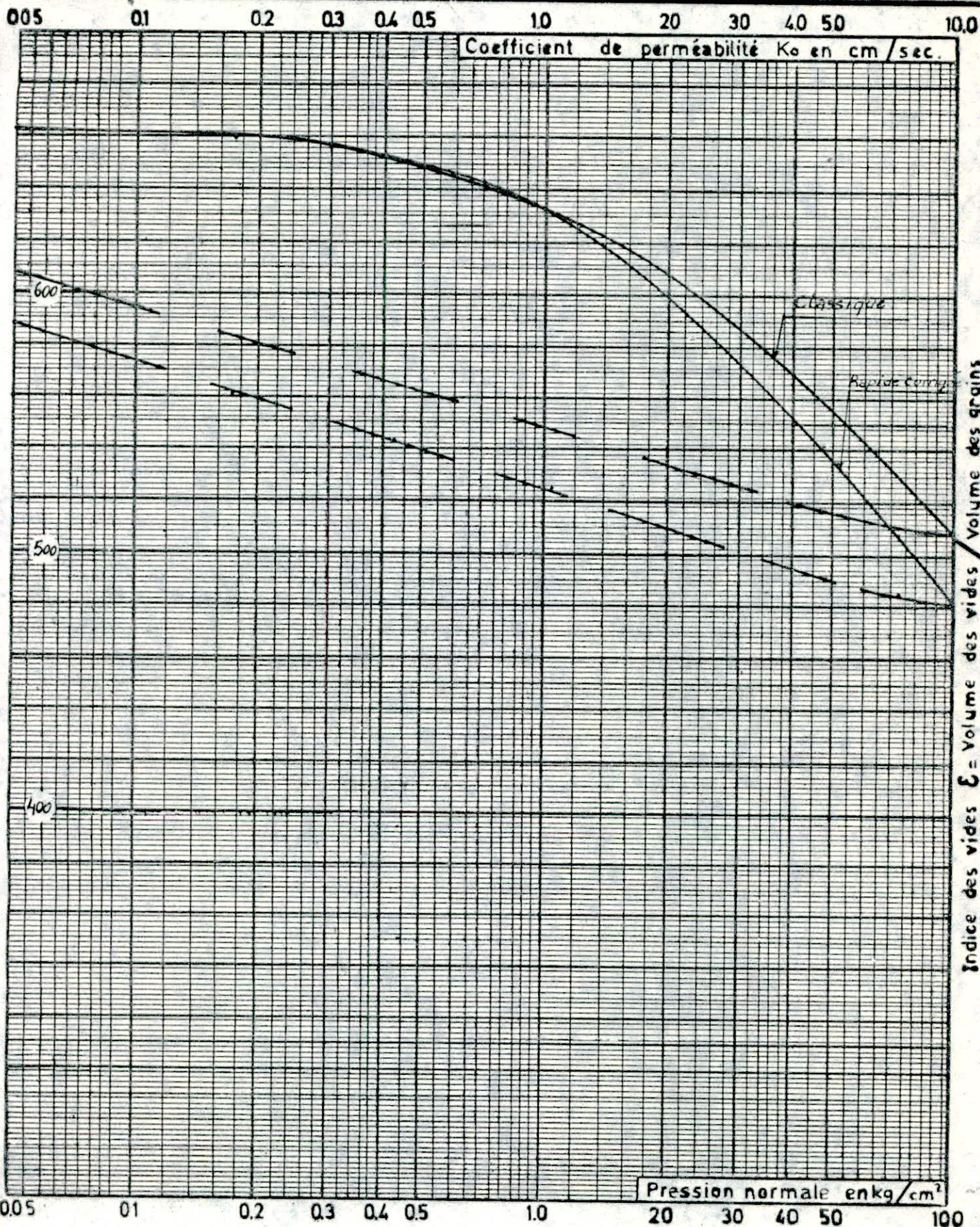
$$\frac{\Delta H_{\text{heure}}}{\Delta H_{T_{100}}} \times 100 = 74\%$$

- 59 -



# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

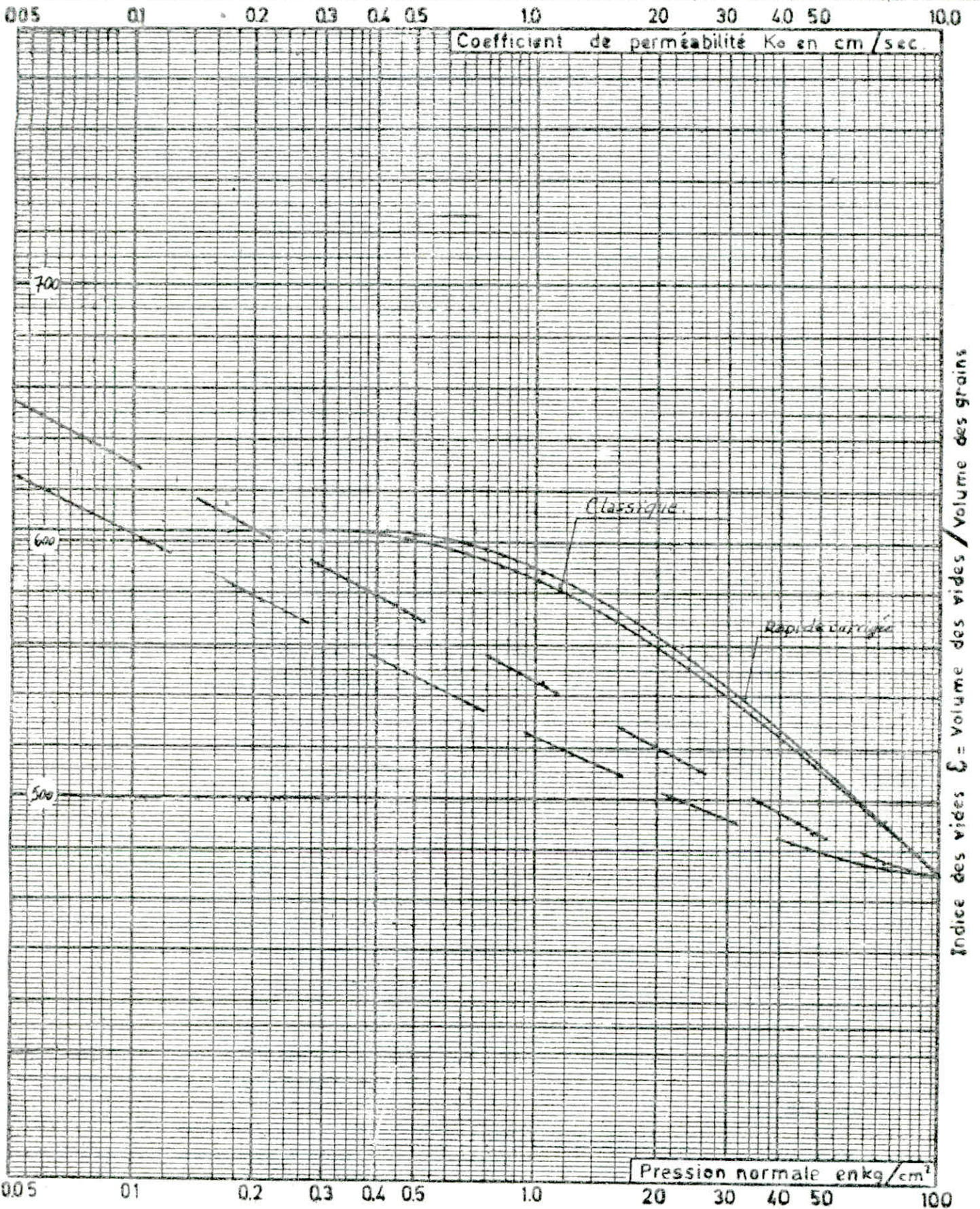
Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....





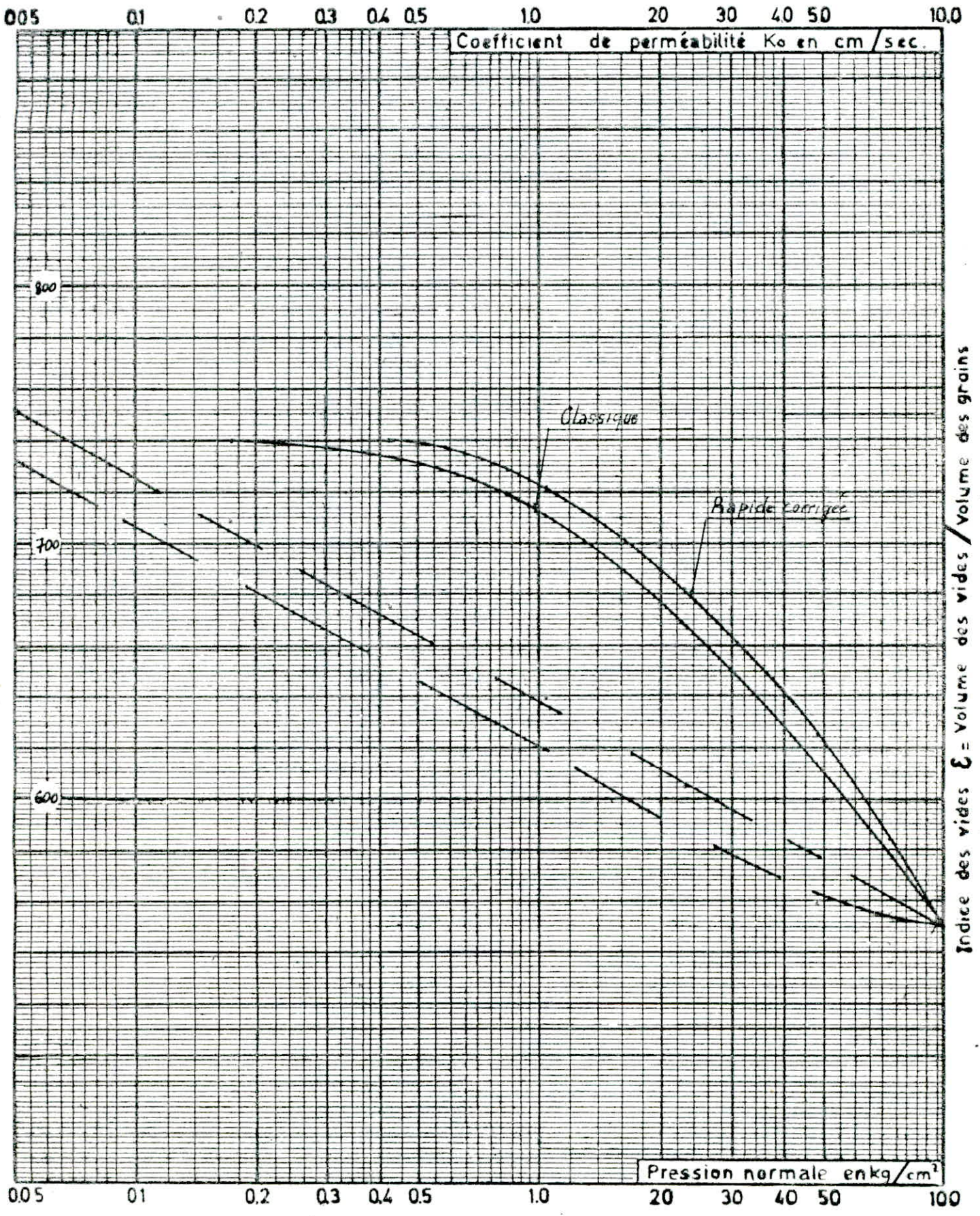
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



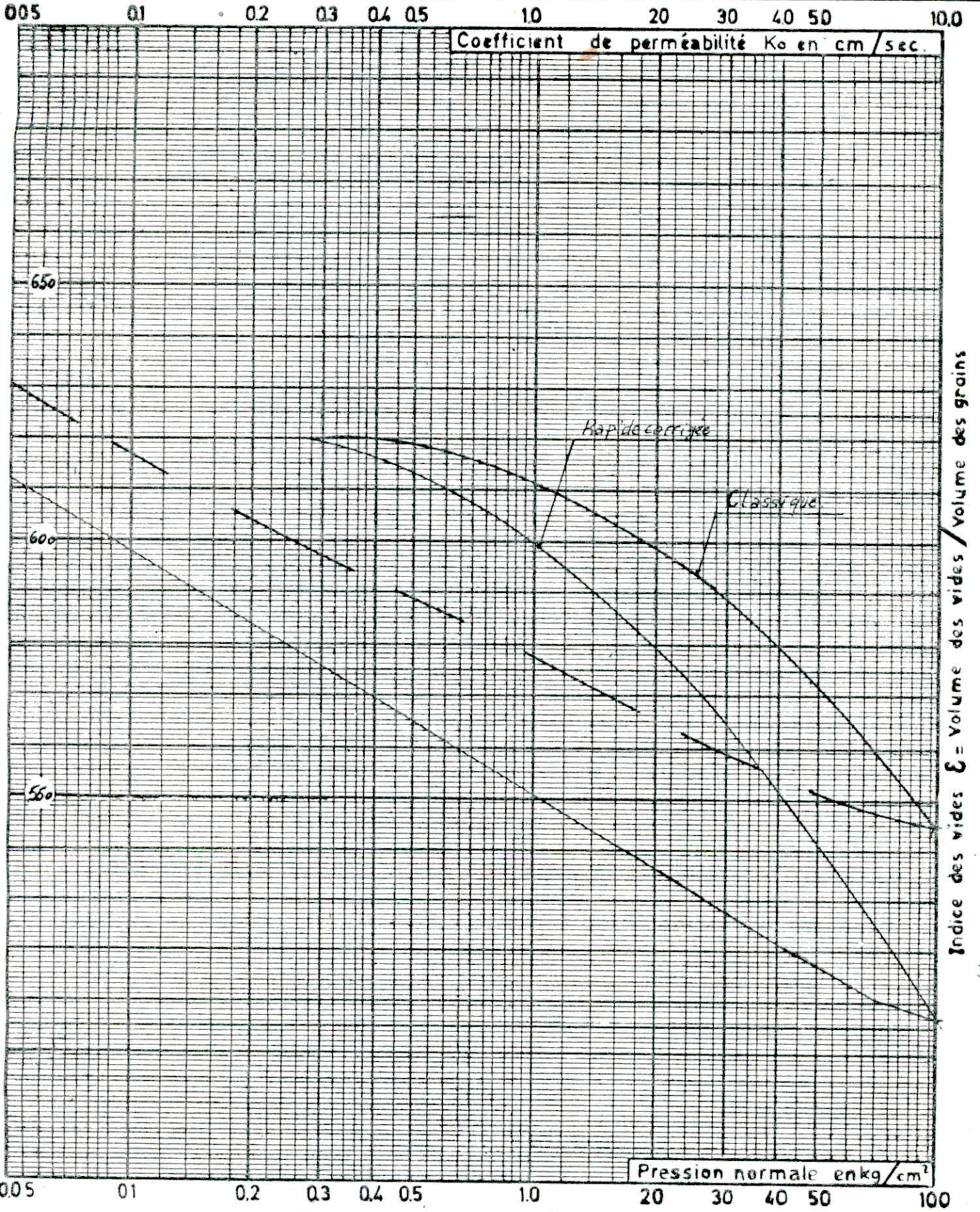
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



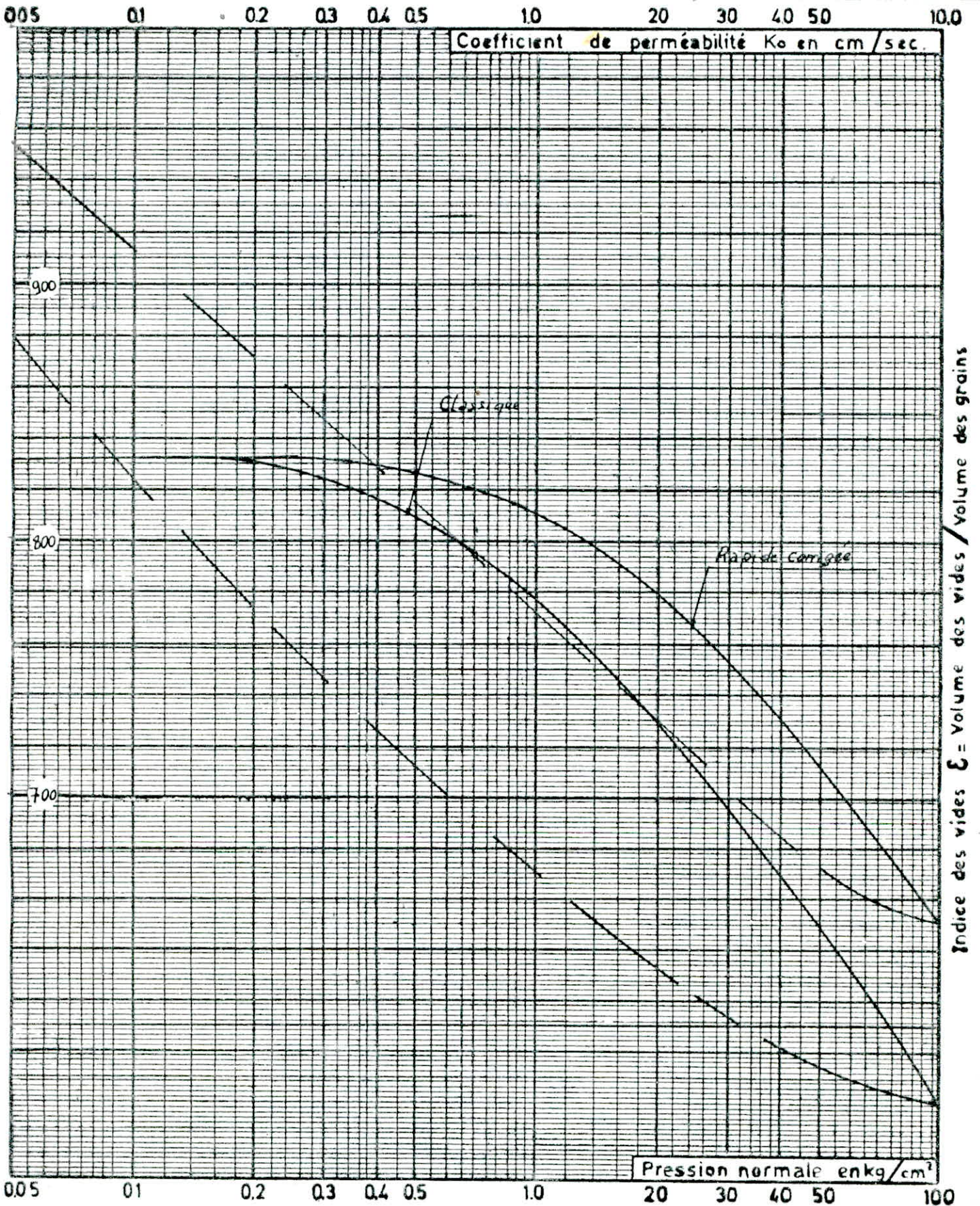
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

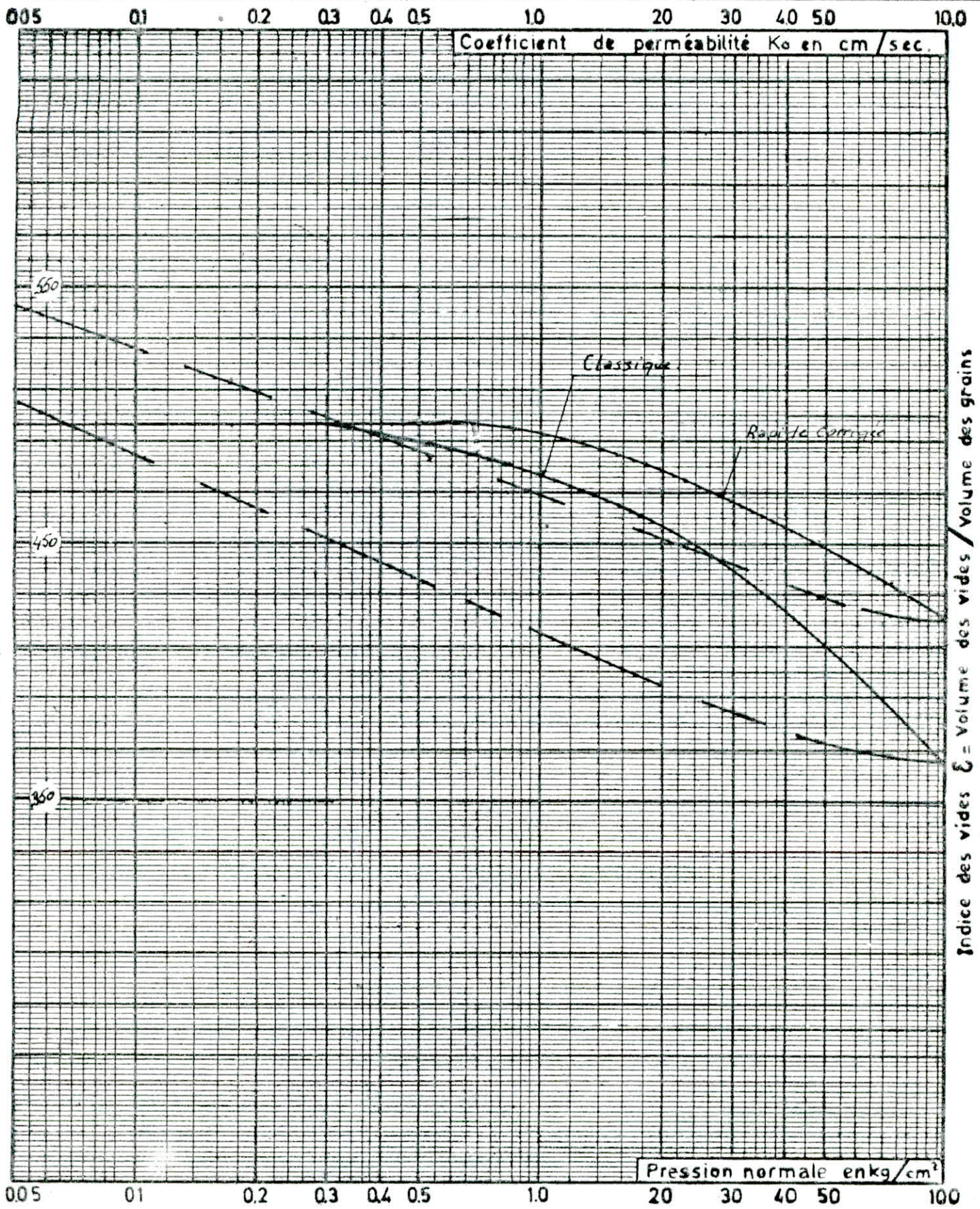
Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



Indice des vides  $\epsilon$  = Volume des vides / Volume des grains

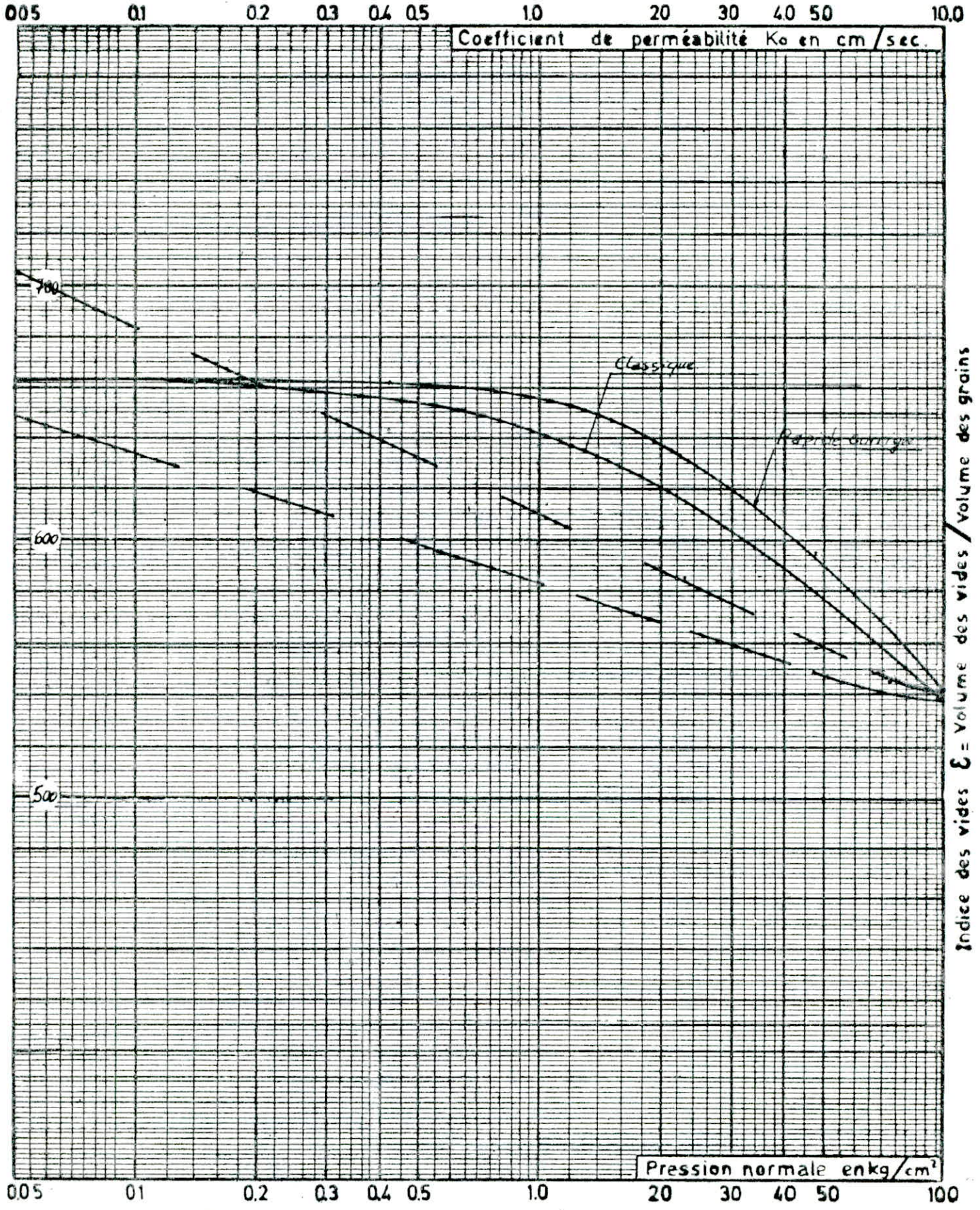
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....

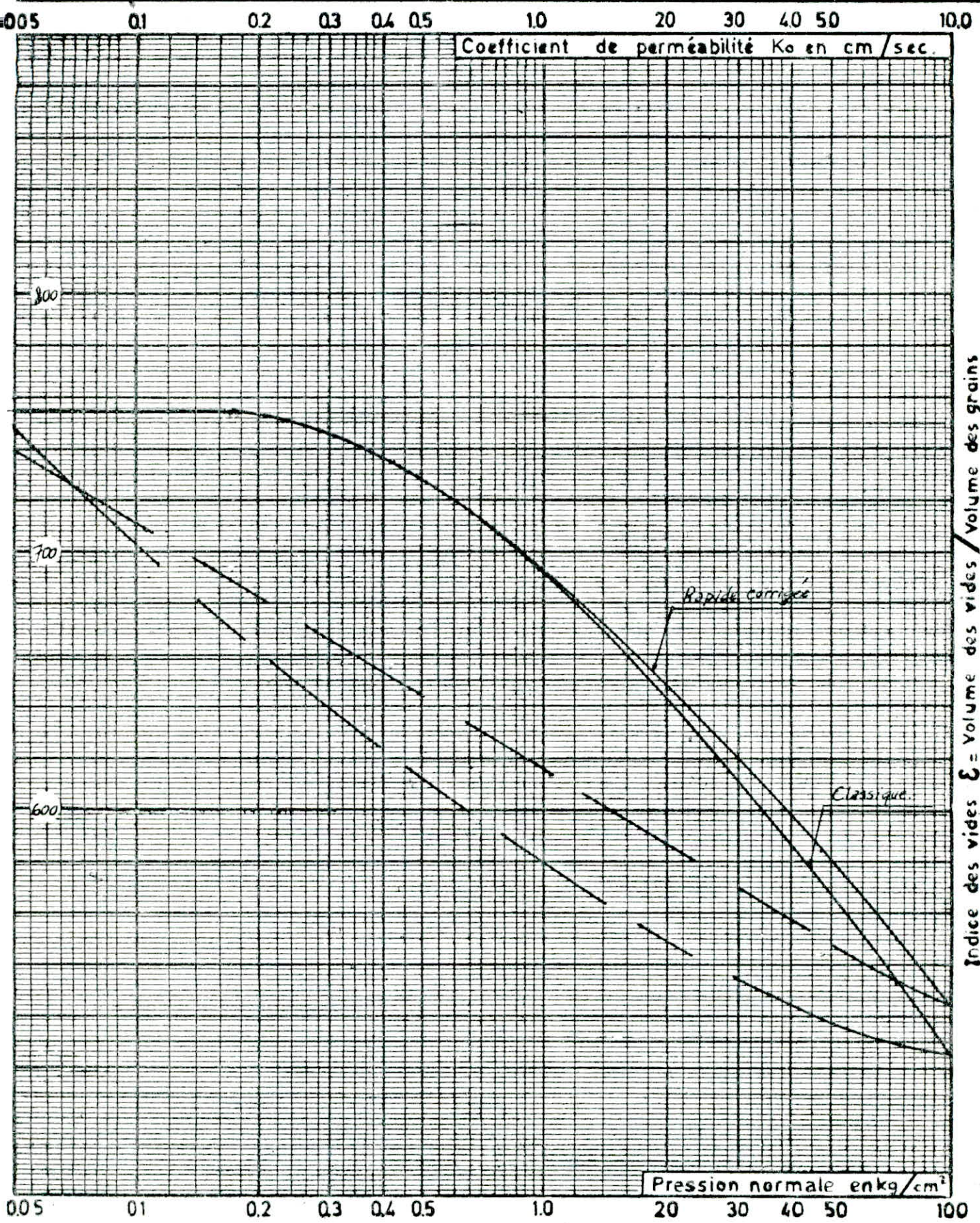


# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....

Echantillon : .....

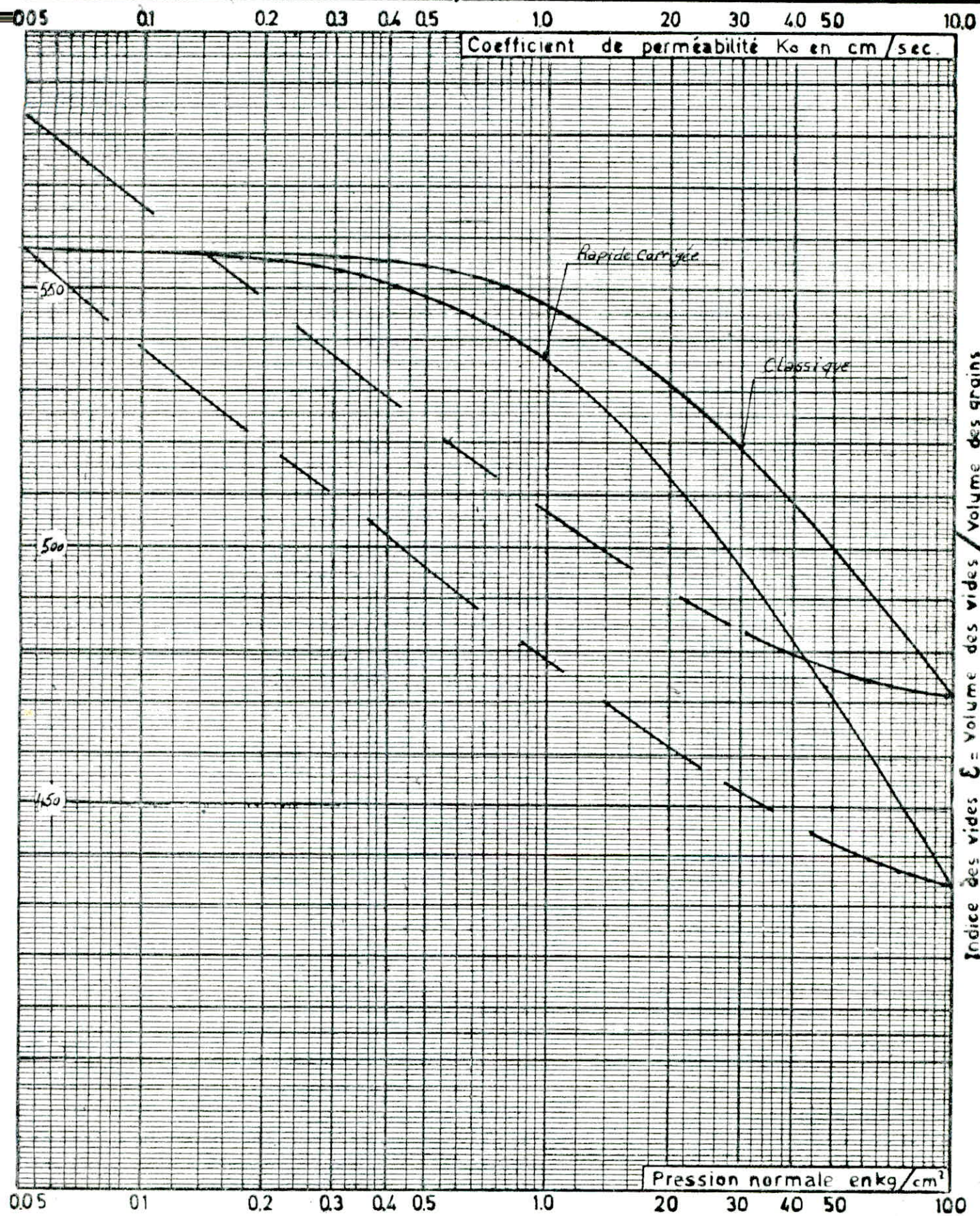
Profondeur : .....



Indice des vides  $\epsilon$  = Volume des vides / Volume des grains

# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



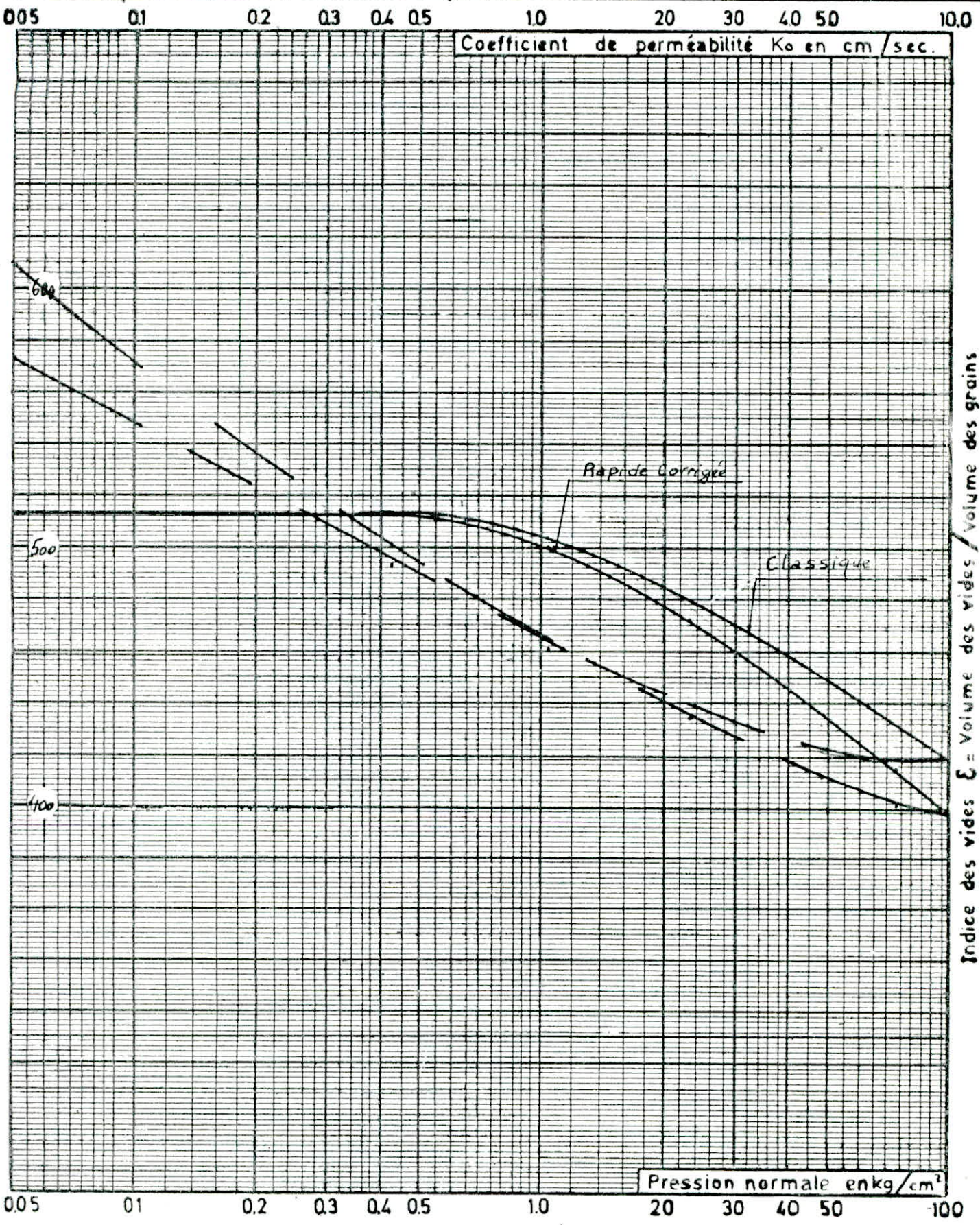


# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....

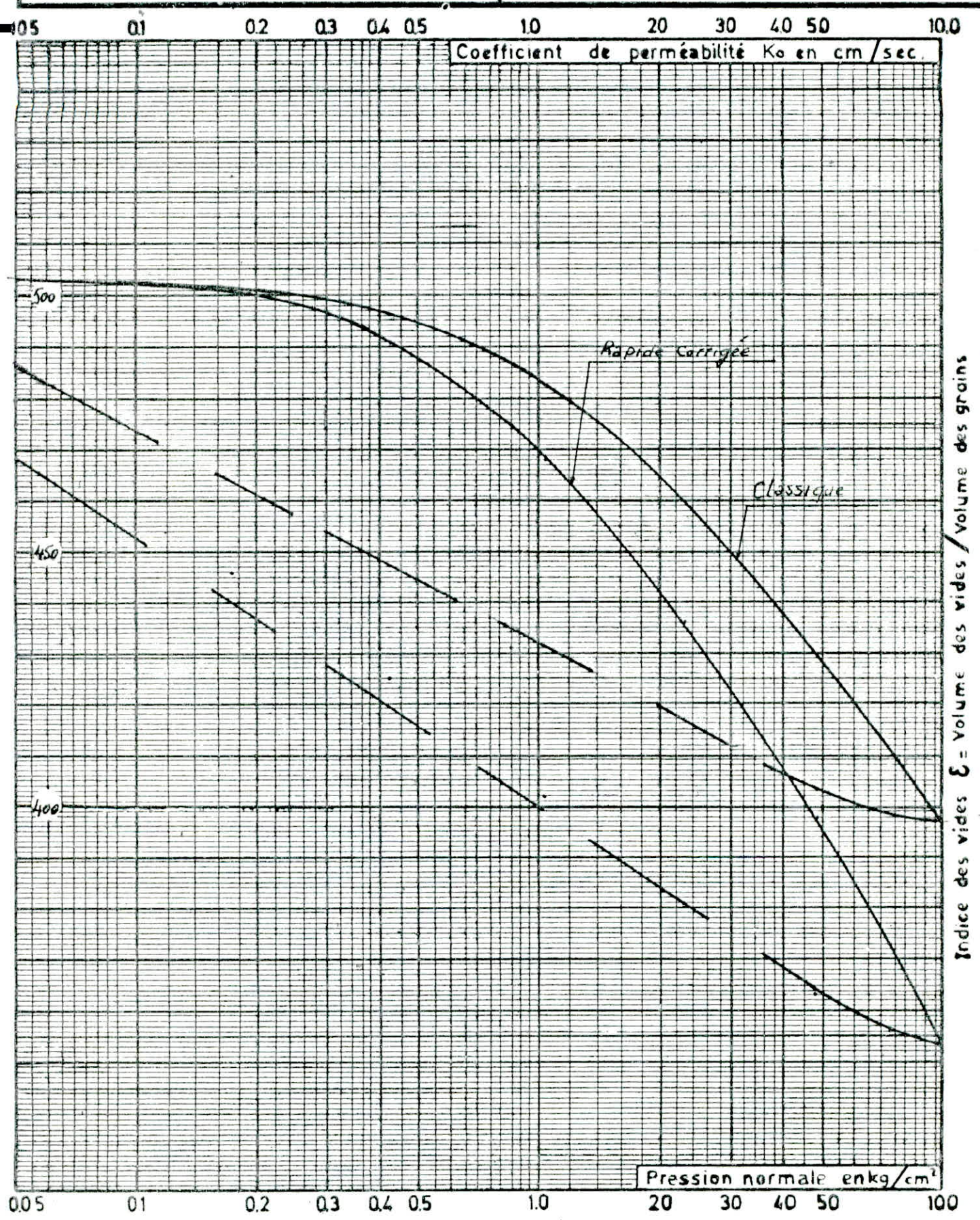
Echantillon : .....

Profondeur : .....



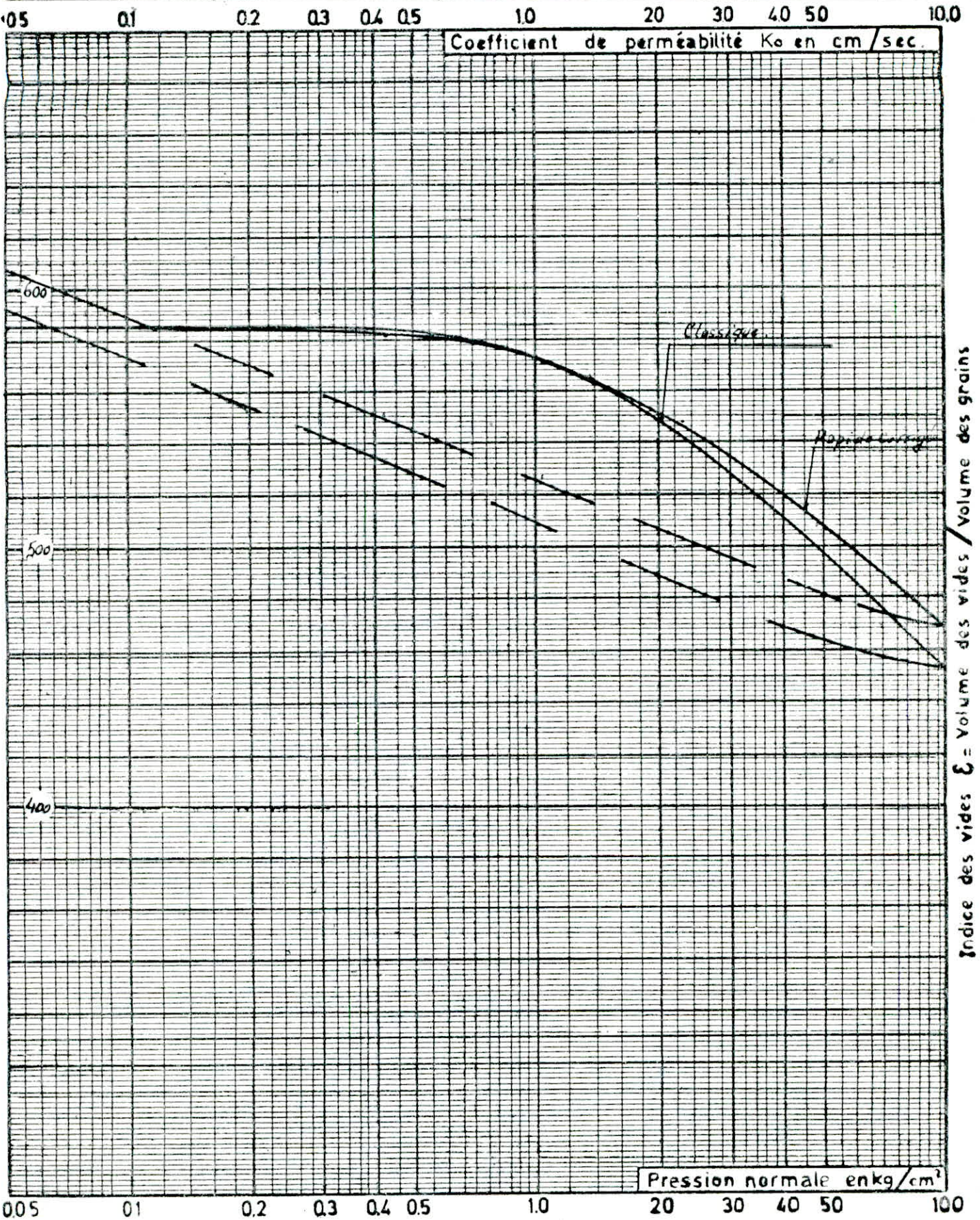
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



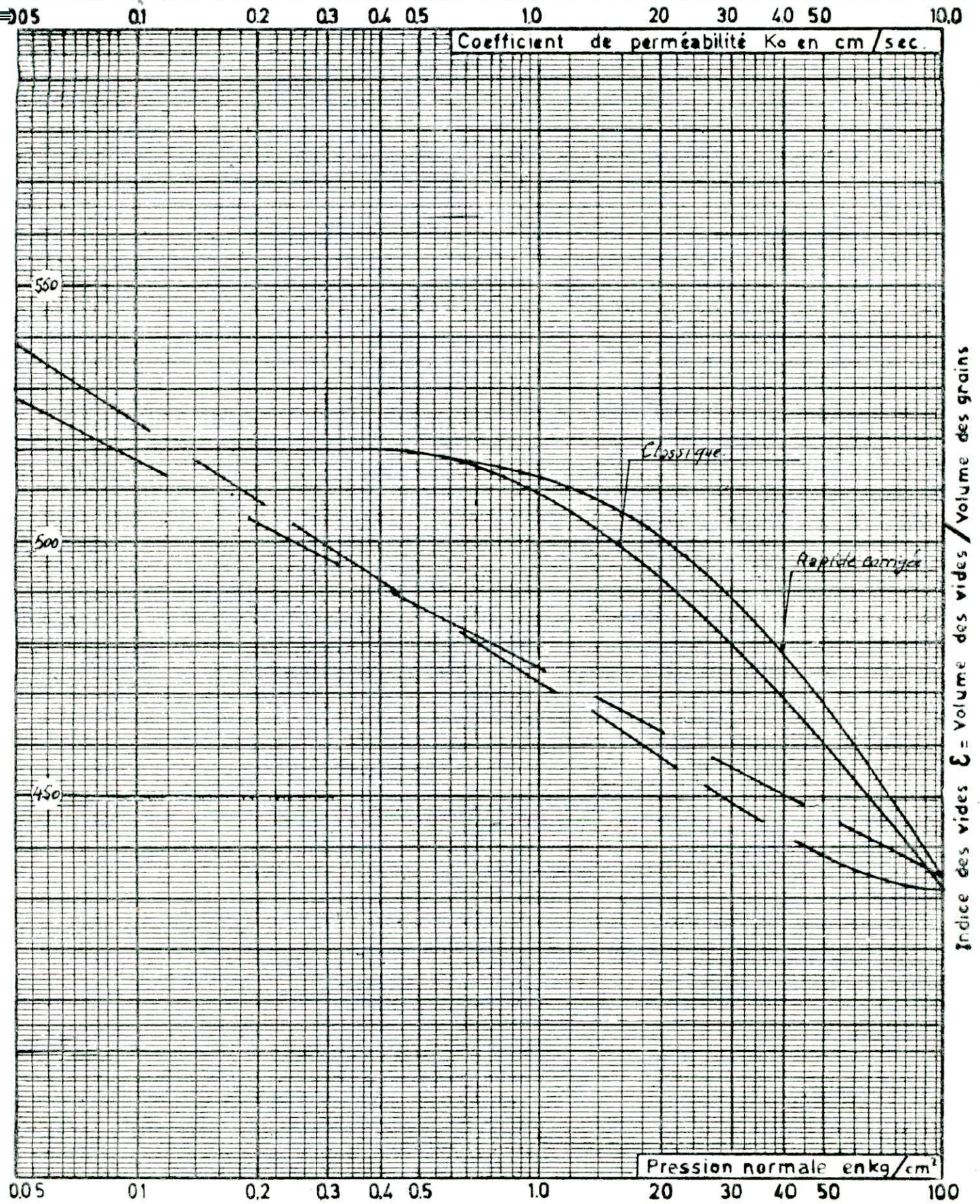
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



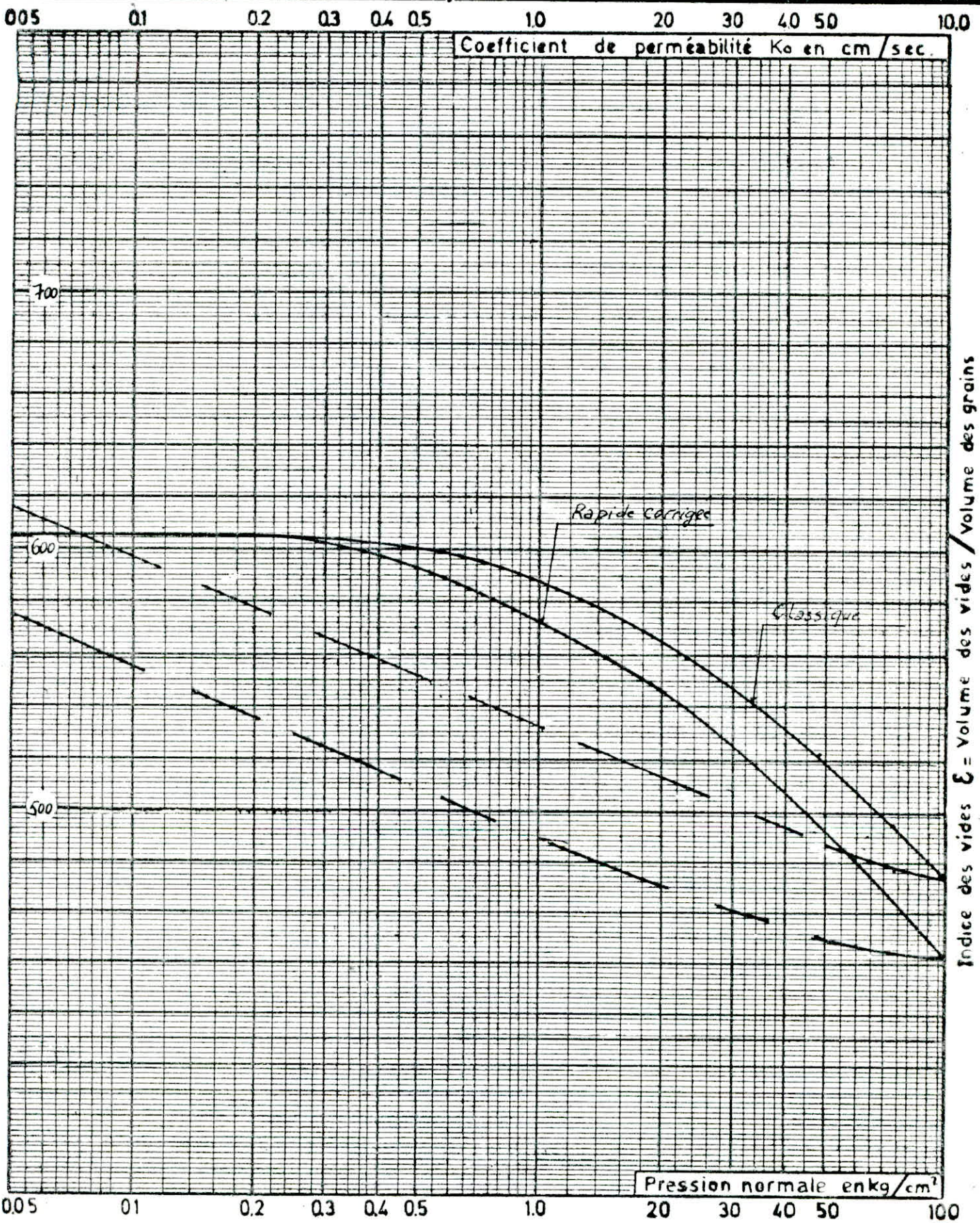
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



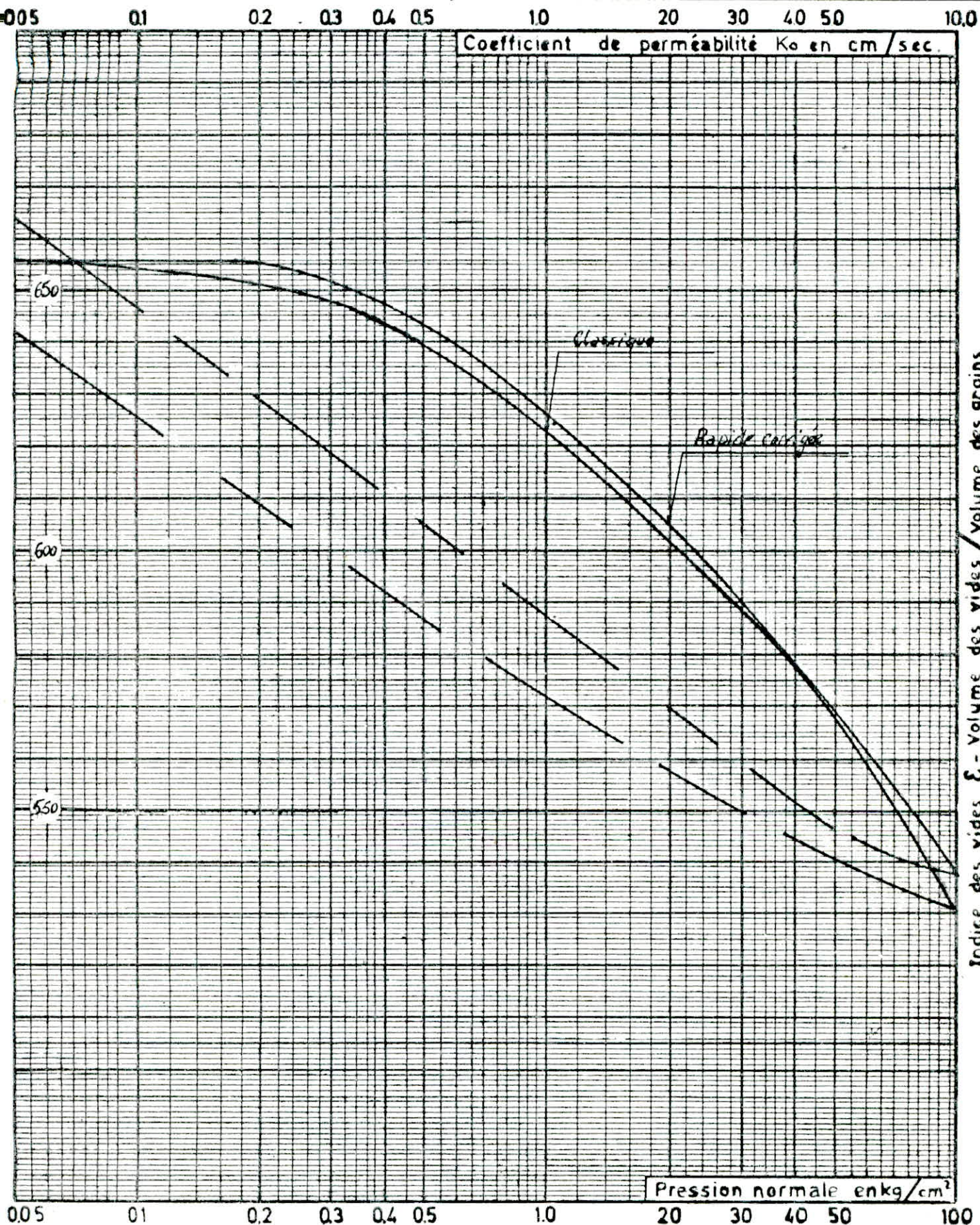
# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



# ESSAI DE COMPRESSIBILITE PERMEABILITE

Sondage : .....  
Echantillon : .....  
Profondeur : .....



## Bibliographie

- La pratique des sols et fondation . G. FILLIAT
- Problèmes pratique de mecanique des sols  
et de fondations . J. KERISEL
- Fondations et ouvrages en terres G. PHILIPPONNAT
- Cours pratique de mecanique des sols . J. COSTET . G. SANGLERAT
- Mesure de la compressibilité des sols par un  
essai œdométrique accéléré . Annales de l'I.T.B.T.P. février 77
- Essai de compressibilité "œdomètre" . Document du L.N.H.C Ouad.smar.

