



MICROFICHE N°

02378

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية  
وزارة الزراعة

المركز القومي  
للتوثيق الفلاحي  
تونس

F 1

CNDA 02378

1979

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Direction des Ressources en Eau et en Sol

DIVISION DES SOLS

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

CENTRE DE DOCUMENTATION AGRICOLE

24 NOV. 1979

# APPLICATION DE LA PEDOLOGIE AUX PROJETS D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE

(IRRIGATION - DRAINAGE - LUTTE CONTRE L'EROSION)

Par : Abderrahmane MAMI, Ingénieur Principal, Division des sols (DRES) septembre 1979

E-S 164

- APPLICATION DE LA PEDOLOGIE AUX PROJETS  
D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRI-COLE -  
( Irrigation - drainage - Lutte contre  
l'érosion )

-----

Par : Abderrahman Mami  
Ingénieur Principal  
Division des Sols (DRES)

Septembre 1979  
-----

-      S O M M A I R E      -

	Pages
- INTRODUCTION .....	
1.- <u>But et méthodes des études du sol dans les projets d'aménagement hydro-agricole</u> .....	1
1.1.- <u>But</u> .....	1
1.2.- <u>Méthodes</u> .....	1
1.2.1.- Les projets d'irrigation et de drainage.....	1
1.2.2.- Les projets de lutte contre l'érosion	3
1.3.- Densité d'observations.....	5
1.4.- Cartes des propriétés des sols.....	5
2.- <u>Définitions et détermination des propriétés physiques du sol spéciales aux projets d'aménagement hydro-agricole</u> .....	6
2.1.- <u>Mesure de la vitesse d'infiltration et de la perméabilité</u> .....	6
2.1.1.- Au dessus de la nappe.....	6
2.1.2.- Dans la nappe.....	12
2.2.- <u>Stabilité structurale</u> .....	15
2.2.1.- Mesure de l'indice d'instabilité... structurale de S. Ilénin.....	15
2.2.2.- Corrélation avec la vitesse de filtration.....	16
2.3.- <u>La rétention de l'eau</u> .....	17
2.4.- <u>La plasticité</u> .....	18
2.4.1.- Définitions.....	18
2.4.2.- Détermination de la plasticité.....	20
2.5.- <u>Résistance au cisaillement</u> .....	22
3.- <u>Résultats des études</u> .....	25
3.1.- <u>Projets d'irrigation</u> .....	25
3.2.- <u>Projets de drainage</u> .....	25
3.3.- <u>Projets de lutte contre l'érosion</u> .....	25
<u>CONCLUSIONS</u> .....	27
<u>BIBLIOGRAPHIE</u> .....	28

## - INTRODUCTION -

La Division des sols procède à l'étude des sols dans le cadre des projets d'aménagement hydro-agricole (irrigation - assainissement - lutte contre l'érosion).

C'est ainsi que le pédologue et le géomorphologue, qui doivent étudier ces projets, sont amenés à faire de la pédologie et de la géomorphologie appliquées. Or la liaison entre ces sciences et l'agriculture est assez difficile car leur développement n'est pas aussi rapide que celui de leur technologie.

Il y'a un certain nombre de documents qui tentent de combler cette lacune en proposant des objectifs et des méthodes à la pédologie et à la géomorphologie appliquées.

D'autre part, en Tunisie, une expérience dans ce domaine est entrain d'être acquise, les ingénieurs ayant été confrontés à l'étude de projets hydro-agricoles (Etudes pédologiques relatives au classement des terres à l'irrigation, à la détermination de propriétés physiques permettant d'indiquer la conduite de celle-ci, à des projets d'assainissement de certaines plaines - Etudes géomorphologiques liées à la lutte contre l'érosion dans les bassins versants).

Toutefois, l'ingénieur ne dispose d'aucun document traitant spécialement de ce domaine.

Notre but est donc de rassembler les données bibliographiques et les expériences acquises en Tunisie, de façon à présenter un document devant orienter les études d'aménagement hydroagricole et expliquer la manière de déterminer les propriétés physiques du sol qui concernent spécialement ces types d'études et qui sont mesurables. En effet, l'analyse chimique et l'étude ou la mesure de certaines propriétés physiques classiques (telle que la texture; la structure), quoique nécessaires, concernent toutes les études pédologiques en général. Celles qui parmi elles intéressent les études hydroagricoles seront mentionnées mais leurs méthodes de détermination de mesure ou d'analyse ne seront pas explicitées. Seules seront explicitées les méthodes de mesure des caractéristiques physiques spéciales à ces types de projets.

## 1.- But et méthodes des études du sol dans les projets d'aménagement hydroagricole :

### 1.1.- But

Les études du sol auront pour rôle d'apporter les données nécessaires :

- au classement des sols à l'irrigation, au choix de la méthode d'irrigation et à la conduite de celle-ci.
- à la conception des ouvrages d'assainissement et de drainage liés ou non à l'irrigation.
- pour renseigner sur les caractères d'érosion actuelle et sa répartition afin d'indiquer les systèmes d'ouvrages à adapter et sur les précautions d'ordre cultural à prendre sur les différents sols.

### 1.2.- Méthodes

Les méthodes de connaissance du sol comprennent des points communs pour les différents types de projets d'aménagement hydroagricole et des points spécifiques à chacun.

1.2.1.- Les projets d'irrigation et de drainage : L'ingénieur est appelé à établir :

- l'étude des profils : description suivant fiche informative.
- les caractéristiques physiques du sol, supplémentaires et mesurables conditionnant la présence et la dynamique de l'eau nécessaire aux plantes cultivées.
  - L'infiltration
  - La perméabilité en place à 5m en quelques endroits et entre 0 et 2m partout
  - La rétention de l'eau dans le sol
  - La densité apparente
  - La texture
  - Profondeur du sol.
- La profondeur et relevé du niveau de l'imperméable et de la nappe phréatique qui doit être connu jusqu'à 5 m en quelques points et 2m partout.

- La salinité de la nappe
- La salinité, le pH et l'alcalinité du sol
- Le calcaire actif et total du sol

Il est à noter que ces observations et déterminations sont nécessaires aussi bien pour les projets d'irrigation que pour les projets de drainage qui sont souvent liés aux premiers. Leur utilité peut être explicitée comme suit :

- L'étude des profils : la description du profil (suivant la fiche informatique) et de son environnement aide à la connaissance des sols par l'intermédiaire de leurs propriétés directement observables (couleur du sol - structure - texture - inclusions - couleur-roche-mère - végétation - profondeur ...). Elle permet de donner une première délimitation des sols suivant leurs qualités et permet d'orienter les analyses chimiques et mesures physiques nécessaires.

- Texture : permet d'avoir une idée sur le drainage interne du sol et permet d'obtenir des corrélations entre les mesures physiques donc d'endiminer le nombre.

- Structure et stabilité structurale sont des caractéristiques physiques importantes à déterminer pour le classement des sols à l'irrigation et pour la prévision de son évolution probable.

Elle conditionnent l'infiltration et le drainage interne des sols et constituent ainsi une donnée nécessaire pour le drainage superficiel.

- L'infiltration permet de calculer le débit à imposer aux asperseurs.

L'infiltration de base correspond à la perméabilité du sol, à partir de la surface. Elle constitue une donnée nécessaire au drainage superficiel et à l'irrigation (voir ci-après).

- La perméabilité : faite pour les différents horizons du sol, elle permet de déterminer les sols irrigables, difficilement irrigables et non irrigables, en fonction de leur drainage interne plus ou moins facile qui conditionne leur aptitude au travail mécanique, à l'élimination des sels provenant de l'irrigation.

Elle entre dans la conception des canaux d'irrigation ( leur longueur ) dans le cas d'une irrigation par gravité.

La détermination de la perméabilité entre aussi, dans le cas où il est nécessaire de procéder au drainage, dans le calcul de l'espacement des drains. C'est dans ce dernier cas qu'il est nécessaire de l'obtenir pour des profondeurs de 2 à 5 m.

- La rétention de l'eau dans le sol exprimée par les  $p_f$  complétés par la détermination de la densité apparente entre dans le calcul de la rotation et des doses d'irrigation.

- La détermination de la profondeur de l'imperméable, de la profondeur et de la salinité de la nappe est nécessaire à la conception du réseau de drainage.

- Les analyses chimiques telles que : salinité, alcalinité, pH, calcaires total et actif sont utilisées dans le classement des sols à l'irrigation et ( salinité, alcalinité, pH) à délimiter les zones mal drainées et/ou salées.

#### 1.2.2.- Pour les projets de lutte contre l'érosion

Il est nécessaire de procéder à :

- une étude des sols renseignant sur les caractères de l'érosion actuelle et sa répartition, les roches mères, les propriétés physiques des différents sols ( profondeur, texture, structure et stabilité structurale, perméabilité, capacité d'infiltration, limites de plasticité et de liquidité, résistance au cisaillement).

- un complément d'étude des sols ( caractéristiques chimiques et fertilité). Cette étude sera une étude pédologique spéciale qui, compte tenu des ouvrages adoptés, donnera tous les éléments nécessaires pour détailler les précautions d'ordre cultural souhaitables sur les différents sols et indiquera l'évolution prévisible de ceux-ci.

Il est à noter que, pour les projets d'irrigation et de drainage, la liaison entre l'étude des sols et son utilisation est mieux établie que pour les projets de lutte contre l'érosion.

Toutefois, en nous basant sur la note de J.M. AVENARD et J. TRICART, nous pouvons donner les indications suivantes sur l'application des déterminations de certaines propriétés physiques aux

projets de lutte contre l'érosion sur les versants :

- Les ravissements sont liés à un coefficient de ruissellement élevé. Ils se développent dans la mesure où l'eau des averses ne s'infiltré pas et s'écoule presque toute à la surface. Tout ce qui accentue le ruissellement favorise leur développement : pentes raides, entrave faible de la couverture végétale à la concentration des filets d'eau, faible perméabilité accentuée par une mauvaise stabilité structurale.

Les deux premiers facteurs sont du domaine de l'observation géomorphologique courante. Les autres (perméabilité et stabilité structurale) touchent la mécanique des sols et sont mesurables.

- D'autre part c'est la quantité d'eau qui s'infiltré, qui modifie les propriétés mécaniques des argiles, les rendant successivement, au fur et à mesure qu'elle s'accroît, plastiques, puis liquides et diminuant simultanément leur cohésion. C'est sous l'effet de ces modifications que se déclenchent la solifluxion en loupes, les coups de cuillère et coulées boueuses, les glissements par paquets. Ces phénomènes font intervenir deux notions distinctes : d'une part la résistance des couches superficielles au cisaillement, d'autre part l'aptitude des couches sub-superficielles à se transformer en boue liquide.

En effet, dans le cas des coups de cuillère et des coulées boueuses, la rupture provient du fait, qu'en profondeur, une couche d'argile s'est suffisamment gorgée d'eau pour devenir liquide et s'est alors mise à couler sur la pente sous les couches superficielles. Ces dernières, entraînées, se sont déchirées du fait de leur entraînement par la base.

### 1.3.- Densité d'observations :

1.3.1.- Densité de sondage : Elle se détermine en faisant appel aux notions d'unité cartographique de base et d'efficience pédologique permettant de définir successivement " une densité idéale " et une " densité pratique ".

En prenant  $1/4 \text{ cm}^2$  comme unité cartographique de base, la densité idéale sera, au  $1/10.000^\circ$  : 1 sondage par 0,25 ha ( 4 per ha).

La densité pratique est liée :

- au degré de précision que l'on veut obtenir sur la carte,
- aux conditions du milieu (relief, végétation),
- aux moyens utilisés ( photos aériennes),
- aux capacités du pédologue.

En pratique, le nombre d'observations ne résulte donc pas d'un quadrillage systématique de la zone à cartographier, il est fonction de l'"efficience pédologique " K qui dépend des conditions citées ci-dessus. En fonction des différentes valeurs de K, le nombre d'observations à faire par  $\text{cm}^2$  de carte ( donc par ha, au  $1/10.000^\circ$ ), pourra être de 1 par 2,5 à 5 ha ( K : 10 à 20).

1.3.2.- Etude morphologique du profil : une description du profil sera faite à chaque sondage.

1.3.2.- Mesures des caractéristiques physiques et analyses chimiques : Les mesures et prélèvements d'échantillons se font généralement tous les 10 sondages.

1.4.- Cartes des propriétés des sols : Les propriétés des sols reconnues par les mesures et analyses seront cartographiées à l'échelle d'exécution retenue (  $1/10.000^\circ$ ), soit systématiquement, soit par propriété ou groupe de propriétés ( texture, fertilité, salure et alcalinité, perméabilité...).

Si les méthodes de connaissance des sols sont similaires pour les trois types d'étude, il est à signaler toutefois que, pour les projets de lutte contre l'érosion, il y'a lieu de procéder à une adaptation tenant strictement compte des besoins de l'étude des besoins de conservation des sols et des autres interventions éventuellement conjointes. Cette adaptation doit être recherchée conjointement par les pédologues, les géomorphologues et les utilisateurs.

2.- Définitions et déterminations des propriétés physiques du sol spéciales aux projets d'aménagement hydroagricole :

2.1.- Mesures de la vitesse d'infiltration et de la perméabilité

Définitions :

Il faut tout d'abord distinguer entre perméabilité (conductivité hydraulique) et infiltration.

La perméabilité est le facteur  $K$  de la loi de Darcy et correspond dans le cas qui nous concerne à la vitesse de pénétration de l'eau dans un sol saturé qui est pratiquement constante dans le temps.

L'infiltration est la vitesse à laquelle l'eau d'irrigation ou de pluie entre dans le sol. Elle décroît avec le temps jusqu'à, pratiquement, se stabiliser et correspondre à la perméabilité à la surface du sol (comme nous le verrons).

Nous allons parler dans ce qui suit des méthodes de terrain. En effet étant donnée la possibilité de les réaliser en Tunisie (disponibilité de main d'œuvre) elles devront être employées de préférence aux méthodes de laboratoire qui donnent lieu à des variations importantes à cause de la taille réduite de l'échantillon et des conditions de son prélèvement.

Les méthodes de terrain sont de deux types :

- dans la zone non saturée ( au dessus de la nappe ),
- dans la zone saturée ( dans la nappe ).

2.1.1.- Au dessus de la nappe :

Nous allons parler de deux méthodes :

- méthode Muntz qui sert à mesurer l'infiltration et la perméabilité,
- méthode Porchet qui sert à mesurer la perméabilité.

2.1.1.1.- Méthode Muntz améliorée : Surface du sol

Elle permet de mesurer l'infiltration et la perméabilité.

Elle consiste à enfoncer perpendiculairement à la surface du sol deux cylindres concentriques sur une profondeur de quelques centimètres.

En fait, la méthode, celle qu'elle est préconisée dans la littérature consiste à enfoncer un seul cylindre à la surface du sol, à saturer le sol tout autour, à le remplir d'eau et à lire la descente de l'eau. Nous pensons que la méthode décrite ci-après, bien que semblant plus compliquée, reproduit mieux les conditions d'irrigation, assure mieux la saturation du sol autour du cylindre intérieur, tout en permettant de se baser sur le même raisonnement pour les calculs.

Deux flacons de Mariotte sont retournés sur les deux cylindres de façon à maintenir un niveau d'eau constant à la surface du sol. On lit dans le flacon de Mariotte retourné sur le cylindre intérieur le volume d'eau ( en cm, infiltré dans le sol. L'eau qui s'infiltré à l'intérieur du second cylindre a pour rôle la création autour de la zone d'infiltration, d'une zone humide de façon à éviter les transferts latéraux.

On peut distinguer différentes quantités physiques caractérisant l'infiltration.

- vitesse d'infiltration instantanée (  $l_{ins}$  )
- infiltration cumulée (  $l_{cum}$  )
- vitesse moyenne d'infiltration (  $l_{moy}$  )
- vitesse d'infiltration de base (  $l_{bas}$  ) : c'est la vitesse

relativement constante qui est obtenue après 3 à 4 heures ( variation de la vitesse d'infiltration de moins de 10 % par rapport à l'heure qui précède ou  $(l_t - l_{t+1}) < 0,1 l_t$  ). Elle correspond pratiquement à la perméabilité.

En effet :

$$v = K \frac{\phi + z + h}{z}$$

$v$  = infiltration

$K$  = conductivité hydraulique du sol

$\phi$  = succion à la limite inférieure de la zone de transmission

$z$  = profondeur de la zone de transmission

$h$  = hauteur d'eau dans le cylindre.

L'influence de  $\phi$  et  $h$  par rapport à  $z$  diminue lorsque la profondeur de la zone de transmission et l'humidité du sol augmentent. Ainsi  $\frac{\phi + z + h}{z}$  tend vers 1 et l'infiltration devient pratiquement constante, atteignant l'infiltration basique.

Dans ce cas  $l_{bas} = K$

Les mesures de terrain donnent :

$l_{cum} = a t^n$      $a$  et  $n$  sont respectivement des constantes pour un sol donné et un taux d'humidité donné.

$l_{ins} = \frac{d l_{cum}}{dt} = a n t^{n-1}$      $0 < n < 1$

$l_m = \frac{l_{cum}}{t} = a t^{n-1}$

On représente sur une feuille logarithmique  $l_{cum} = f(t)$



- à partir de cette courbe on peut déterminer  $a$  et  $n$ ,  $\log l_{cum} = \log a + n \log t$ .

On peut aussi déterminer le temps auquel on a  $I_{\text{cas}}$  à partir de l'équation différentielle.

$$d \frac{I_{\text{cas}}}{dt} = -0,1 I_{\text{cas}} = (n-1) a n t^{n-2}$$

$$\rightarrow 0,1 a n t^{n-1} = (n-1) a n t^{n-2}$$

$$\rightarrow t = 10 (1-n) \quad \text{en heures}$$

- La quantité physique la plus communément utilisée dans les études hydrologiques et les travaux de lutte contre l'érosion et de ruissellement est  $I_{\text{cas}}$  qui doit être reliée au climat.

- Les mesures d'infiltration et les courbes sont d'autre part très importantes pour des projets d'irrigation par aspersion parce qu'elles permettent de calculer le débit maximal de l'arrosoir. Elles permettent aussi, dans le cas d'irrigation par gravité, de prévoir la longueur des rigoles.

-  $I_{\text{cas}}$  étant pratiquement égale à la perméabilité, elle renseigne sur les conditions de drainage interne du sol et donc sur les possibilités de son irrigation.

Les principales tentatives de classement pour les sols irrigués à partir des vitesses d'infiltration sont les suivantes :

Classement de Richard et Cassens ( 1965 ) pour la Nouvelle Zélande à partir de  $I_{\text{cas}}$

Classes	Nature	$I_{\text{cas}}$ (mm/heure)	$I_{\text{cas}}$ m/s.
0	très lente	2,5	$< 10^{-6}$
1	lente	2,5 - 15	$10^{-6} - 5 \cdot 10^{-6}$
2	moyenne	15 - 28	$5 \cdot 10^{-6} - 10^{-5}$
3	rapide	28 - 53	$10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-5}$
4	très rapide	$> 53$	$> 1,5 \cdot 10^{-5}$

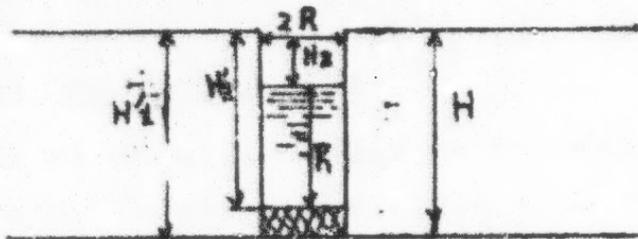
Classement de Van Beers à partir de  $I_{\text{cum}}$

Classes	Temps nécessaire pour que $I_{\text{cum}} = 10$ cm en heures
marginal (très lente)	20 - 40
peu favorable (lente)	8 - 20
favorable	1,5 - 8
peu favorable (rapide)	1,5 - 1
marginal (très rapide)	1 - 1,5

2.1.1.2.- Méthode Porchet

Elle consiste à creuser un trou à la tarière à une certaine profondeur, à le remplir d'eau et à mesurer la vitesse à laquelle le niveau de l'eau descend.

La base des calculs est la loi de Darcy.



La loi de Darcy nous donne :  $Q_{l/s} = K_{m/s} \times S_{m^2} \times i$

$$S = 2\pi R h + \pi R^2$$

En admettant que la force motrice est peu différente de 1 la relation s'écrit  $Q = K S = (2\pi R h + \pi R^2) K$   
 $= 2 K \pi R (h + R/2)$ .

Pendant le temps  $dt$ , le plan d'eau baisse de  $dh$  et le débit est donc  $Q = -\pi R^2 \frac{dh}{dt}$

$$\text{Donc } Q = 2 K \pi R (h + \frac{R}{2}) = -\pi R^2 \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{2 K}{R} dt = - \frac{dh}{h + R/2}$$

En intégrant :

$$\frac{2 K}{R} t = - \text{Log} (h + \frac{R}{2}) + C^{te}$$

$$t = 0 \implies h = h_0 \text{ (hauteur d'eau initiale)}$$

$$\implies C^{te} = \text{Log} (h_0 + R/2)$$

$$\implies \frac{2 K}{R} t = - \text{Log} (h + R/2) + \text{Log} (h_0 + R/2)$$

Si nous passons aux logarithmes décimaux :

$$\text{Log} (h + \frac{R}{2}) = \text{Log} (h_0 + \frac{R}{2}) - \frac{2K}{2,3R} t$$

Si nous portons sur un papier semi-logarithmique, en abscisse  $t$  et en ordonnées  $\text{Log} (h + R/2)$ , nous aurons une droite dont la

$$\text{pente } t_x = \frac{2 K}{2,3R}$$

$$\implies K = \frac{2,3 R}{2} t_{sx}$$

Méthodes pratiques de détermination de K.

Une fois la courbe construite, il faut calculer K. Pour éviter les calculs nous allons mentionner deux méthodes de détermination pratique de K, l'une est employée aux Eaux et Forêts (de Beaucorps), l'autre dans les projets d'irrigation (Chevron - Villette et Roadener).

Méthode de Beaucorps.

On ne considère dans cette méthode que les mesures effectuées lors du deuxième remplissage du trou, la perméabilité du sol sec n'étant pas étudiée dans ce système.

On creuse, à la tarière de 10cm de diamètre, un trou de 50 cm de profondeur.

On mesure le temps nécessaire pour que l'eau descende à 40 ou 45 cm.

Pratiquement 5 à 6 relevés sont suffisants pour la détermination de la vitesse d'écoulement.

On déduit K du tableau suivant :

Profondeur de forage : 50 cm et K en m/s

TEMPS	15 mn	30 mn	50 mn	65mn	80 mn	100 mn	130mn	160mn	320 mn
Profondeur 40cm	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Profondeur	$5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$

Si l'eau met plus d'une demi-heure pour descendre de 20 cm, il suffira de mesurer le temps nécessaire pour que l'eau atteigne cette profondeur et d'en déduire la perméabilité d'après le tableau suivant :

TEMPS	36 mn	72 mn	100 mn	180 mn
Profondeur 20 cm	$5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$

Remarques

- Si la tarière ne mesure pas 10 cm de diamètre, il suffit de multiplier le résultat trouvé pour K par  $\frac{D}{10}$ , D étant le diamètre de la tarière.

Applications

Il est admis que les banquettes horizontales sont possibles pour les terrains perméables à très perméables pour lesquels

$$K \geq 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Au delà de cette valeur de K, il conviendra d'adopter une pente longitudinale d'autant plus forte que le sol est moins perméable.

Méthode de Chevron Villette - Roederer

La mesure sur le terrain se fait suivant la méthode de Porchet classique, avec une tarière de 8 cm de diamètre, les mesures étant faites à 15 sec, 30 sec, 45 sec, 1 mn, 2 mn, 3 mn, 4 mn, 5 mn, 6 mn, 8 mn, 10 mn et 20 mn.

Les mesures du début, rapprochées, sont destinées à avoir la première portion de droite correspondant au sol sec afin de réduire l'erreur commise sur le coefficient de la seconde droite.

La courbe est construite avec <sup>pour</sup> abscisse 1 cm pour 1 minute et pour ordonnée l'unité logarithmique égalant 25 cm.

On superpose à la courbe l'abaque ci-jointe mettant le point 0 de l'abaque sur le point où la droite construite coupe l'axe des ordonnées.

Il suffit de lire en  $10^{-6}$  m/s les valeurs de K données par l'abaque.

Dans le cas où l'on emploie une tarière de diamètre D différent de 8 cm, il suffit de multiplier le résultat obtenu par  $D/8$ .

Applications.

- En ce qui concerne l'irrigation nous donnons le classement suivant pour K en m/s :

$K < 10^{-6}$	: sol imperméable
$10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-6}$	: sols peu perméables, à irriguer prudemment.
$5 \cdot 10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-5}$	: sol perméable
$K > 5 \cdot 10^{-5}$	: sol très perméable.

- D'autre part la détermination de K entre dans le calcul de l'espacement des drains.

#### Discussion sur les deux méthodes

L'avantage de la méthode de Porchet par rapport à la méthode Muntz est qu'elle est rapide et qu'elle nécessite un matériel moins encombrant. De plus, pour la méthode de Muntz il y'a infiltration préférentielle le long du cylindre.

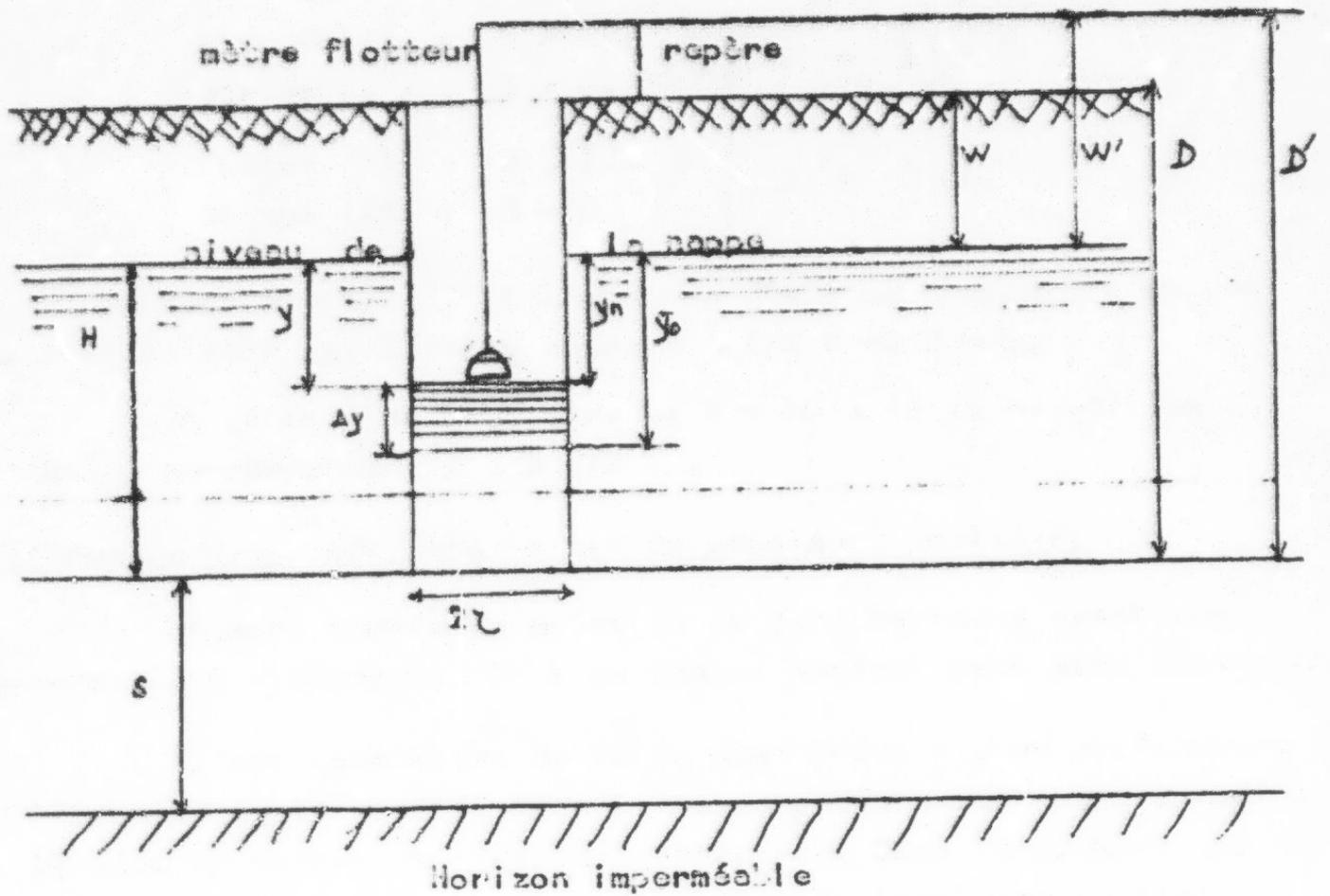
L'inconvénient, pour la méthode Porchet est que la tarière trace les parois en sol argileux. D'autre part elle ne peut servir pour l'horizon de surface et ne peut servir à mesurer les vitesses d'infiltration dont on a vu l'utilité pour les projets d'irrigation.

#### 2.1.2.- Dans la nappe : Méthode Hooghoudt

La méthode employée sert à mesurer la perméabilité dans les horizons où il y'a la nappe. Elle est employée dans les projets de drainage.

Un trou est creusé dans le sol à la tarière à une certaine profondeur au-dessous du niveau de la nappe. Quand le niveau de l'eau dans le trou atteint l'équilibre avec la nappe, une partie est enlevée. L'eau commence alors à monter et la vitesse de remontée de l'eau est mesurée.

La conductivité permet de mesurer la perméabilité moyenne d'une colonne de sol de 30 cm à 50 cm de rayon et s'étendant de la nappe à 20 cm au dessous du fond du trou à peu près, ou à l'horizon imperméable si celui-ci se trouve à moins de 20 cm du fond du trou.



Remarque : Les mesures doivent être terminées avant que :

$$\Delta y \text{ dépasse } 1/4 y_0 \Rightarrow \Delta y \leq 1/4 y_0$$

Le matériel de mesure est simple. Il comprend :

- un mètre flotteur
- un repère fixe
- une pompe à clapet
- un chronomètre.

A peu près 5 lectures sont faites après prélèvement de 20 à 40 cm d'eau (un ou deux pompages). Les lectures sont faites à des intervalles de temps de 5 - 10 - 15 ou 30 secondes, dépendant de la perméabilité du sol (plus le sol est perméable, moins le temps de lecture est long).

Détermination de  $K$ .

$$K = C \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

C'est une fonction de  $y$ ,  $r$ , et  $s$  et peut être déterminée à partir d'abaques.

Abaque (1) :	$S > 1/2 H$	} $r = 4 \text{ cm}$
Abaque (2) :	$S = 0$	
Abaque (3) :	$S > 1/2 H$	} $r = 5 \text{ cm}$
Abaque (4) :	$S = 0$	

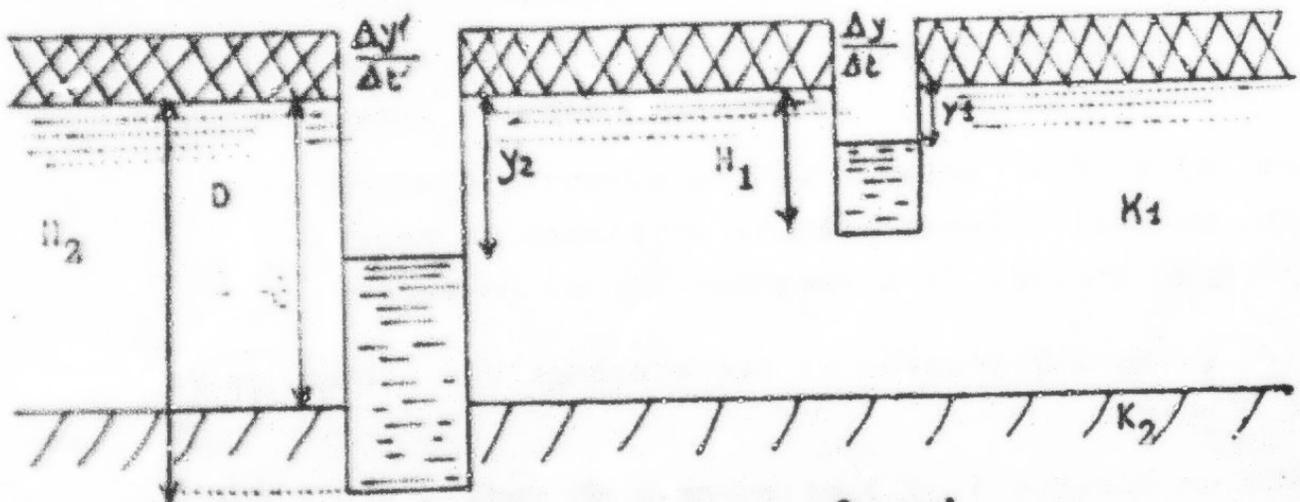
Pour  $S = 1/2 H$ , il n'y a pas d'abaque disponible et une estimation de  $K$  est à faire entre  $S > 1/2 H$  et  $S = 0$ .

En général on peut dire si  $S = 10$  à  $15 \text{ cm}$  on utilise l'abaque correspondant à  $S > 1/2 H$ .

Méthode de Hooghoudt dans le cas de plusieurs horizons.

Si nous sommes en présence de deux horizons ayant une perméabilité différente, le  $K$  de chaque horizon peut être déterminé.

Il est nécessaire de faire deux trous à deux profondeurs différentes et le fond du trou le moins profond doit être au moins à  $10-15 \text{ cm}$  au dessus de l'horizon inférieur. Dans la plupart des cas le trou profond est fait en premier afin de localiser la limite entre les deux horizons.



$$\frac{\Delta y'}{\Delta t'} = \frac{K_1}{C_0} + \frac{K_2}{C_2} - \frac{K_2}{C_0} \text{ ou } \underline{K_2} = \frac{C_0 \frac{\Delta y'}{\Delta t'} - K_1}{\frac{C_0}{C_2} - 1}$$

$K_1$  est calculée à partir de  $\frac{\Delta y'}{\Delta t'}$  et du  $C$  pour  $H_1$  et  $Y_1$  en utilisant l'abaque  $S > 1/2 H$ .

$C_2$  correspondant à  $H_2$  et  $Y_2$  peut être déterminée à partir de l'abaque  $S = 0$  ou  $S > \frac{1}{2} H$  en fonction de la prof. de l'horizon imperméable.

$C_0$  peut être déterminée à partir de l'abaque  $S = 0$  utilisant  $D$  et  $Y_2$ .

Remarque : Pour les sols sableux il est nécessaire d'utiliser un tube perforé. Le tube est enfoncé dans le trou. En opérant avec la pompe qui est munie d'une valve, le mélange sable et eau est enlevé et le tube peut être enfoncé progressivement.

## 2.2.- Stabilité structurale

La stabilité structurale est une notion importante dans le rapport sol-eau ; elle traduit l'action de l'eau sur la structure du sol ( formation d'une croûte de faible perméabilité qui empêche la germination et qui favorise l'érosion dans le cas de sol en pente, nécessitant ainsi une intensification du système de drainage superficiel ou celle d'autres travaux de conservation).

### 2.2.1.- Mesure de l'indice d'instabilité structurale de S. Henin.

Partant d'une terre tamisée au tamis de 2 mm, on évalue :

2.2.1.1.- Le pourcentage d'agrégats supérieurs à 0,2mm stables à l'eau.

- sans pré-traitement ( $A_{GE}$ )
- après pré-traitement à l'alcool ( $A_G A$ ) : l'alcool ayant un rôle protecteur.
- après pré-traitement au benzène ( $A_G B$ ) : le benzène ayant au contraire un rôle sensibilisateur dans la mesure où le sol est pauvre en matière organique.

Le pourcentage d'agrégats est la moyenne des trois chiffres.

2.2.1.2.- L'état de dispersion : On l'obtient en effectuant une analyse mécanique sans addition de dispersant sur les éléments passés au travers d'un tamis dans les trois cas précédents. C'est la somme Argile + Limon qui est prise en considération comme étant plus représentative de la dispersion que la fraction argile proprement dite. On se place dans les conditions les plus favorables en ne tenant compte que de la valeur maximale de ( $A + L$ ) obtenue le plus souvent après pré-traitement au benzène.

2.2.1.3.- La fraction sables grossiers joue un rôle important dans le taux d'agrégats stables obtenus. Pour tenir compte, d'une part des erreurs d'échantillonnage dans les terres pauvres en sables, d'autre part de la stabilité que peuvent donner dans certains cas les sables grossiers dans les terres pauvres en éléments fins, la fraction sableuse est affectée du coefficient 0,9. D'où la formule permettant de calculer S.

$$S = \frac{(A + L) \text{ maximum}}{\text{Ag E} + \text{Ag A} + \text{Ag B} - 0,9 \text{ S.G.}}$$

La structure est d'autant plus stable que l'indice est plus petit.

### 2.2.2.- Corrélation avec la vitesse de filtration

L'indice d'instabilité structurale est associé par représentation graphique à la vitesse de filtration (K cm/heure) mesurée sur échantillon de terre tamisée. Pour un très grand nombre de résultats, on constate une corrélation inverse entre les valeurs de S et de K.

Si on porte en abscisse  $\log_{10} S$  et en ordonnée  $\log_{10} K$ , les points obtenus sont répartis autour d'une droite moyenne d'équation :  $3 \log_{10} K + 2,5 \log_{10} S - 7,5 = 0$ .

On peut chiffrer l'état structural en rabattant les points figuratifs sur la droite de régression, elle-même graduée de 0 à 100, d'où une nouvelle forme d'expression des résultats dite en "  $\zeta$  ".

#### Classe de stabilité structurale

$\log_{10} S > 1,40$	Faible stabilité	$\log_{10} K < 1,40$
$1,20 < \log_{10} S < 1,35$	Stabilité moyenne	$1,40 < \log_{10} K < 1,60$
$\log_{10} S < 1,20$	Bonne stabilité	$\log_{10} K > 1,60$

#### Facteurs influençant la stabilité structurale

- La stabilité structurale diminue rapidement quand le taux de matière organique tombe au dessous de 2 %.
- Elle augmente quand le taux d'argile augmente.
- Le calcaire n'a pas d'influence.
- Quand le taux de Ca échangeable est supérieur à 20 il n'y a plus de stabilité structurale ( la présence de  $Ca^{++}$  a une influence plus forte sur K que sur S ).

### 2.3.- La rétention de l'eau

La rétention de l'eau à différents taux d'humidité est exprimée par le pF qui est égal au logarithme décimal de la tension de l'eau dans le sol ( cm H<sub>2</sub>O).

La courbe de pF donne la relation entre les différentes valeurs de pF et les quantités d'eau correspondantes qui restent dans le sol.

Pour les projets d'irrigation et de drainage les valeurs de pF qui nous intéressent sont :

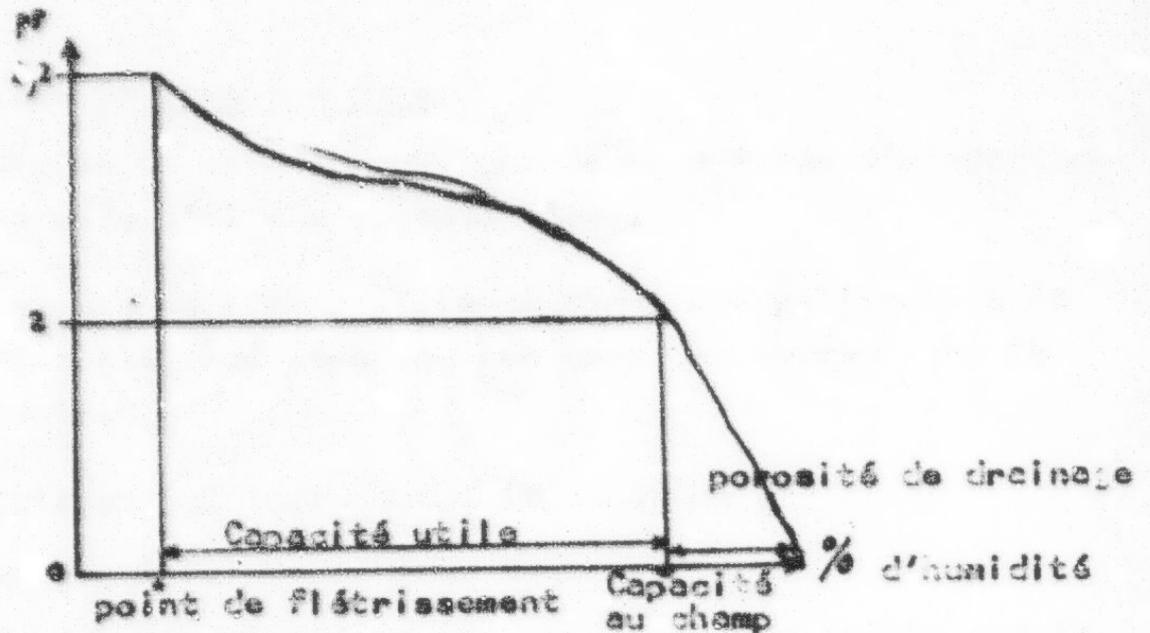
- \* pF = 2 correspondant à la capacité au champ des sols sableux.
- \* pF = 2,3 correspondant à la capacité au champ des sols argileux.
- \* pF = 4,2 correspondant au point de flétrissement
- \* pF = 0 correspondant à la saturation.

A cause du fait que les mesures de pF sont délicates, il est nécessaire d'avoir différentes valeurs de pF et de dessiner une courbe afin d'éliminer les erreurs possibles.

	Pressions	Méthode de mesure
pF = 2,0	100 cm H <sub>2</sub> O = 0,1 atmosphère	} Bain de sable
pF = 2,3	200 cm H <sub>2</sub> O = 0,2 "	
pF = 2,7	500 " " = 0,5 "	
pF = 3,4	2500 " " = 2,5 "	} Presse à membrane
pF = 4,2	16000 " " = 16 "	

Le comportement de l'eau aux pF < 3 est commandé par la structure du sol. Ainsi les déterminations des pF 2,0, 2,3 et 2,7 doivent se faire sur des échantillons non remaniés dans des anneaux de pF).

Mais au dessus de pF = 3, l'eau est principalement retenue par les forces osmotiques et d'adhésion et la structure du sol n'a pratiquement pas d'influence. Ainsi les mesures de pF 3,4 et 4,2 peuvent être faites sur des échantillons remaniés.



Applications pour l'irrigation

Les valeurs de pF qui sont intéressantes sont pF = 4,2 et pF = 2 à 3. Entre ces deux limites se trouve la capacité utile. L'irrigation se fait quand 60 % de l'eau entre pF = 2 à 3 et pF = 4,2 est consommée. Ainsi nous pouvons calculer la rotation des irrigations en relation avec l'évapotranspiration.

Pour le drainage

La porosité de drainage est une donnée nécessaire au calcul de l'espacement des drains dans le cas d'un régime d'écoulement discontinu.

2.4.- La plasticité

2.4.1.- Définition : La consistance caractérise l'état plus ou moins dur ou liquide que peut prendre un sol donné.

Cet état dépend de la texture, de la teneur en colloïdes organiques et minéraux et de leur nature (argile), de la structure mais surtout du taux d'humidité.

Atterberg donne quatre états principaux de consistance :

Etat du sol	Sec	Humide	Très humide
Consistance	Dure et rugueuse	Douce et friable	Plastique et collante Visqueuse.

#### 2.4.1.1.- Consistance dure

La cohésion du sol est très grande → force d'attraction entre particules puisqu'il y a absence d'eau.

Si on ajoute de l'eau, celle-ci forme une pellicule à la surface des particules, les séparant les unes des autres — le sol devient friable.

Les facteurs qui influencent la cohésion :

- teneur en colloïdes et leur nature.

L'argile de type kaolin a une cohésion plus faible que la montmorillonite.

- grosseur des éléments non colloïdaux.

Un sol sableux sera moins cohérent qu'un sol limoneux.

#### 2.4.1.2.- Friabilité

La terre contient assez d'eau pour diminuer les forces d'attraction entre les particules mais n'en contient pas assez pour former un film continu d'eau autour des particules (consistance plastique).

#### 2.4.1.3.- Plasticité et état visqueux.

Plasticité : capacité de garder une forme donnée sous l'action des forces extérieures.

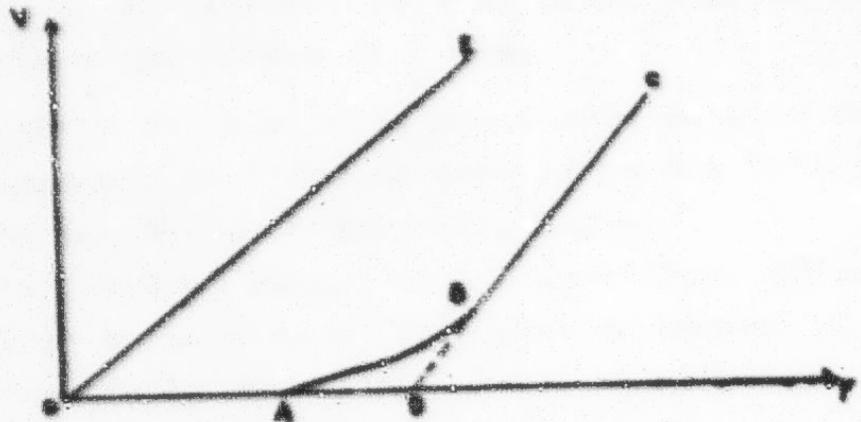
C'est la résultante d'une pression et d'une déformation; cette déformation correspondant à la distance maximum des particules au delà de laquelle la cohésion disparaît. Cela met en jeu les forces de cohésion entre particules, en étroite relation avec l'épaisseur du film d'eau.

La différence entre un écoulement visqueux et un écoulement plastique est que dans ce dernier cas, un certain effort est nécessaire pour que l'écoulement se produise.

Le volume écoulé est une fonction linéaire de la force appliquée (Loi de Bingham).

$$V = K u ( F - f ).$$

- $v$  = Volume écoulé
- $\mu$  = Coefficient de mobilité
- $F$  = Force appliquée
- $F$  = Force juste nécessaire pour vaincre les forces de cohésion — début d'écoulement  
( dans le cas d'un sol visqueux  $f = 0$  ).



- OE : écoulement visqueux croît directement avec  $F$ .
- AODC : une certaine pression est nécessaire pour faire disparaître l'état plastique par extrapolation on obtient en D la valeur de cette force OD (variable surtout avec l'épaisseur du film d'eau couvrant les particules).

- Cohésion, humidité et type de sol.

- \* La cohésion croît en raison inverse de l'humidité.
- \* La cohésion est beaucoup plus forte dans les sols argileux à quelque degré d'humidité que ce soit.

- Plasticité et particules. ( forme et dimensions)

- \* Les particules plates sont celles qui communiquent à un sol le plus de plasticité.
- \* La plasticité augmente avec le taux de particules petites.

2.4.2.- Détermination de la plasticité ( Limites d'Atterberg)

Limite inférieure de plasticité ou limite de liquidité

C'est la quantité d'eau en % de terre sèche à partir de laquelle les livres de terre d'un échantillon de sol se referment quand il est frappé 25 fois d'une hauteur de 1 cm .

- tarer 4 à 5 capsules,
- régler l'appareil de façon à ce que la hauteur de chute soit égale à 1 cm,
- prendre approximativement 150 g de sol préparé et ajouter peu à peu de l'eau jusqu'à obtenir une consistance qui nécessitera 30 à 35 coups pour obtenir la fracture des lèvres de terre.
- Placer une partie de la mixture précédente dans la coupelle de l'appareil et l'étaler vers la partie inférieure, parallèlement au bâti de l'appareil. Tracer doucement une fente au centre de l'échantillon, effectuer cette opération en plusieurs fois jusqu'au moment où l'on atteint le fond de la coupelle.
- Tourner la manivelle à raison de deux rotations par seconde (compter le nombre de coups) jusqu'au moment où les bords des lèvres de terre s'écroulent.
- Prélever une partie de l'échantillon que l'on pèse aussitôt dans une capsule tarée. On garde ensuite l'échantillon afin d'en déterminer le poids sec. Ceci permet d'obtenir le % d'humidité pour un nombre de coups donné.

Remarque : Il est bon de refaire une mesure 2 fois consécutives.

- On ajoute de l'eau jusqu'à ce que la mesure avec l'appareil donne 10 à 15 coups nécessaires pour l'écroulement de la fente.

Faire également deux mesures.

- plusieurs mesures intermédiaires peuvent être faites.

Résultats : Tracer la courbe suivante :

% humidité : ordonnées.

Log ( nombre de coups ) : abscisses.

Tracer la courbe avec les points obtenus. Elle coupe la verticale Log 25 en un point donné qui correspond à la limite inférieure de plasticité. ( % humidité en ordonnées ).

### Limite supérieure de plasticité

C'est la quantité d'eau, en pourcentage de terre sèche, pour laquelle la terre peut être roulée en petits filaments de 3 à 4 mm de diamètre sans se fragmenter. Si on continue à rouler la terre au delà de 3-4mm de diamètre, le sol doit se fragmenter.

- Préparer les capsules tarées.
- On ajoute à environ 30 g de terre sèche, de l'eau jusqu'à obtenir une boule compacte.
- On place cette boule de terre sur une plaque de verre et on la roule jusqu'à obtenir des filaments de 3 - 4mm de diamètre.
- On ajoute un peu de terre sèche, on pétrit jusqu'au moment où, après avoir obtenu des filaments, ceux-ci se brisent si on continue à les rouler.
- On préleve une partie des filaments dans une capsule tarée. On pèse aussitôt et on conserve en vue de déterminer le poids sec.

On obtiendra ainsi l'humidité, en % de terre sèche, c'est la limite supérieure de plasticité. C'est la quantité d'eau minima nécessaire pour former un film d'eau uniforme entre les particules.

Il est bien évident que cette limite supérieure de plasticité a une valeur inférieure à la limite inférieure de plasticité.

### Indice de plasticité :

$$\text{Indice de plasticité} = \text{limite inférieure} - \text{limite supérieure}$$

Il varie de 4 à 25.

### 2.5.- Résistance au cisaillement

La relation de Coulomb est à la base de toutes les théories relatives à l'équilibre des massifs de terre.

$$T = \frac{1}{2} ( C_0 + \sigma \operatorname{tg} \psi )$$

T : effort de cisaillement.

C : cohésion.

$N$  : pression supportée par l'échantillon.

$\varphi$  : angle de frottement interne.

La valeur de l'angle  $\varphi$  est liée à toute une série de propriétés, en particulier la forme des particules, leur dureté ainsi que la teneur en eau du système qui intervient pour modifier les propriétés au contact. Un corps ayant une valeur nulle de  $\varphi$  est considéré comme plastique, c'est le cas d'une argile humide. Un corps pulvérulent a une valeur  $\varphi$  nulle c'est le cas de la terre meuble (sable sec).

Il nous faut déterminer les valeurs de la cohésion et de l'angle de frottement interne dans les conditions de teneur en eau et de consolidation connues.

Trois types d'appareils sont généralement employés pour faire ces mesures :

- boîte de cisaillement,
  - appareil à cisailier par rotation,
  - appareil à pression triaxiale.
- Boîte de cisaillement ou boîte de Casagrande :

Elle comprend deux demi-boîtes se joignant sur un plan horizontal, l'échantillon est placé dans cette boîte et est consolidé par charge verticale. La partie supérieure de la boîte est mobile et est raccordée à un système qui permet une traction horizontale. Un effort de traction peut ainsi être effectué jusqu'à la rupture.

Répétant l'essai pour différentes charges, on porte sur un diagramme (abscisse = tension normale, ordonnée : tension tangentielle de rupture), et l'on obtient une droite dont l'inclinaison sur l'horizontale est la mesure de l'angle de frottement interne et l'ordonnée à l'origine, la cohésion.

Ainsi, en confrontant sur un versant l'angle du talus naturel de ce versant, soit  $i$ , et l'effort tangentiel  $T$ , plusieurs cas peuvent se présenter indiquant si le versant est stable ou s'il existe des risques de rupture par cisaillement.

- \*  $i < T$  : l'équilibre existe, le versant est stable, il n'y a aucun risque de rupture.
- \*  $i > T$  : l'équilibre est rompu et la tension tangentielle était la plus forte, il y a risque de rupture.
- \*  $i \approx T$  : équilibre instable, de légères modifications peuvent entraîner la rupture : modification de la teneur en eau par exemple.

Les résultats obtenus sur une vingtaine de sols différents indiquent que plus la fraction argileuse est forte, plus la fragilité est forte. Il y'a donc intérêt à compléter les essais mécaniques par des déterminations de la fraction argileuse.

### 3.- Résultats des études

Si pour les études du sol concernant les projets d'irrigation la formulation des études définitives est relativement bien connue par nos pédologues, pour les autres types d'étude (drainage - lutte contre l'érosion), elle l'est moins.

#### 3.1.- Projets d'irrigation

La mission du pédologue consistera à :

- recueillir les données utiles définies précédemment et à les cartographier à grande échelle (1/10.000°).

- dresser à la même échelle une carte de classement des sols à l'irrigation d'après la méthode U.S.B.R., comportant un certain nombre de renseignements contenus dans la légende ci-jointe, (pour complément d'information, voir ES 134 ).

- établir un rapport indiquant notamment :

• - l'exposé de la méthode et du déroulement de l'étude des sols : époque et durée; nombre de sondages effectués en vue de l'étude morphologique; nature et nombre des mesures de caractéristiques physiques et des analyses chimiques effectuées, documents utilisés.

• Les caractéristiques des classes des sols représentées sur les cartes et non mentionnées sur la légende :

• - La surface totale.  
• - Les fiches informatiques de description des profils.  
• - Les résultats des mesures des caractéristiques physiques et des analyses chimiques.

• Le pronostic d'évolution du fait de l'irrigation.

#### 3.2.- Projets de drainage

Dans le cas du drainage sous-terrain associé au projet d'irrigation, le rapport définitif doit comporter les renseignements et cartes les concernant :

- carte de texture du sol ( 2 à 5m supérieurs)  
- carte de la profondeur de l'imperméable  
- carte de profondeur de la nappe  
- carte de salinité du sol  
- carte de perméabilité du sol au niveau et au dessous du niveau prévu des drains ( 2m et 5 m).

Dans le cas d'assainissement superficiel associé aux projets d'irrigation, le rapport définitif doit comporter les renseignements concernant la texture, la structure et la stabilité structurale, le pH, l'infiltration et la perméabilité du sol.

Dans le cas de drainage sous-terrain et/ou d'assainissement superficiel non liés à des projets d'irrigation (zones humides - zones salées) il y'a lieu de :

- définir et cartographier à grande échelle les unités de sol du périmètre suivant une méthodologie à adapter.

- cartographier les données nécessaires à grande échelle (mesures physiques et autres : salinité - alcalinité...).

- établir un rapport sur le modèle proposé ci-dessus.

### 3.3.- Projets de lutte contre l'érosion

Le Pédologue et le Géomorphologue auront pour mission:

- de recueillir les informations nécessaires,
- de les cartographier à grande échelle ( 1/20.000° à 1/10.000°)
- de dresser éventuellement, à la même échelle, une carte des sols (carte d'application) dont les unités seront définies en fonction des besoins des autres interventions.

- d'établir, en adaptant le modèle proposé pour les projets d'irrigation, un rapport qui, en conclusion, indiquera les travaux antiérosifs recommandés,

- de fournir un complément à l'étude des sols qui, compte tenu des systèmes d'ouvrages adoptés, donnera tous les éléments nécessaires pour détailler les précautions d'ordre cultural souhaitables sur les différents sols et indiquera leur évolution prévisible.

- C O N C L U S I O N S :

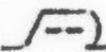
Le présent document ne prétend pas constituer un traité exhaustif de l'application de la pédologie aux projets d'aménagement hydro-agricole. Il ne traite pas toutes les propriétés physiques et chimiques du sol susceptibles d'intéresser ces projets ( toutes les analyses chimiques et certaines mesures et observations physiques classiques, telles que la texture, la structure..., ne sont pas traitées).

Par ailleurs, nous ne prétendons pas donner ici une recette complète pour les techniciens qui seront appelés à faire ces études, mais simplement les orienter et les renseigner. Ceux-ci doivent bien sûr fournir un travail de réflexion et de tri pour établir un ordre de priorité aux observations et déterminations à faire en fonction des conditions spéciales de chaque étude. Comme ceci a été mentionné dans l'introduction, l'application de la pédologie et de la géomorphologie aux projets de mise en valeur et notamment aux projets hydro-agricole est encore à un stade relativement peu avancé par rapport au développement de ces sciences quoique à des degrés divers pour les trois types de projets.

Les ingénieurs sont donc appelés à élaborer des techniques plus précises pour l'application de la pédologie aux différents projets de mise en valeur.

• 22 •  
- BIBLIOGRAPHIE -  
-----

- AVENARD J.M. et TRICART J. : Techniques de travail et idées de recherche - Applications de la mécanique des sols à l'étude des versants.
- BLONDEAU F. : Cours de mécanique des sols (II) - Ecole des Ponts et Chaussées.
- Bureau Of Reclamation Manual : Volume V - Irrigated Land Use - Part 2 - Land Classification - US Department of the Interior.
- CHAUVEL A. : Etude pédologique du périmètre de Grombalia - Division des sols - N° 206 - 1964.
- HENIN S. : Cours de physique du sol ( O.R.S.T.O.M. ) - 1977.
- Institut Of Land Drainage And Improvement : Drainage Principals and applications (volume III) - Wageningen ( The Netherlands - 1974.
- MAMI A. : -(Synthèse bibliographique par) - Etudes et investigations hydropédologiques pour le drainage des terres et des sols - Division des sols - ES 142-1978.
- Assainissement des plaines du Nord :
    - Etudes des sols de Sebkhia Ferjouna et Sghira Division des sols - n° 518 A - 1977.
    - Etude des sols de la plaine de Rohia - Division des sols - n° 518 B - 1978.
- O.R.S.T.O.M. : Organisation et méthodes pour un laboratoire d'analyse de série - Détermination des caractéristiques physiques.
- ORSTOM-DDPA : Techniques rurales en Afrique - Pédologie et développement - 1970.
- ROEDERER P. : - Drainage et Pédologie - Division des sols - ES-40 - 1961.  
- ( Méthodes recueillies par ) - Perméabilité des sols - Méthode Porchet - Division des sols - ES-19 - 1962.
- SOUISSI A. : - Le classement des terres - Un exemple de classement des terres à l'irrigation (Type USBR) d'après les publications du " Bureau of Reclamation - Denver " - Division des sols - ES 134 - 1977.

 I N E X E S

-----

- LEGENDE DES CARTES DE CLASSEMENT DES TERRES  
A L'IRRIGATION ( Méthode U.S.D.R. ) -

CLASSES DES TERRES :

Arable

<b>jaune</b>	Classe 1 - 1
<b>vert</b>	Classe 2 - 2S, 2t, 2d, 2St, 2Sd, 2td, 2Std
<b>bleu</b>	Classe 3 - 3S, 3t, 3d, 3St, 3Sd, 3td, 3Std

Spéciale

<b>brun</b>	Classe 4 - Pâturage - 4Ps, 4Pt, 4Pd, 4Pat, 4Pstd mêmes sous-classes pour arbres fruitiers ( 4 Fs, ... ), aspersion ( 4Sa, ... )
-------------	---

Non arable

<b>rose</b>	Classe 5 Investigation à faire - 5s, 5t, 5d, 5 st, 5 sd, 5 td, 5std. après restauration à étudier - 5(1), 5(2s), 5(2t), etc... drainage d'ensemble - 5d(1), 5d(2s), 5d(2t), etc... mêmes sous-classes pour inondation ( 5 f ) après investigations à faire ou restauration à étudier isolée 5c (1), 5 i(2s), 5i(2t), etc... mêmes sous-classes pour haute (5h) ou basse (5 l)
<b>sans couleur</b>	Classe 6 - 6s, 6t, 6d, 6st, 6sd, 6td, 6std isolée 6i(1), 6i (2s), 6i (2t), etc... mêmes sous-classes pour haute (6h) et basse ( 6l ).

Occupation des terres

S : Cultures en sec

A : arboriculture en sec

C : cultures annuelles en sec

I : Cultures en irrigué

B : arboricultures en irrigué

N : cultures maraichères, annuelles et fourragères en irrigué.

P : Parcours

U : Zone urbaine

Dans le cas de cultures particulières (cactus, vigne...) ou d'occupation particulière que l'on veut spécifier, on peut adopter une lettre que l'on définit dans la légende.

Productivité et Coût de développement

1, 2, 3, 4 ou 6 dénotent le niveau de la classe pour le facteur en question, exemple : productivité de Classe 2, Coût de développement de Classe 2 - "2 2" -

Besoins en eau du sol

- A : faible
- B : moyen
- C : élevé

Possibilités de drainage

- X : facile
- Y : présentant certaines difficultés
- Z : difficile

Renseignements divers

Sols :

- k - profondeur limitée par sable grossier, gravier
- b - profondeur limitée par un horizon imperméable
- z - profondeur limitée par une croûte ou un encroûtement
- v - texture très grossière (sableuse, sablo-limoneuse)
- l - texture grossière (limono-sableuse, limoneuse)
- m - texture fine (limono-argileuse, argilo-limoneuse)
- h - texture très fine (argileuse)
- e - structure
- n - consistance
- q - capacité utile pour l'eau
- i - infiltration
- p - conductivité hydraulique
- x - cailloux et pierres
- y - fertilité du sol
- a - salinité et alcalinité.

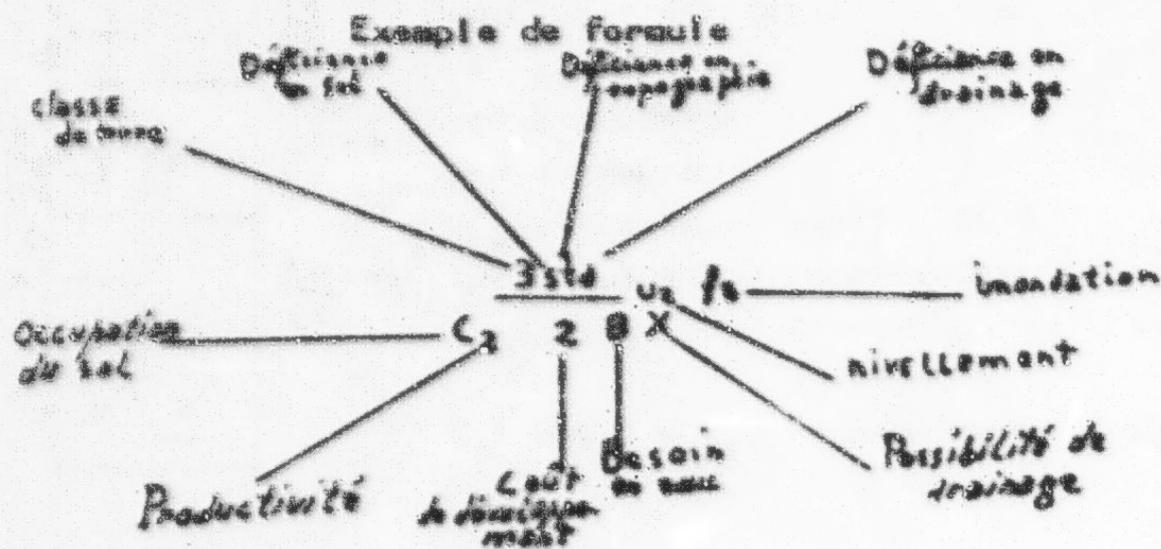
Topographie :

- g - pente
- u - surface
- j - mode d'irrigation
- c - arbustes-arbres
- r - couverture rocheuse.

Drainage :

- f - drainage superficiel - inondation
- w - drainage sous-terrain - nappe
- o - évacuation des eaux de drainage

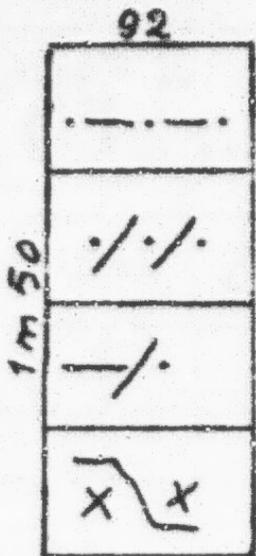
Ces  
 Ces symboles peuvent être définis par des numéros, ex :  
 $k_1, k_2, k_3$  indiquant les classes de profondeur.



Symboles utilisés pour les profils caractéristiques:

	Sableux
	Sablo-limoneux
	Limono-sableux
	Limoneux
	Sablo-argileux
	Argilo-sableux
	Limono-argileux
	Argilo-limoneux
	Equilibré
	Argileux
	Croute calcaire
	Croute dallée
	Croute calcaire de nappe
	Croute gypseuse
	Encroûtement gypseux
	Encroûtement calcaire
	Encroûtement calcaire nodulaire
	Encroûtement caillouteux
	Conglomérat
	Limon à nodules
	Cailloux
	Nappe

Profil type



92 : numéro du profil

$\frac{48}{61}$  + Réaction à HCl dilué

+ : faible

++ : modérée

+++ : forte

L : calcaire actif 10 %

$\frac{20}{85}$  +++ L 1,2 - 1,3 - 2,0 représentent la conductivité électrique de l'extrait de pête saturée.

8,1 - 8,7 - 8,5 représentent le pH

TEST D'INFILTRATION : Méthode du double cylindre

Périmètre : .....

Date : .....

N° du point : .....

Observateur : .....

.....

t (mn)	I (cm)	$\Delta I$ (cm)	$I_{cumulée}$ (cm)	Observations
0				
1				
2				
3				
4				
5				
10				
15				
20				
30				
40				
60				
100				

$I$  = Niveau de l'eau dans le tube

$\Delta I$  = Différence de niveau

a = .....

n = .....

t = 10-1-n ..... heures

$I_{bas}$  = ..... cm/ mn

= ..... cm/ h

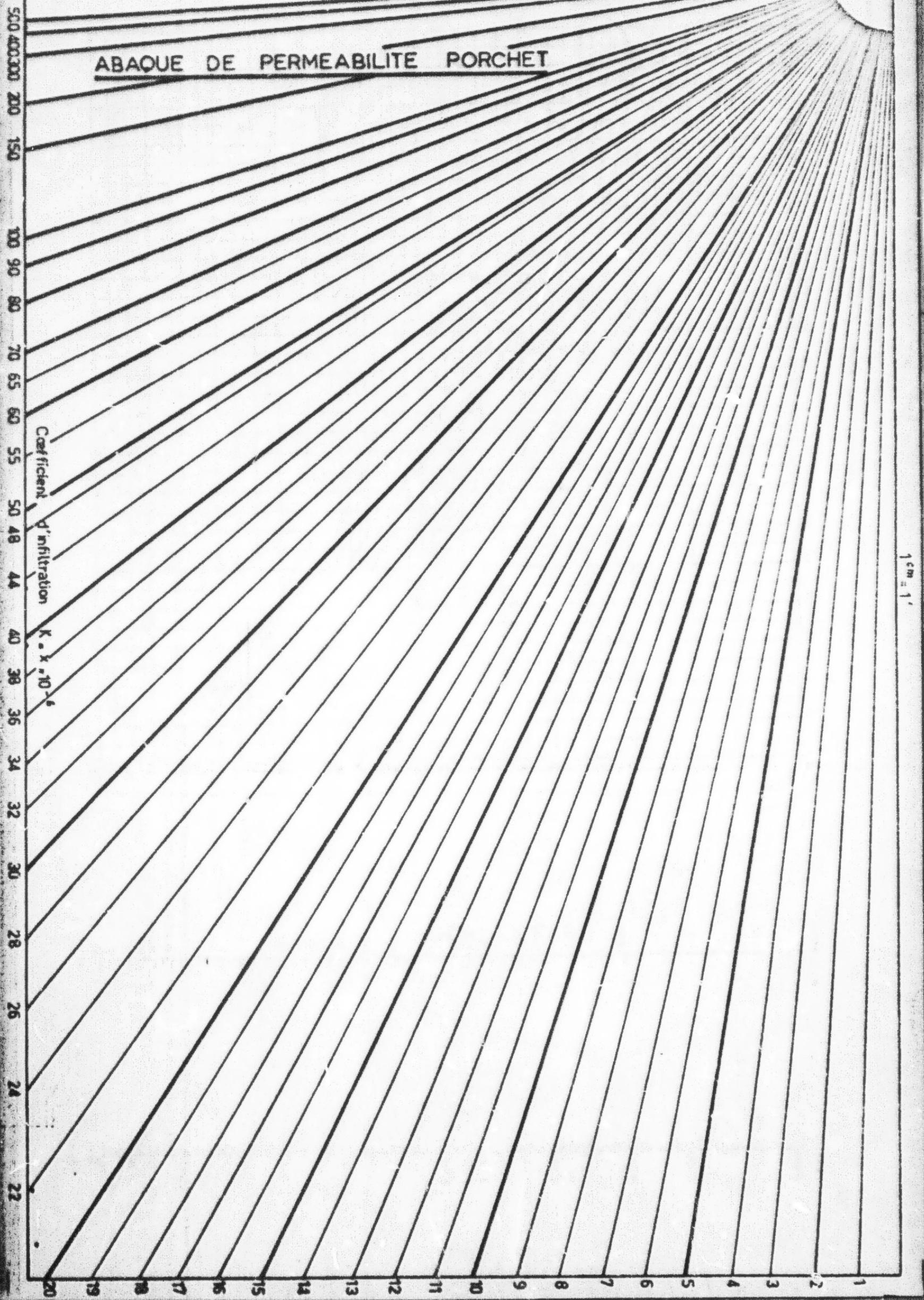
TEST DE PERMEABILITE - Méthode Ponchet

Périmètre : .....				Date : .....	
N° du point : .....				Observateur(s) : .....	
$H_1 = \dots\dots\dots \text{ cm}$		$H = \frac{H_1 + H_2}{2} = \dots\dots\dots \text{ cm}$		$r = \dots\dots\dots \text{ cm}$ $K = \dots\dots\dots \text{ cm/s}$	
$H_2 = \dots\dots\dots \text{ cm}$				repère = .....	
				Horizon teste : .....	
t	$H_t \text{ (cm)}$	$h = H - H_t \text{ (cm)}$	$h + r / 2 \text{ (cm)}$	Observations	
0					
15 s					
30					
45					
1 mn					
2					
3					
4					
5					
8					
10					
15					
20					

- $H_1$  = Profondeur du trou à partir du repère avant mesure.
- $H_2$  = Profondeur du trou à partir du repère après mesure.
- $H_t$  = Distance du repère au flotteur au temps t.

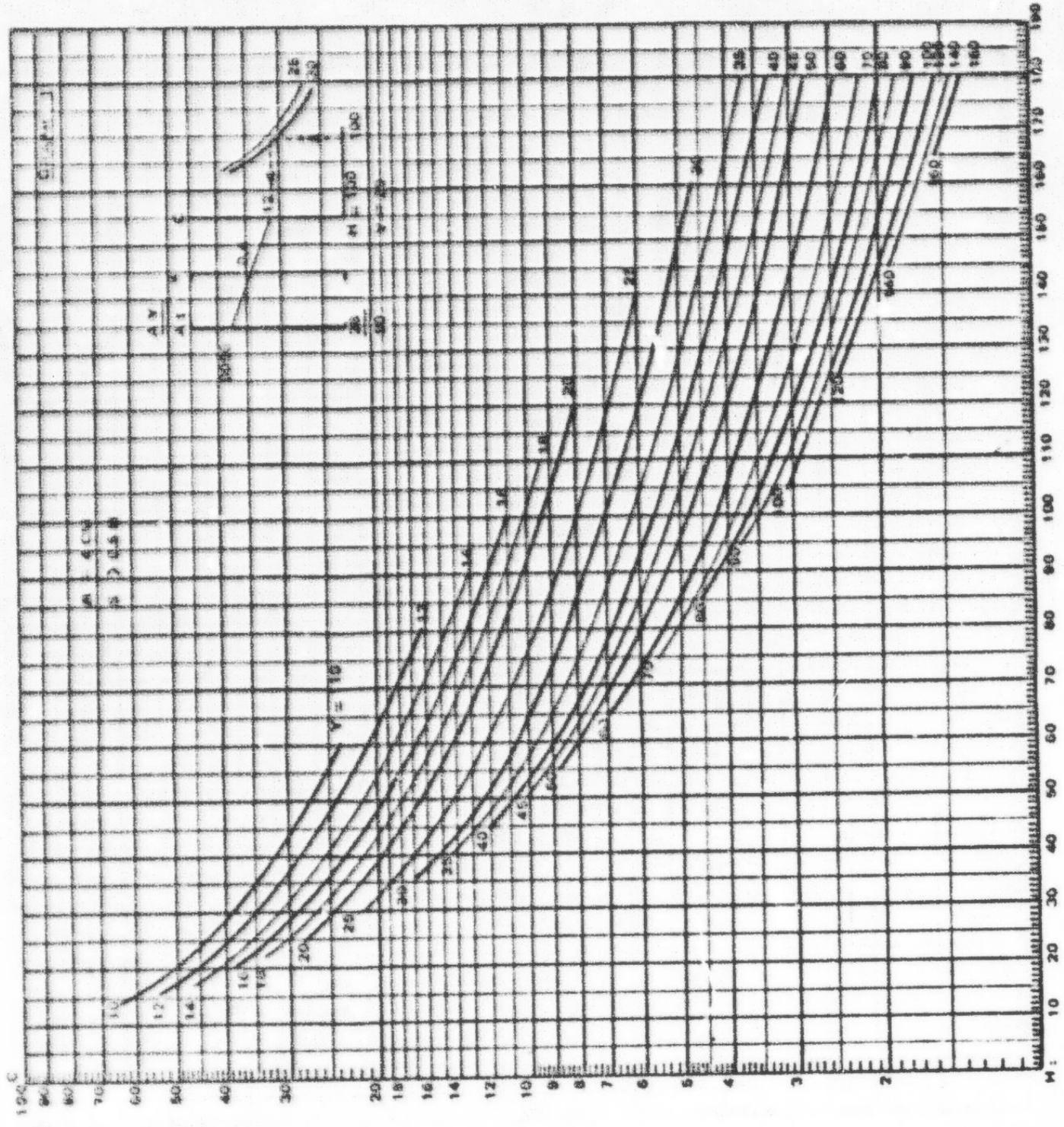


# ABAUQUE DE PERMEABILITE PORCHET



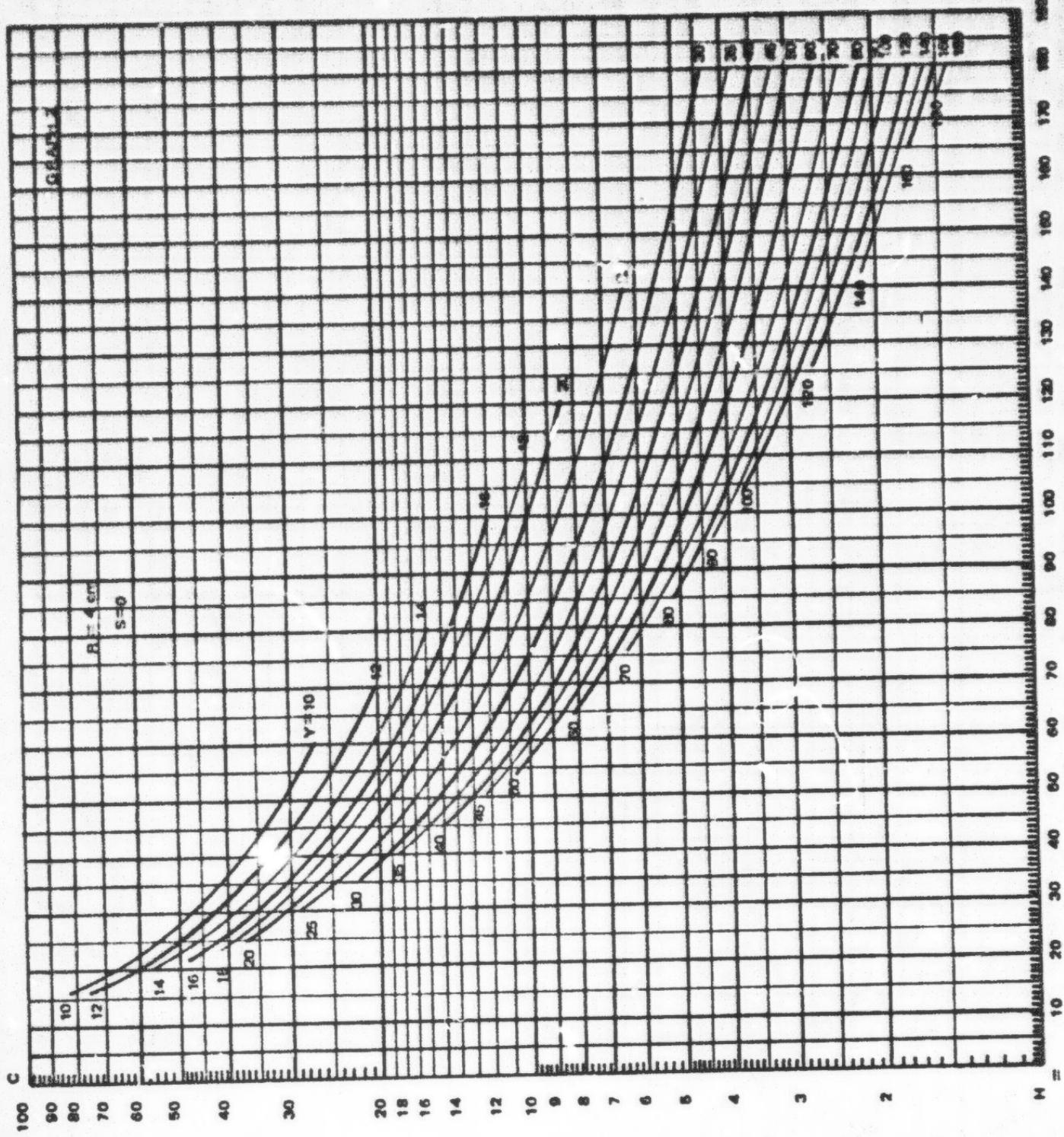
$\frac{\Delta Y}{A_1}$   
 0,10  
 0,09  
 0,08  
 0,07  
 0,06  
 0,05  
 0,04  
 0,03  
 0,02  
 0,010  
 0,009  
 0,008  
 0,007  
 0,006  
 0,005  
 0,004  
 0,003  
 0,002  
 0,001  
 cm/hrs

K  
 10  
 9  
 8  
 7  
 6  
 5  
 4  
 3  
 2  
 1  
 0,8  
 0,6  
 0,5  
 0,4  
 0,3  
 0,2  
 0,1  
 0,08  
 0,06  
 0,05  
 0,04  
 0,03  
 0,02  
 0,010  
 m/24 hours



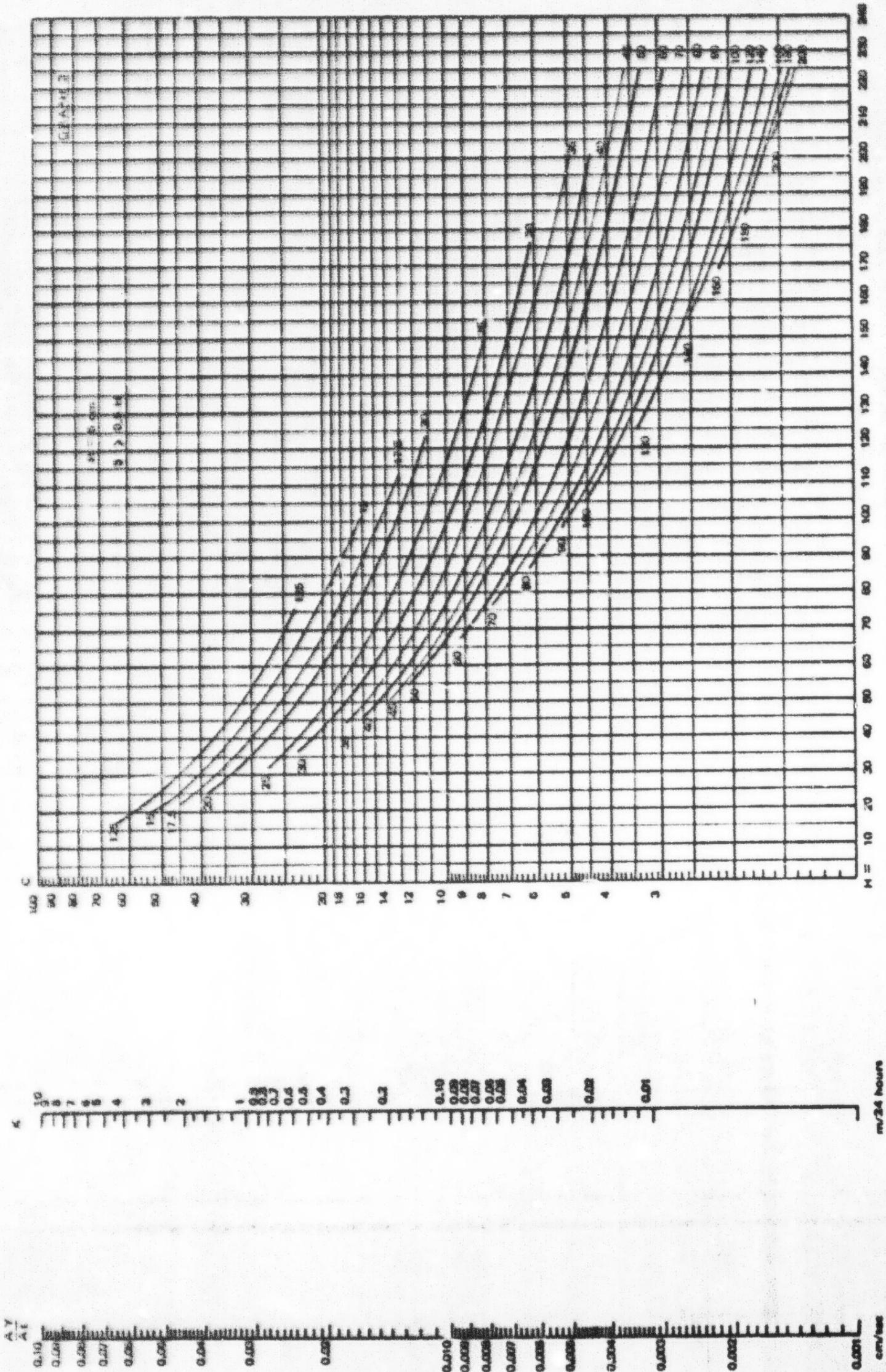
Bulletin N° 1 THE AUGER HOLE METHOD;

International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.



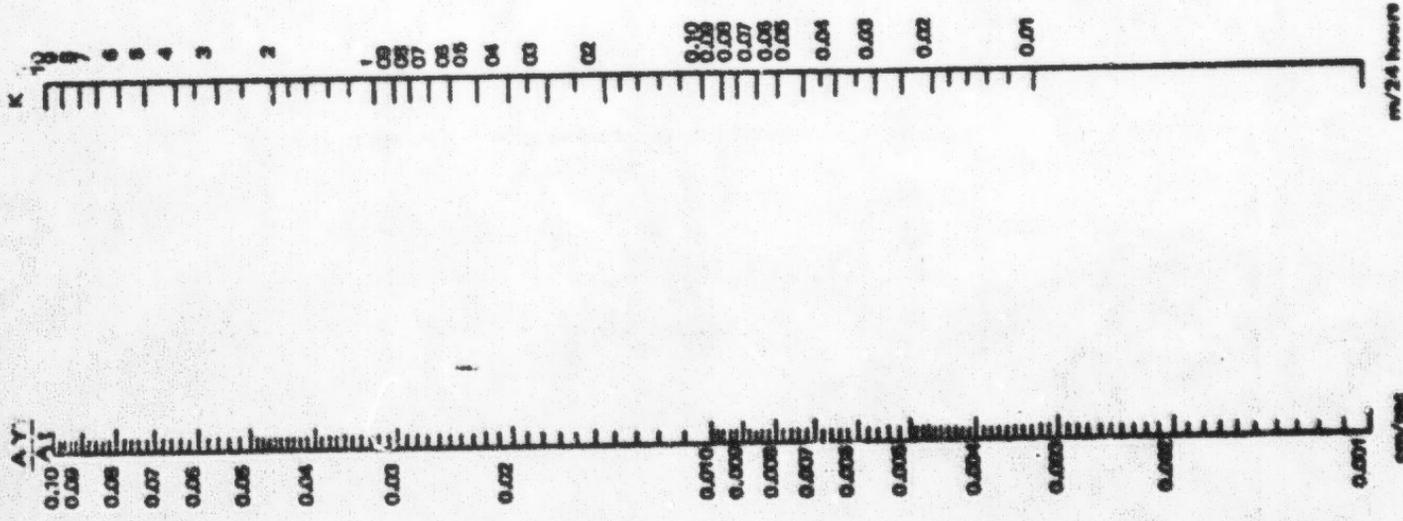
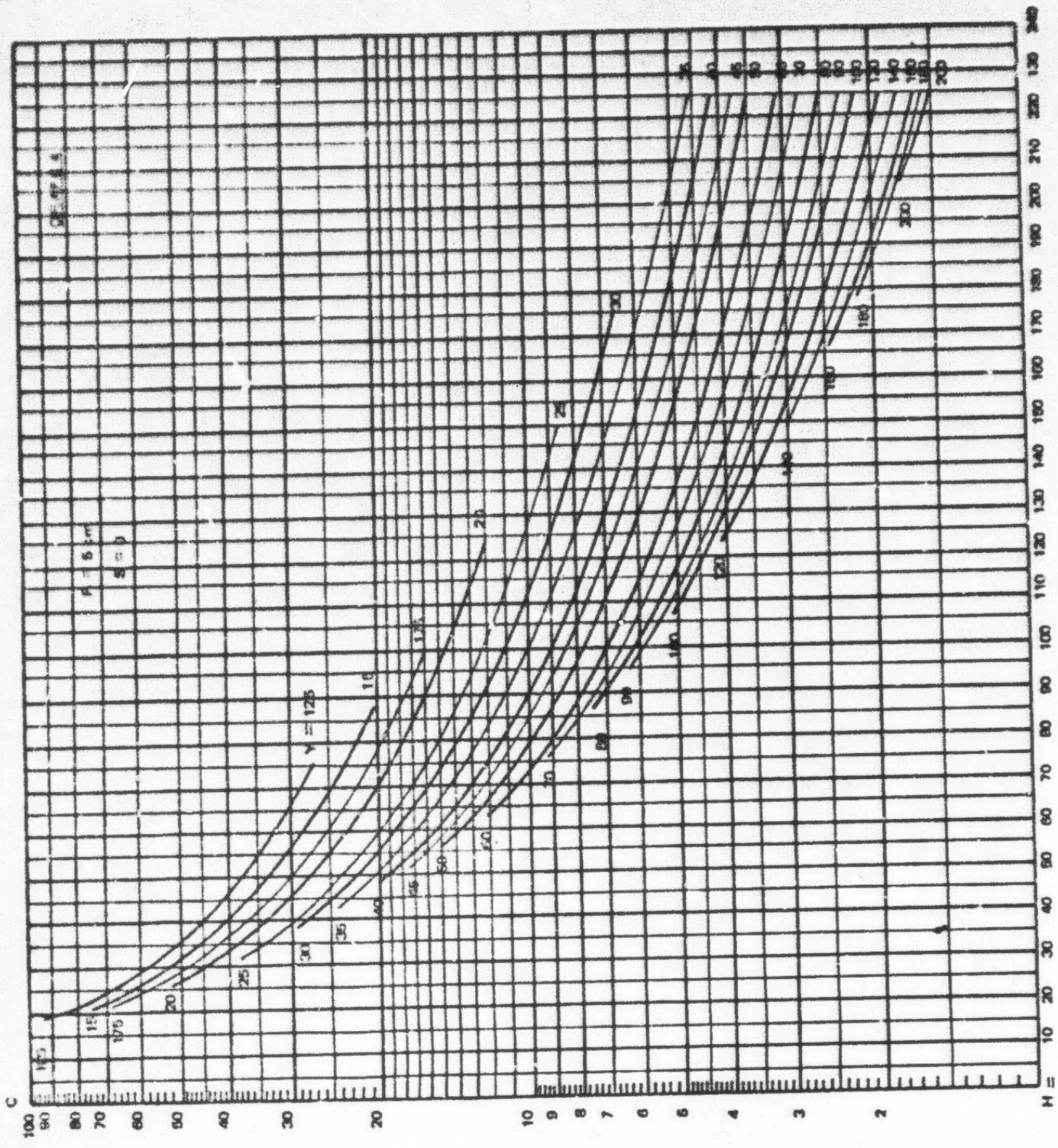
Sheet N° 1 THE ALGER HOLE METHOD;

International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1958



Bulletin N° 1 THE AUGER HOLE METHOD;

International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1968.



Bulletin N° 1 THE AUGER HOLE METHOD:  
 International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1958

**FIN**

... **45** ...

**VUES**