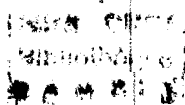


CN0100491

P332

IMB

SI/NMB
REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRIMATURE



SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

1979-74

DYNAMIQUE DE L'EAU
ET VARIABILITE SPATIALE DU SCL

Par

Jacques IMBERNON
V.S.N. affecté à l'IRAT, détaché à l'ISRA

C.N.R.A. - BAMBEY - S.D.I.	
Date	13/10/79.
Numéro	068800
Mois Bulletin	OND.
Destinataire	SR/Doc.

Août 1979

Centre National de Recherches Agronomiques
de BAMBEY

Ce programme a pu être réalisé grâce à l'aide matérielle et financière de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique.

L'expérimentation sur le terrain a été menée avec la précieuse collaboration de M. Sitor NDOUR au service de Bioclimatologie, et l'aide d'ouvriers temporaires d'un village de Bamboy - Serrère.

Les analyses granulométriques ont été effectuées par M. Moussa SIDIBE du service SR/SOLAB et les mesures de densité apparente par M. Serigne SARR du service de SR/SOLPHY. M. MBAYE Gadiaga a effectué les dessins et Mlle Ndèye MBODJ la dactylographie./-

ORITINE ET BUT DE L'ETUDE

Les propriétés sol-eau qui ont reçu le plus d'attention sont celles qui relient la rétention et la dynamique de l'eau dans le sol, à la consommation d'eau par les cultures, aux pertes (eau et sels minéraux) par drainage et autres processus du même type. Ces propriétés ont été le plus souvent étudiées intensivement en laboratoire, mais elles sont à présent évaluées quantitativement sur le terrain, et en particulier au Sénégal (cf. Vachaud, Hamon). Or les résultats obtenus sur sols Diéri, Dior-Diéri, Deck et Beige de plateau, souffraient d'une lacune ; ils ne tenaient pas compte de phénomènes complexes communs à la plupart des sols, leur variabilité et leur hétérogénéité.

Placée dans ce contexte, l'étude que nous avons entreprise s'est fixée les objectifs suivants :

- déterminer les caractéristiques hydrodynamiques d'un sol Dior à l'échelle d'une parcelle d'1 ha par des mesures simplifiées et facilement reproductibles ;
- évaluer le type et l'échelle de la variabilité : distributions statistiques, moyennes et intervalles de confiance ;
- aborder le problème de l'interpolation pour caractériser un point ou une surface de la parcelle.

Tous ces points s'inscrivent en fait dans un même objectif qui est celui recommandé par le programme de l'AIEA.

Rappelons qu'il s'agit, en s'appuyant sur une recherche pluridisciplinaire de chiffrer et de corréler à moyenne (ou grande) échelle :

- les bilans hydriques et minéraux
- l'influence du travail du sol et des techniques culturales sur les pertes en éléments minéraux et en azote, sur la consommation en eau et sur les rendements
- la dynamique de l'eau et la dynamique de l'enracinement.

PLAN DE L'ETUDE

1 - Description du site

1.1 - Localisation

1.2 - Equipement

2 - Profils granulométriques

2.1 - Mesures

2.2 - Relation densité apparente - fraction (A + L)

2.3 - Distribution statistique des fractions (A + L)

2.4 - Variogramme des fractions (A + L)

3 - Caractérisations "lourdes" sur monolithe :

3.1 - Dispositif expérimental

3.2 - Essai d'infiltration

3.3 - Evolution en drainage interne

3.4 - Caractéristiques hydrodynamiques

3.5 - Modélisation de la relation $K(\theta)$

4 - Caractérisations "légères"

4.1 - Dispositif expérimental

4.2 - Description de l'essai

4.3 - Caractéristiques hydrodynamiques

5 - Analyse des résultats

5.1 - Etalonnages de la sonde neutron

5.2 - Conductivités à saturation

5.3 - Relations pression - teneur en eau

5.4 - Modélisation de la relation $K(\theta)$ sur les sites légers

5.5 - Choix des parcelles

5.6 - Caractérisation hydrodynamique des parcelles choisies

6 - Méthode proposée pour le suivi d'hivernage

6.1 - Objectif

6.2 - Expérimentation

6.3 - Méthodologie

7 - Conclusion

1 - DESCRIPTION DU SITE

1.1 - Localisation :

Le champ d'expérimentation se trouve en Centre National de Recherches Agronomiques de Bambo. Il se situe en solo III Nord sur une surface d'environ 1 ha (70 m x 140 m), disposée E.W. Le sol est de type DIOR, classé ferrugineux tropical peu lessivé. Le relief est marqué par des domes de termitières et par une faible pente E.W. dirigée vers un bas fond (voir plan N° 1).

1.2 - Equipement :

Un quadrillage systématique d'une maille de 23 m a été effectué (voir plan n° 2). Sur le réseau obtenu, chaque noeud a été équipé :

- sur 4 noeuds : un tube d'accès à la source neutronique et 10 tensiomètres aux cotes 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 110, 130 et 150 cm, à l'intérieur d'un monolithe de sol

- sur 24 noeuds : un tube et 2 tensiomètres aux cotes 110 et 120 cm

Remarque :

Certains sites se trouvent sur des emplacements de termitières ou de trous de rats. C'est bien sûr l'inconvénient du maillage qui en systématisant une étude spatiale ne permet pas le choix du site et soumet les mesures à certains aléas.

2 - PROFILS GRANULOMETRIQUES

2.1 - Mesures

Les profils granulométriques (fraction A+L) ont été effectués lors de l'implantation des tubes (2 m) de façon à avoir 28 échantillons (voir plan n° 3). De plus lors de l'isolement des 4 monolithes de sol, des fosses pédologiques ont été ouvertes jusqu'à 1 m 50. Dans 3 des fosses (sites 12, 15 et 31), il s'agit d'un sol sableux de type DIOR, uniforme, de couleur beige clair et présentant des raies d'accumulation ferrugineuse à partir de la cote 1 m. Le profil 36 se différencie très nettement des autres par sa couleur brune caractéristique des sols DECK ou BAN ; ce site correspond en effet à la zone de bas fond (voir plan N° 1).

Des mesures de densité apparente ont été effectuées dans ces mêmes fosses (voir tableau n° 1).

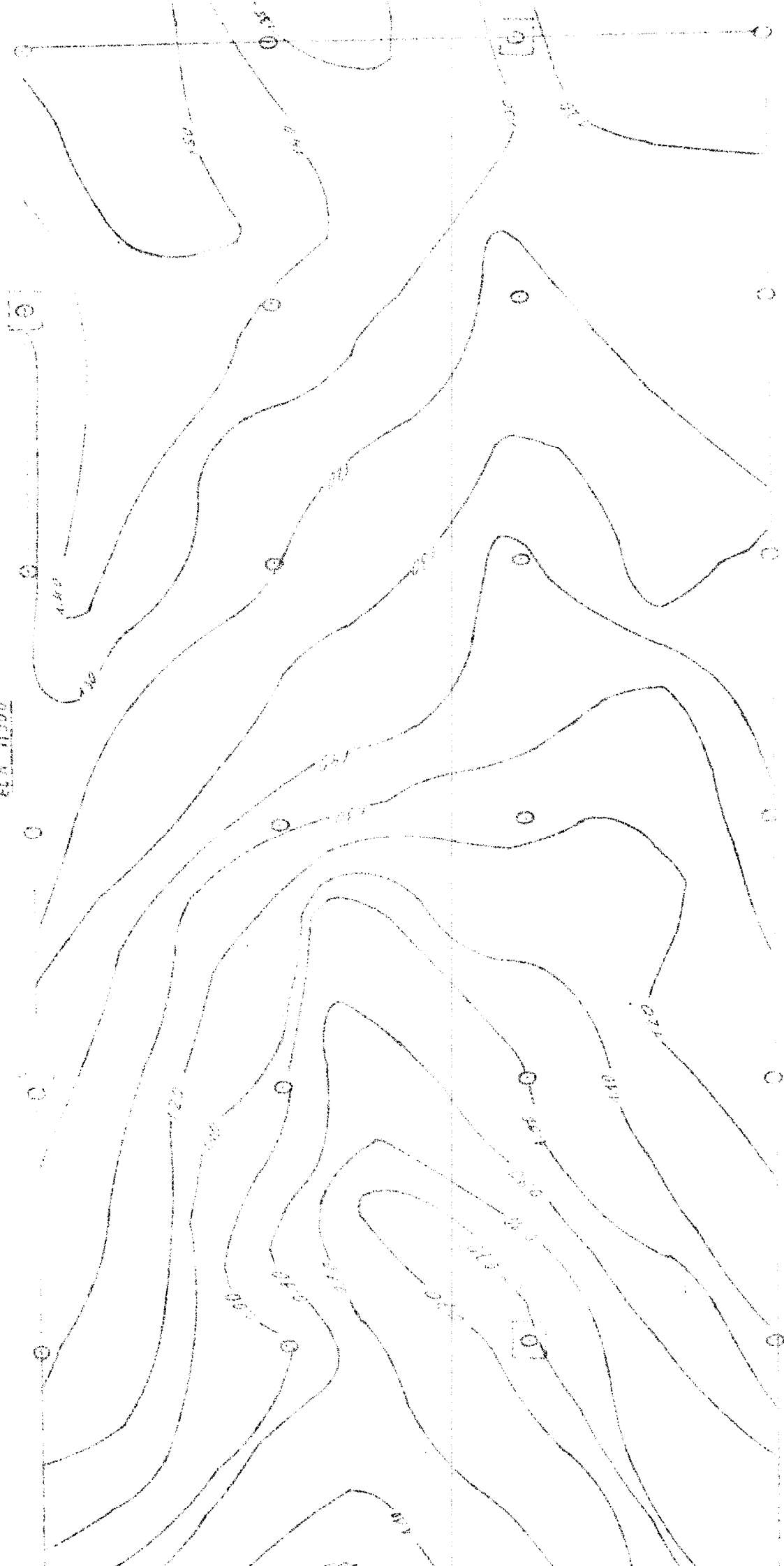
2.2 - Relation densité apparente - fraction (A + L)

Le nuage de points de la figure n° 1 montre qu'il n'y a aucune relation entre densité apparente et fraction (A + L).



SOLEIL NORE

PLAN TOPOGRAPHIQUE
ECH 1:500



PLAN n°1

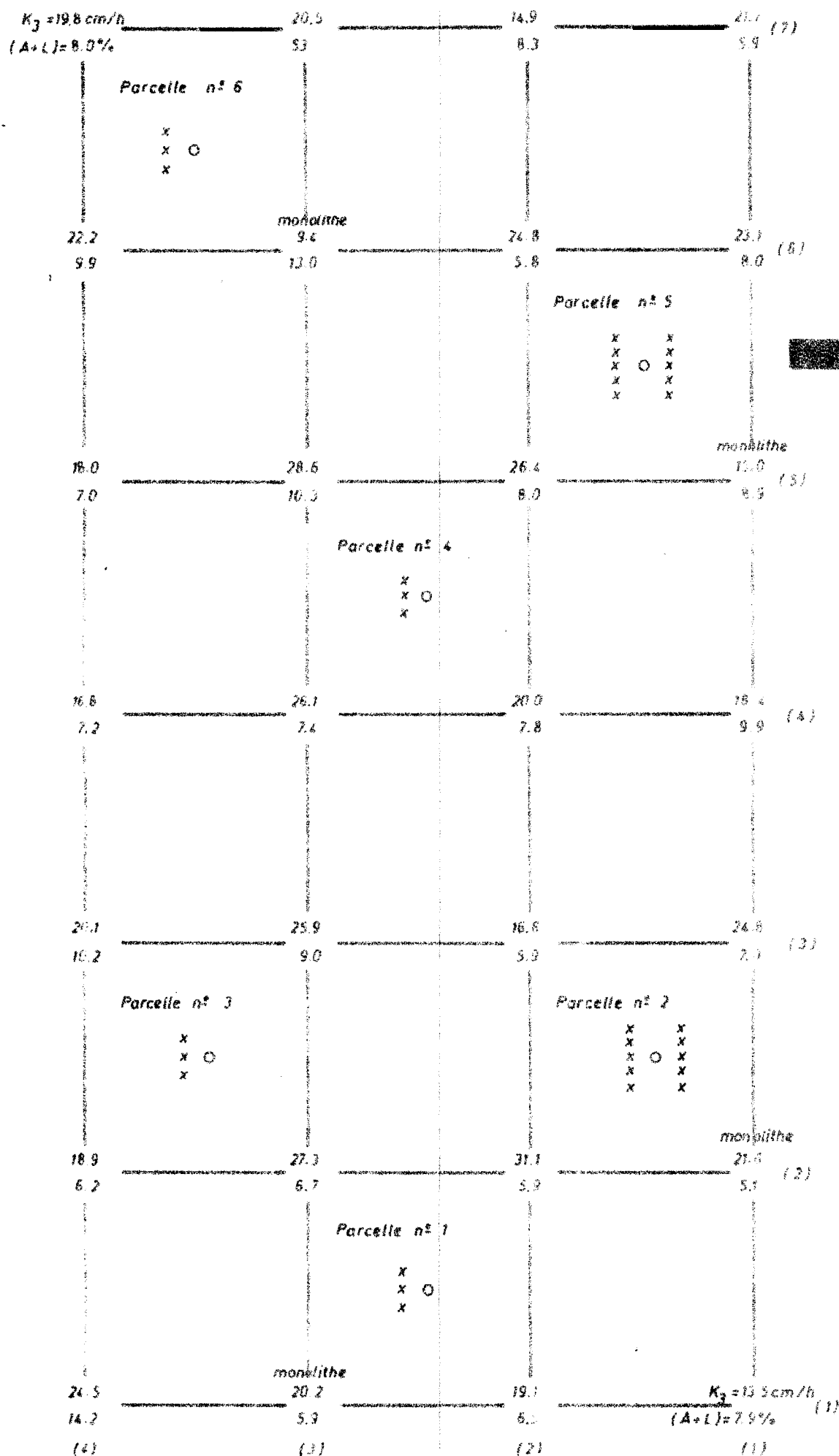
PLAN N° 2

MA DE MASSE DE 51-53 DE 50000

ECH 1:500

terminière

PLAN N° 2



Plan n° 3 : Réseau de valeurs de conductivité à saturation et de fraction (A+L), et parcelles d'expérimentation pour le suivi d'hiverne

Site de mesure Profondeur	12	15	16
0 - 10 cm	1.45	1.45	1.36
10 - 20 cm	1.41	1.48	1.46
20 - 30 cm	1.52	1.50	1.62
30 - 50 cm	1.47	1.43	1.47
50 - 70 cm	1.41	1.42	1.47
70 - 110 cm	1.46	1.40	1.48
110-150 cm	1.50	1.44	3.46

Tableau n° 1 : Profils des densités apparentes.

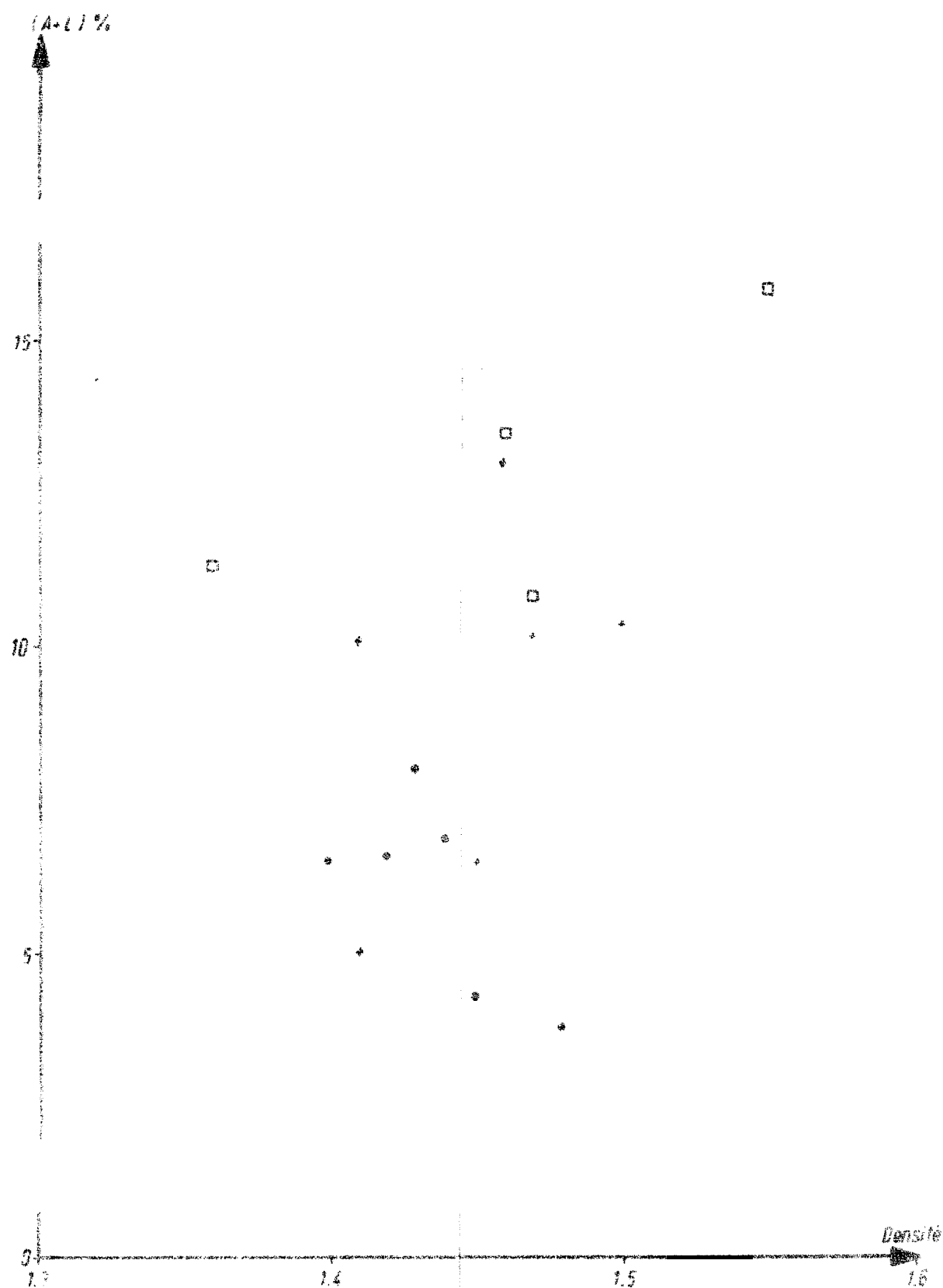


Fig. n° 1 : Fraction (A+L)% - Densité apparent

2.3 - Distribution statistique des fractions (A + L)

Tous les calculs ont été effectués sur la fraction (A + L) moyenne de la tranche de sol 0-110 cm préférée pour sa représentativité à la valeur ponctuelle à 110 cm.

La distribution des fréquences relatives (voir fig. n°2) présente une dissymétrie droite (ou positive) qui indique que la loi de distribution est log-normale. Reportée sur papier log-normal, la distribution est en effet linéaire et les paramètres de la loi sont : moyenne = 7.4 %, et intervalle de confiance à 68 % = ± 5.7 %, 9.8%_7.

2.4 - Variogramme des fractions (A + L)

Rappel théorique :

On caractérise l'aspect structural d'une variable qui se déploie dans l'espace (variable régionalisée) par un variogramme. En effet, il donne un sens précis à la notion traditionnelle de zone d'influence d'un échantillon : sa croissance plus ou moins rapide reflète la manière dont se détériore l'influence d'un échantillon sur des zones plus ou moins lointaines. Il correspond à la variance des accroissements de la variable régionalisée. Si celle-ci prend au point x la valeur F(x) et au point x + h la valeur F(x + h) ; l'expression du demi variogramme est :

$$\gamma(h) = 1/S \int_S \{F(x+h) - F(x)\}^2 dx$$

Dans cette expression, x se déplace de façon à occuper tous les points possibles de la régionalisation, h restant fixe en module et en direction.

Construction du variogramme expérimental

Les sites de mesure formant un maillage régulier, nous prendrons pour pas d'espace la valeur de la maille : 23 m. Les deux directions suivies sont E-W et N-S. Le demi-variogramme tracé fig. N° 3 nous fournit deux informations :

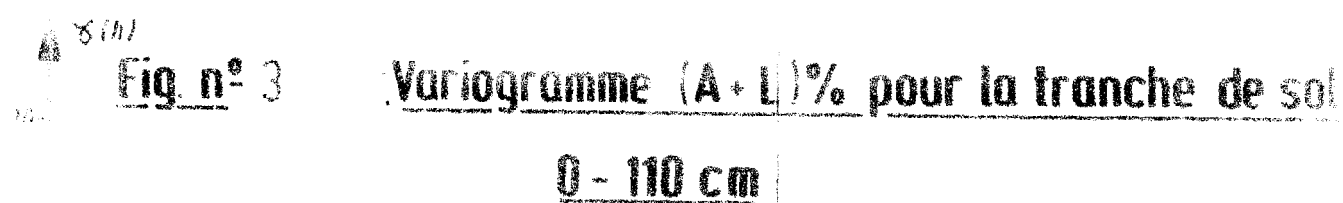
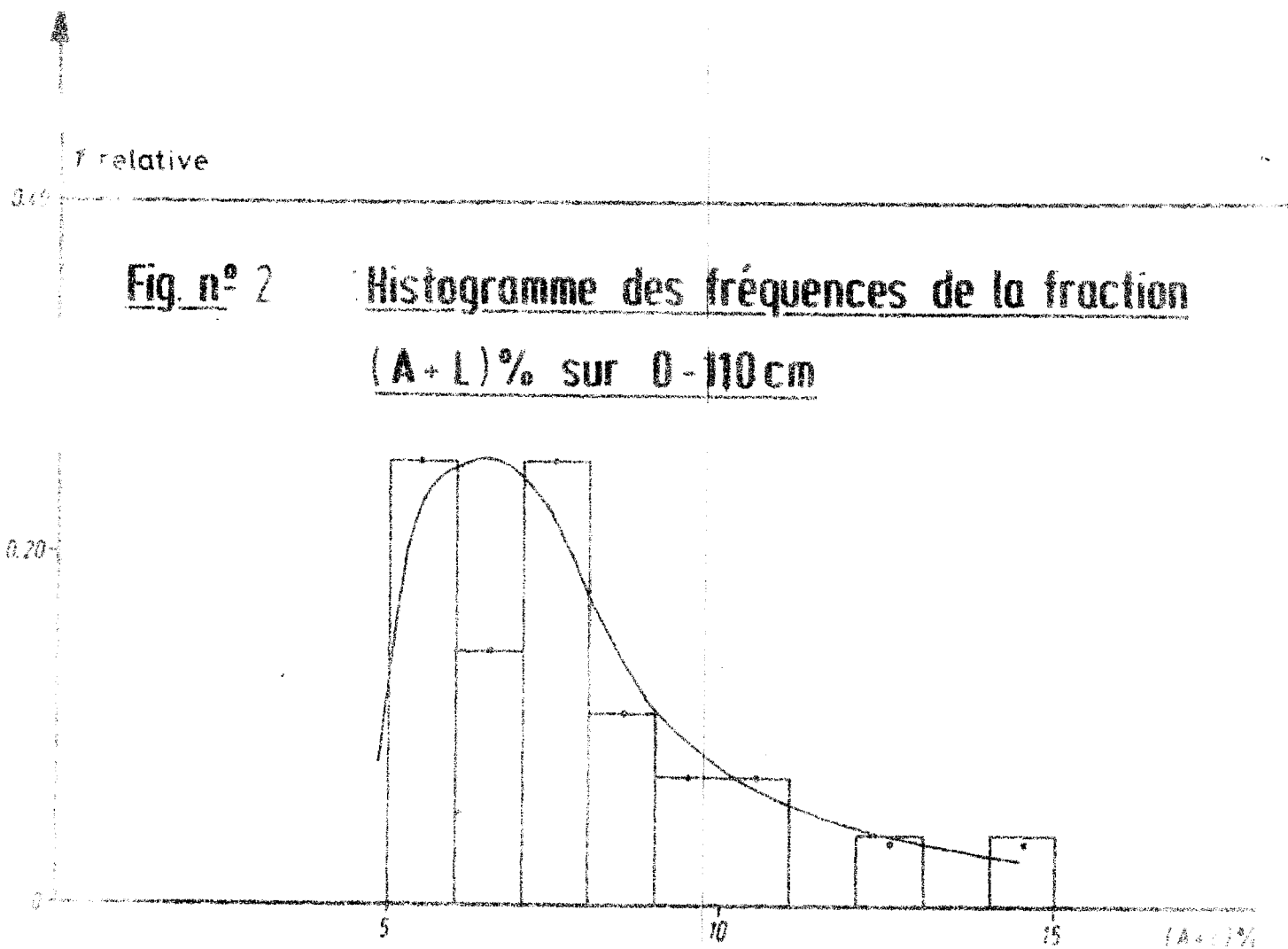
- quelle que soit la distance entre deux sites, ceux-ci ne sont jamais totalement indépendants, car $\gamma(h)$ croît avec la valeur de h. Toutes les mesures granulométriques ont donc une influence entre elles, et sont autocorrélées.

- il n'existe pas d'anisotropie dans l'espace car on a un comportement identique des demi-variogrammes dans les deux directions.

Remarque :

L'échantillonnage reste insuffisant pour détecter la portée du demi-variogramme (distance à laquelle on atteint un palier). La portée aurait donné une indication du phénomène régionalisé : deux points de mesure étant au delà de cette distance sans corrélation.

.../...



3 - CARACTERISATIONS "LOURDES" SUR MONOLITHE

3.1 - Dispositif expérimental

Les sites 12, 31, 15, 36 ont été choisis pour leur représentativité :

	12	31	15	36
(A + L) 0-110 cm	5.1	5.9	8.9	13.0

On a réalisé sur chacun d'eux un monolithe de sol isolé sur son pourtour par un film plastique jusqu'à la profondeur 1,5 m. Outre l'équipement déjà décrit, un anneau ($\Phi = 48$ cm) pour essai Muntz a été placé autour du tube.

3.2 - Essai d'infiltration

Il s'agit d'imposer une lame d'eau constante sur la surface du monolithe et de suivre l'évolution de la vitesse d'infiltration à l'intérieur de l'anneau central. Chaque essai nous a permis de détruire la conductivité à saturation K_s à la cote 110 cm.

	12	31	15	36
K_s (cm/h)	21.6	21.0	18.0	9.4

3.3 - Evolution en drainage interne

Nous avons suivi l'évolution des profils hydriques en drainage. A la capacité de rétention, c'est à dire 3 jours après irrigation, nous avons sur la tranche de sol 0-1 m les stocks utiles suivants :

	12	31	15	36
Humidité au point de flétrissement (%)	1.8	2.0	3.0	4.0
Humidité de rétention (%)	10.5	10.0	12.0	15.0
Stock disponible (mm)	87	80	30	110

3.4 - Caractéristiques hydrodynamiques

Les relations pression - humidité et conductivité humidité ont été reportées figure n° 4, 5, 6, 7 et n° 8, 9, 10, 11. Comme nous le laissent prévoir les profils granulométriques nous avons deux familles de caractéristiques hydrodynamiques:

A même teneur en eau

- pressions faibles et conductivités élevées sur les sites sableux (DIOR): 31 et 12

- pressions élevées et conductivités faibles sur les sites plus argileux (DECK) : 15 et 36

3.5 - Mouélisation de la relation K (θ)

Il s'agit d'ajuster un modèle à un paramètre n (modèle de Mualem) sur les valeurs expérimentales conductivité-teneur en eau. Le paramètre n est théoriquement caractéristique d'un type de sol et devrait donc pouvoir être appliqué en n'importe quel point du champ. Ce modèle utilise la conductivité à saturation K_s , la teneur en eau résiduelle θ_r et la relation pression - teneur en eau :

Les valeurs θ_r ont été obtenues par extrapolation des courbes $h(\theta)$ mesurées aux champs à 110 cm :

	12	31	15	36
θ_r (%)	1.7	1.0	3.1	3.8

La valeur du paramètre n est obtenue par dichotomie en minimisant la somme des résidus par rapport aux valeurs expérimentales (voir fig. n° 12).

	12	31	15	36
n	1.4	1.6	1.5	2.5

La valeur de n sur le site 36 se différencie nettement des autres valeurs : il s'agit en effet du site argileux situé dans le bas fond.

Nous retiendrons donc 2 valeurs de n :

- 2.5 pour le site du bas fond
- 1.5 pour tous les autres points du champ

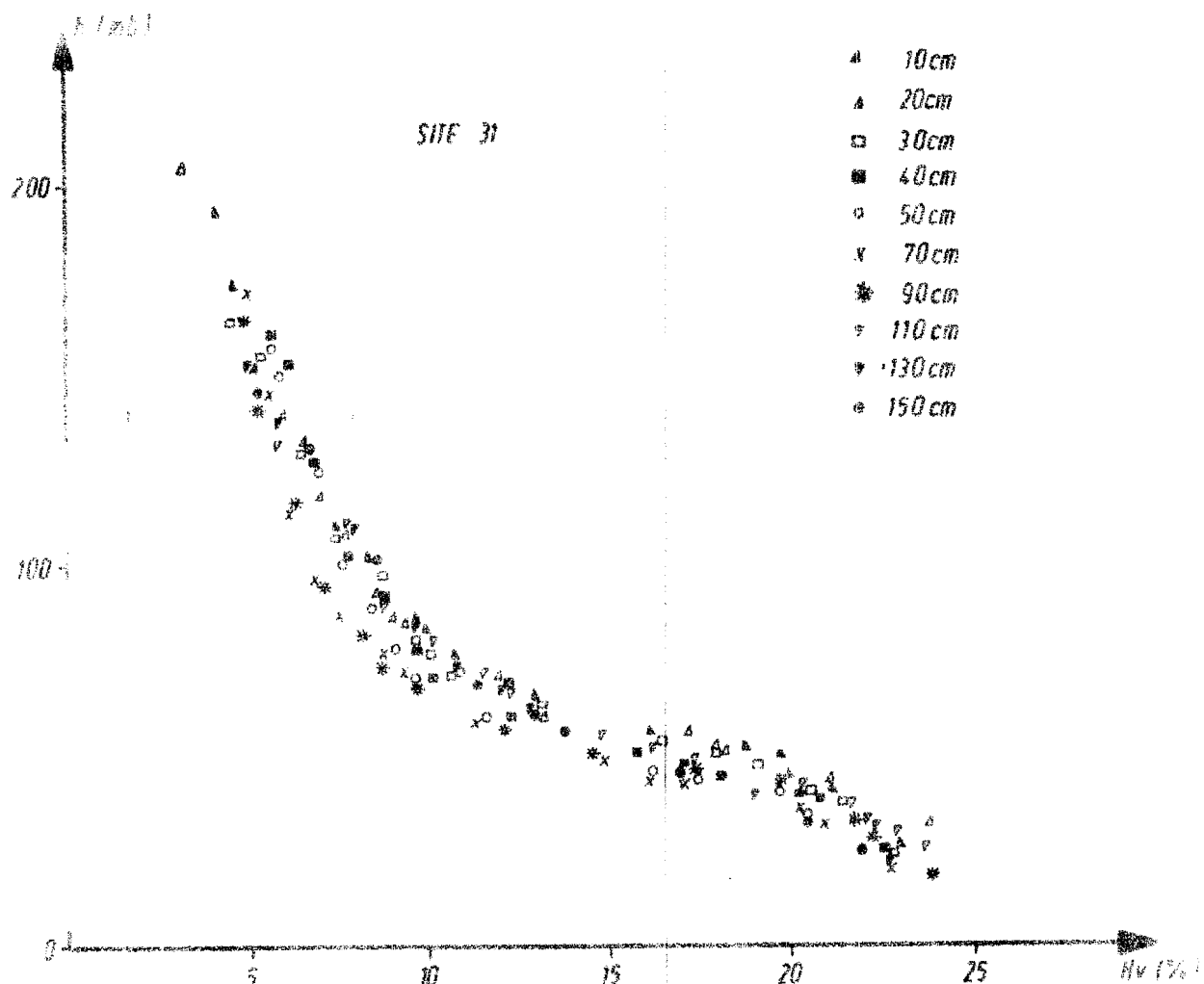
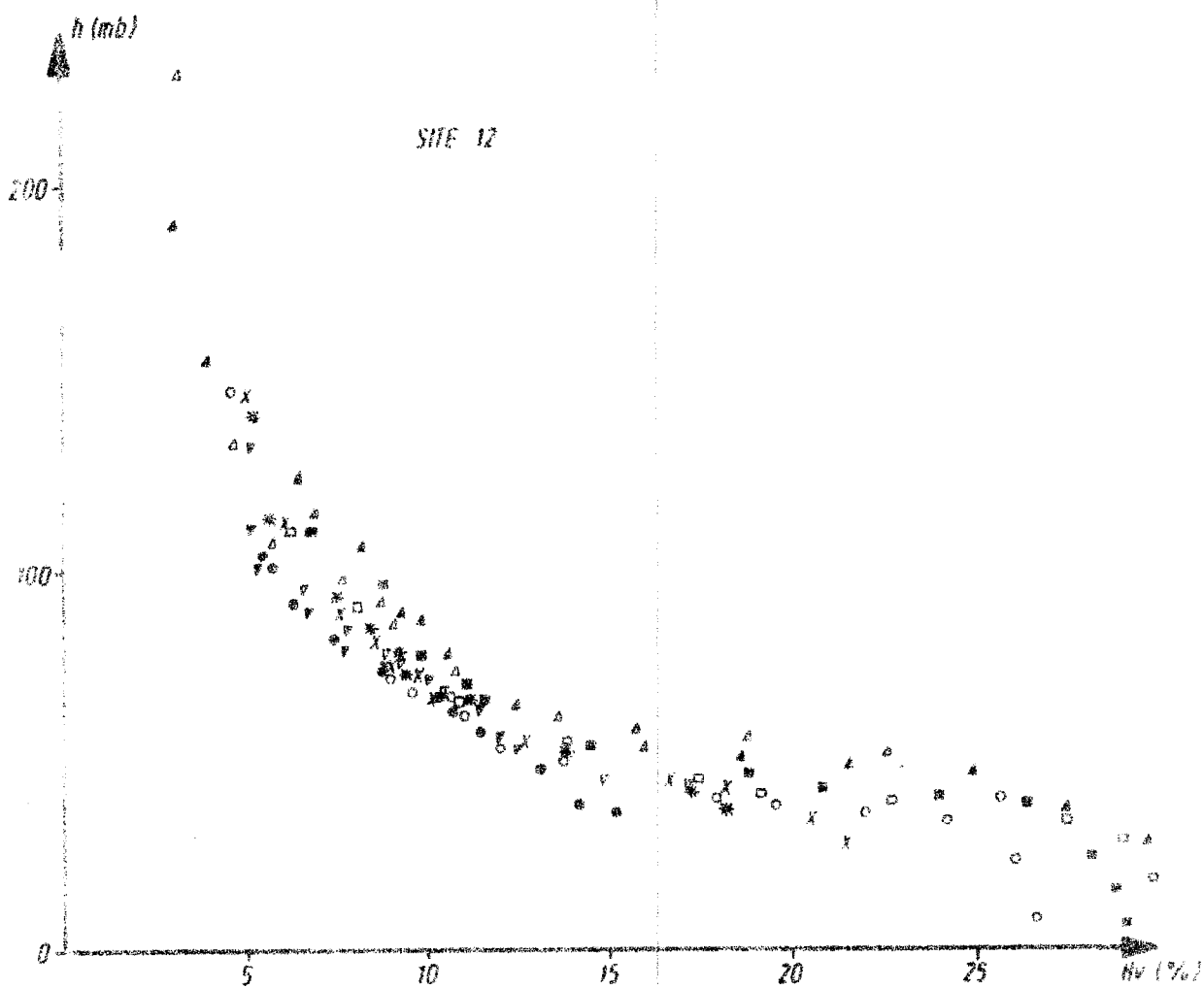


Fig. n° 4 : Relation pression-humidité du monolithe 31



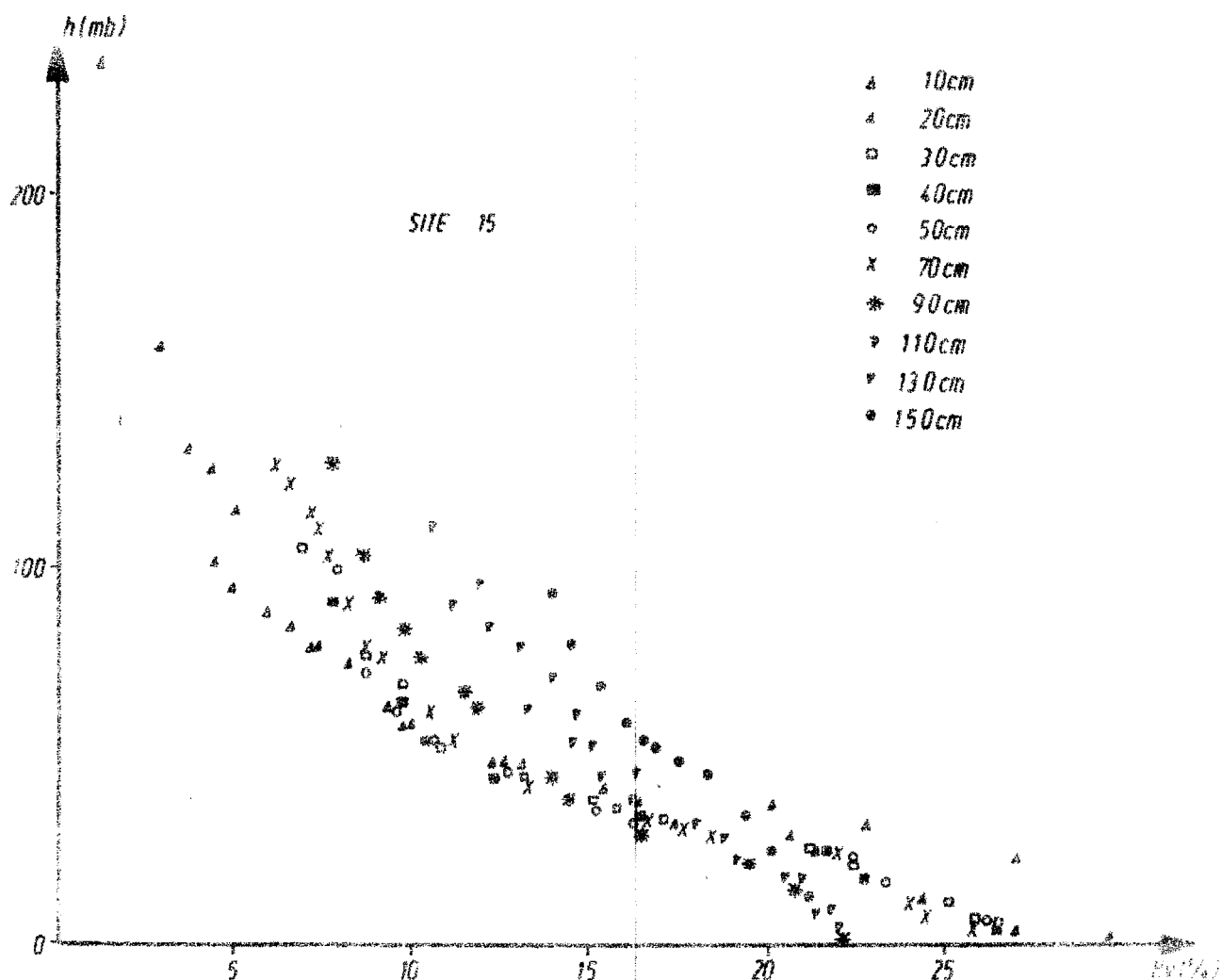


Fig. n° 6 : Relation pression-humidité du monolithe 15

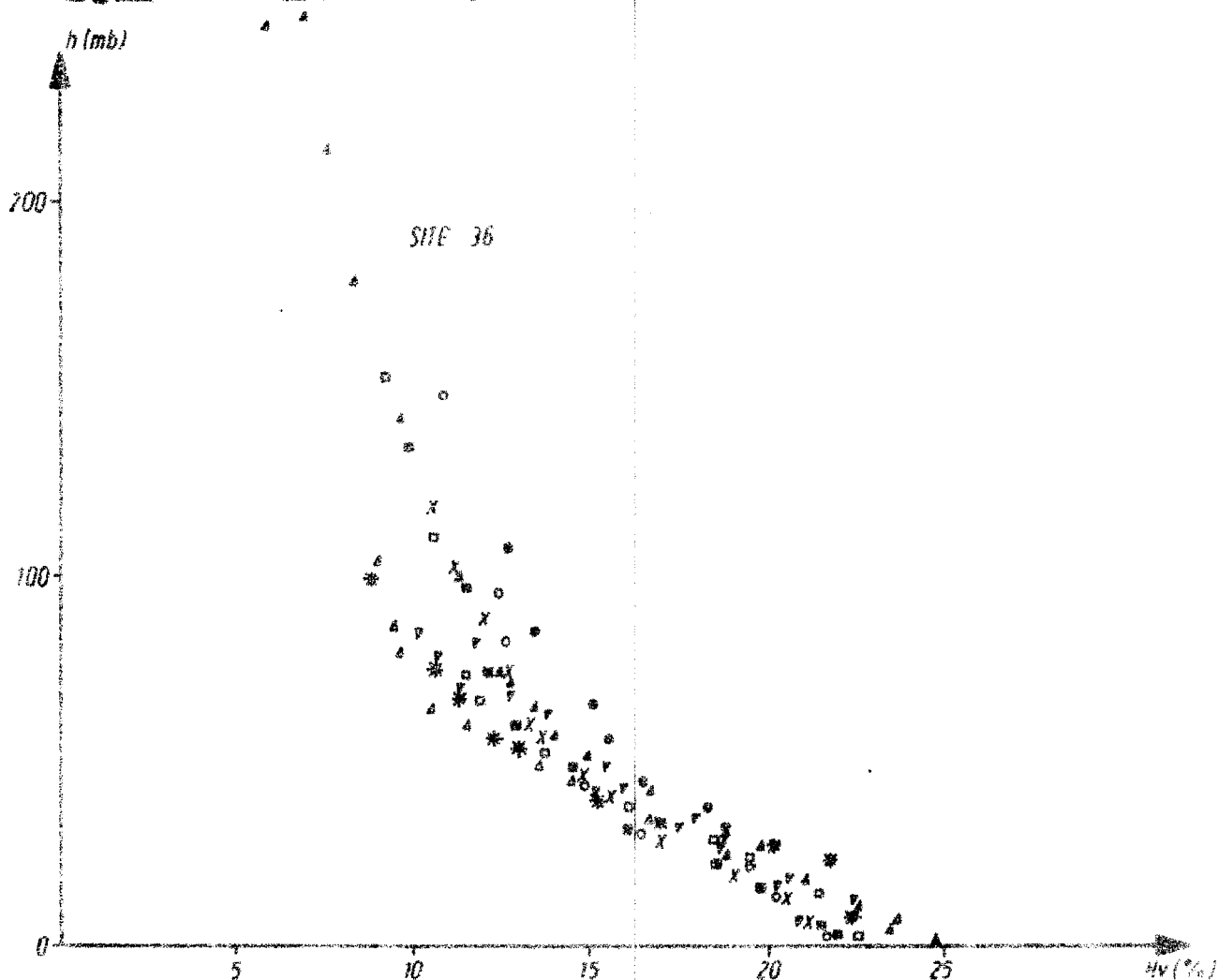


Fig. n° 7 : Relation pression-humidité du monolithe 36

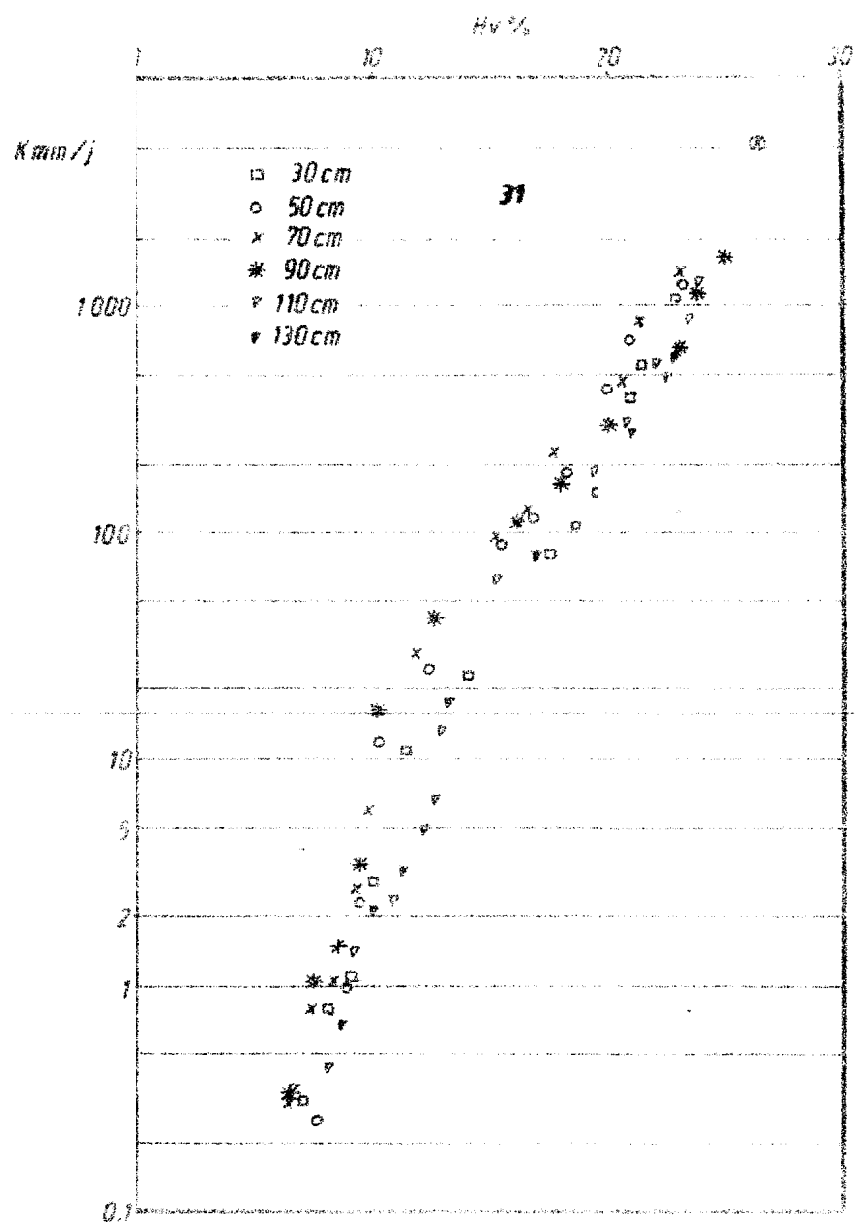


Fig. n° 8 Relation entre conductivité hydraulique et teneur en eau, toutes sections confondues, sur monolithe 31

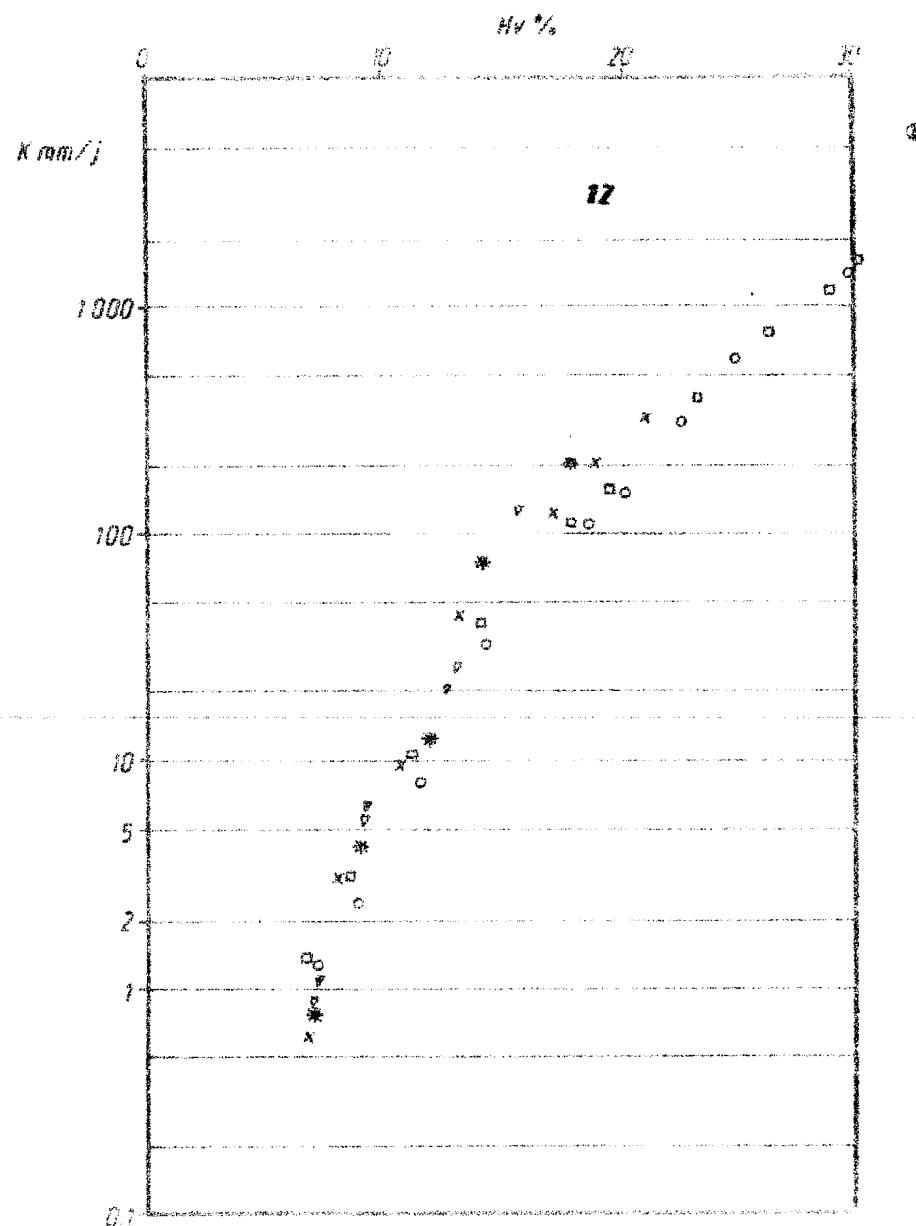


Fig. n° 9 Relation entre conductivité hydraulique et teneur en eau, toutes sections confondues, sur monolithe 12

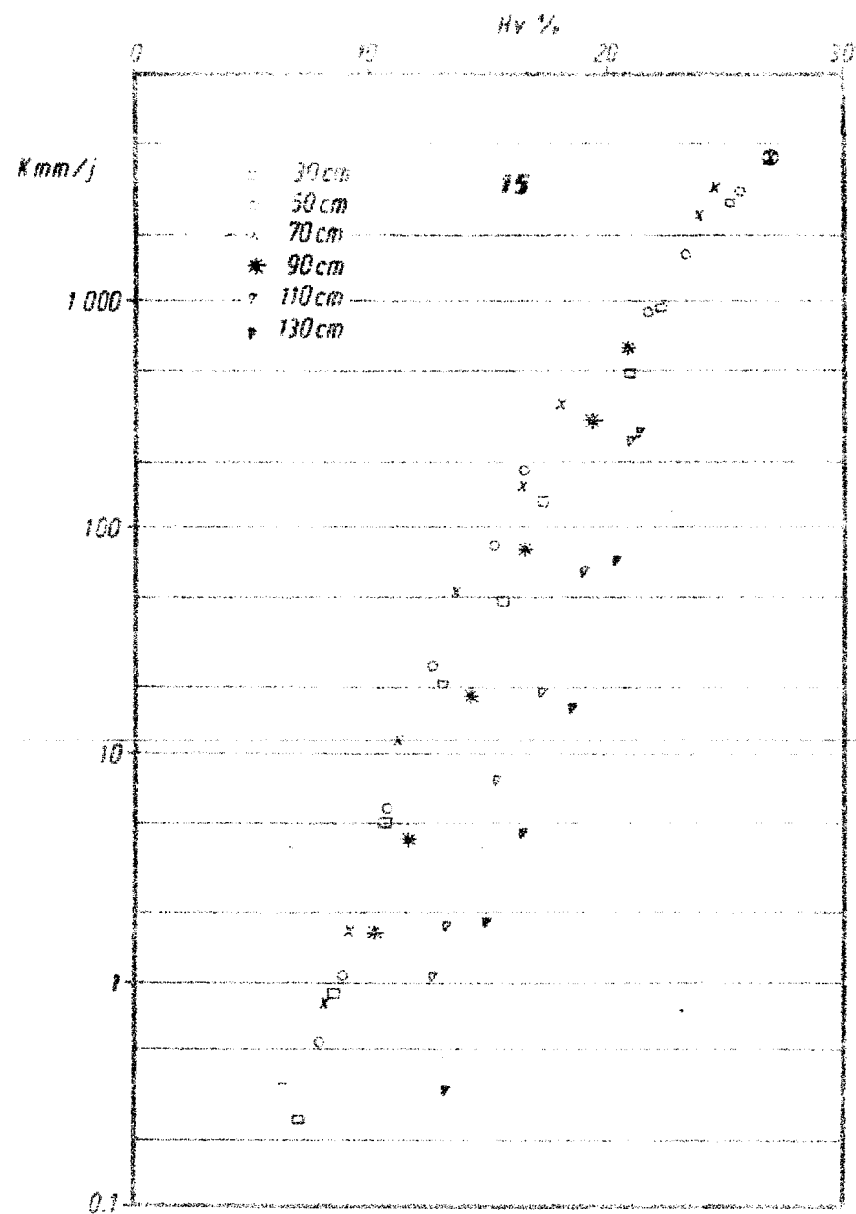


Fig. n° 10 Relation entre conductivité hydraulique et teneur en eau, toutes sections confondues, sur monolithe 15

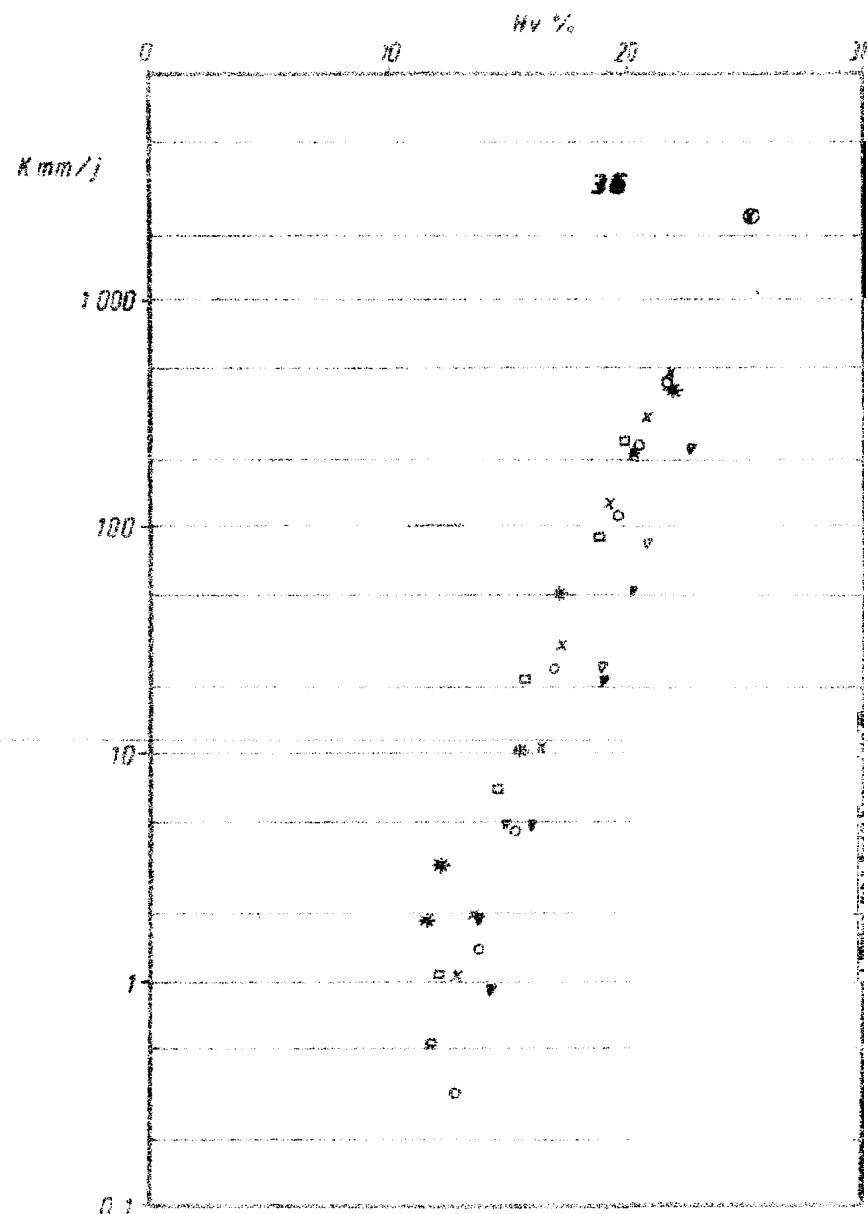
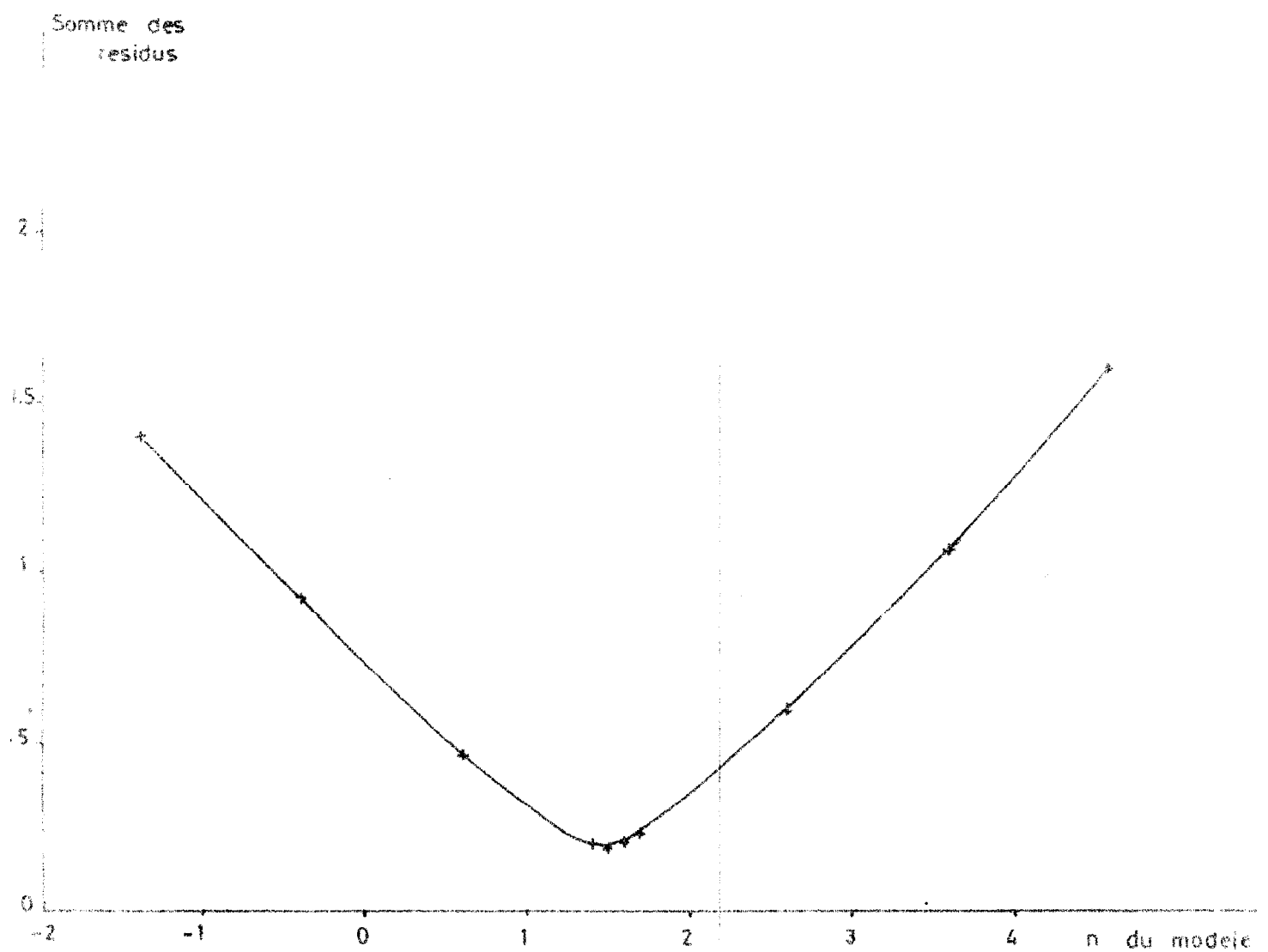


Fig. n° 11 Relation entre conductivité hydraulique et teneur en eau, toutes sections confondues, sur monolithe 36

Fig. n° 12 : Calage du modèle sur les valeurs
mesurées de la conductivité.

(site 15)



4 - CARACTERISATION "LEGERES"::

Il s'agissait de faire un grand nombre de caractérisation avec un dispositif simple, dans l'optique d'une modélisation ultérieure sur ordinateur.

4.1 - Dispositif expérimental

Nous disposons de 24 sites de mesures. Chacun d'eux comprend un tube d'accès à la source neutronique jusqu'à 2 m et deux tensiomètres aux cotes 110 cm et 120 cm. 2 anneaux entourent le tube et les tensiomètres : un anneau muntz de diamètre $\varnothing 1 = 40$ cm et un anneau de garde de diamètre $\varnothing 2 = 90$ cm.

4.2 - Description de l'essai

Une lame d'eau constante de 4 cm est maintenue dans les deux anneaux. La vitesse d'infiltration de l'eau dans l'anneau central est suivie sur un vase de Mariotte gradué. L'essai s'arrête lorsque le front d'humectation arrive à la cote 110 cm, c'est à dire lorsque le tensiomètre correspondant accuse le décrochement. La conductivité à saturation de la cote 110 cm est déduite de la vitesse d'infiltration dans la tranche de sol saturé 0-110 cm.

4.3 - Caractéristiques hydrodynamiques

Conductivité à saturation

Nous nous sommes aperçus pour chaque Muntz que nous avons une perte de stock d'eau considérable de l'ordre de 45 à 50 % par rapport à l'apport. Ceci tend à montrer que la diffusion latérale joue un rôle important dans ce type d'essai. Les valeurs mesurées de la conductivité à saturation sont donc maximisées, et nous avons dû étudier plus précisément l'influence de ces écoulements latéraux sur nos mesures. Pour cela, un essai Muntz a été effectué sur un monolithe de caractérisation "lourde". La perte de stock obtenue a été à nouveau de l'ordre de 45 % et la conductivité à saturation inférieure dans un rapport de 12,5 % à la valeur réelle déjà mesurée. De ce fait, nous avons corrigé par analogie toutes nos valeurs mesurées sur Muntz (valeurs corrigées plan n° 3).

Relation pression - teneur en eau

Nous n'avons pas reporté ici les 24 courbes $h(\theta)$. Elles sont traitées statistiquement par la suite.

5 - ANALYSE DES RESULTATS

5.1 - Etalonnages de la sonde neutron

Pour plus de précision, nous avons effectué un étalonnage pour chacun des tubes. Les droites d'équation sont du type :

$$\theta = a(R * 100) + b \quad \text{avec} \quad R = \frac{\text{comptage sonde}}{\text{comptage étui}}$$

Les paramètres varient entre 0.27 et 0.33 pour la pente a et entre -1.5 et -3 pour l'ordonnée à l'origine b .

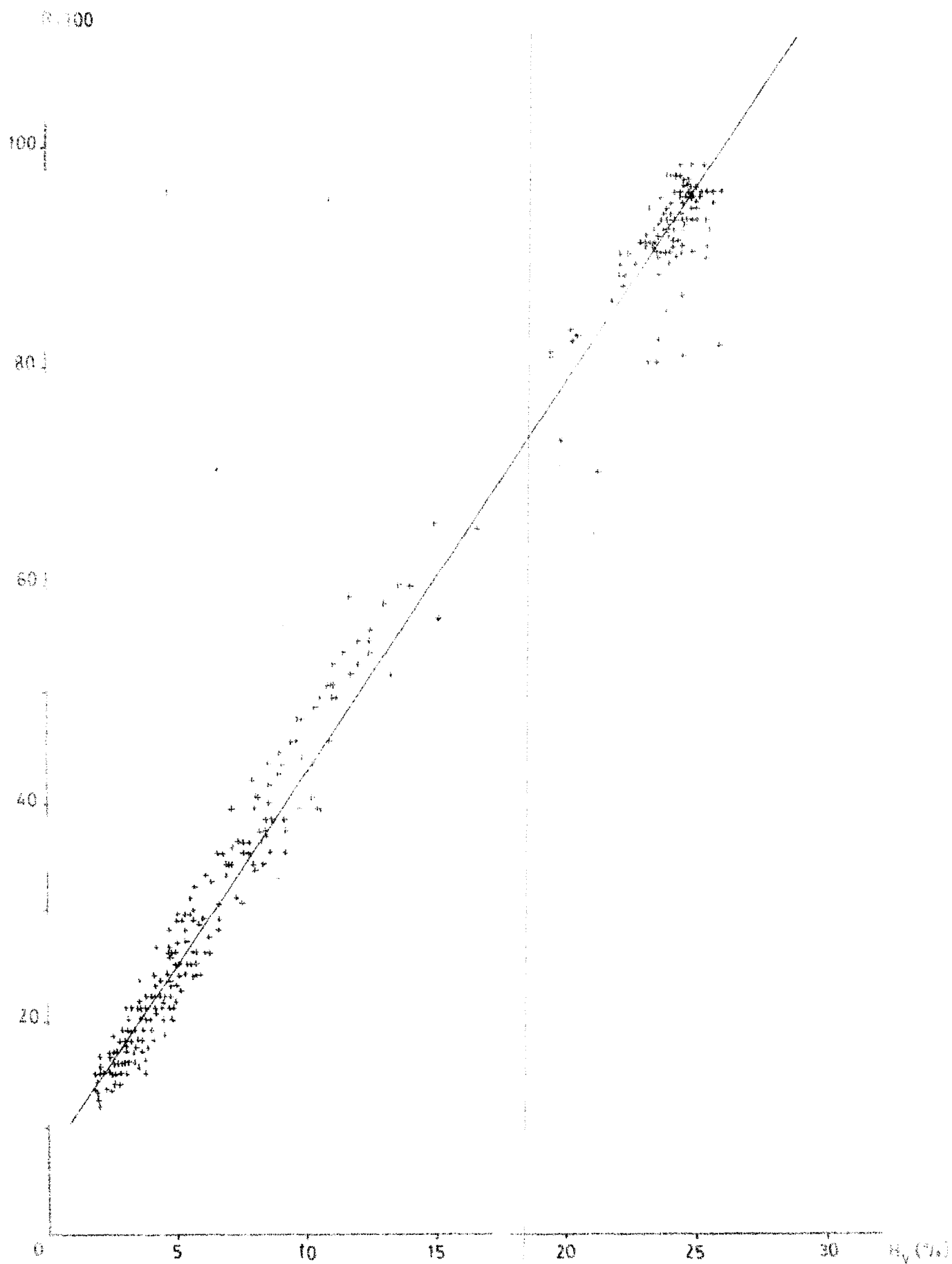


Fig. n° 13 : Etalonnage de la sonde neutron
tous sites confondus.

En reportant tous les points sur une même graphique (voir fig. n° 13) nous avons obtenu l'équation :

$$\theta = 0.288 (R \cdot 100) - 2.487$$

avec - coefficient de corrélation : $r = 0.998$
 - écart-type sur a : $Sa = 0.0019$
 - écart-type sur b : $Sd = 0.1035$

La variance des paramètres de l'équation est faible, ce qui tend à prouver qu'il y a une certaine homogénéité de nos étalonnages. Mais l'utilisation d'une droite d'étalonnage unique pour toute la surface donnerait un biais parfois très important aux mesures d'humidité.

5.2 - Conductivités à saturation

Les valeurs de conductivité à saturation présentent une forte variabilité due à :

- la variabilité spatiale
- aux accidents de terrain : termitières sur les sites 34, 33 et 41, et trous de rats sur les sites 22, 32 et 35. Si les sites sur termitières peuvent être représentatif d'une surface (le diamètre d'une termitière est supérieur à 5 m), les trous de rats sont des hétérogénéités ponctuelles qui vont donner un biais à l'analyse. C'est pourquoi nous éliminerons les valeurs de conductivité à saturation des sites 22, 32 et 35.

Distribution de fréquence

La distribution des fréquences relatives et cumulées (fig. n° 14a et 14b) donne à penser que la loi est log-normale. Tracée sur papier log-normal, la distribution est linéaire. Les paramètres de la loi sont : moyenne $K_s = 20 \text{ cm/h}$ et intervalle de confiance 68 % = $J75.e = 25.4$ /

Remarques :

Le caractère multimodal de la distribution de fréquence provient des accidents de terrain : le 2ème mode correspond en effet aux sites sur termitières.

Certains points s'écartent sensiblement de la droite log-normale. Il s'agit des sites :

- 36 correspondant au bas fond
- 34, 33 correspondant aux termitières
- 25 que nous n'avons pas noté comme accident mais qui certainement en est un.

5.3 - Relation pression - teneur en eau :

Le nuage de points obtenu en reportant les valeurs expérimentales de chaque tube sur un même graphique est tracé fig. n° 15. La dispersion importante des valeurs est essentiellement due au fait de la variabilité spatiale du sol,

Fig. n° 14a : Histogramme des fréquences relatives de la conductivité à saturation.

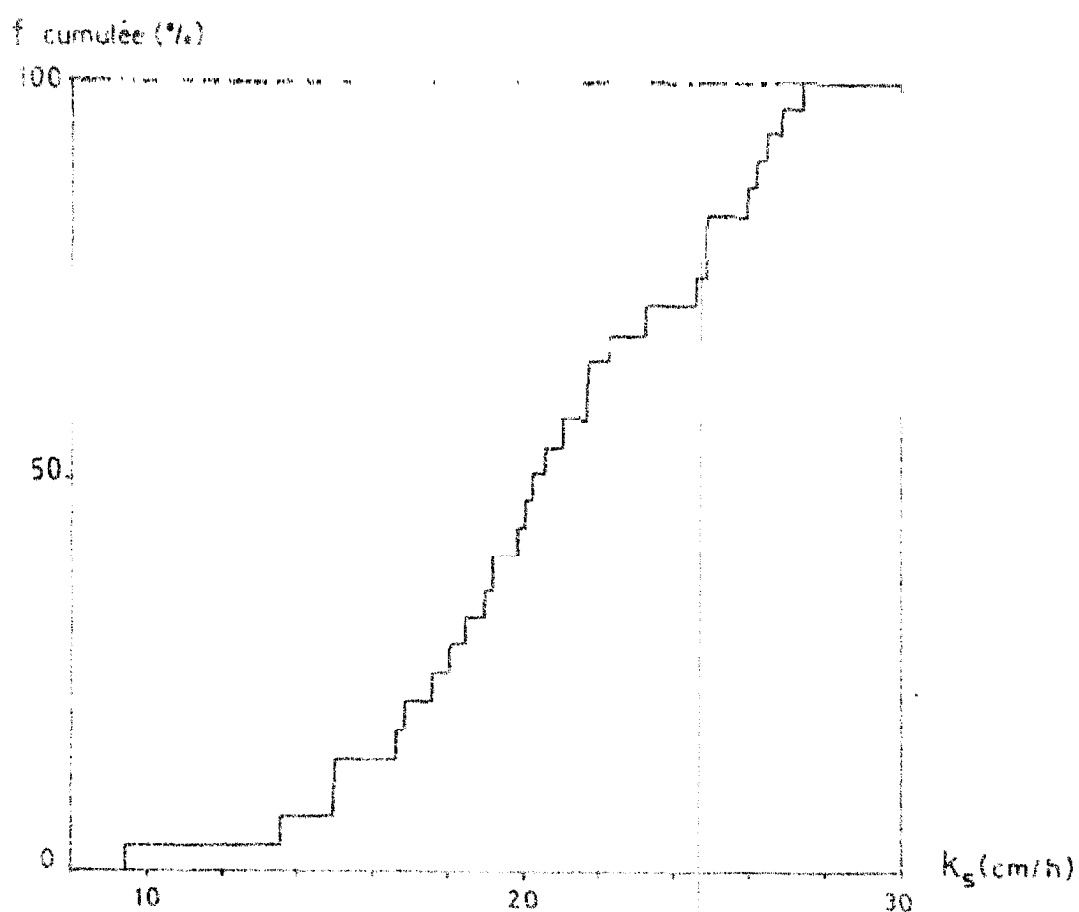
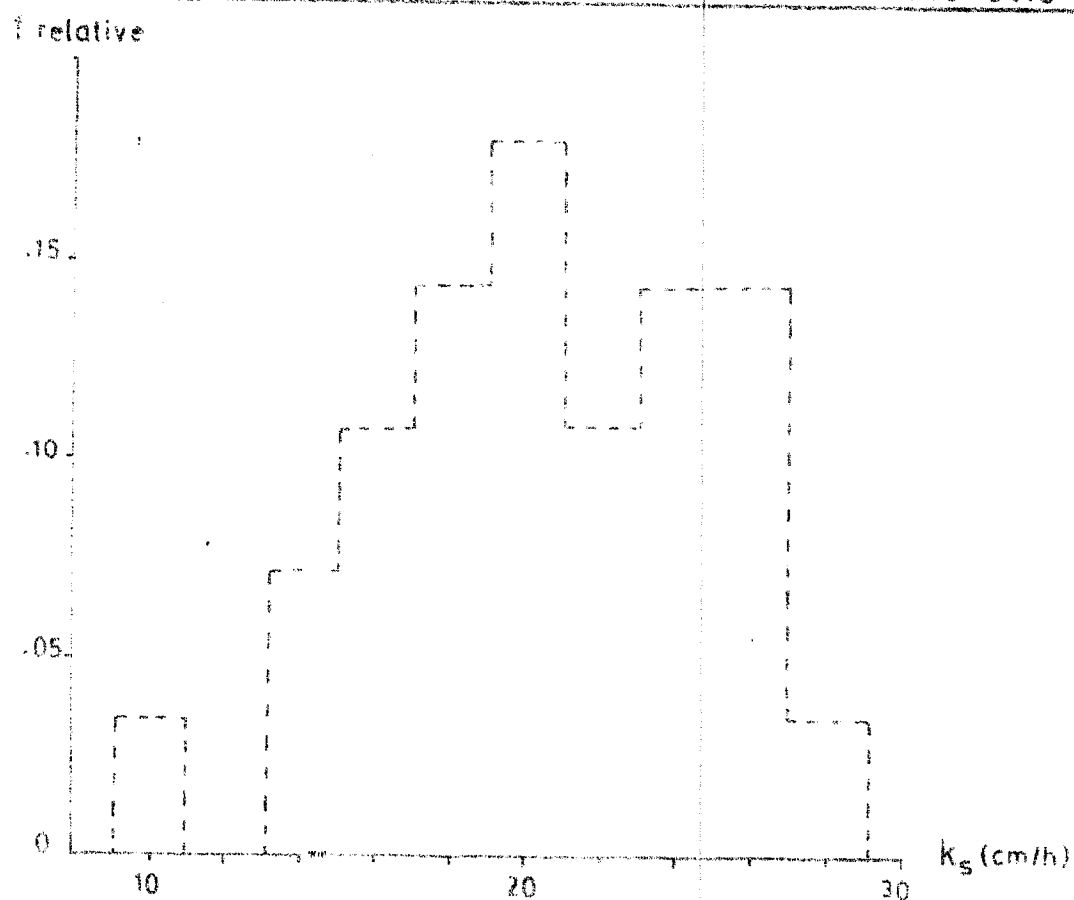


Fig. n° 14b : Graphique des fréquences cumulées

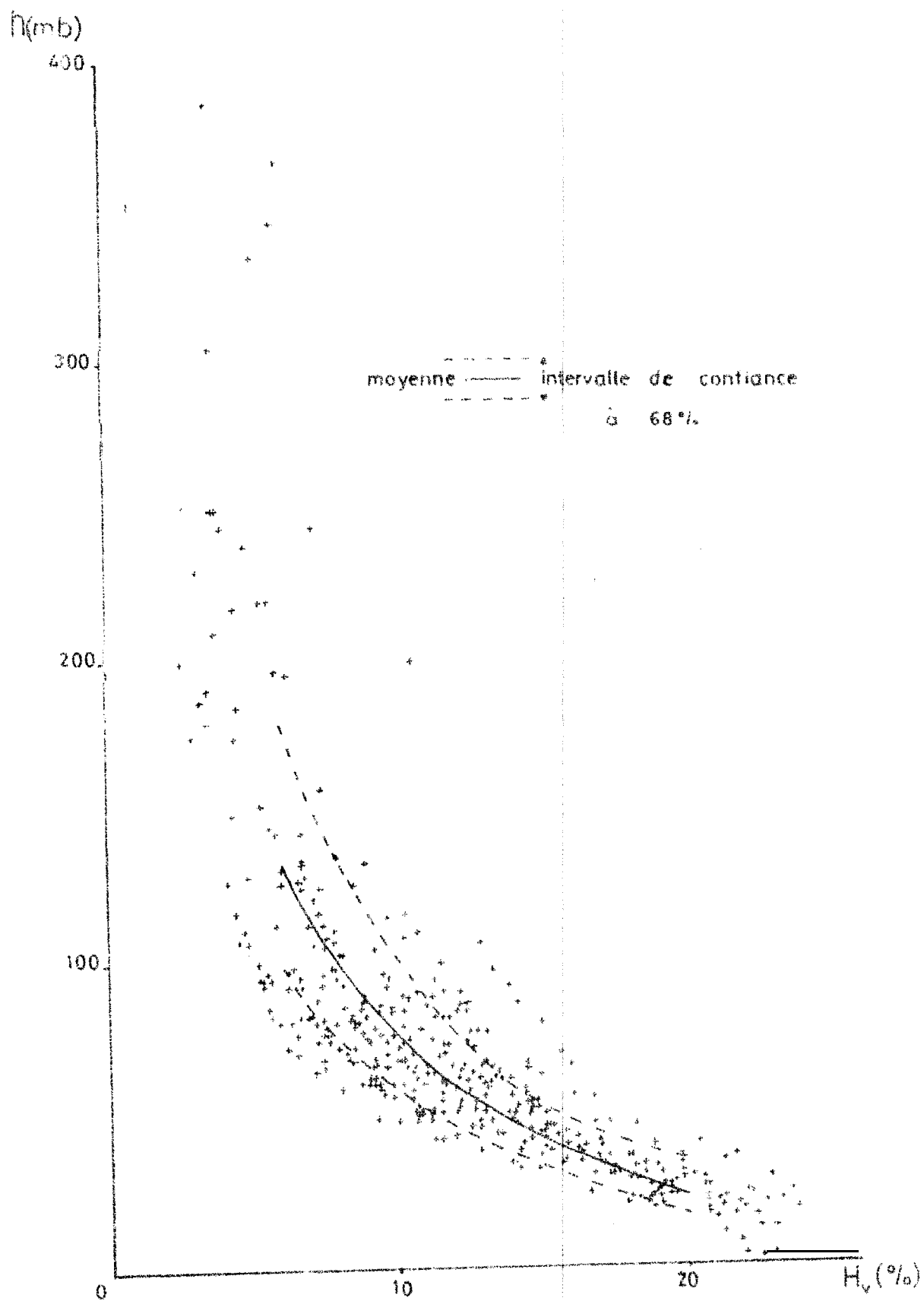


Fig. n° 15 : Relation pr  ssion - humidité tous sites confondus.

Distribution des pressions à différentes humidités

Nous avons reporté figure n° 16 les distributions de fréquence des pressions aux humidités 20 %, 16 %, 12 % et 6 %. Les lois de distribution sont log-normales et leurs paramètres sont :

Hv (%)	20	16	12	6
Moyenne	25.5	38.5	60.2	133.0
Intervalle de confiance à 68 %	[18.8, 35.2]	[30.3, 49.0]	[45.9, 79.1]	[99.0, 177.8]

5.4 - Modélisation de la relation $K(\theta)$ sur les sites légers

La relation conductivité - teneur en eau peut être modélisée sur tous les sites à l'aide des informations que nous possédons :

- relations pression - teneur en eau
- conductivités à saturation

mais nous n'avons pas ici simulé les 24 relation $K(\theta)$ et nous nous en sommes tenus à caractériser seulement les sites choisis pour le suivi d'hivernage.

5.5 - Choix des parcelles

Notre choix s'est effectué de façon à avoir l'échantillon de sols le plus varié, tout en isolant des parcelles homogènes. Les parcelles choisies sont figurées schéma n° 2 avec les indices 1 à 6. Les parcelles n° 1, 2 et 3 sont sableuses, de type DIOR mais les parcelles n° 4, 5 et 6 sont plus argileuses (observation à partir des 4 sites entourant chaque parcelle). Ainsi pour le suivi hydrique et minéral, nous avons une gamme de sols représentative de la région centre-nord du Sénégal.

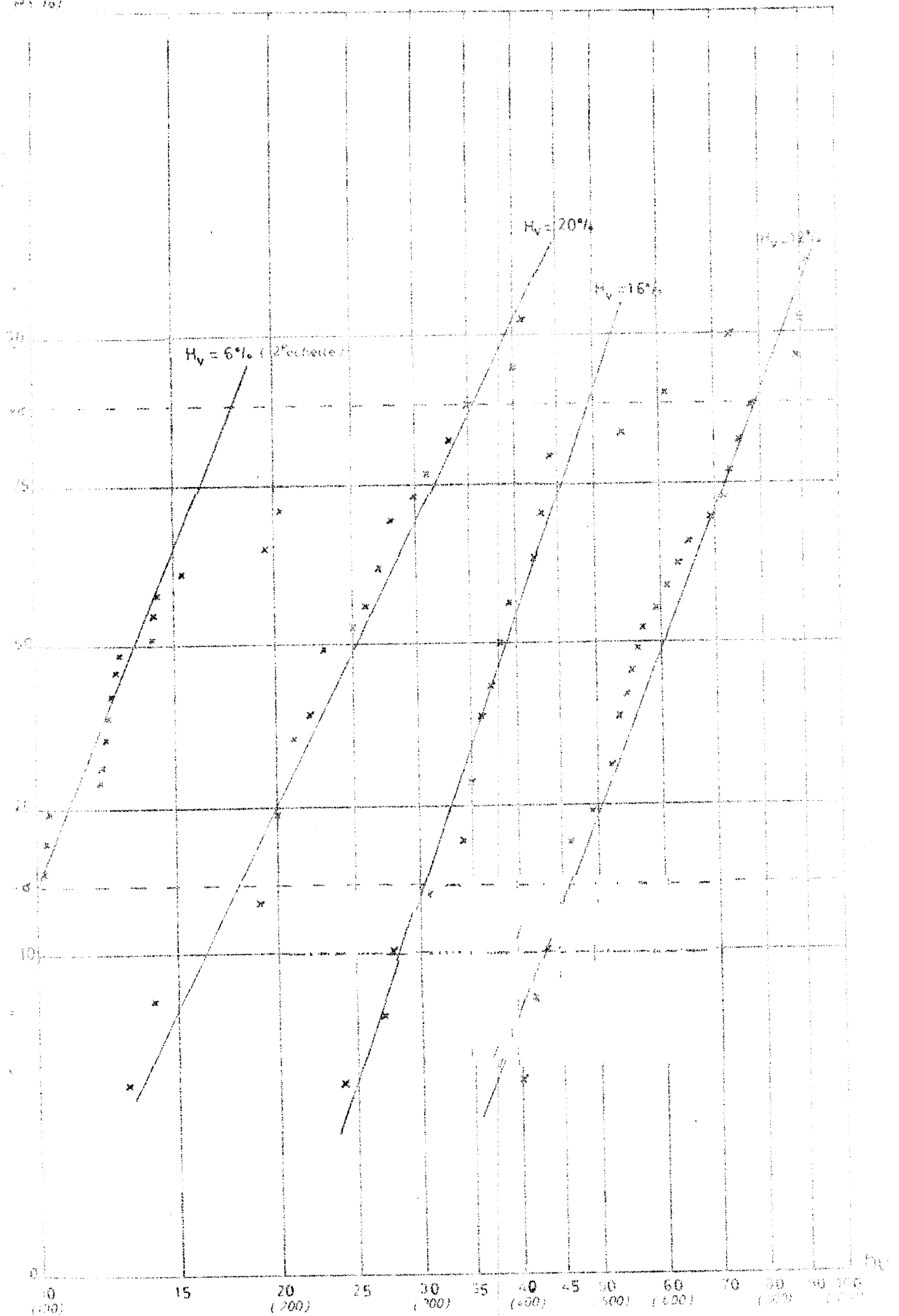
5.6 - Caractérisation hydrodynamique des parcelles choisies

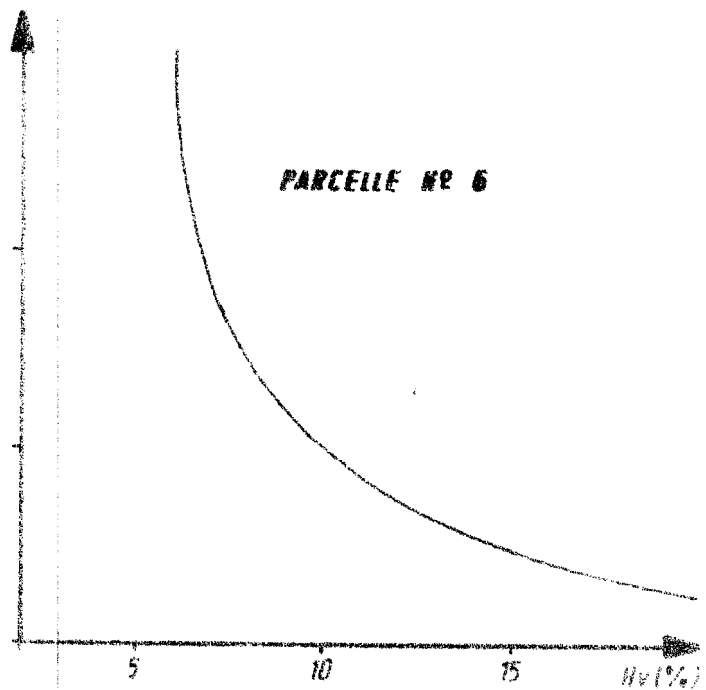
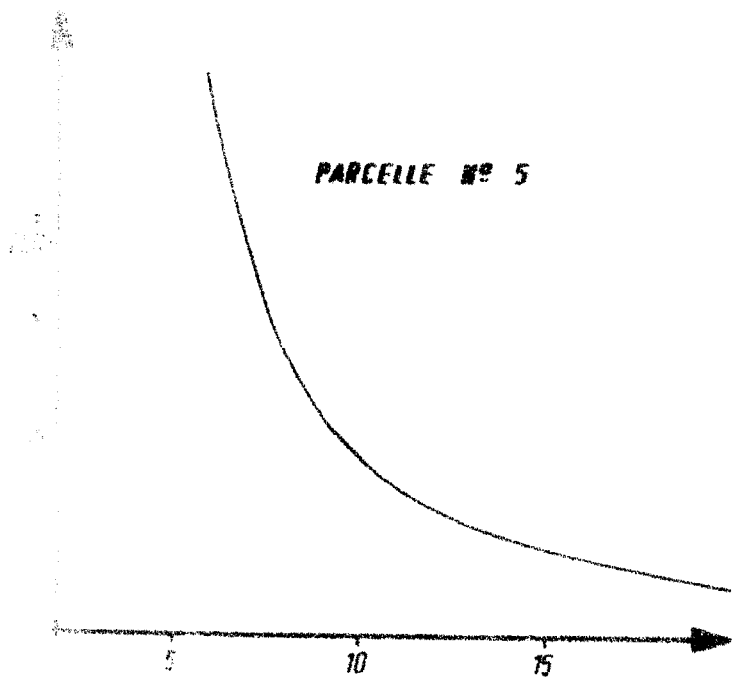
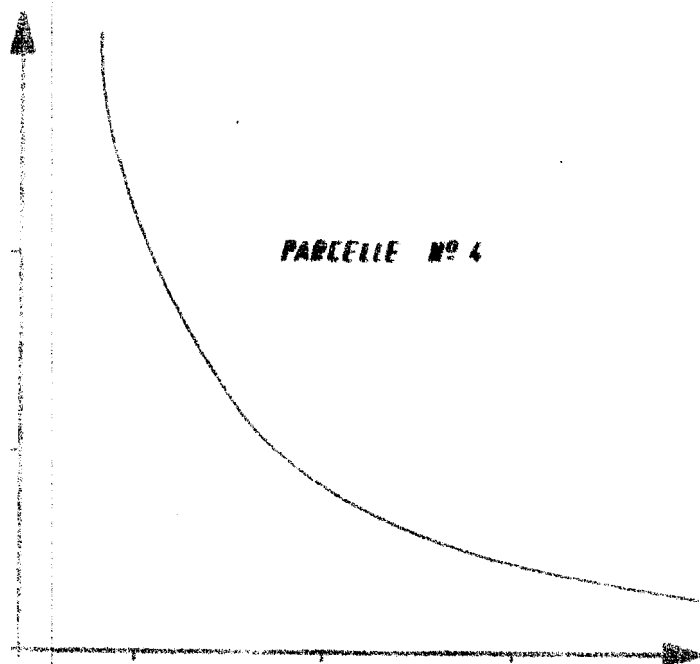
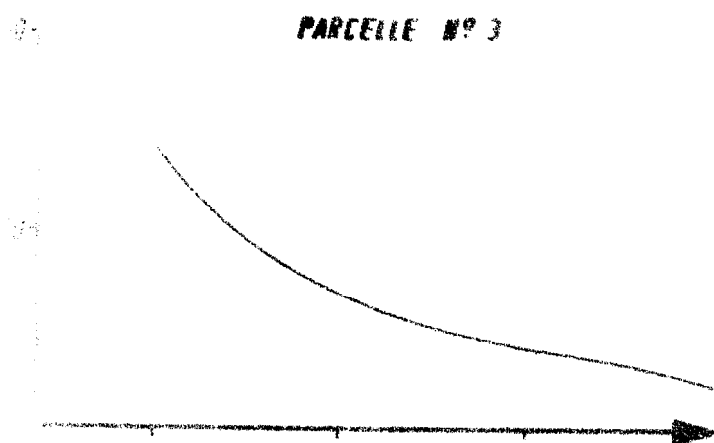
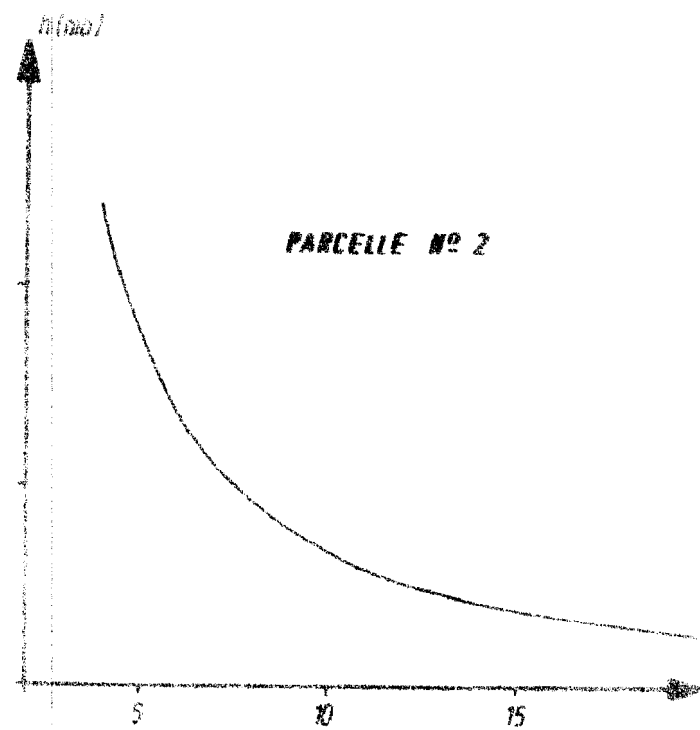
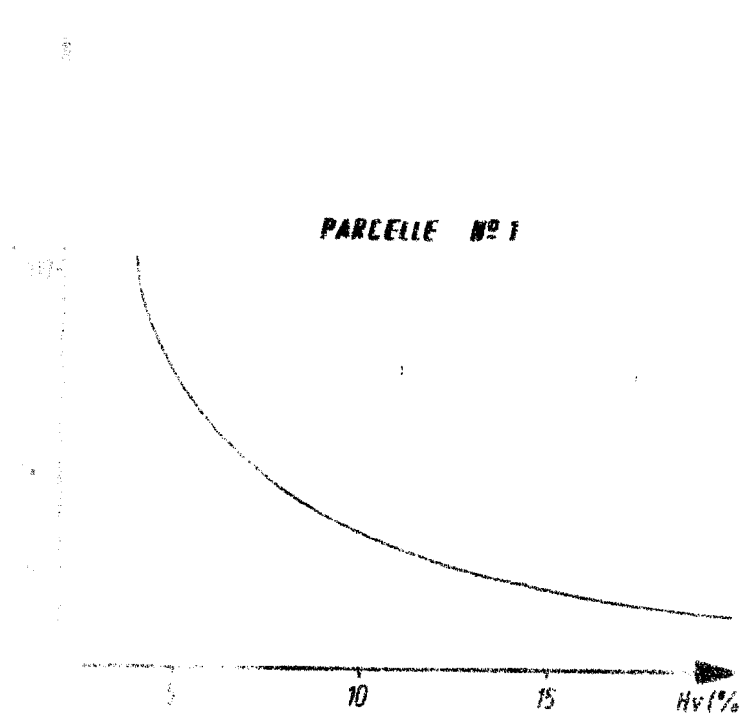
Relation pression-teneur en eau

Une courbe moyenne a été établie pour chaque parcelle en interpolant à partir des sites entourant celle-ci. L'interpolation utilisée est très simple : il s'agit de pondérer chaque mesure par son coefficient de Thiessen : c'est à dire par sa zone d'influence. Les courbes obtenues ont été tracées figure n° 17. Une interpolation ponctuelle simple utilisant les différences finies :

$$\frac{1}{4} [Z(i-1, j) + Z(i+1, j) + Z(i, j-1) + Z(i, j+1)]$$

aurait donné des résultats identiques au centre de chaque parcelle.





Relation conductivité - teneur en eau

La modélisation de la relation s'est effectuée à partir des données suivantes :

- courbes $h(\theta)$ de la parcelle
- conductivité à saturation moyenne à partir des 4 sites entourant la parcelle
- valeur moyenne du paramètre du modèle : $n = 1,5$ (sauf sur la parcelle 6 beaucoup plus argileuse $n = 2,5$).

Les relations $K(\theta)$ obtenues ont été reportées fig. n° 18, 19, 20, 21, 22 et 23.

6 - METHODE PROPOSEE POUR LE SUIVI D'HIVERNAGE

6.1 - Objectif fait

La parcelle ayant l'objet de l'expérimentation précédente, il a été proposé d'apporter des réponses quantitatives aux problèmes suivants :

- estimation de l'efficacité réelle de l'eau et des engrais (compte tenu des pertes) à l'échelle de la parcelle.
- influence du travail du sol et des cultures sur l'évolution des éléments minéraux du sol,

6.2 - Expérimentation :

Dès l'hivernage 1979, les six parcelles retenues ont été semées en arachide, avec fumure maximum. Sur deux parcelles, (2 et 5), un suivi complet des flux dans la zone racinaire sera effectué ; on se limitera sur les 4 autres parcelles à la détermination des pertes à la cote 110 cm.

L'installation suivante a été mise en place :

- sur les deux parcelles avec suivi complet
 - . tube d'accès sonde neutron jusqu'à 4 m
 - . tensiomètres à 10, 20, 30, 40, 60, 70, 90, 100, 110 et 120 cm
 - . capteur de solution à 30, 60 et 110 cm - 3 répétitions par niveaux.
- sur les quatre parcelles avec suivi des pertes :
 - . tube d'accès sonde neutron jusqu'à 4 m
 - . tensiomètres à 100, 110 et 120 cm
 - . capteurs de solution à 30, 60 et 110 cm
 - . 3 répétitions par niveaux.

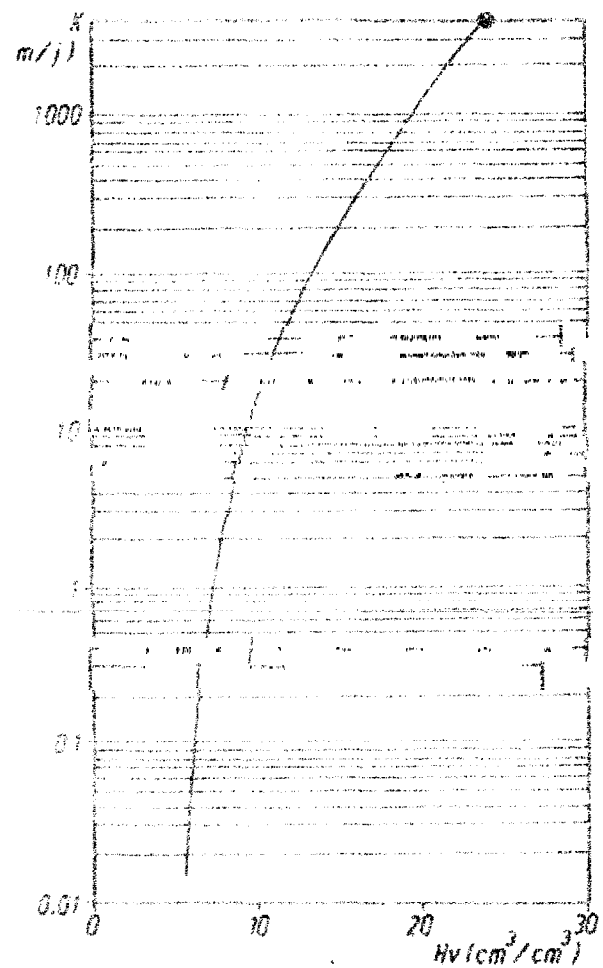


Fig. n° 18 Relation conductivité - teneur en eau de la parcelle n°1

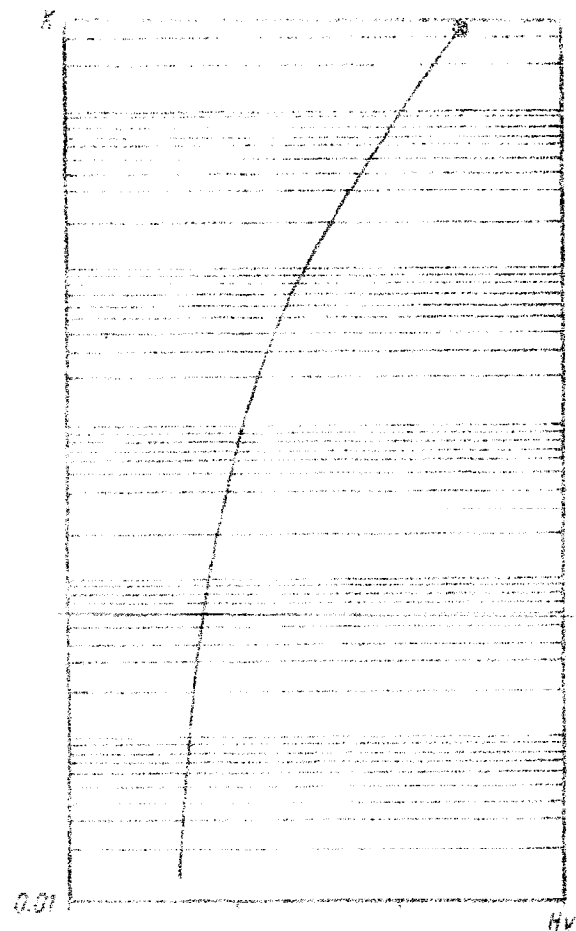


Fig. n° 19 Relation conductivité - teneur en eau de la parcelle n°2

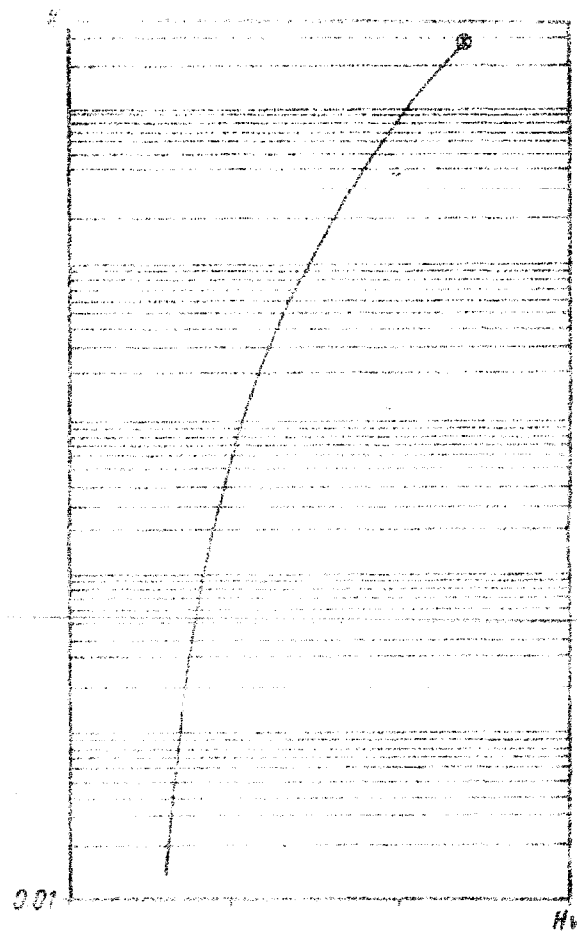


Fig. n° 20 Relation conductivité - teneur en eau de la parcelle n°3

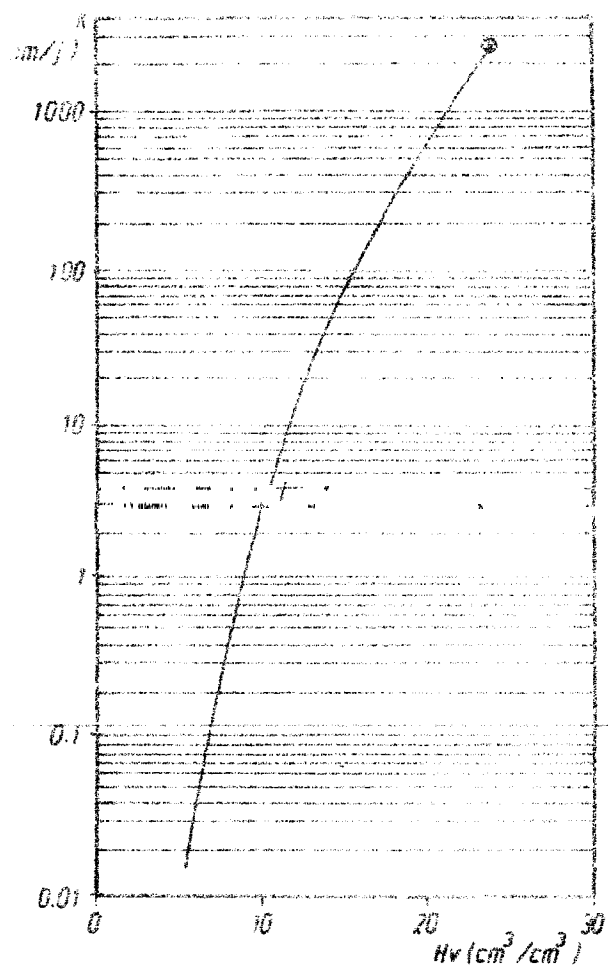


Fig. n° 21 Relation conductivité-teneur en eau de la parcelle n°4

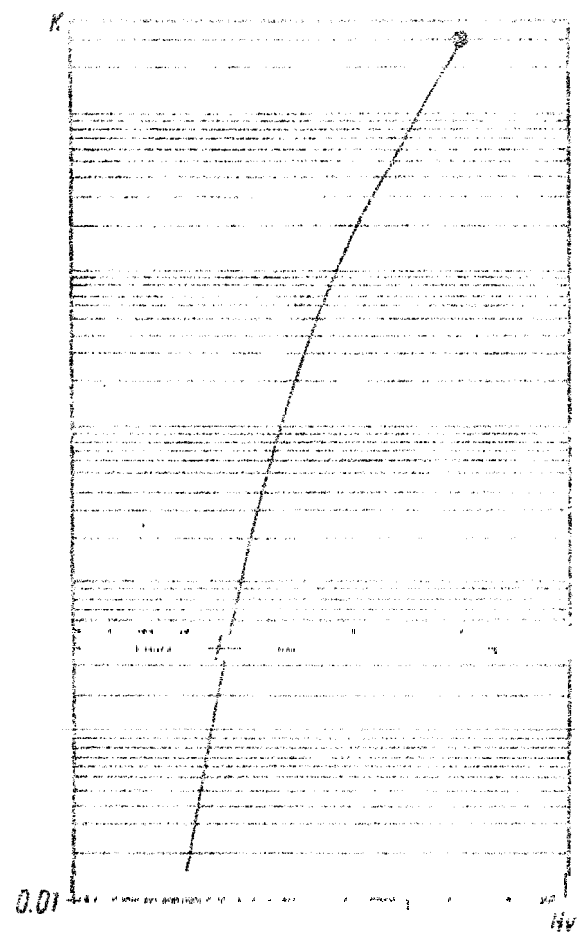


Fig n° 22 Relation conductivité-teneur en eau de la parcelle n°5

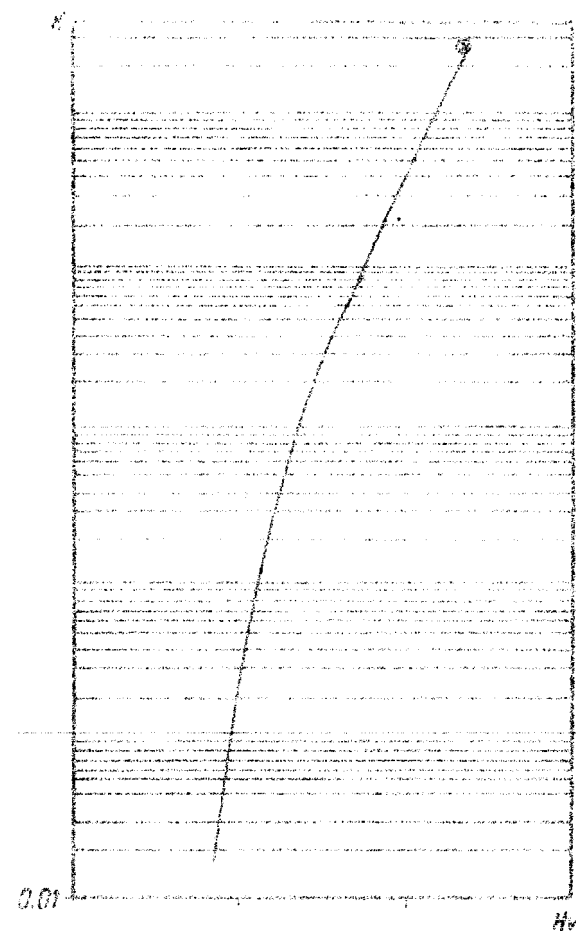


Fig n° 23 Relation conductivité-teneur en eau de la parcelle n° 6

6.3 - Méthodologie

Pour quantifier les pertes par drainage en dessous de la cote 1,10 m nous allons comparer deux méthodes :

- méthode du flux à l'aide des caractéristiques hydrodynamiques
- méthode du bilan à partir des mesures d'humidité

La détermination du flux (ou débit) d'eau à travers la cote 1,10 m, associé à des mesures de concentration des sels minéraux en solution permettra de quantifier les pertes par lixiviation.

Sur deux des parcelles, le suivi des flux dans la zone racinaire fournira des informations sur :

- la consommation hydrique de la culture
- la relation entre dynamique de l'eau (profil des charges et dynamique de l'enracinement (front racinaire)

CONCLUSION

L'étude à l'échelle d'un champ des paramètres de l'infiltration montre que sur une surface considérée au départ comme homogène, le phénomène variabilité spatiale a une grande importance. Tout le problème jusqu'à présent était de savoir comment appréhender et intégrer ce phénomène. Nous nous sommes donc efforcés de mettre en œuvre une méthodologie simple : essai Huntz + appui informatique, qui nous permette d'avoir un échantillonnage important. Les résultats qui en résultent définissent les lois de distribution des variables et les moyennes spatiales avec leur intervalle de confiance. En définissant ainsi des grandeurs représentatives, nous avons les moyens de calculer des bilans hydriques à moyenne (ou grande) échelle avec une précision connue. Il conviendrait donc à présent de faire porter de plus en plus les efforts sur les périmètres hydroagricoles où les problèmes hydrodynamiques vont devenir de plus en plus cruciaux. Ces travaux conditionnent en effet le choix du mode d'irrigation, du type d'équipement et des procédés d'économie de l'eau.

B I B L I O G R A P H I E

BAKER F.G., BOUMA J. - 1976

Variability of hydraulic conductivity in two subsurface horizons of two silt loam soils.

Soil Sci. Soc. 40 (219-221)

BIGARD J.W., NIELSEN D.R. - 1976

Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil.

Water Resources Res. 12(1) (78-84)

HAMON G. - 1978

Caractérisation hydrodynamique in situ de deux sols de culture de la région centre-nord du Sénégal.

Publication interne ISRA - Sénégal

HAVERKAMP R., HAMON G., VAUCLIN M., VACHAUD G. - 1978

Méthode directe de caractérisation hydrodynamique in situ à partir d'un essai d'infiltration en vue d'une extrapolation à l'échelle de la parcelle.

Publication au Colloque AIEA de Colombo 1978

IMBERNON J. - 1978

Variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol

Publication interne IMG Grenoble Franco,

NIELSEN D.R., BIGARD J.W., ERH K.T. - 1973

Spatial variability of field water properties.

Hilgardia 42 (215-260)

VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S., THONY J.L. - 1978

Méthode de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique

Ann. Agron. 29 -1-36).