

CND101428

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE

CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE
D'UN SOL ROUGE DE CASAMANCE

par

N. PITON
V.S.N. affecté à l'IRAT détaché à l'ISRA

Centre National de Recherches Agronomiques
de BAMBEY

Septembre 1981

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I. S. R. A.)

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Je remercie tout particulièrement pour leur contribution à cette étude :

Messieurs : Abdoulaye FAYE et Sitor NDOUR, observateurs au service de Bioclimatologie pour leur précieuse collaboration lors des mesures au champ.

Madame Ndèye FAYE née MBODJ pour la dactylographie du rapport.

R E S U M E

Cette expérience s'inscrit dans le cadre d'un programme de caractérisation hydrodynamique des principaux types de sols du Sénégal. Après les sols à texture légère de la moitié Nord du Sénégal, largement étudiés, il convenait de se pencher sur les sols à texture plus lourde en particulier ceux de Casamance.

On présente ici les résultats d'un essai mené sur un sol ferralitique faiblement désaturé du type sol rouge de transition (entre le sol rouge de crête et le sol beige ferrugineux tropical lessivé de plateau). Ce type, proche du sol rouge de crête, est soumis comme ce dernier, à une forte pression de la part des agriculteurs qui, devant l'épuisement des sols de plateau, se tournent vers les sols de pente encore peu mis en culture.

L'essai de caractérisation in situ a été effectué suivant les méthodes dites du "drainage interne" et du "bilan". On met en évidence les importantes variations verticales des paramètres hydrodynamiques, variations directement reliées à des changements de texture des horizons.

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
I - <u>CARACTERISATION DU SITE DE L'ESSAI</u>	1
I-1. Localisation	1
I-2. Caractères pédologiques.....	1
I-3. Le site de mesure.....	2
a) Choix du site	
b) Distribution ut variogramme des granulométries	
II - <u>ESSAI DC CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE</u>	5
II-1. Principe.....	5
II-2. Mesures d'humidité et de charge hydraulique.....	5
II-3. Description du dispositif expérimental.....	6
III - <u>CARACTERISTIQUES HYDRIQUES ET HYDRODYNAMIQUES : Résultats</u>	7
III-1. Essai en redistribution interne	7
III-2. Evolution des profils hydriques et tensiométriques en drainage interne.....	7
III-3. Evolution en conditions naturelles.....	7
III-4. Caractéristiques hydrodynamiques.....	7
1) - relation $h(\theta)$	7
2) - relation $k(\theta)$	8
IV - <u>RESERVE UTILISABLE, COMPARAISON AVEC D'AUTRES SOIS SENEGALAIS</u>	10
A - Définition.....	10
1) - H_{CR}	10
2) - $Pf_{4,2}$	10
3) - $R.V$	10
B1 - Résultats	10
<u>CONCLUSION</u>	11
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	12

I - CARACTERISATION DU SITE DE L'ESSAI

I.1 - Localisation

Cet essai a été réalisé sur un sol dit "rouge de transition", type représentant le "passage" du sol ferrallitique de crête (sol rouge typique) au sol ferrugineux tropical lessivé de plateau (sol beige (Maignien 1961))

Le dispositif a été implanté sur la station ISRA de SEFA (Casamance) sur une parcelle laissée en jachère durant l'hivernage 80.

I.2 - Caractères pédologiques

- Les sols rouges, ferrallitiques, se caractérisent par un profil peu différencié, profond de plus de 300 cm, de couleur rouge uniforme et par l'absence de concrétionnement et de cuirassement. Faiblement désaturés, l'altération des minéraux primaires y est complète, l'argile kaolinique abondante. La variation de texture est continue sur le profil

- Les sols beiges se caractérisent, eux, par une individualisation du Fer et un lessivage de l'Argile qui amène en profondeur la formation d'un horizon plus ou moins colmaté (Maignien 1961, Hamon 1978).

cet horizon argileux influe sur l'immobilisation des oxydes de manganèse et de fer : on peut y trouver des concrétions et des cuirassés.

- Les sols rouges de transition se différencient à l'intérieur du groupe des sols rouges par une intensité de la couleur et des teneurs en argile plus faibles (35 % en profondeur contre 45 à 50 % pour les sols rouges de crête).

Quelques profils montrent une tendance à une accumulation d'argile mais toujours à une profondeur élevée (90 à 140 cm). On pense que ce phénomène préfigure le passage aux sols ferrugineux tropicaux, beiges, de pente où l'horizon B textural est très près de la surface, conséquence possible des phénomènes d'érosion et de remaniement.

On note aussi un début de ségrégation du fer entre 90 et 200 cm, dans une matière rouge qui se décolore progressivement par la suite (Fauck, Seguy, Tobias, 1969).

1.3 - Le site de mesure

a) Le choix du site

En vue de choisir un point aussi représentatif que possible de la parcelle (voire du type de sol) nous avons préalablement procédé à une simple prospection à la tarière.

On a ainsi pu aux 25 nœuds d'un carré de 60 m de côté (maille de 15 m) appréhender les stocks d'eau sur 0-100 cm (Février 1981). La distribution de ces stocks semble être de type "normal" les moyennes arithmétique et géométrique, sont voisines, respectivement 136,3 et 135,6 mm (figure 1)

Nous avons également voulu construire le variogramme de cette population désirant connaître la distance minimale dont il faudrait "théoriquement" séparer deux prises d'échantillon pour pouvoir considérer les mesures de stocks hydriques en ces deux points, indépendantes.

Au delà d'une distance de 54 mètres le nombre de couples de points est trop faible pour prendre en compte le terme

$$\frac{1}{2N} \sum_{i,j} (x_i - x_j)^2$$

N : nombre de couples de points distants de h

La distance minimale recherchée nous est donnée par le plateau de variogramme $h = 30$ mètres environ, le plateau "théorique du variogramme" se situe à $2\sigma^2$ ce qui est donc le cas ici (figure 2)

En raison de sa proximité de la moyenne des **stocks** nous avons **choisi** le nœud n° 9 pour y implanter le site principal ($S_9 = 140.0$ $\bar{S} = 135.3$ mm)

Un autre site, simplifié, sera installé, non loin du premier, Ce 2° essai devait nous permettre de multiplier les données et d'évaluer l'importance des **diffusions** latérales.

b) Distribution et variogramme des granulométries

Les teneurs en Argile (à 100 cm) sont également distribuées selon une loi normale (moy arithmétique 35.2 %, moy géométrique 35.0 %)

(Fig 2)

Pour construire le variogramme de la granulométrie nous avons prélevé 16 échantillons supplémentaires dans un carré de 15 mètres de côté de manière à pouvoir calculer le terme $2 \gamma(h)$ pour des distances h plus faibles. Sur ce variogramme (figure IV) la portée est également d'environ 30 m c'est à dire qu'au delà de cette distance la moyenne des carrés des écarts entre 2 prises se stabilise et est représentative de l'échantillon (plateau à $2 \sigma^2$).

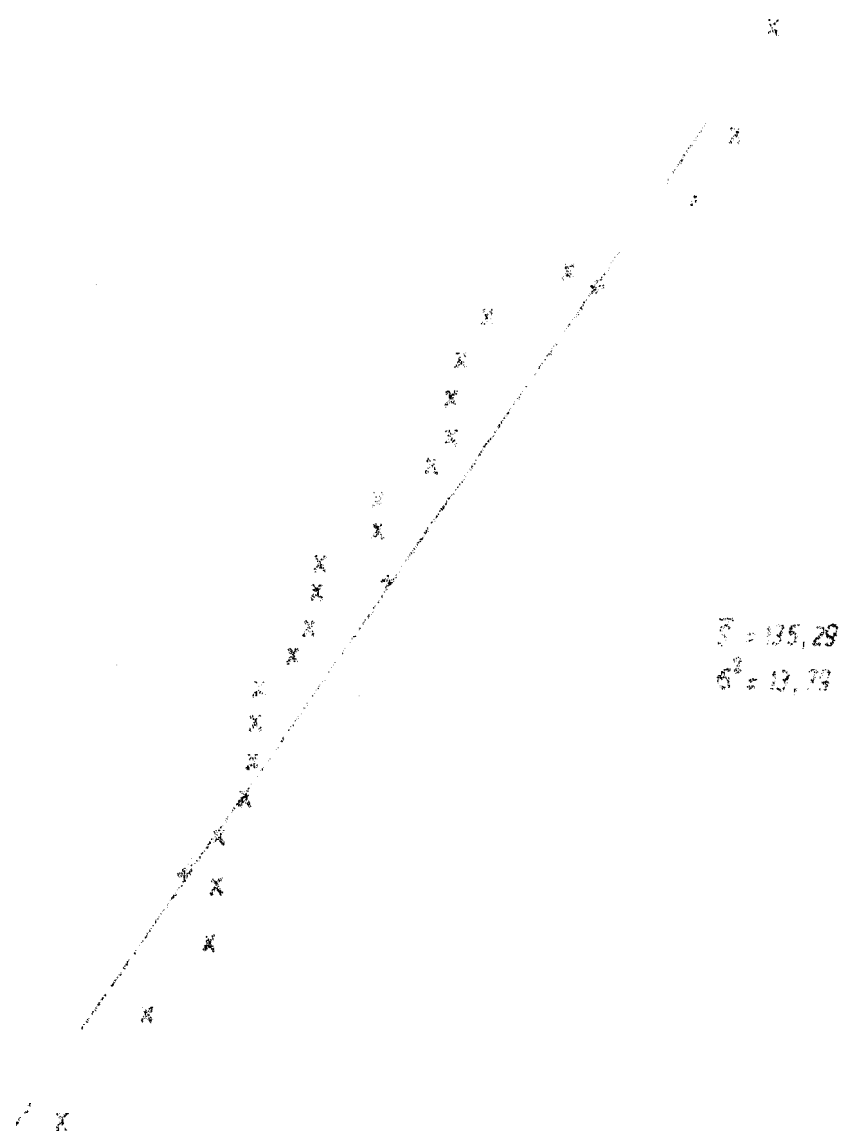
Le nœud n° 8 se trouve encore une fois proche de la normale en ce qui concerne la teneur moyenne en Argile sur 0-100 cm : 24.1 % (teneur moyenne 23,85 %) le nœud N° 13 a une teneur moyenne de 23,4 % proche donc, elle aussi, de la normale. (voir page 4)

Il faut remarquer l'excellente relation entre le stock hydrique en saison sèche sur 0-100 cm et la teneur moyenne en Argile sur 0-100 cm (page 4)

$$S(0-100) = 4,88 A\% + 19,8$$

$$r = 0,936$$

Fig. 1 : Distribution des stocks hybrides



$$S = 11,75$$

$$V_{\text{minimale}} = 25 \times 2 = 500,1$$

N = nombre de couples de points adjoints de h

X = Stock hydraulique sur $0 - 1000 \text{ cm}$

$$\frac{1}{N} \sum (x_i - x_j)^2$$

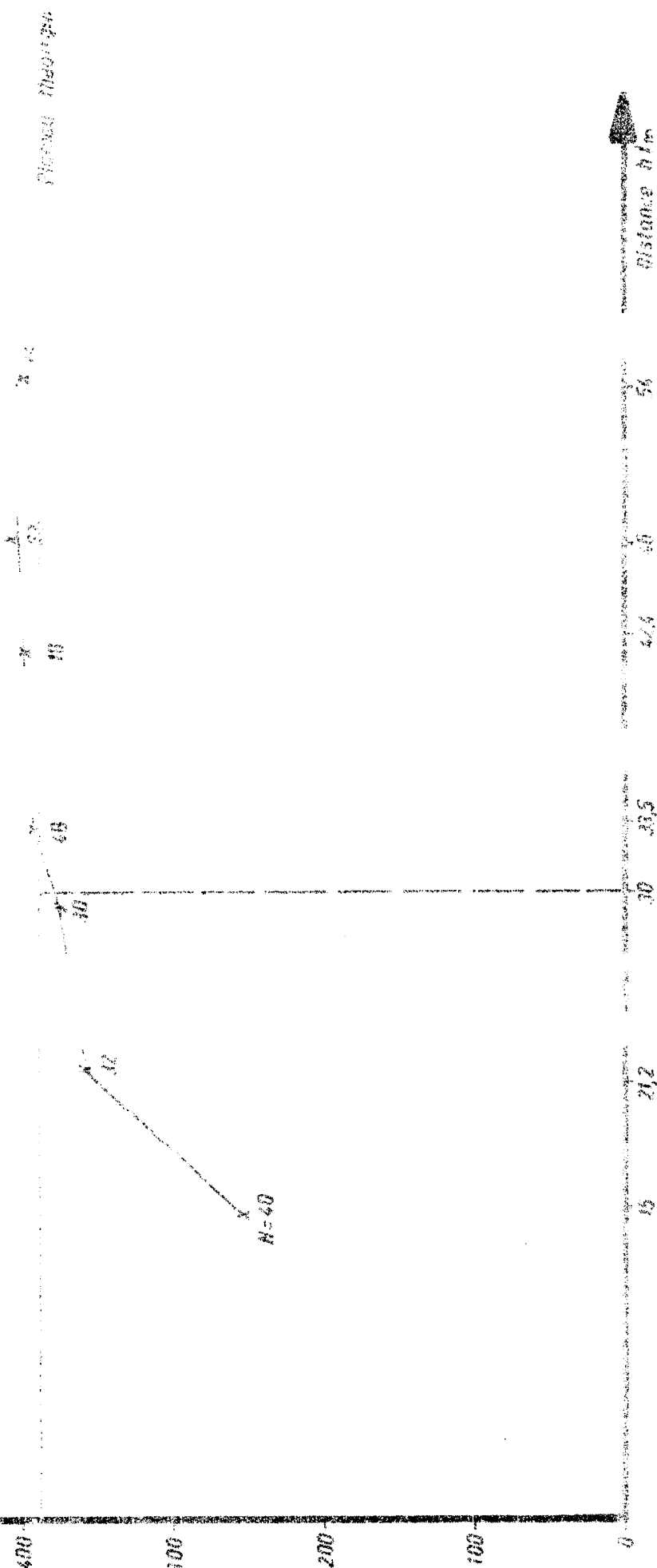
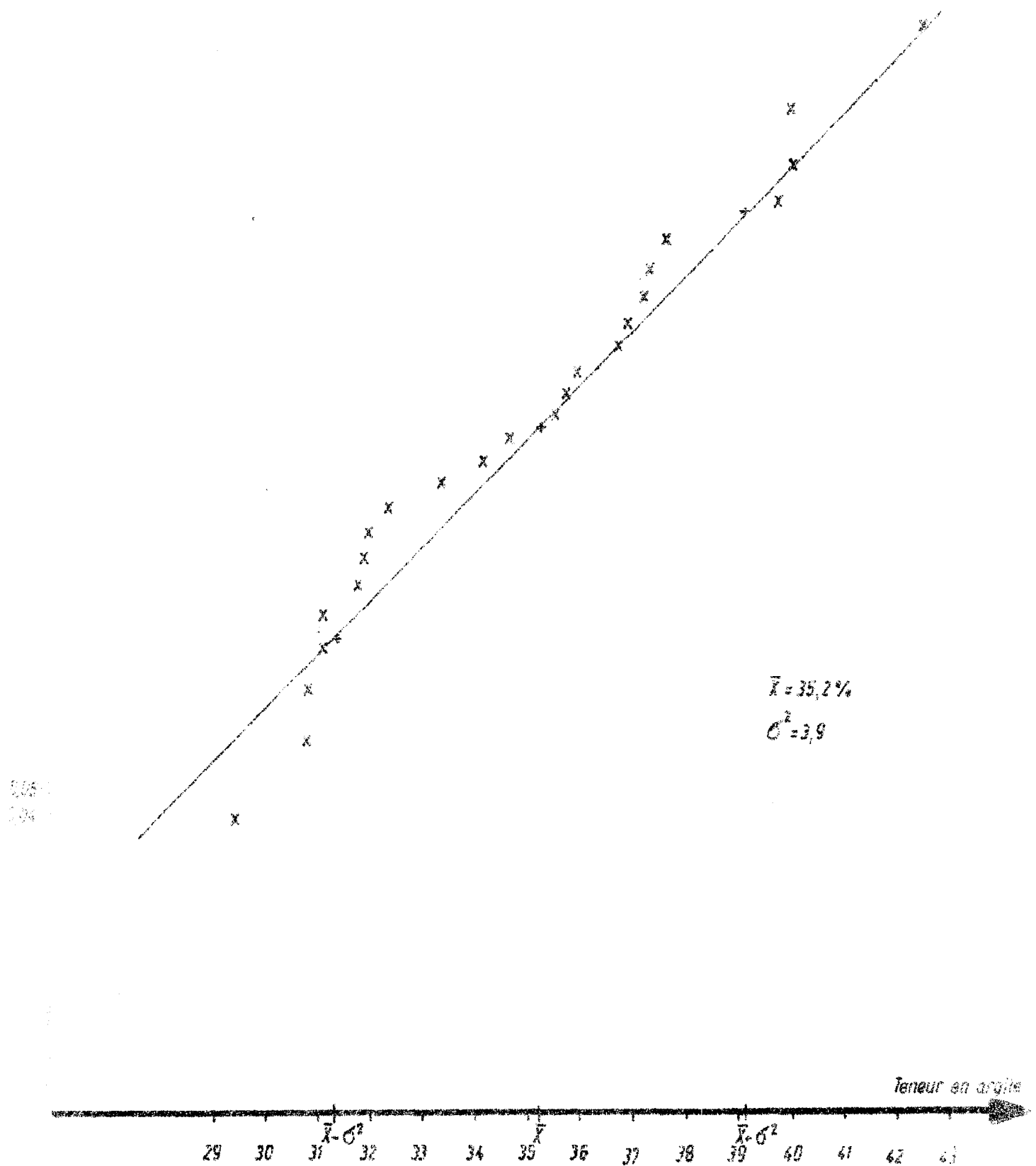


Fig. III : Distribution des granulométries



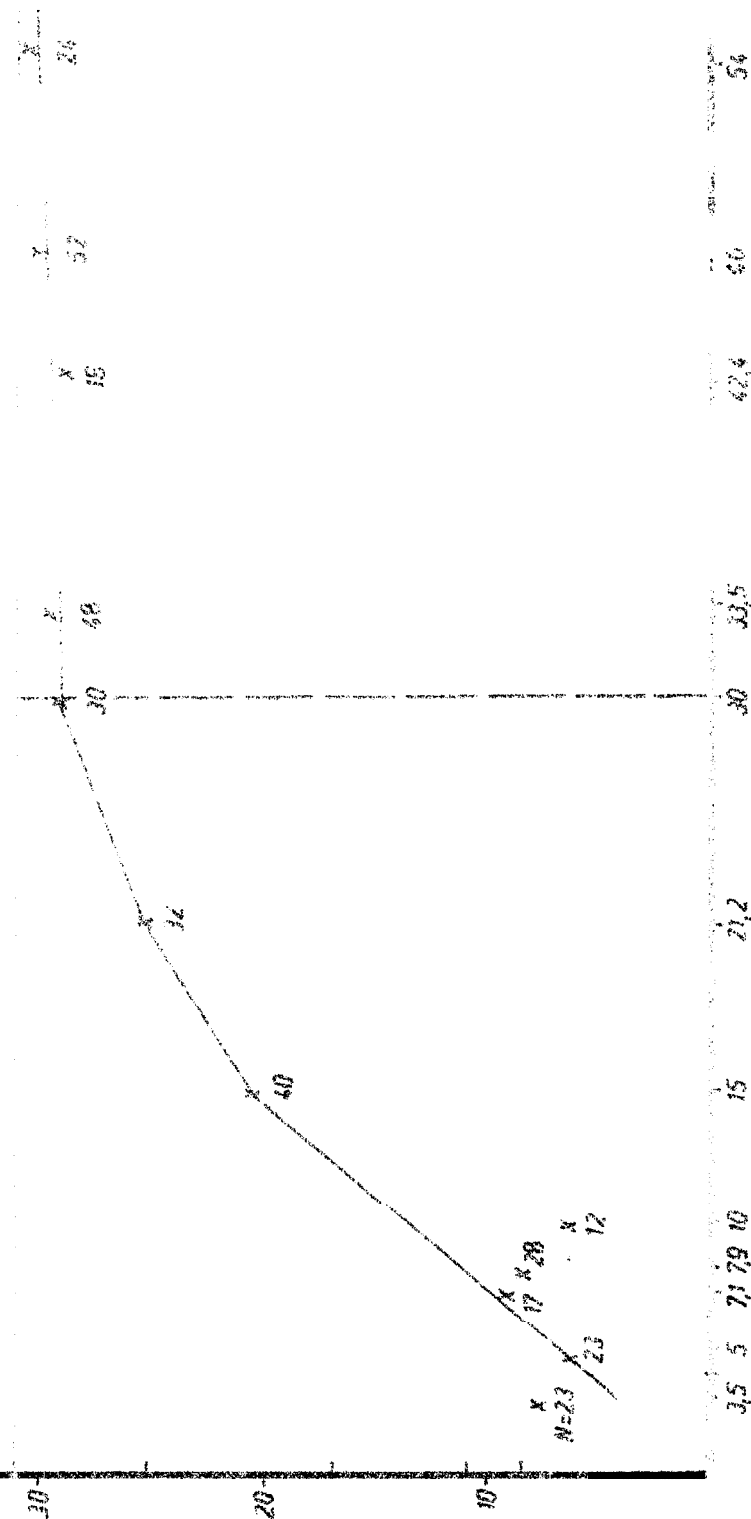
$$\frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{X})^2$$

$$s^2 = 3,9$$

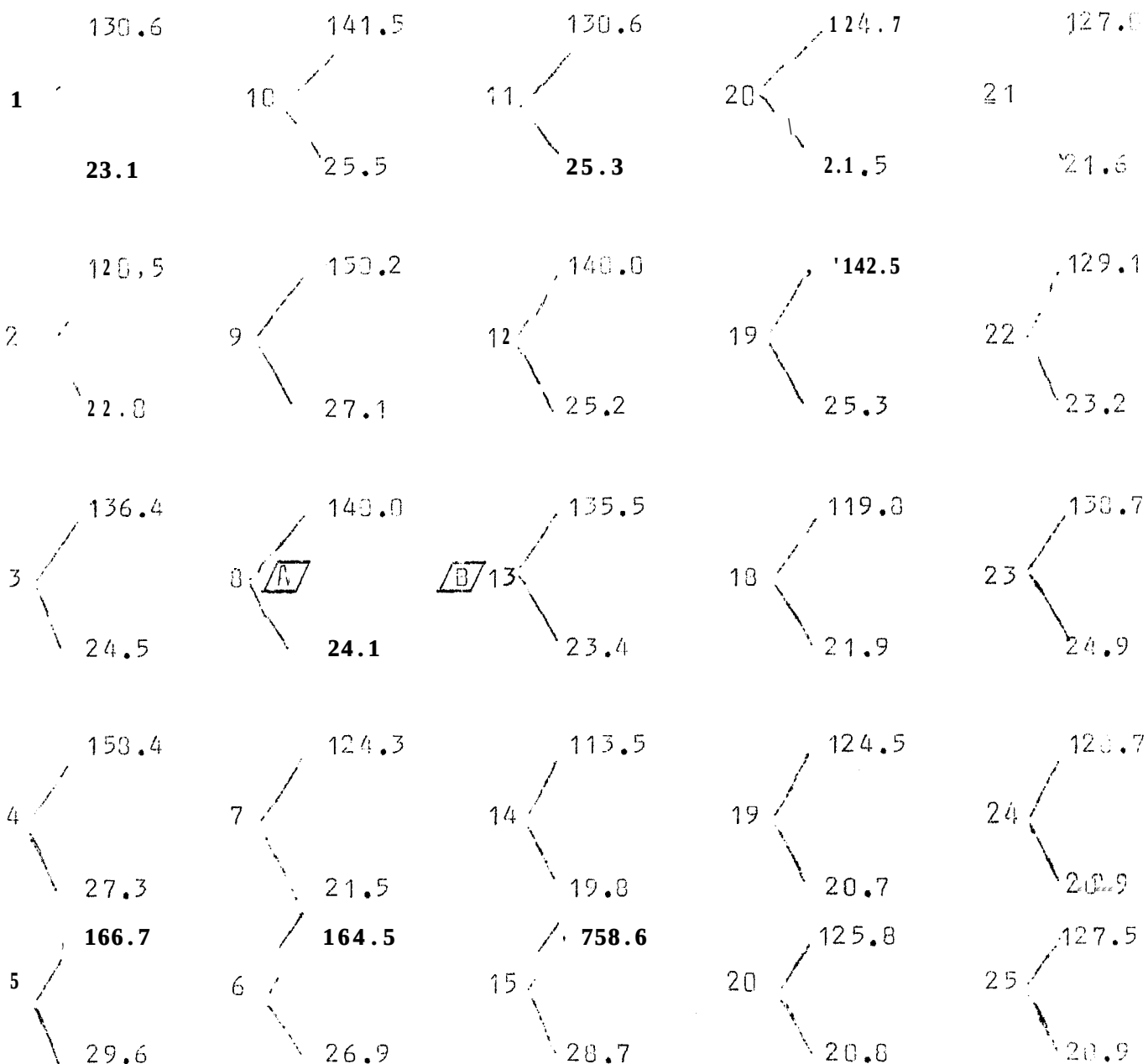
N - Nombre de copies de papiers distants de h

X - l'encore en angle

Platons théorique



3,5 5 7,5 10 15 21,2 30 33,5 42,4 46 54



stock hydrique sur 0-100 cm $\bar{X} = 136.3$
 Numéro du nœud
 teneur en argile moyenne sur 0-100 : $\bar{X} = 23.95$

A site principal
 B site simplifié

II - ESSAI DE CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE

II.1 - Principe

Cet essai doit conduire à la connaissance

- de la relation entre la pression effective de l'eau (h en mbars) et la teneur en eau volumique (θ en cm^3/cm^3) ou en %)

- de la relation entre la conductivité hydraulique (k en mm/h) et la teneur en eau volumique θ

L - équation générale des transferts est

$$q = - K(\theta) \frac{dH}{dz}$$

(Loi de Darcy)

q = flux ou débit par unité de surface
 K = conductivité
 θ = humidité volumique
 H = charge hydraulique totale
 z = profondeur

Nous avons donc effectué des mesures simultanées d'humidité et de charge hydraulique.

- pendant le ressuyage (sans évaporation de surface) consécutif à la submersion par une lame d'eau (méthode du drainage interne)

- puis lors de l'évolution en conditions naturelles, sous évaporation

II.2 - Mesures d'humidité et de charge hydraulique

La mesure de la teneur en eau est effectuée par un humidimètre à neutrons de type TROXLER possédant une source Am-Be de 100 mCu. Le temps de comptage est de 15 secondes et l'étalonnage gravimétrique est effectué sur l'emplacement exact du tube d'accès de sonde (figure V). En vue de cet étalonnage les densités apparentes ont été mesurées et sont les suivantes :

0 - 10 cm	1.64
10 - 20 cm	1.65
20 - 30 cm	1.59
30 - 40 cm	1.55
60 - 70 cm	1.43
90 - 100 cm	1.41
120 cm	1.43

27.10 (4)

25

20

15

10

0.55

SITE B

$$Hv = 52.71 \frac{dI}{d\theta \sin \theta} - 20.16$$

$$r = 0.97$$

SITE A

$$Hv = 47.50 \frac{dI}{d\theta \sin \theta} - 18.88$$

$$r = 0.92$$

• SITE A

x SITE B

Fig. 2. Profiles of electron energy in some T-Boxes

27.10 (4) 27.10 (4) 27.10 (4)

0.55

0.55

0.55

0.55

Pour la mesure de la charge hydraulique nous avons utilisé des tensiomètres "soil moisture" multiples implantés à 10-20-30-40-50-60-80-100-130 et 150 cm (sur les 2 sites). Ils sont disposés autour du tube d'accès de la sonde.

II.3 - Description du dispositif expérimental

Le site principal noté A, peu distant donc du nœud n° 1, représentant le point moyen de la parcelle, s'est avéré de texture nettement moins fine que la normale. Le site simplifié noté B recèle lui des taux d'argile plus faibles en profondeur (figures VI et VII)

Sur le site A nous avons isolé, un monolithe de sol intact de 4 m² de surface (2 m de rayon) et de 1,5 m de profondeur ceinturant ses flancs par un film plastique étanche de façon à éviter la diffusion latérale en phase d'infiltration. Au centre du monolithe on installe le tube d'accès de l'humidimètre, entouré de 10 tensiomètres aux côtes 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 130 et 150 cm.

Sur le site B les mêmes appareils ont été mis en place mais cette fois sans isolement de monolithe, seule une petite diguette de 1.13 m de rayon retiendra la lame d'eau pendant l'infiltration.

a) Infiltration et redistribution interne

L'apport d'eau est réalisé en maintenant une charge constante de 4 cm d'eau. Aussitôt après la disparition de cette lame d'eau la surface du site est recouverte d'un film plastique pour supprimer le terme évaporatif. Un mulch pailleux est également mis en place (effet supplémentaire de tampon des différences de températures). On suit ensuite le ressuyage du profil.

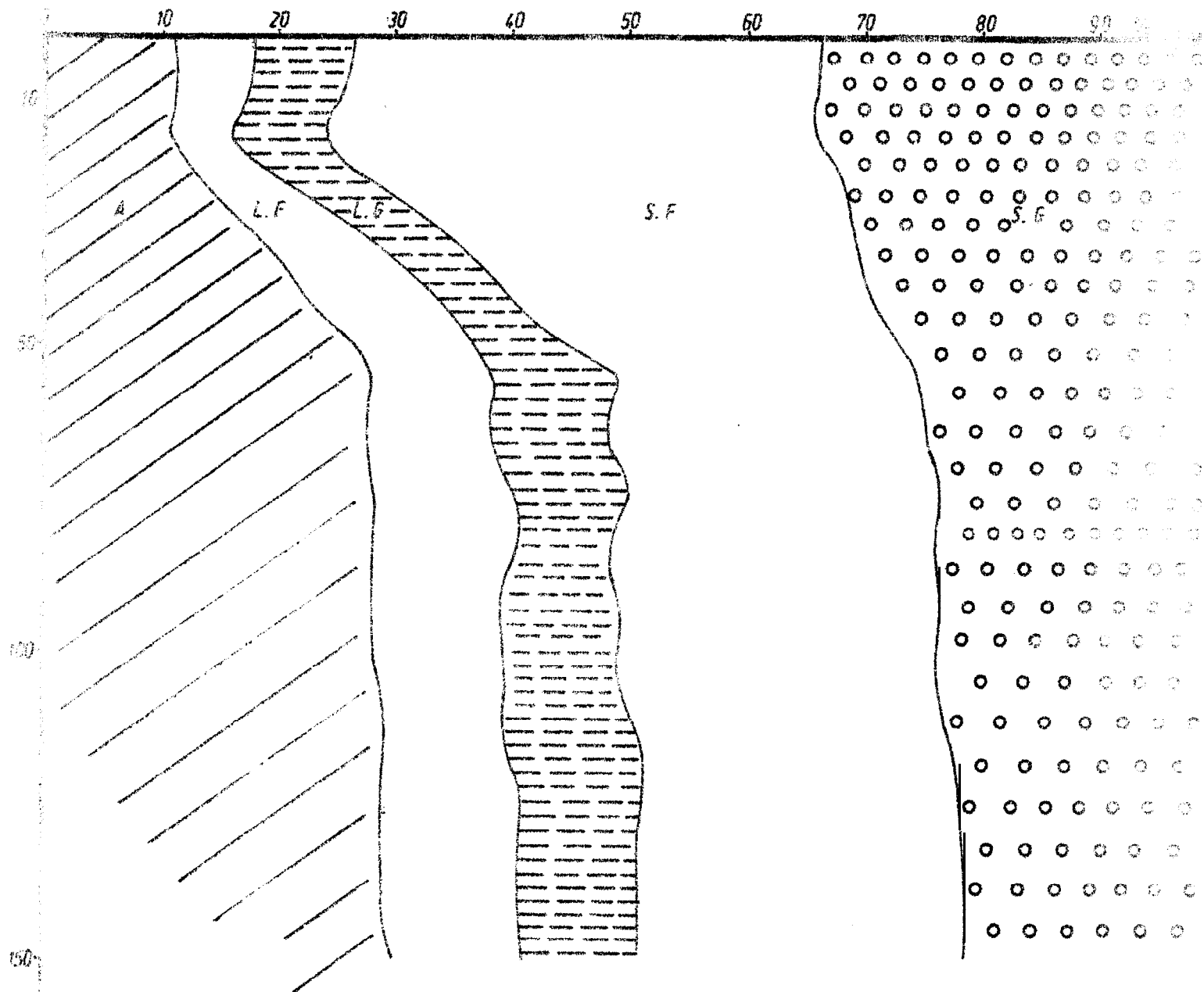
b) Evaporation naturelle

À l'issue du ressuyage (qui ici a duré 10 semaines pour le site A, 9 semaines pour le site B) on ôte la paille et le film plastique et l'on suit l'évolution du profil sous l'action du drainage et de l'évaporation.

La première phase de cet essai ayant duré plus longtemps que prévu (ressuyage très lent dans ces sols argileux) la deuxième phase a été quelque peu perturbée par des pluies. Nous avons opéré par simple soustraction de ces quantités d'eau supposées n'avoir affecté que les 20 premiers centimètres.

Fig. VI: Variations verticales de la distribution granulométrique

SITE A

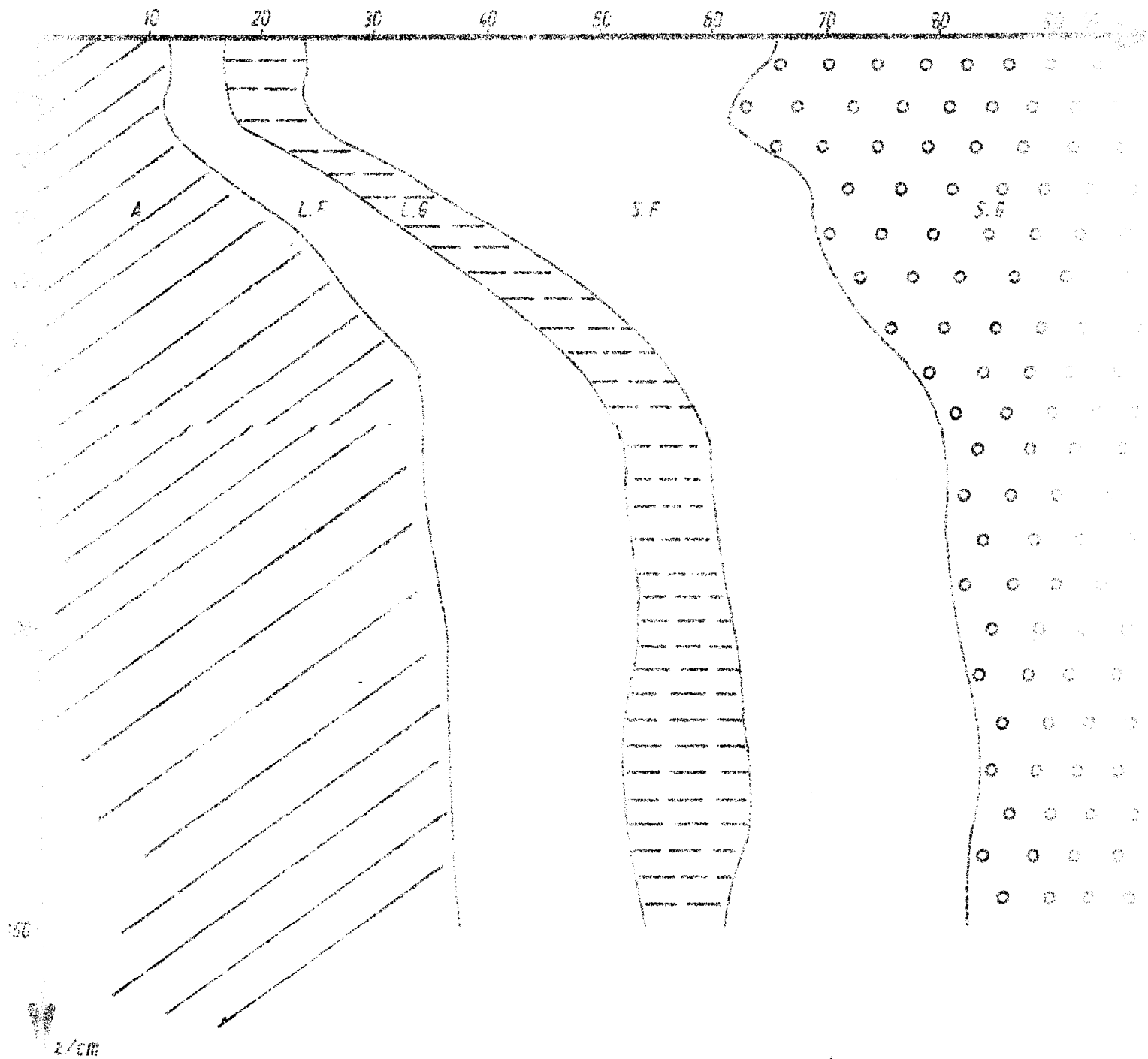


z / cm

$\phi < 2\mu$	A	Argile
$2\mu < \phi < 20\mu$	L.F	Limons fins
$20\mu < \phi < 50\mu$	L.G	Limons grossiers
$50\mu < \phi < 200\mu$	S.F	Sables fins
$200\mu < \phi < 2000\mu$	S.G	Sables grossiers

**Fig. VII: Variations verticales de la distribution
granulométrique**

SITE B



III - CARACTERISTIQUES HYDRIQUES ET HYDRODYNAMIQUES : RESULTATS

III.1 - Essai en redistribution interne

La mise en eau a été effectuée le 4 Mars 1981 et a duré 2h 47 minutes pour le site A. La lame d'eau apportée a été de $279 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$.

Pour le site B cette mise en eau s'est déroulée le 11 Mars, a duré 2 heures et la lame apportée était de $285 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$. Après déduction de l'évaporation potentielle (donnée par le bac d'évaporation classe A de la station ISRA de Séfa on peut estimer les lames d'eau apportées à $275 \pm 10 \text{ mm}$ pour A et $281 \pm 10 \text{ mm}$ pour B. Les vitesses d'infiltration de la lame se sont stabilisées à $88,8 \text{ mm/h}$ pour A et $123,8 \text{ mm/h}$ pour B (figure VII).

III.2 - Evolution des profils hydriques et tensiométriques en drainage interne

L'évolution des profils hydriques et des profils de charge hydraulique est présentée sur les figures IX à XII). On notera une capacité de rétention de l'eau des horizons supérieurs plus faible et donc leur caractère moins "humidifiable" en raison de leur granulométrie plus grossière. Ce qui confère aux profils hydriques une allure différente de ceux obtenus sur des sols plus homogènes (Imbernon, Baret), une allure de profil en évaporation naturelle. On remarquera également des humidités plus fortes sur le site B. Ceci est dû à un stock initial plus élevé dû à une granulométrie plus fine.

III.3 - Evolution en conditions naturelles

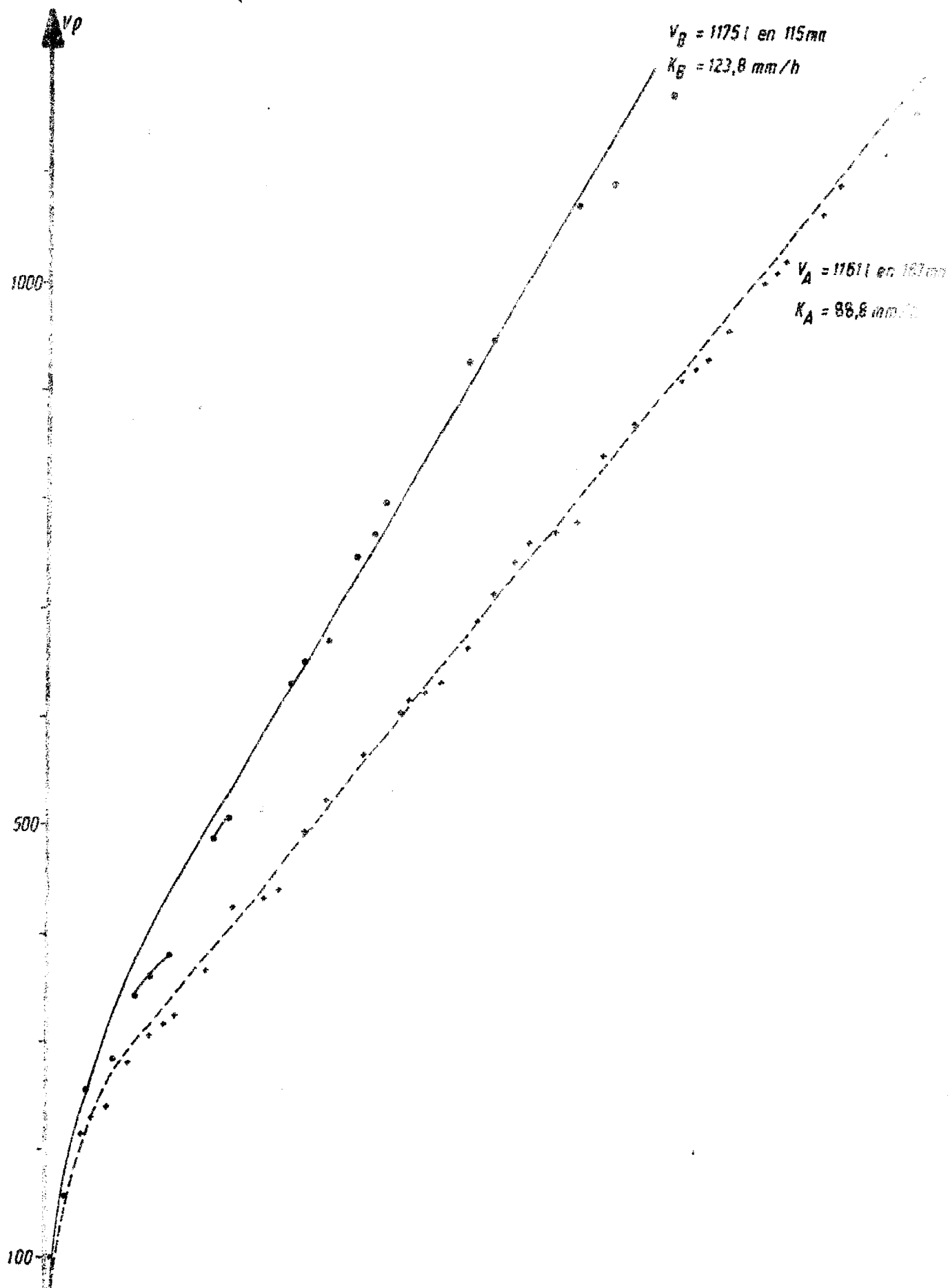
Les figures XIV et XV représentent l'évolution des profils hydriques et de charge hydraulique en conditions naturelles pour le site A. 29 jours après la découverte la tranche de sol 0 - 80 cm est en évaporation, le stock d'eau disponible est d'environ 60 mm sur le premier mètre, la lame d'eau ayant percolé à travers la côte $Z = 150 \text{ cm}$ est de 10 mm, la lame d'eau évaporée de 43 mm.

III.4 - Caractéristiques hydrodynamiques

1) - Relation $h(\theta)$

On a représenté figure XVI la relation entre la pression effective de l'eau h et la teneur en eau θ . Nous avons pu regrouper les différents points en 6 courbes :

Fig. VIII: Quantité d'eau infiltrée
durant l'immersion



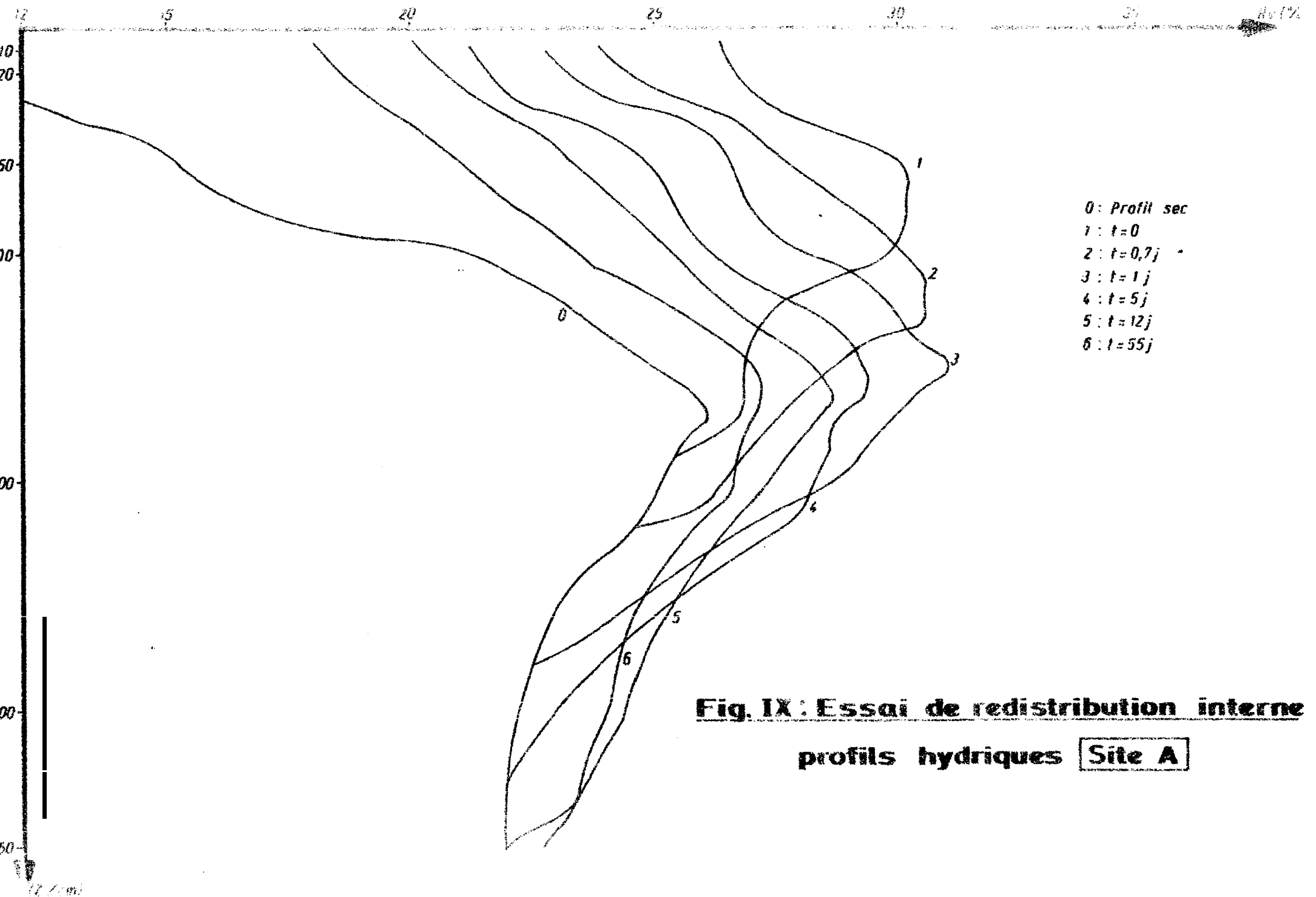


Fig. IX : Essai de redistribution interne
profils hydriques Site A

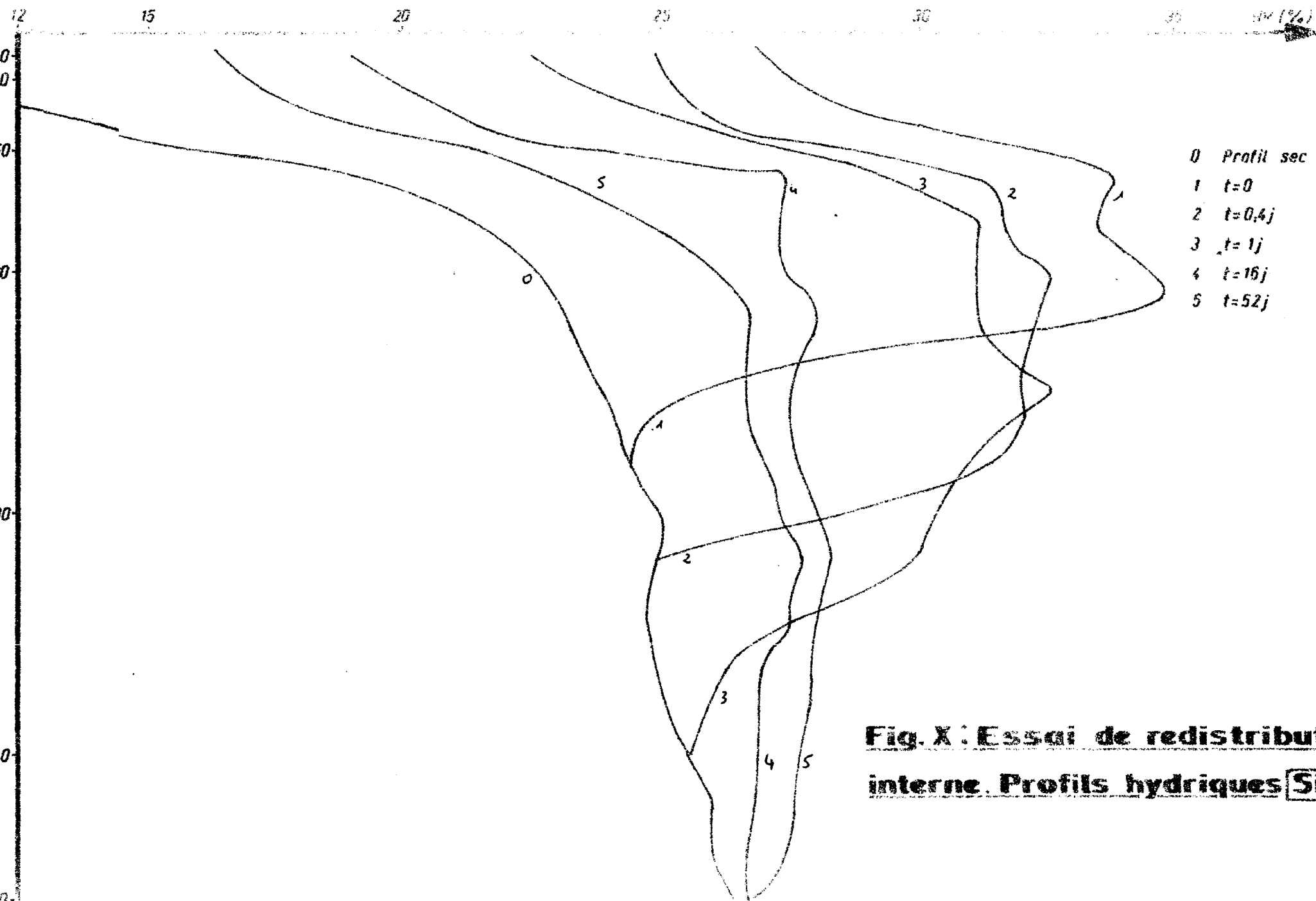


Fig. X : Essai de redistribution interne. Profils hydriques Site B

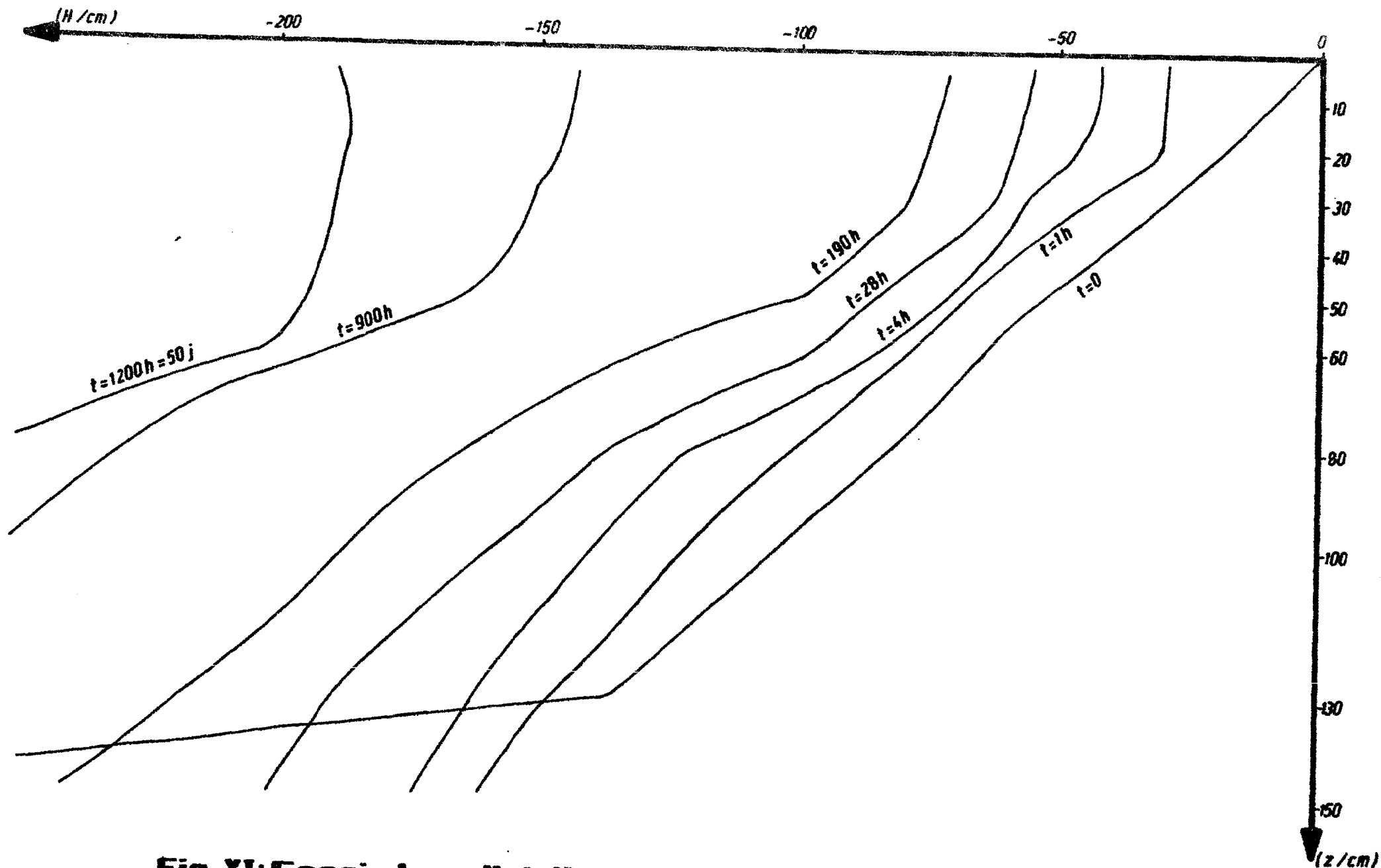
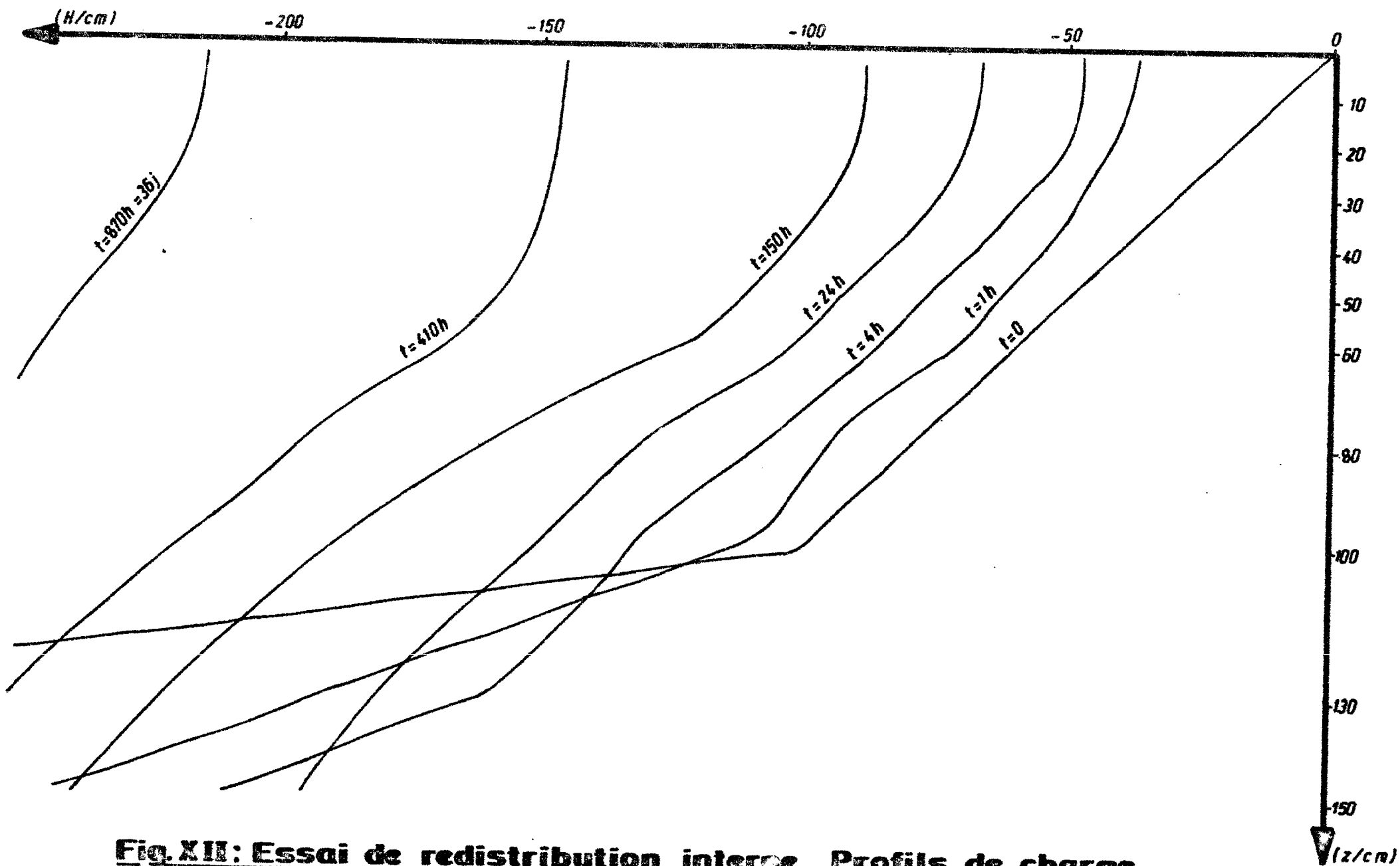
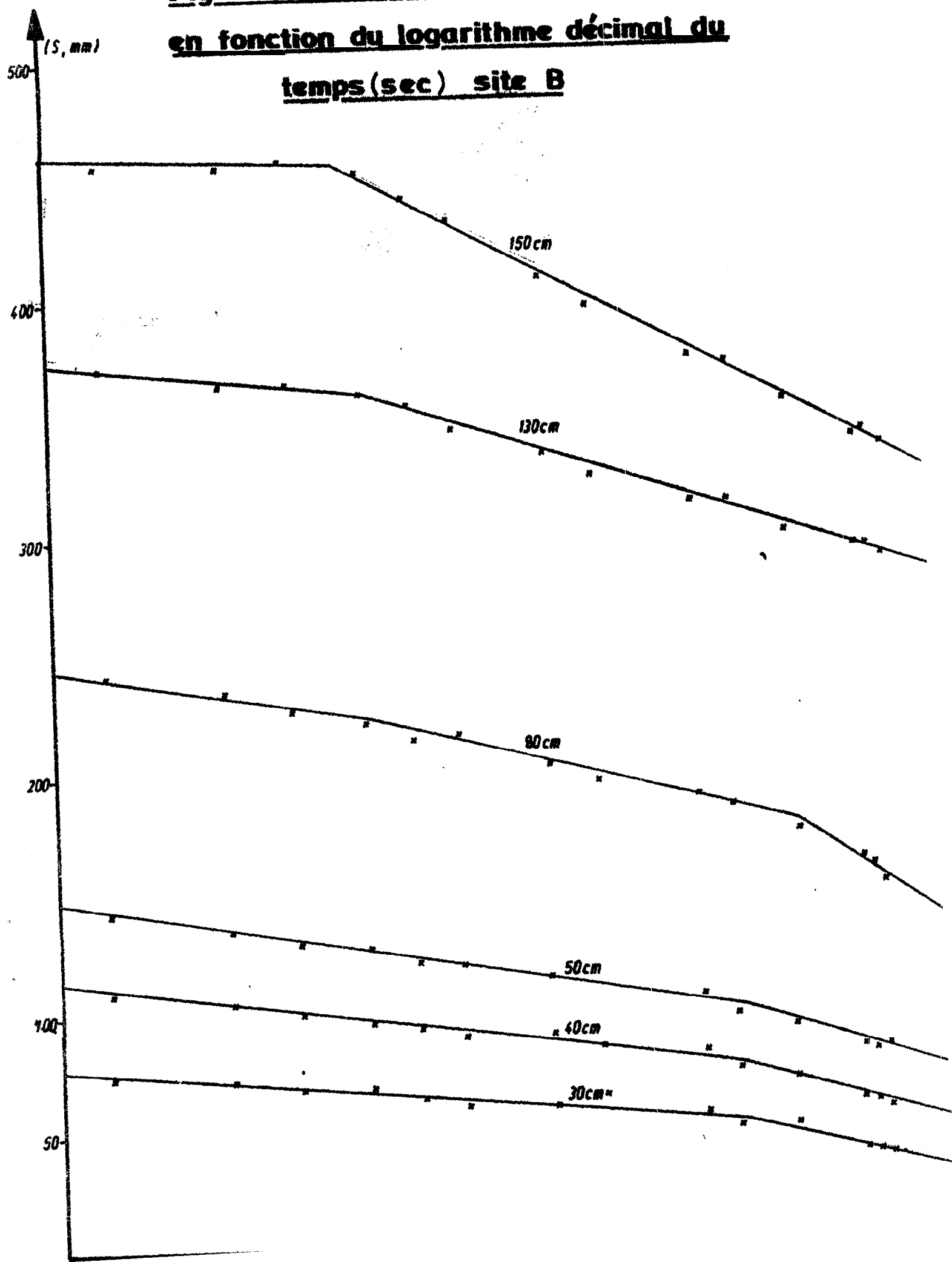


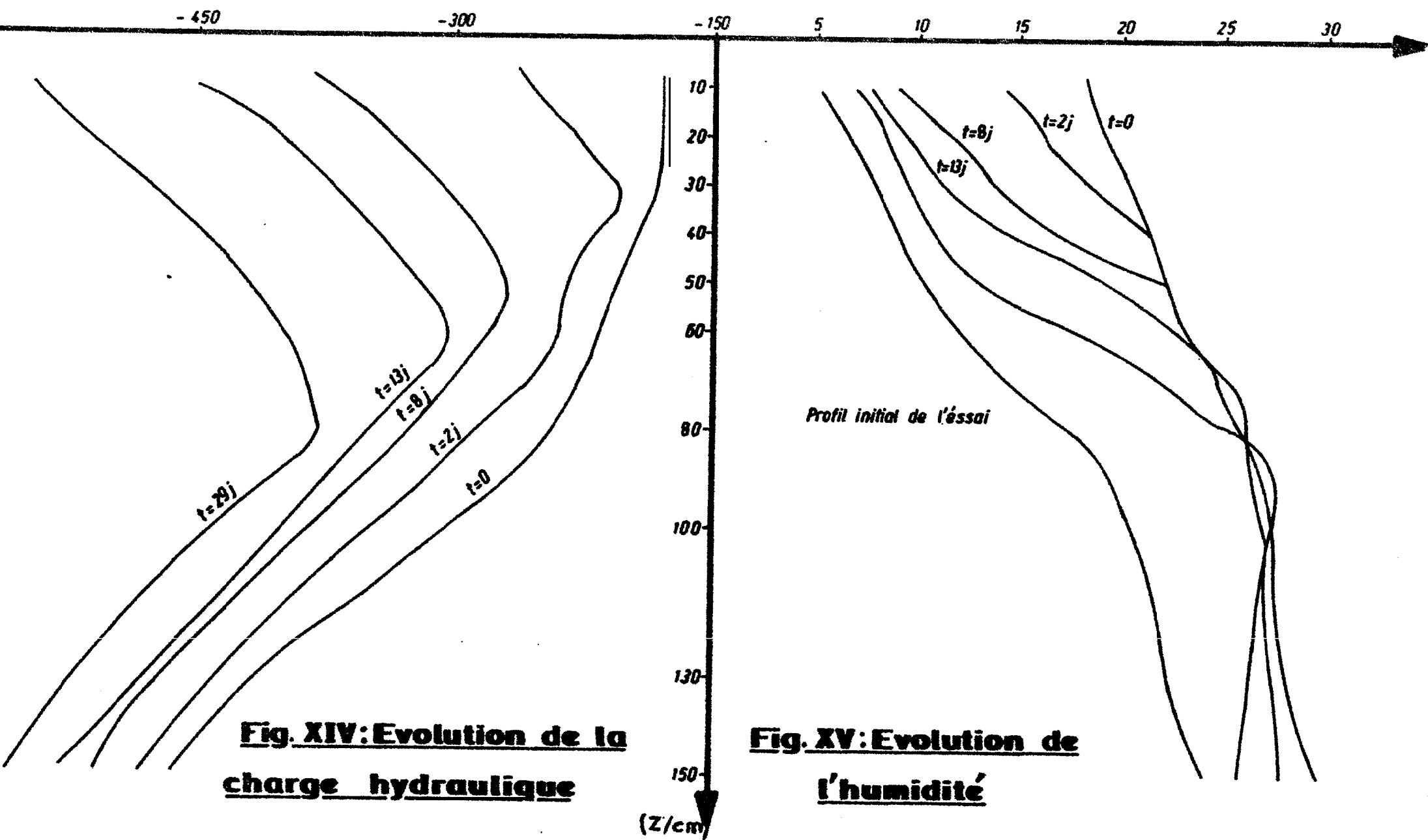
Fig. XI: Essai de redistribution interne
Profils de charge hydraulique Site A



**Fig.XII: Essai de redistribution interne. Profils de charge
hydraulique Site B**

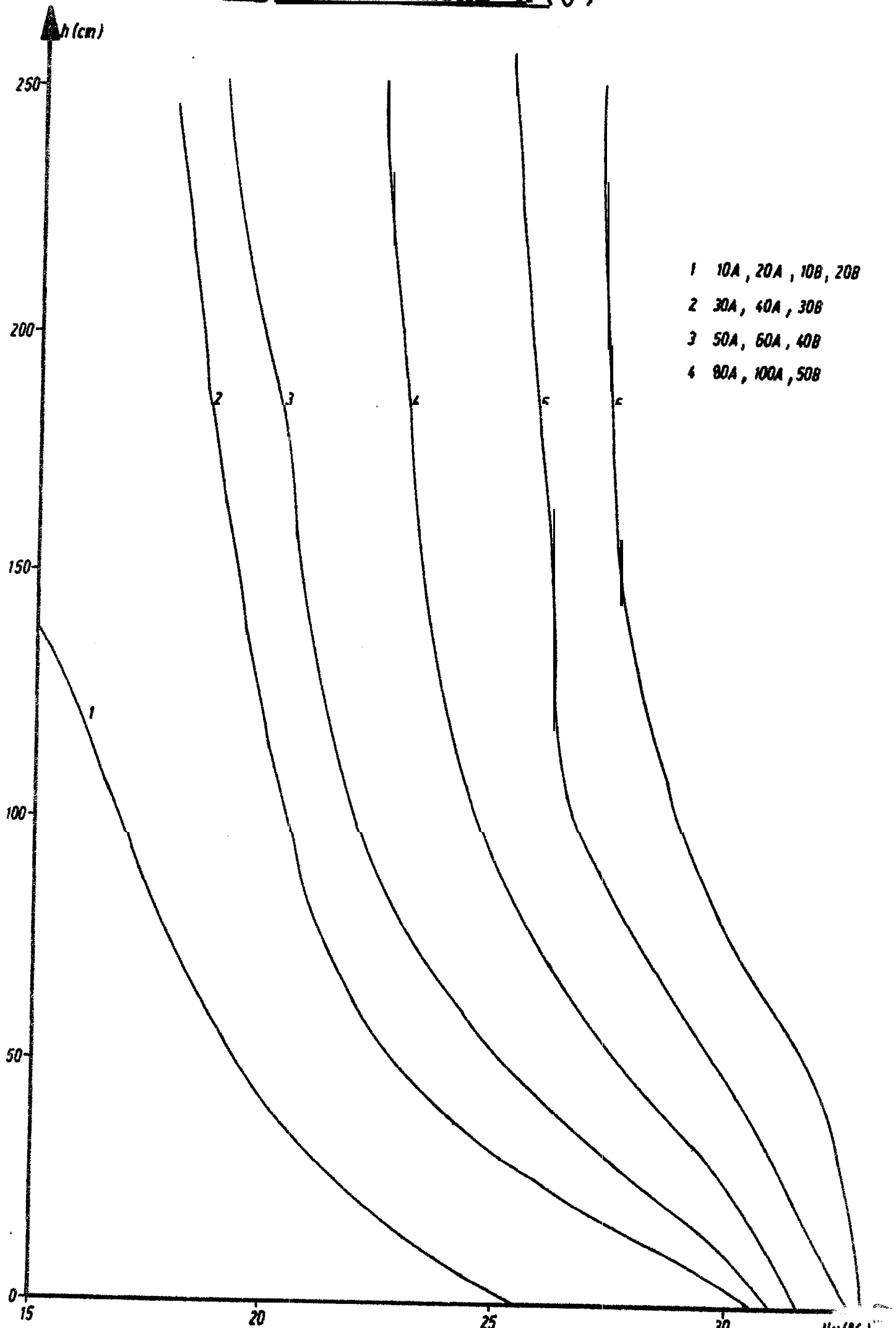
Fig. XIII: Variation des stocks hydriques
en fonction du logarithme décimal du
temps (sec) site B





Evolution en conditions naturelles (site A)

Fig. XVI: Relations $h(\theta)$



1 : 10 A, 20 A, 10 B, 20 B	Teneur en argile < 15 %
2 : 30 A, 40 A, 30 B	18 < A < 21 %
3 : 50 A, 60 A, 40 B	25 < A < 27 %
4 : 80 A, 100 A, 50 B	28 < A < 29 %
5 : 60 B, 80 B, 130 A et 150 A	31 < A < 34 %
6 : 100 B, 130 B, 150 B	A < 36 %

La mise en place du site B nous a donc permis de répéter l'opération pour certaines teneurs en Argile et d'autre part d'étendre la gamme granulométrique étudiée par rapport à celle du site A de texture plus grossière que prévue.

Ces courbes $h(\theta)$ représentent des données **statiques** hydriques, elles rendent compte de la capacité d'un sol à retenir son eau, ou encore de l'énergie qu'aura à dépenser la plante pour extraire cette eau et ce à différents états d'humidité du sol. La relation entre ces courbes et la teneur en argile s'est donc avérée excellente.

2° $K(\theta)$

En ce qui concerne les conductivités hydrauliques on ne pouvait théoriquement, pour le site B, considérer le flux uniquement vertical (donc unidimensionnel) en raison du non isolement de ce monolithe. Le drainage y a bien sûr été plus **rapide** et le stock initial n'a jamais été retrouvé !

Néanmoins les différences se sont avérées faibles. On peut estimer par rapport au site A, avoir perdu 25 mm au bout de 15 jours et 35 au bout de 50 jours, ce qui est finalement très faible au regard de la lame apportée (275 mm) et de la précision avec laquelle celle-ci est connue (± 10 mm). Nous concluons donc dans un premier temps à la faible diffusion latérale s'exerçant dans ce type de sol.

Nous avons donc essayé de **regrouper** les courbes $K(\theta)$. On observe cette **foi** : un décalage pour les horizons supérieurs du site B où les conductivités calculées **sont** systématiquement supérieures à celles **calculées** sur le site A, à humidités **égales** et pour des teneurs **en** Argile identique.

Nous donnons ces courbes $K(\theta)$ pour le site B au dessus de 60 cm, en précisant que ces conductivités sont donc surestimées ; l'hypothèse d'absence relative de diffusion latérale dans ces premiers horizons ne pouvant être retenue. (figures XVII et XVIII.

Fig. XVII: Relation $K(\theta)$

Site B de 60 à 150 cm

$\theta = 0,0129 \lg K(\text{mm/j}) + 0,272$

$(r = 0,962)$

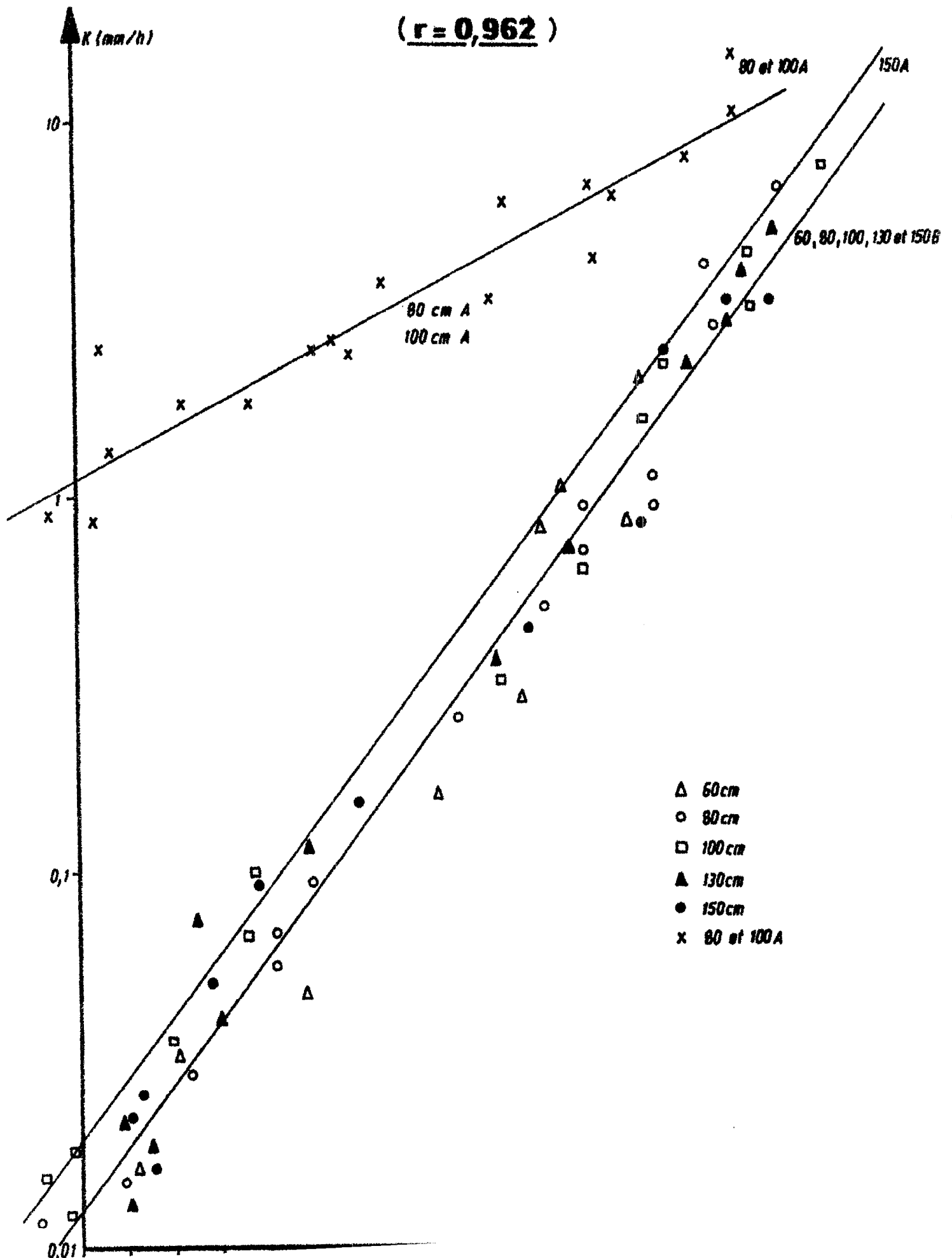
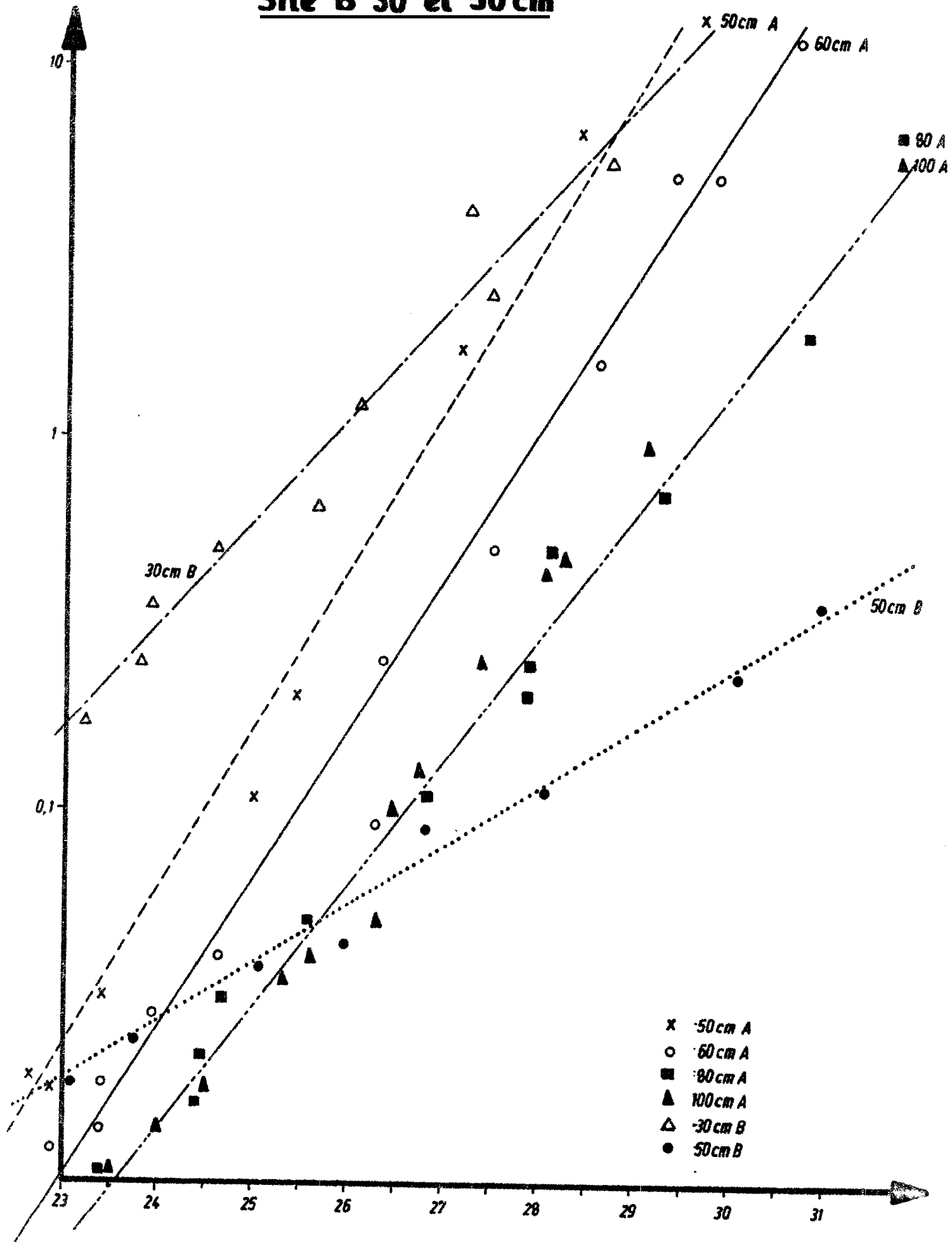


Fig. XVIII : Relation K (θ)

Site A 50 à 100 cm

Site B 30 et 50 cm



CONDUCTIVITES HYDRAULIQUES SITE AEquations θ (%) en fonction de $K(\text{mm/j})^*$

30 cm	$\theta = 0.0090 \ln K + 0.230$	$r = 0.965$
40 cm	$\theta = \mathbf{J.0399} \ln K + 0.232$	$r = 0.930$
50 cm	$\theta = 0.0101 \ln K + 0.236$	$r = 0.974$
60 cm	$\theta = 0.0106 \ln K + 0.246$	$r = 0.961$
80 cm	$\theta = 0.0133 \ln K + 0.255$	$r = 0.952$
100 cm	$\theta = 0.0123 \ln K + 0.256$	$r = 0.948$
80-100cm	$\theta = 0.0129 \ln K + 0.0255$	$r = 0.958$
130 cm	$\theta = 0.0130 \ln K + 0.266$	$r = 0.947$
150cm	$\theta = 0.0128 \ln K + \mathbf{0.271}$	$r = 0.972$

*

* Sur les courbes $K(\theta)$ K est exprimée en mm/h.CONDUCTIVITES HYDRAULIQUES SITE BEquation θ (%) en fonction de $K(\text{mm/j})$ *

30 cm	$\theta = 0.0145 \ln K + 0.211$	$r = 0.962 (1)$
40 cm	$\theta = 0.0132 \ln K + 0.230$	$r = 0.973 (1)$
50 cm	$\theta = 0.0133 \ln K + 0.252$	$r = 0.950 (1)$
60 cm	$\theta = 0.0130 \ln K + 0.271$	$r = 0.944$
80 cm	$\theta = 0.0128 \ln K + 0.274$	$r = 0.980$
100 cm	$\theta = 0.0128 \ln K + 0.271$	$r = 0.902$
130 cm	$\theta = 0.0127 \ln K + 0.274$	$r = 0.968$
150 cm	$\theta = 3.5127 \ln K + 0.272$	$r = 0.357$
60 à 150cm	$\theta = 0.0129 \ln K + 0.272$	$r = \mathbf{0.961}$

(58 points)

(1) obtenues avec hypothèse d'absence totale de diffusion latérale donc surestimées.

* Sur les courbes $K(\theta)$ K est exprimée en mm/h

IV - RESERVE UTILISABLE, COMPARAISON AVEC D'AUTRES SOLS SENEGALAIS

A - Définitions

1) Capacité de rétention HCR

Limite supérieure du volume d'eau pouvant être mis en réserve dans le sol et utilisé avec profit par la plante (humidité après 2 jours de ressuyage)

2) - point de flétrissement permanent HPF

En de çà de cette humidité la plante ne peut développer une énergie **suffisante** pour extraire le **reliquat** d'eau (succion dû PF 4,2)

3) - Réserve utilisable par mètre de sol)

$$R.U = \frac{J_z}{J_l} = \frac{100}{10} \quad (H_{crz} - H_{pf} 4,2) dz$$

B - Résultats

cf Tableau II

		Type de sol	HCR %	HPF %	R.U (mm/m)
SOLS HOMOGENES		DIOR	10	3	75
		DIOR-DECK	14	4	80 - 90
		DECK	16	4	110 - 120
		DIERI (DUNAI-RE)	8.9	2.3	60
BIEN DIFFERENCIES	SOL BEIGE	0 - 10	24	6	
		0 - 40	27	15	
		60 - 70	28.29	17	
		90-100	30	19	
		0-100			120 - 130
	SOL ROUGE	0 - 10	21	6.7	
		30 - 40	24	13	
		60 - 70	28	17	
		90-100	30	18	
		0-100			120

Tableau II : Capacités de rétention, points de flétrissement et réserve utilisable

Les sols de Casamance jusqu'ici étudiés, argileux, possèdent donc une bien meilleure rétention de l'humidité que les sols de texture sableuse ou sablo-argileuse de la moitié Nord du Sénégal. Cette forte différence de capacité à retenir l'eau existe à tous les niveaux de succion. Ainsi au point de flétrissement permanent un sol rouge conservera-t-il en profondeur 2 fois plus d'eau qu'un sol Deck et 3 fois plus qu'un sol Dior ; cette eau échappe donc à la plante. La disponibilité en eau de ces sols vis à vis des plantes est finalement supérieure à celle des sols très sableux (DIOR, DIOR DECK, DIERI) mais comparée à celle d'un sol sablo-argileux (DECK) en revanche la réserve utilisable n'est guère plus importante. Une autre caractéristique de ces sols argileux est leur forte variabilité verticale.

CONCLUSION

Au cours de cette étude nous avons pu mettre en évidence :

- Une cinétique d'infiltration très lente de ce type de sol confirmant d'une certaine façon les résultats obtenus sur sol beige (pour la gamme granulométrique correspondante)
- Une variation verticale des caractéristiques hydrodynamiques ($h(\theta)$, $K(\theta)$, réserve utile par horizon) très importante : nous noterons en particulier le caractère beaucoup plus drainant des horizons supérieurs sur le profil et également par rapport au sol beige (où dès 20 cm la teneur en Argile dépasse les 20 %)
- Une confirmation des résultats obtenus par Hamon (1970) quant à l'étroite liaison entre caractéristiques hydrodynamiques et teneur en Argile des horizons
- Enfin nous remarquerons la très bonne faculté de ces sols à retenir l'eau ainsi que celle à ne pas la libérer ; cette dernière leur conférant finalement une réserve utilisable **guère** supérieure à celle de sols beaucoup plus sableux du Nord du Sénégal.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cointe pas 1960 - Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises sur la station expérimentale de SEFA Multigr.
- Fauck, Seguy, Tobia 1969 - Notice sur la carte des sols de la région de SEFA (Casamance) ORSTOM-IRAT.
- Hamon 1976 - Caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol de culture en moyenne Casamance CNRA Bambey ISRA.
- Hamon 1978 - Caractérisation hydrodynamique in situ de 2 sols de culture de la région Centre Nord du Sénégal CNRA Bambey ISRA.
- Imbernon 1979 - Caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol de la région de LOUGA CNRA Bambey ISRA.
- Maignien 1961 - Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferralitiques dans les régions Sud Ouest du Sénégal African soils Vol VI N° 2 et 3 1961 p 113-228.
- Vachaud, Dancette, Sonko, Tony 1977 - Méthode de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé Ann. Agro, Vol ' 2 9 p 1-36.