

ETUDE du BILAN
de l'EAU
en PALMERAIE

P. QUENCEZ - Elève de seconde année O R S T O M

Section Pédologie

Stagiaire I.R.H.O.

ETUDE du BILAN D'EAU

en

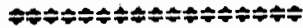
PALMERAIE

QUENCEZ. P

Elève de seconde année ORSTOM

Section Pédologie

S O M M A I R E



Pages

I N T R O D U C T I O N



<u>1ère Partie</u> <u>EVAPOTRANSPIRATION</u>		2
1	Application	
	Définition	
2	Principales évaluations	4
3	Sa mesure par la méthode du bilan hydrique	5
<u>2ème Partie</u> <u>ETUDE DES RESERVES en EAU du SOL</u>		
1	<u>Protocole de l'essai</u> LM - ES 132	12
2	<u>Le sol</u>	15
	2.1 Le profil pédologique	15
	2.2 Caractéristiques granulométriques	17
	2.3 Caractéristiques hydriques	19
	2.4 Capacité au champ	19
	2.4.1 - Définition	
	2.4.2 - Discussion sur la valeur du pF	
	2.5 Relation entre granulométrie et constantes hydriques	23
	2.6 Domaine d'eau disponible - Réserves	25
	2.6.1 - Définition	
	2.6.2 - Domaine d'eau disponible	
	2.6.3 - Références	
	2.6.4 - Réserves en eau	
3	<u>Etude des profils hydriques</u>	27
	3.1 Résultats	27
	3.2 Phase de dessèchement	34
	3.3 Phase de stabilisation	34
	3.4 Phase de réhumidification	36
	3.5 Conclusions sur l'observation des profils	36
	3.6 Réaction du Palmier - Evapotranspiration réelle	38
4	<u>Conclusions</u>	41

I N T R O D U C T I O N

Cette étude a été réalisée en Côte d'Ivoire dans le cadre de la Station IRHO de La Mé. Elle s'inscrit à la suite des études effectuées sur le même problème depuis 1955 sur la Station IRHO de Pobé (Dahomey) dans une écologie très différente.

Nous évoquerons dans ce rapport les résultats des premières observations faites pendant une année ; mais cette étude sera poursuivie car des observations prolongées sont nécessaires pour conclure valablement sur l'utilisation de l'eau en Palmeraie.

Deux points ont été envisagés :

- Mesure de l'Evapotranspiration Potentielle
- Etude des réserves en eau du sol.

La mesure de l'évapotranspiration potentielle consistait :

à installer à La Mé : Evapotranspiromètre et bac d'évaporation.
(Conception, mise en place, organisation des observations et contrôles)
à étudier les premières données obtenues.

L'étude des réserves en eau du sol portait sur :

l'observation du sol et la détermination de ses caractéristiques
l'étude des profils hydriques et des réactions du palmier (ouvertures stomatiques).

EVAPOTRANSPIRATION

Suite à la note publiée par Mr. Franquin (5) sur la normalisation de la mesure de l'évapotranspiration, nous avons établi les plans de l'appareillage nécessaire.

Un projet de financement F.A.C. a été accordé pour les installations météorologiques complémentaires, en particulier pour un certain nombre d'appareils de mesure de l'évapotranspiration (Evapotranspiromètre - Récipient collecteur - Bac Colorado). Ce matériel était remboursable sur la base de 100.000 F. CFA par installation.

Nous avons alors contacté différents constructeurs afin de trouver celui qui nous proposerait la construction du matériel pour un prix raisonnable.

En collaboration avec Mr. Eldin, Maître de Recherches à l'ORSTOM et de Mr. Daudet Assistant de Recherches, nous avons rédigé une note concernant l'ETP. (Application - Définition - Principales évaluations - Sa mesure par la méthode du bilan hydrique.) Elle a été envoyée à tous les services intéressés, en leur demandant de donner leur avis et leur accord de principe pour la réalisation. A la suite de quoi une commande groupée devait être faite.

Etant donné le temps nécessaire à l'information et aux réponses ainsi que des variations dans les conditions de financement, la mise à exécution de ce projet a été retardée et nous n'avons pas encore à ce jour (Nov.68) l'assurance de le faire très prochainement.

Nous avons cependant réalisé sur la Station de La Mé, l'aménagement de la parcelle destinée à recevoir le matériel. Ci-dessous la note concernant l'ETP. (Elle doit faire l'objet d'une publication dans une revue de type agronomique à diffusion assez vaste = Agronomie Tropicale, Coton et Fibres tropicales, ou Oléagineux)/

L'Evapotranspiration Potentielle

1. GENERALITES

Un grand nombre d'applications agricoles ou de problèmes de recherches en hydrologie, climatologie, agronomie etc... nécessitent la connaissance de la consommation en eau des plantes en conditions naturelles, afin de définir les normes d'irrigation à adopter dans une zone déterminée, ou d'évaluer, autrement qu'en la considérant comme le terme résiduel du bilan hydrique, la perte en eau d'une région par évapotranspiration (évaporation et transpiration).

Pour ces types d'application, on a recours à une évaluation par excès : l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) que l'on peut définir comme étant la quantité maximale d'eau susceptible d'être évapotranspirée par un couvert végétal continu, en phase active de croissance, lorsqu'il est abondamment alimenté en eau.

L'expérience montre que des **couverts végétaux différents**, placés dans les conditions de définition de l'E.T.P., consomment une quantité d'eau à peu près équivalente. Il en découle que l'on peut concevoir l'E.T.P. comme une grandeur purement climatique, qui traduit, sous forme de demande en eau, l'action combinée du rayonnement solaire, du déficit de saturation et de la température de l'air, de la vitesse du vent, etc...

On peut penser que l'E.T.P. est une estimation correcte de l'évapotranspiration réelle (E.T.R.), dans le cas où l'eau du sol est aisément disponible pour la végétation. Dans le cas contraire, après une période sèche prolongée, l'E.T.R. peut être nettement inférieure à l'E.T.P., voire même nulle à certains moments.

Quoiqu'il en soit, même pour ces périodes de sécheresse, la connaissance de l'E.T.P. reste intéressante car elle permet, par différence avec la pluviométrie, de chiffrer le déficit hydrique qui caractérise le climat de la région étudiée.

2. DIFFERENTES EVALUATIONS DE L'E.T.P.

2.1) Bacs d'évaporation : Ils sont généralement employés dans les stations climatologiques (Bac Colorado ou Bac Class A). Ils donnent une valeur difficile à comparer à l'évapotranspiration d'un couvert végétal. On peut y trouver de nombreuses raisons :

- forme de la surface évaporante différente et beaucoup plus réduite dans le cas d'une nappe d'eau que dans celui d'un couvert végétal ;
- comportement différent vis à vis du rayonnement ;
- inertie thermique importante du bac d'évaporation par rapport à celle du couvert végétal.

De plus, et surtout, les bacs sont rarement installés dans des conditions d'environnement précises et constituent de toutes façons un corps étranger au milieu qui les reçoit. (Exception faite des bacs flottants). Il en résulte que les échanges advectifs qui s'établissent entre le bac de mesure et la surface environnante peuvent être très importants et éminemment variables selon la nature de cette surface. Ils entraînent une grande dispersion des mesures et d'énormes difficultés dans leur interprétation.

2.2) Evaporomètre PICHE. Placé sous abri, l'évaporomètre PICHE, peut, après application de la correction calculée par BOUCHET, donner une bonne valeur de l'E.T.P., mais, pour chaque région et pour chaque type d'abri, il faut déterminer expérimentalement la valeur du coefficient de proportionnalité qui intervient dans la correction des valeurs brutes de l'évaporomètre PICHE.

2.3) Les formules climatiques empiriques. Elles permettent de calculer E.T.P. connaissant certaines grandeurs climatiques qui sont généralement : la durée du jour ou la durée d'insolation mensuelle, la température moyenne mensuelle, l'hygrométrie moyenne mensuelle, etc... Elles doivent être testées avant de pouvoir être utilisées en confiance sous des climats variés.

2.4) Les formules climatiques du type PENMANN. Elles sont issues de considérations thermodynamiques, ce qui leur confèrent une validité plus générale et une plus grande précision que celles des formules empiriques. Malheureusement, elles font appel à des mesures climatologiques (Rayonnement solaire net par ex.), qui ne sont pas encore effectuées dans les stations climatologiques classiques.

Que ce soit pour déterminer le coefficient α de la formule de BOUCHET ou pour définir les limites de validité des diverses formules climatiques utilisables, il importe de disposer de mesures directes de l'E.T.P. dans un certain nombre de stations bénéficiant de climats aussi différents que possible

Nous passerons ici sous silence les mesures de l'E.T.P. qui font appel à des moyens instrumentaux importants ou à des compétences étendues ; (Methodes pondérales, méthodes aerodynamiques, méthodes du bilan énergétique, etc...), pour ne retenir et décrire qu'une méthode extrêmement simple, peu coûteuse, et susceptible par conséquent d'une très grande généralisation : la méthode par bilan hydrique.

3. MESURE DE L'E.T.P. PAR LA METHODE DU BILAN HYDRIQUE

3.1) - Principe.

La mesure consiste à établir le bilan hydrique d'un système constitué par un volume de sol enfermé dans un bac, et en contact avec l'atmosphère par une surface finie engazonnée. Cette surface est placée en conditions naturelles, c'est à dire au niveau et au milieu d'une parcelle recouverte d'une végétation identique. Une nappe d'eau libre est maintenue dans le fond du bac pour assurer une alimentation en eau constamment abondante. Un dispositif de drainage permet de recueillir l'eau libre qui draine vers la base du bac.

Pour chaque période de mesure, on peut écrire que les apports d'eau sur le bac sont égaux à ses pertes, à la variation près de la réserve en eau du bac, soit :

$$P + I = ETP + D + \Delta R$$

où : P est la pluviométrie reçue par la surface.

I est l'irrigation apportée sur la surface.

D est le drainage recueilli à la base du bac.

ΔR est l'augmentation algébrique du stock d'eau contenue dans le bac entre le début et la fin d'une période de mesure.

ETP est l'évapotranspiration de la surface, que l'on cherche à mesurer comme terme résiduel de ce bilan hydrique.

Toutes ces grandeurs doivent, bien entendu, être mesurées avec une même unité. L'unité généralement employée, parce qu'indépendante de l'aire de la surface de mesure, est le mm. de hauteur d'eau.

P, I et D sont facilement mesurables. On élimine ΔR , en imposant que les conditions de retention pour l'eau dans le bac soient les mêmes au début et à la fin de la mesure ($\Delta R = 0$). On choisit, comme condition particulière, la fin du drainage après une pluie ou une irrigation abondante sur la surface de mesure, car, à ce moment là, l'état de l'eau dans le bac est relativement bien défini :

- Terre du bac entièrement à la capacité au champ, et nappe d'eau libre dans le fond du bac à son point le plus haut (Départ du tuyau de drainage).

Entre deux fins de drainage, on peut donc écrire :

$$ETP = P + I - D$$

Malheureusement, la fin du drainage est une notion mal définie et un peu subjective. On peut, bien sûr, considérer que le drainage est terminé lorsque l'eau ne coule plus que goutte à goutte dans le récipient collecteur, mais c'est là une définition peu satisfaisante.

On tourne la difficulté en arrosant la surface en fin de journée en sorte que le drainage s'opère et se termine durant la nuit. Comme pendant celle-ci l'évapotranspiration est très faible, nulle, ou même négative (rosée), on retrouve le matin, en début de journée, les conditions que nous avons imposées comme devant être celles du début et de la fin d'une période de mesure : Eau libre entièrement écoulee, sol entièrement à la capacité au champ, nappe d'eau libre à son point le plus haut.

Néanmoins, les fluctuations de la capacité au champ font que le stock maximal d'eau de la cuve après drainage, peut varier d'un jour à l'autre, ce qui introduit une erreur importante sur la valeur quotidienne de l'ETP. C'est la raison pour laquelle on adopte des périodes de mesure d'au moins une semaine et le plus souvent décadaires. Si les mesures sont faites avec soin, (Bonne irrigation de l'anneau de garde, bonne homogénéité des surfaces de la cuve et de l'anneau de garde, bonne délimitation de la surface de mesure, ...). la précision obtenue sur les valeurs décadaires est excellente (Mieux que 5 % près).

3.2 - Description de l'appareil (cf. schéma ci-joint)

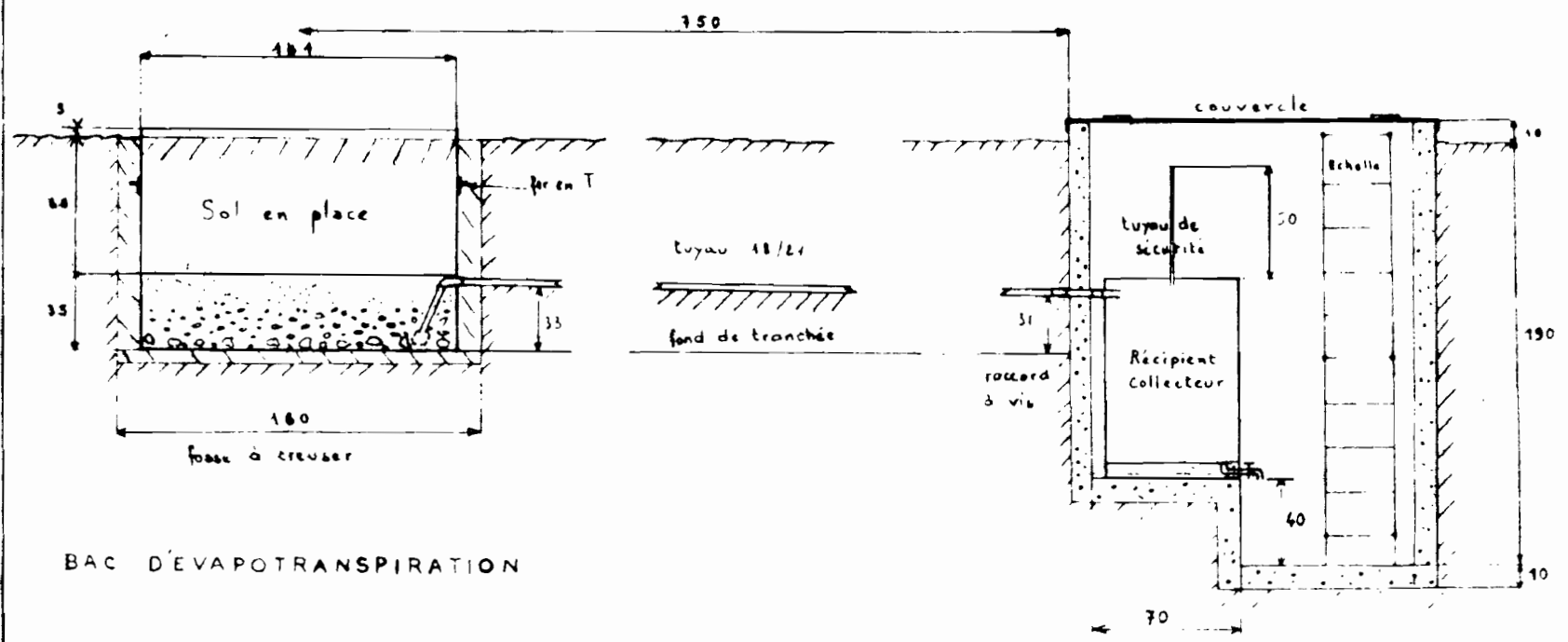
L'évapotranspiromètre se compose de deux bacs :

- Un bac de mesure de section carrée de 2 m² (1,41 x 1,41) et de 1 m de profondeur, enterré jusqu'au niveau du sol, rempli de terre, et couvert de Paspalum notatum.
- Un bac de réception et de contrôle des eaux de drainage, installé dans une fosse distante d'au moins 7 m. du bac de mesure. Son volume est d'environ 220 l. La fosse est fermée par un couvercle de protection.

3.3 - Construction (cf. schéma)

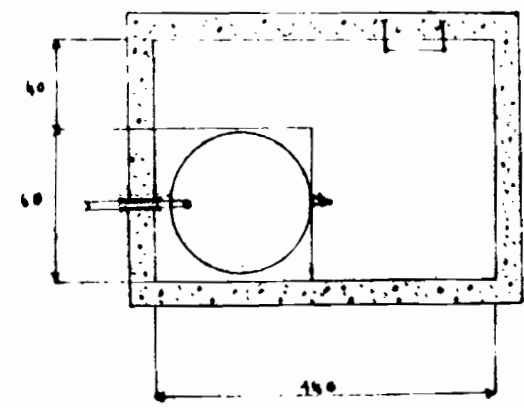
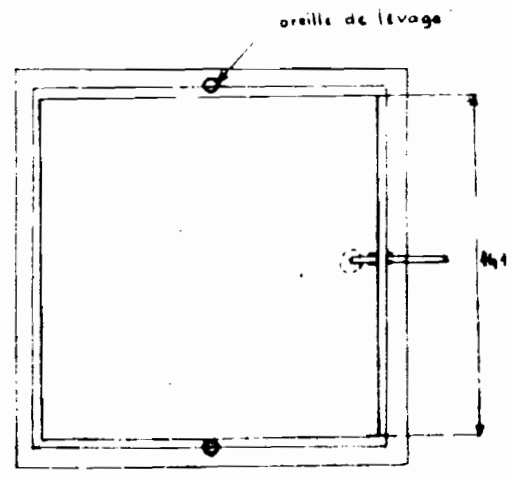
Elle peut être assurée par des constructeurs spécialisés. Pour Abidjan, le prix de la construction d'un ensemble bac d'évapotranspiration et récipient collecteur s'élève à environ 55.000 F CFA (1968).

PARCELLE de GARDE (20 < 20 m.)



BAC D'EVAPOTRANSPIRATION

FOSSE DE MESURE DU DRAINAGE



3.4 - Emplacement

La surface de mesure de l'évapotranspiromètre doit être :

- en un lieu dégagé de tout obstacle (maison, arbre, haie, etc...) susceptible de perturber la circulation atmosphérique dans son voisinage immédiat. L'éloignement de l'obstacle doit être égal à 20 fois la hauteur de celui-ci.
- dans un milieu sol-relief représentatif de la région
- au milieu d'une parcelle de garde d'au moins 20 x 20 m de côté et facilement irrigable (à proximité d'un point d'eau).

3.5 - Mise en place

- a) Creuser un trou pour le bac, un trou pour le récipient collecteur, et une tranchée reliant l'un à l'autre suivant les indications du schéma ci-joint. Les parois et le fond de la fosse recevant le récipient collecteur doivent être maçonnés.
- b) S'assurer que le sol n'est pas mouvant en cas d'engorgement d'eau.
- c) Disposer une couche de 10 cm de sable au fond de la tranchée. La stabilité du bac peut être assurée également par une semelle de sable et de ciment sec.
- d) Placer le bac d'évaporation dans son trou. Son bord supérieur doit dépasser le niveau du sol de 5 cm pour éviter que l'eau de ruissellement n'y pénètre ou n'en sorte.
- e) Relier le bac de mesure et le récipient collecteur par des tuyaux de 18/21. Reboucher la tranchée et l'espace libre autour du bac de mesure.
- f) Disposer dans le fond du bac de mesure :
 - une couche de 20 cm de petits cailloux ou graviers,
 - une couche de 15 cm de sable, par dessus.

g) Finir de remplir le bac jusqu'au niveau du sol en remettant les horizons pédologiques à peu près en place. Cependant le sol contenu dans le bac doit être drainant. S'il ne remplit pas cette condition, il faut la créer par un apport de sable et / ou de chaux. Le remplissage peut être effectué dans l'eau pour obtenir un tassement plus rapide et plus régulier qu'un compactage à sec.

h) Attendre que la terre soit tassée, ajuster soigneusement son niveau à celui du sol environnant le bac, puis repiquer (ou semer) des pieds de Paspalum notatum, de façon à obtenir une couverture assez dense (1 pied pour 50 cm² environ) tant sur la surface de mesure que sur l'anneau de garde.

3.6 - Pratique des mesures

- Tous les soirs (entre 18h et 20h., par exemple,) si le drainage est terminé et s'il n'est pas tombé dans la journée de pluie supérieure à 4 mm, on apporte sur la surface de mesure une dose d'irrigation telle que, compte tenu de l'évapotranspiration de la journée, un léger drainage soit provoqué. (Par exemple, si on estime que l'ETP de la journée est de l'ordre de 3 mm, on apportera une irrigation de 5 mm pour être sûr de provoquer le drainage, même si la valeur exacte de l'ETP s'avère être par la suite plus près de 4 mm que de 3).

- Le relevé du drainage s'effectue tous les matins (entre 6 et 8 h.).

- La journée de mesure va de 8h (par exemple) à 8h. le lendemain, c'est dire que dans le bilan : $ETP = P + I - D$. P et I sont ceux mesurés durant ces mêmes 24 h., et que le drainage relevé à 8h. intéresse les 24h. précédentes.

- L'irrigation de l'anneau de garde s'effectue en principe aux mêmes doses et au même rythme que celle de la surface de mesure. Pour des raisons de simplification, on est conduit à ne pratiquer cette irrigation que 2 fois par semaine en saison sèche et à une dose correspondant à une

moyenne de 4 mm/jour. (Ceci n'est valable que pour le climat correspondant à la moitié Sud de la Côte d'Ivoire. Il est clair que dans des régions plus sèches l'ETP est plus forte et par suite, le rythme des irrigations de l'anneau de garde doit devenir plus rapide et les doses plus importantes).

- Afin de ne pas fausser la mesure de l'ETP, par la création d'une atmosphère artificiellement humide autour de la surface de mesure, cette irrigation est à pratiquer à un moment de la journée où l'ETP est naturellement à peu près nulle. Nous ~~recommandons~~ recommandons l'irrigation en début de nuit, entre 19 et 22 h. par exemple.

Pendant toute la durée de l'irrigation de l'anneau de garde, la surface de mesure est, bien entendu, protégée par un film plastique.

- Pour les périodes de mesure on essaye de suivre les décades mensuelles (du 1er du mois à 8h. au 11 à 8h., etc...). Cependant lorsqu'il pleut abondamment dans la journée ou la nuit précédant la fin de la période de mesure, il est possible que le drainage ne soit pas terminé le matin vers 7 ou 8 h. La période de ~~mesure~~ mesure ne peut pas s'arrêter ce jour là et l'on doit attendre le lendemain. On peut se ramener sans grande erreur, à une période de 10 jours, par une règle de trois.

- La hauteur du gazon est à maintenir par des fauches fréquentes à environ 10 ou 15 cm au-dessus du sol. (Par exemple : Ramener à 8 cm, chaque fois que sa hauteur atteint environ 16 cm). Les fauches doivent s'effectuer simultanément sur la surface de mesure et sur l'anneau de garde (Homogénéité de la surface de la parcelle).

- L'herbe fauchée doit être éliminée par ratissage.

- Il est bon d'apporter périodiquement des engrais minéraux pour compenser les pertes dues à l'exportation de fourrage et au lessivage.

A titre indicatif, on peut préconiser par exemple pour les formations sableuses du Sud de la Côte d'Ivoire :

1) Sur l'anneau de garde :

- Deux fois par an, en avril et septembre : 400 kg/ha d'engrais complet (12 - 12 - 17 ou 10 - 8 - 18).

- Deux fois par an, en juillet et novembre : 250 kg/ha de sulfate d'ammoniaque.

2) Sur la surface de l'évapotranspiromètre :

Aux mêmes périodes, doses d'engrais deux fois plus faibles, à condition d'utiliser en priorité l'eau de drainage pour les irrigations de la surface de mesure. (Pas de perte d'éléments minéraux par lessivage).

4 - CONCLUSIONS

- La mesure de l'ETP décadaire par la méthode du bilan hydrique est simple, peu coûteuse, et très suffisamment précise pour les besoins de l'agriculture et de l'hydrologie.

- Par ailleurs, l'ETP est une grandeur climatique extrêmement intéressante car elle intègre tous les éléments climatiques principaux, et constitue donc à elle seule une définition valable du climat local ; au moins en ce qui concerne l'économie de l'eau.

- Cette mesure est appelée à prendre place dans la routine des observations classiques de ~~de~~ tout poste agroclimatologique.

ETUDE des RESERVES en EAU du SOL

1. - PROTOCOLE essai LM ES. 132

1.1 - But

Etude de l'évolution comparée des profils hydriques et des ouvertures stomatiques sur Palmeraie adulte.

Détermination du processus d'utilisation de l'eau par le Palmier.

1.2 - Observations effectuées

Caractéristiques spécifiques du sol.

Profils hydriques.

Ouvertures stomatiques.

1.3 - Localisation

Station IRHO La Mé Parcelle I 43, lignes 5 à 10,

Arbre 3 à 6

Plantation 1957; âge : 10 ans

Sol : ferralitique, fortement dessaturé, appauvri, remanié, ~~en~~ sableux faiblement argileux à Sablo - argileux sur sables tertiaires.

Topographie : bordure de plateau, faible pente.

1.4 - Conduite de l'essai

Mis en place le 15 Décembre 1967.

1.4.1 - Durée et Fréquence des mesures

Grande Saison sèche - grande saison des pluies (Décembre à Juillet)

Mesures hebdomadaires.

- Il est à remarquer que la brièveté de la grande saison sèche et que la grande saison des pluies particulièrement pluvieuse en 1968, n'ont pas permis d'atteindre le but de l'essai, le cycle de dessèchement étant incomplet.

D'autre part, l'alcool isopropylique nécessaire aux mesures d'ouvertures stomatiques n'a été disponible qu'à la fin du mois de Janvier.

m° des arbres

5

4

3

2

1

I 43

m° des lignes

5

6

7

8

9

10

Bloc

I

II

III

IV

V

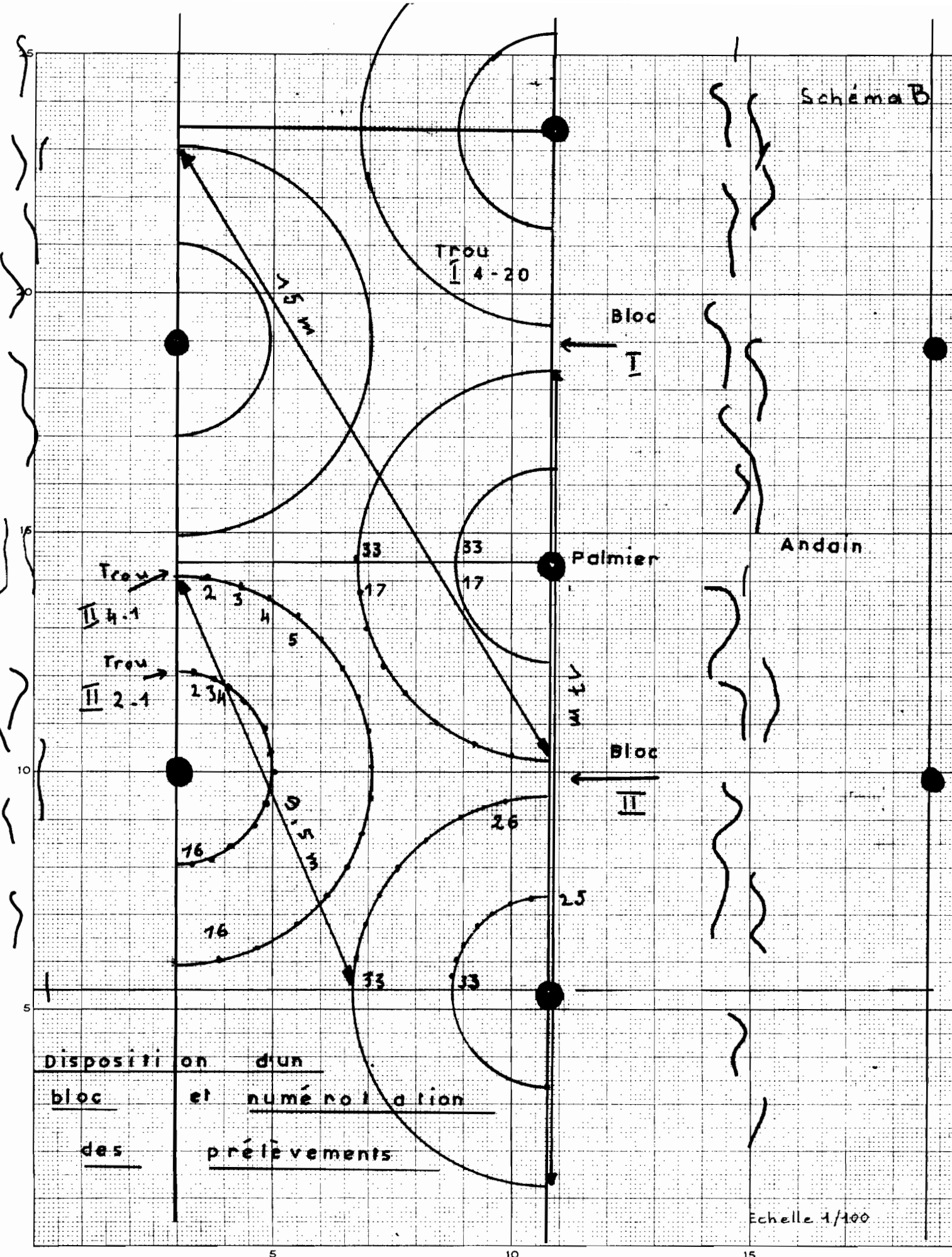
VI

Disposition des 6 blocs

sur la parcelle

I 43

Schéma B



Dispositif d'un
bloc et numérotation
des prélèvements

Echelle 1/100

La fréquence prévue des mesures a été respectée jusqu'au courant du mois de Mars; pendant la saison des pluies précoce, des mesures de contrôle plus espacées furent suffisantes.

1.4.2 - Nombre de prélèvements

Il est limité par le temps nécessaire aux prélèvements et aux pesées ainsi que par le matériel coûteux (boîtes à tare) disponible dans la même journée.

Les sondages sont effectués jusqu'à 3 m de profondeur avec le prélèvement de 13 échantillons.

Deux traitements sont répétés 6 fois :

- à 2 m du pied des stipes
- à 4 m " " "

Le nombre total d'échantillons est 156

Les 13 niveaux de prélèvements sont (en cm)

0 - 10 , 10 - 20 , 20 - 30 , 30 - 40 , 40 - 50 , 70 - 80 ,
100 - 110 , 130 - 140 , 160 - 170 , 190 - 200 , 220 - 230 ,
250 - 260 , 280 - 290.

1.4.3 - Disposition

6 blocs sur 3 interlignes (voir schéma A)

Les sondages ont lieu sur des demi-circonférences (interligne) -

Etant donné le nombre de sondages prévu, il fallait disposer d'une longueur suffisante pour que deux sondages voisins soient suffisamment écartés (afin qu'il n'y ait pas de recoupement entre tous).

L'emplacement du prélèvement étant chaque fois tiré au sort pour chaque bloc, il est apparu que :

a) le choix de 2 palmiers consécutifs sur une même ligne n'était pas souhaitable : 2 tirages successifs peuvent conduire à un éloignement maximal des deux trous correspondants de 17 mètres.

b) le choix de 2 palmiers sur deux lignes voisines réduit cet écart à 15 mètres.

c) il est possible de le réduire à 9,5 m en considérant les 3 palmiers sommet de triangle équilatéral et de retenir sur chacun d'eux, respectivement $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ de cercle pour former un bloc (voir schéma B).

Ainsi chaque bloc est plus homogène, et les résultats sur un même bloc, plus facilement comparables.

1.4.4 - Les mesures d'ouvertures stomatiques sont faites sur les 15 arbres intéressés par les 6 blocs.

Elles sont effectuées sur les folioles de la 17ème feuille du palmier, en prenant une foliole supérieure et une foliole inférieure de la partie médiane de la feuille; le choix de la 17ème feuille est conventionnel (sa détermination phyllotaxique est simple).

- Il est à remarquer que ces mesures d'ouvertures stomatiques ont été gênées par une attaque massive d'un parasite (coelaenomenodera) à partir du mois de Février ; alors que ces attaques étaient relativement ^{peu} importantes lors de la mise en place de l'essai, et ceci, sur toute la parcelle considérée et même sur les parcelles voisines.

1.4.5 - Matériel - Manipulation

2 équipes travaillant simultanément; chacune équipée de 3 tarières (une de 1 m, une de 2 m, une de 3 m).

Les échantillons prélevés sont immédiatement mis dans des boîtes à tare étanches; on évite toute exposition au soleil ou à la pluie. Celles-ci sont pesées le plus rapidement possible sur une balance Mettler (au mg près).

La mesure de l'humidité est faite par dessiccation à l'étuve à 105°C.

- Nous tenons à remercier **ici** les services d'Agronomie et de Pédologie de l'ORSTOM (Adiopodoumé) qui ont bien voulu mettre à notre disposition un certain nombre de boîtes à tare, au début de l'essai, avant que nous en disposions d'un nombre suffisant.

2. LE SOL

2.1 - Le profil pédologique

Le choix de l'emplacement de l'essai a été fait en fonction de deux facteurs :

- âge de la plantation : 10 ans
- position topographique : paysage de plateau.

De ce deuxième critère et des conclusions obtenues de la carte pédologique de la Station, nous pouvons classer ce sol comme : Sol ferrallitique, fortement désaturé, appauvri, remanié, sur sable tertiaire.

2.1.1 - Description du profil

Position topographique : bord du plateau

Drainage rapide

Utilisation Palmeraie

Couverture du sol : plante de couverture entièrement disparue, remplacée par de nombreuses graminées denses de petite taille, des Cyperacées, quelques Scofulariacées souvent dans les andains de nombreuses fougères (par tache) et thaumatococcus et costus.

Microrelief : Légères ondulations et dépressions de quelques centimètres de profondeur et quelques dizaines de centimètres d'amplitude.

Litière : pratiquement inexistante - fosse à 3,5 m d'un palmier

- 0 - 10
A11
- Couleur beige brun (10 YR 5/3) homogène avec quelques petites taches brun clair dues au passage de la faune du sol qui entraîne les débris végétaux (vers)
 - Matière organique moyennement abondante, bien décomposée, de pénétration homogène et bien liée à la matière minérale sauf dans les petites unités plus poreuses (passage de vers).
 - Texture : Sableuse, sable grossier émoussé, quelques grains de quartz nu.
 - Structure : gruméleuse, très fine à fine, bien développée, cohésion très faible.

- Très meuble, non plastique, non collant.
 - Porosité alvéolaire fine à moyenne, moyennement abondante.
 - Chevelu racinaire abondant.
 - Limite graduelle régulière.
- 10 - 30 - Couleur beige (10 YR 6/2), quelques taches plus foncées moins nettes.
- A12
- Matière organique peu abondante, homogène.
 - Texture salbeuse faiblement ~~argileuse~~ (S. Grossier).
 - Structure grumeleuse fine bien développée, cohésion très faible
 - Très meuble
 - Porosité alvéolaire moyenne.
 - Racines fines nombreuses, quelques racines de Palmier
 - Limite ondulée brève.
- 30 - 55 - Couleur brun foncé (10 YR 3/3) avec quelques taches claires (passage de termites)
- A13
- Matière organique moyennement abondante, bien mélangée à la matière minérale = base de l'horizon remanié lors de la déforestation.
 - Texture sabloargileuse
 - Débit polyédrique émoussé, fin, moyennement développé, cohésion faible.
 - Meuble, non plastique
 - Porosité fine et moyenne, importante
 - Nombreuses racines de palmier
 - Limite inférieure brève, régulière
- 55 - 90 - Couleur ocre à ocre brun, pénétration faible de la Matière Organique.
- Texture Sablo-argileuse
 - Débit polyédrique émoussé. moyen, moyennement développé, cohésion faible.
 - Meuble à friable non plastique, non collant
 - Porosité : fissures, importante ; tubulaire.
 - Nombreuses racines de palmier
 - Limite diffuse.

- 90 - 220 - Couleur ocre brun à ocre rouge avec quelques petites taches
B12 plus claires diffuses.
- Texture **Sablo argileuse**.
 - Structure polyédrique grossière, mal développée, cohésion moyenne.
 - Friable, peu plastique
 - Porosité vésiculaire importante, fine ; quelques revêtement argileux dans les cavités.
 - Quelques racines de palmier jusqu'à 110.
- 220 - 260 - Couleur ocre rouille.
- B2
- Texture Argilo sableuse.
 - Débit polyédrique grossier, cohésion moyenne à forte (humidité plus faible).
 - Ferme, peu plastique peu collant.
 - Porosité vésiculaire moyenne à revêtement argileux et fissures fines.
en particulier dans les fissures verticales.

On remarque :

- a) un horizon à teneur en matière organique moyenne sous un horizon où celle semble plus faible ; ceci peut être la conséquence du remaniement du sol lors de la déforestation et du travail du sol par les engins.

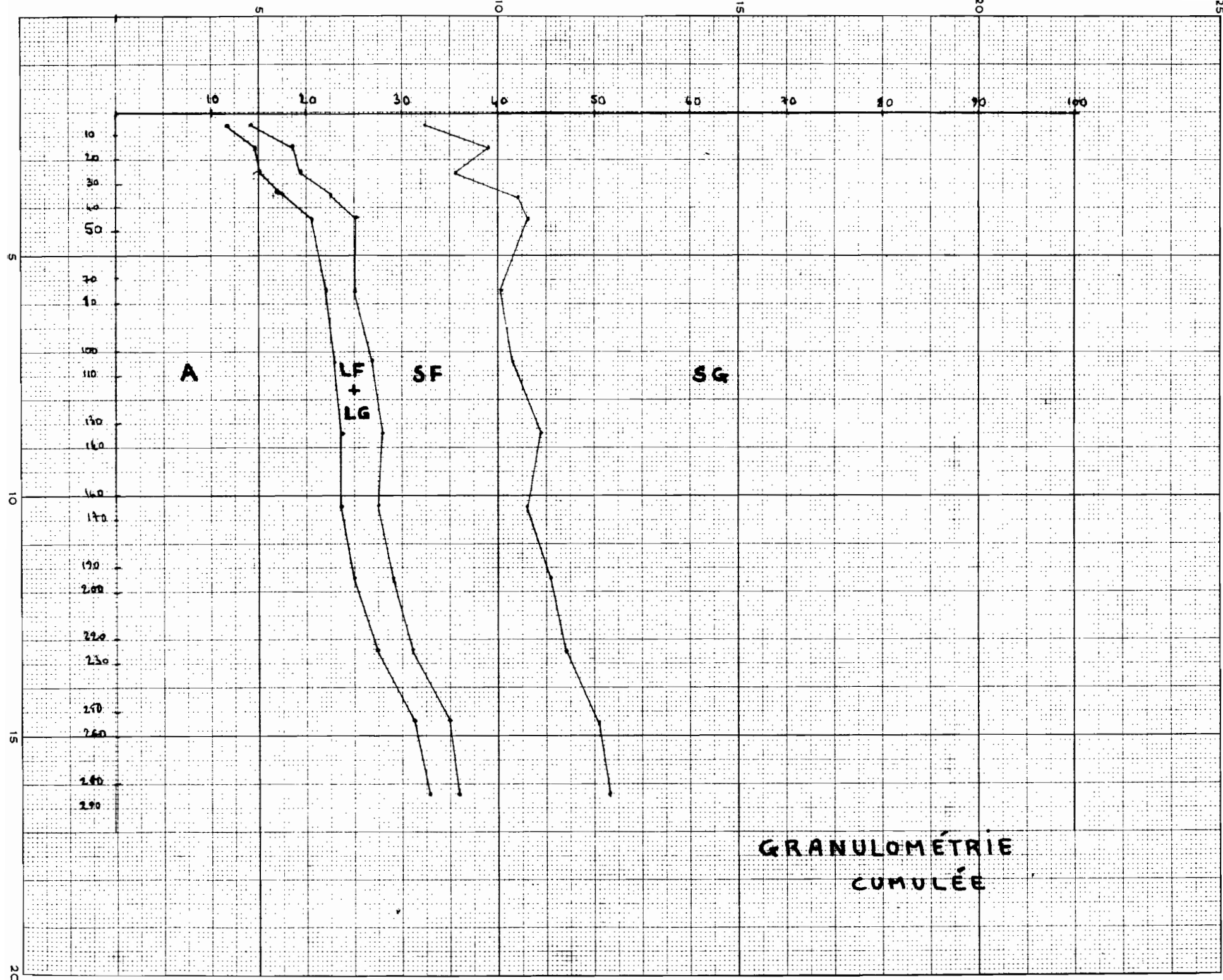
Mais le même type de profil se rencontre sous forêt ; il semble donc ~~qu'il s'agit~~ d'un caractère lié à la pédogénèse = très faible évolution de type podzolique, ou plus simplement ~~une~~ différence entre la nature des matières humiques, plus foncées dans l'horizon 30 - 55 (l'analyse de la teneur et de la nature de la Matière Organique est nécessaire).

- b) l'augmentation régulière de la teneur en argile, de la surface vers les horizons profonds.

Les échantillons des sondages effectués ne présentent aucune différence sensible sur tous les blocs de l'essai.

2.2 - Caractéristiques granulométriques (cf : tableau et graphique II)

La très faible teneur en limon fin et limon grossier est caractéristique de tous les profils de sols ferrallitiques sur sables tertiaires.



GRANULOMÉTRIE
CUMULÉE

TABLEAU I - Analyse granulométrique - Constantes hydriques

Profondeur	A	LF	LG	SF	SG	PF	4,2	2,5	1,8	d _a
0 - 10	11,5	1,6	1,1	18,3	65,8	4,44	6,32	9,85	1,27	
10 - 20	14,3	3,0	1,3	19,4	61,1	4,34	6,90	10,41	1,30	
20 - 30	14,9	3,1	1,3	15,9	64,3	5,20	6,83	10,34	1,35	
30 - 40	17,4	3,4	1,8	19,5	57,6	5,52	7,94	10,01		
40 - 50	20,5	2,9	1,6	18,1	56,4	6,40	8,16	12,43	1,35	
70 - 80	22,0	2,0	1,3	14,8	59,8	6,32	8,22	14,59	1,47	
100 - 110	22,8	2,4	1,3	15,0	58,3	6,36	7,94	14,43	1,53	
130 - 140	23,7	2,5	1,7	16,7	55,9	6,63	8,16	15,99	1,65	
160 - 170	23,5	3,2	0,9	15,4	55,9	7,33	8,53	13,80	1,67	
190 - 200	24,9	2,6	1,5	16,7	53,3	7,23	10,34	15,81	1,70	
220 - 230	27,2	2,3	1,4	16,1	51,8	8,63	11,52	17,34	1,72	
250 - 260	31,3	2,3	1,6	15,6	48,8	9,39	12,12	18,68	1,78	
280 - 290	32,8	2,5	1,3	14,8	48,3	8,86	11,08	20,60	1,79	

- La fraction sableuse (sable fin + sable grossier) diminue régulièrement en profondeur (84,1 en surface à 63,1 % à 280 cm) au profit de l'augmentation de la fraction argileuse (11,5 à 32,8). Le rapport SG/SF est compris entre 3,3 et 3,8 il est pratiquement constant sur tout le profil. L'appauvrissement des horizons supérieurs est net; il est de 1/1,9 entre l'horizon (30 - 55) et l'horizon le plus profond analysé (280 - 290). Il est régulier et sans horizon d'accumulation. La teneur du matériau origine est variable ^{de} 30 % et jusqu'à 45 % dans les lentilles argileuses.

2.3 - Caractéristiques hydriques (cf : tableau et graphique III)

Deux humidités caractéristiques sont déterminées pour qualifier le sol vis-à-vis des plantes qu'il alimente en eau.

- a) l'humidité au point de flétrissement permanent des plantes, qui correspond à l'humidité telle que le log de la tension capillaire soit égal à 4,2 (on dit pF 4,2).
- b) l'humidité à la capacité au champ; c'est à dire l'humidité du sol après un apport d'eau suffisant pour arriver à saturation, et drainage de l'eau de gravité pendant 48 h.

En fait, cette capacité au champ est une valeur par excès de la capacité de rétention réelle, car souvent, plus de 48 h sont nécessaires pour que la totalité de l'eau de gravité à écoulement lent ait drainé.

La détermination au laboratoire de l'humidité au point de flétrissement a été réalisée à la presse à membrane avec une pression de 16 atmosphère. ~~Les résultats sont~~ portés dans le tableau ci-dessus. Nous analyserons plus loin les relations entre les caractéristiques hydriques et la granulométrie. Le graphique I montre les relations entre l'humidité et les pF pour différents horizons.

2.4 - Capacité au champ

2.4.1 - La capacité au champ a été définie ci-dessus.

Pour le pF correspondant à la capacité au champ, plusieurs valeurs ont été adoptées. Autrefois on la considérait à pF 3; actuellement on détermine cette capacité au champ à pF 2,5.

Les résultats obtenus au laboratoire à p^F 2,5 sont portés dans le tableau.

2.4.2 - Discussion des valeurs

Il est apparu lors des mesures d'humidité du sol que :

- aux profils les plus secs obtenus pendant la grande saison sèche (après une période de 30 j. pratiquement sans pluie) correspondaient des valeurs de l'humidité supérieures à celles de la " capacité au champ " déterminées à p^F 2,5; or le drainage lent était total sur tout le profil, et d'autre part, la phase de désèchement dans les horizons supérieurs, au moins, était déjà commencée. Donc la capacité au champ ainsi déterminée est sans doute inexacte et les valeurs de l'humidité bien trop faibles. Nous avons donc été conduits à rechercher une valeur du p^F mieux choisie pour déterminer cette humidité à la capacité au champ : p^F 1,8 (ces valeurs sont portées dans le tableau).

La détermination sur le terrain de la capacité de rétention n'a pu être faite pour des raisons matérielles et climatiques (pluies précoces abondantes). Cependant, nous décrirons ici la méthode qui sera utilisée lors de la prochaine saison sèche afin de mieux connaître cette valeur.

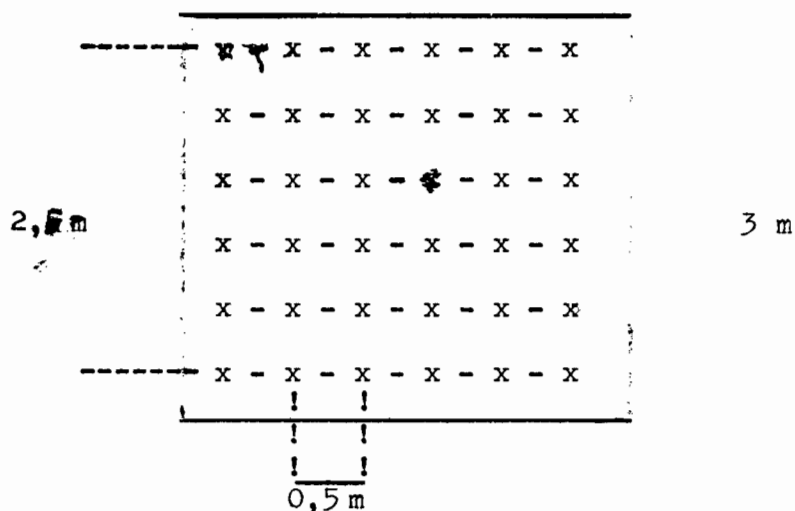
Sur une surface de 3 m au carré, limitée par un cadre métallique enfoncé d'une dizaine de centimètres dans le sol, nous apportons une quantité d'eau suffisante pour saturer le sol sur une profondeur de 3 m. (Les calculs montrent que ^{/largement} 300 l/m² sont/suffisants : la perméabilité du sol en surface est importante; la détermination a été faite par la méthode de Muntz (en régime permanent : 350 mm/h).

Le cadre métallique est ensuite couvert par des tôles, et protégé par un paillage, afin de limiter au maximum l'évaporation à la surface du sol. Dans le cas présent, on aura eu soin de choisir un emplacement où l'influence de l'absorption par les racines des plantes voisines (Palmiers) est négligeable (une distance de 7 m de l'arbre le plus proche est nécessaire).

Des sondages sont faits chaque jour qui suit l'arrosage afin de " voir " le drainage. Quand l'humidité d'un certain horizon atteint un palier, c'est que le drainage est terminé; on obtient ainsi la capacité de rétention. On relève d'ailleurs, 48 h. après l'arrosage, la capacité au champ théorique.

Expérimentalement, il faut prendre soin d'effectuer un nombre de sondages suffisant, pour avoir une moyenne avec un intervalle de confiance assez petit, (6 sondages peuvent suffire) et d'autre part, reboucher les trous au fur et à mesure avec les horizons dans l'ordre, afin de perturber le milieu le moins possible.

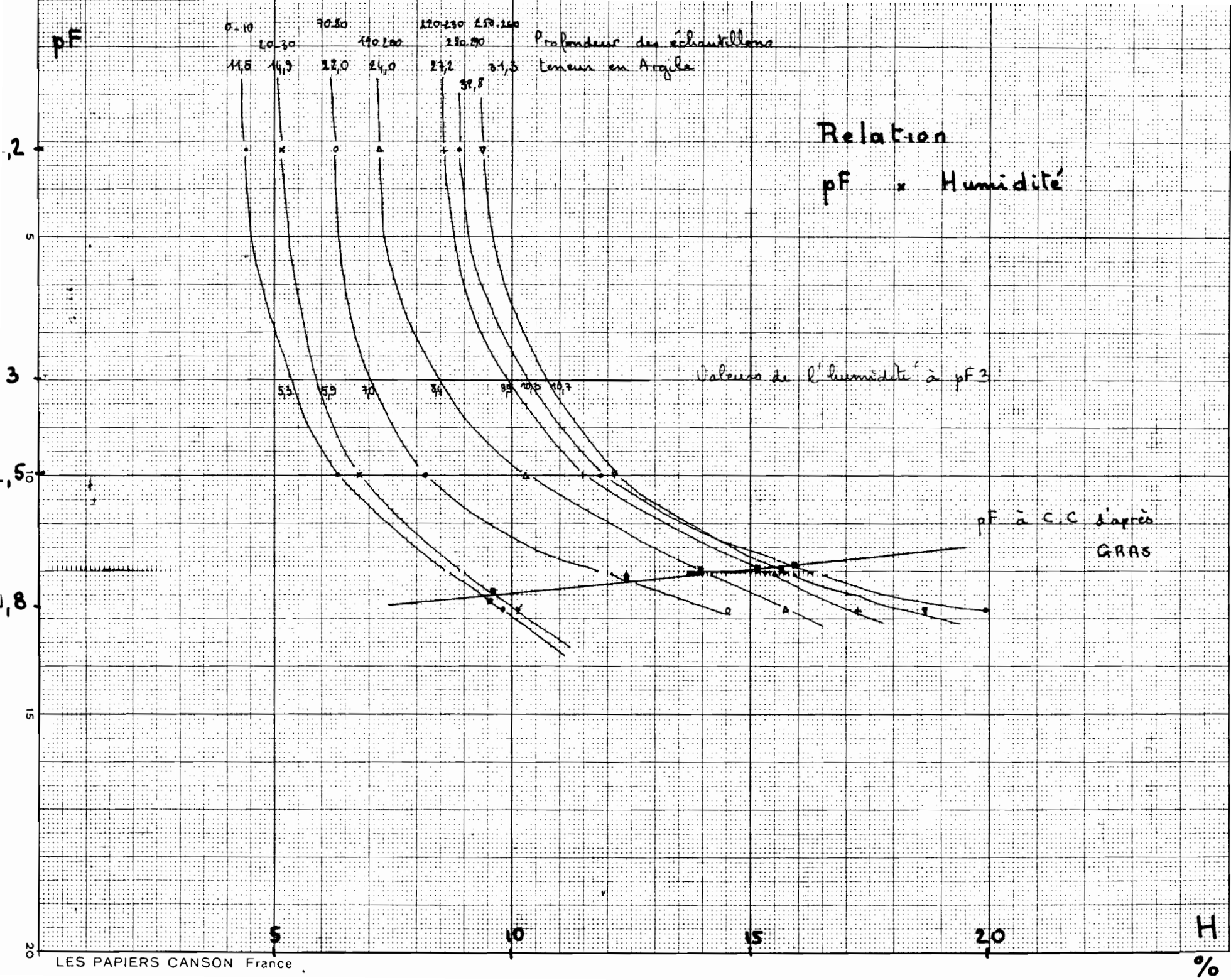
L'emplacement des sondages sera tiré au sort chaque jour. Si l'on admet que les sondages seront faits jusqu'au 7ème jour après l'arrosage, il faut envisager $6 \times 6 = 36$ emplacements. Le schéma suivant donne une idée de la disposition possible.



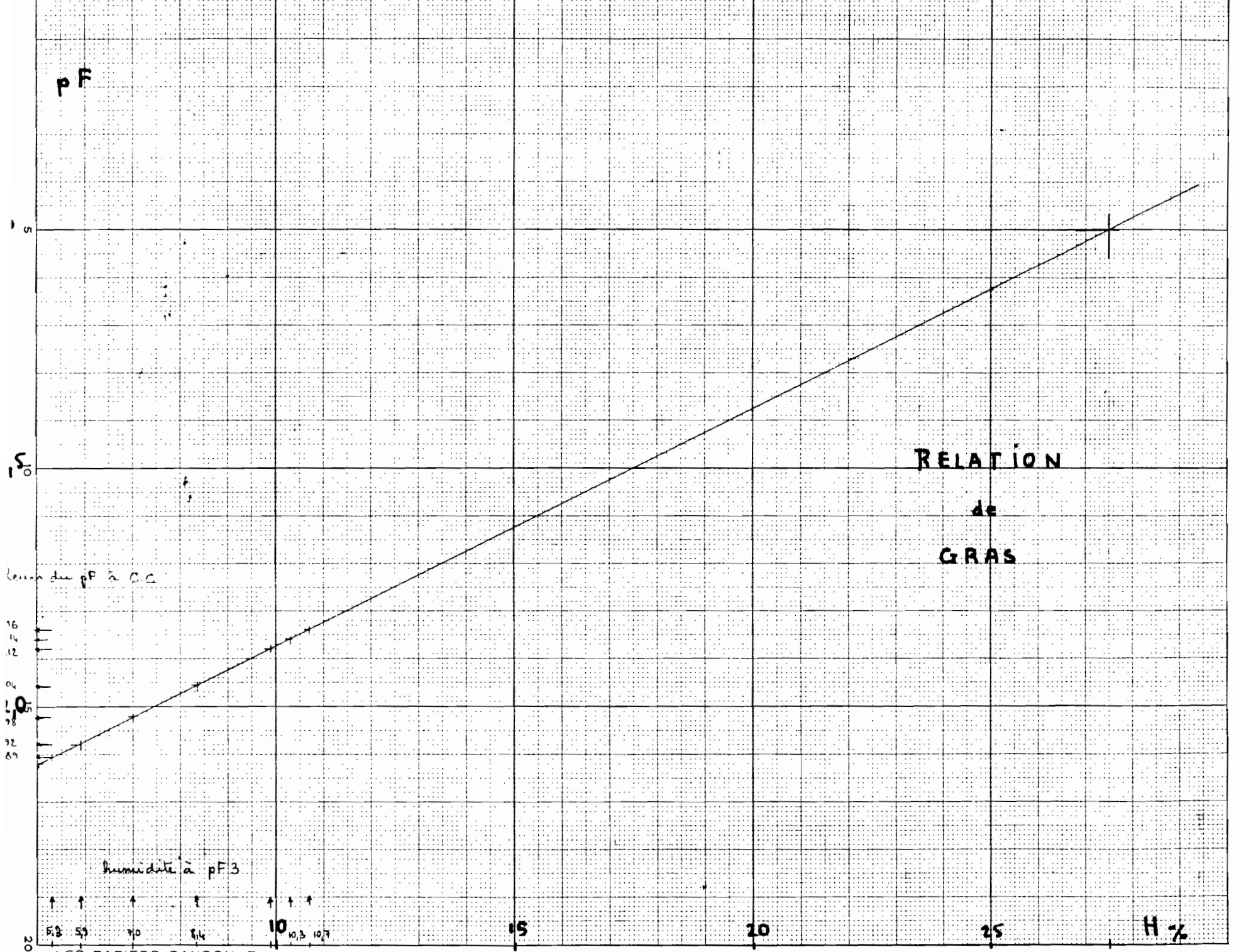
Un détermination au laboratoire de la capacité de rétention, par la méthode de Bouyoucos, a donné des résultats beaucoup trop dispersés pour pouvoir en retenir les valeurs.

Nous sommes donc devant le fait suivant pour la détermination de l'humidité à la capacité au champ.

- les valeurs à $p^F 2,5$ ne sont pas satisfaisantes.



PF



- les valeurs à p^F 1,8 semblent s'approcher des valeurs observées dans les horizons superficiels, 2 ou 3 jours après une pluie.

Il paraît donc intéressant de chercher à s'approcher le plus possible des valeurs exactes.

GRAS, dans une étude (1962) sur les relations entre le p^F de la capacité au champ et l'humidité à p^F 3, a obtenu les résultats portés sur le graphique IV (il existe une corrélation hautement significative entre le p^F de la capacité au champ et l'humidité à p^F 3, d'où la droite moyenne de régression du graphique IV). Reportons nous au graphique I pour déterminer les humidités à p^F 3 pour différents horizons; on obtient :

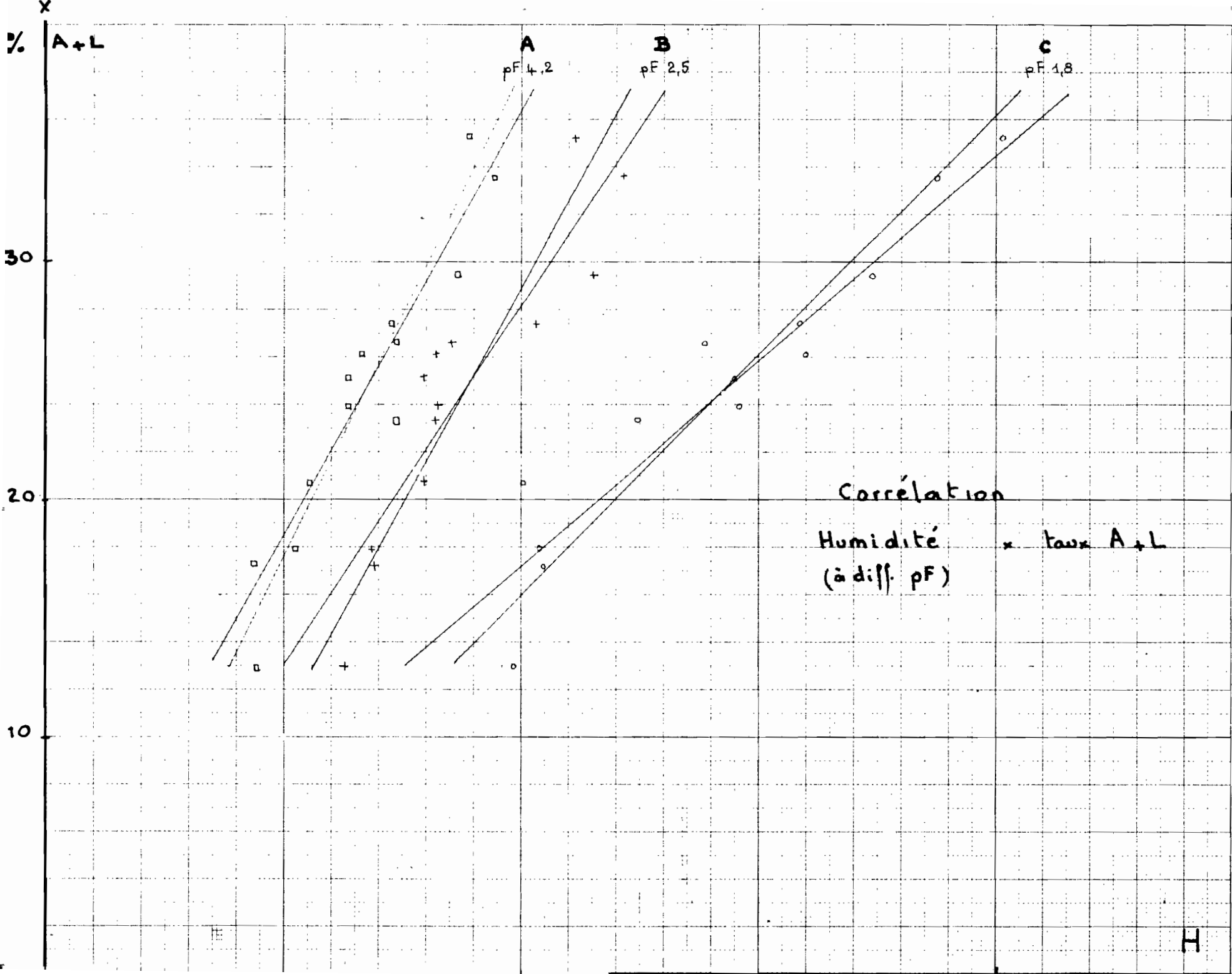
Profondeur	0 - 10	20 - 30	70 - 80	190 - 200	220 - 230	250 - 260	280 - 290
Humidité à p^F 3	5,3	5,9	7,0	8,3	9,9	10,3	10,7

Sur le graphique de Gras, on détermine les valeurs des p^F à la capacité au champ, correspondant aux humidités à p^F 3, d'où

Profondeur	0 - 10	20 - 30	70 - 80	190 - 200	220 - 230	250 - 260	280 - 290
p^F à capacité au champ	1,89	1,98	1,97	2,04	2,11	2,14	2,16

Finalement, on obtient, sur le graphique I, les humidités correspondant aux valeurs de p^F à capacité au champ ainsi déterminées, soit :

Profondeur	0 - 10	20 - 30	70 - 80	190 - 200	220 - 230	250 - 260	280 - 290
Humidité à capacité au champ	9,6	9,7	12,4	14,0	15,2	15,7	16,0



Il manque une précision dans l'étude de Gras cité par Duchauffour (Précis de Pédologie) : la nature du sol sur lequel ont été faites ces mesures (en particulier les caractéristiques granulométriques). Mais si l'on compare ces valeurs calculées, issues d'expériences, aux valeurs mesurées dans les conditions citées ci-dessus (3 jours de ressuyage après une pluie), il apparaît que ces résultats sont cohérents et voisins, donc que des valeurs moyennes peuvent être retenues en traçant la droite moyenne des points définis par les 2 résultats précédents. :

Profondeur	0 - 10	20 - 30	40 - 50	70 - 80	190 - 200	280 - 290
d'après GRAS	9,6	9,7		12,4	14,0	16,0
au champ	8,9	10,2	10,2	11,0	-	-
Valeurs retenues	9,5	9,8	10,2	11,2	14,0	16,0

Il s'agit là d'une approche toute théorique mais il semble que ces valeurs soient certainement plus proches des valeurs réelles que celles que l'on a obtenues par mesure de l'humidité aux pF 2,5 et 1,8.

Rappelons que des mesures expérimentales seront faites dès que possible suivant la méthode citée ci-dessus

2.5 - Relation entre la granulométrie et les constantes hydriques. (cf : tableau et graphique V) -

De nombreux auteurs ont examiné les relations qui existaient entre la granulométrie et les constantes hydriques. Dans le cas présent les calculs statistiques donnent les résultats suivants :

a) Corrélation : humidité à p^F 4,2
teneur en (argile + limon)

- coefficient de corrélation $r = 0,96$
- droites régression $Y = 0,245 X + 0,62$
 $X = 3,61 Y + 0,60$

b) Corrélation : humidité à p^F 2,5
teneur en Argile + Limon

- coefficient $r = 0,909$
- Droites régression $Y = 0,27 X + 2,11$
 $X = 3,06 Y - 2,18$

c) Corrélation : humidité à p^F 1,8
teneur en Argile + Limon

- coefficient $r = 0,952$
- Droites régression $Y = 0,52 X + 1,25$
 $X = 1,72 Y + 0,28$

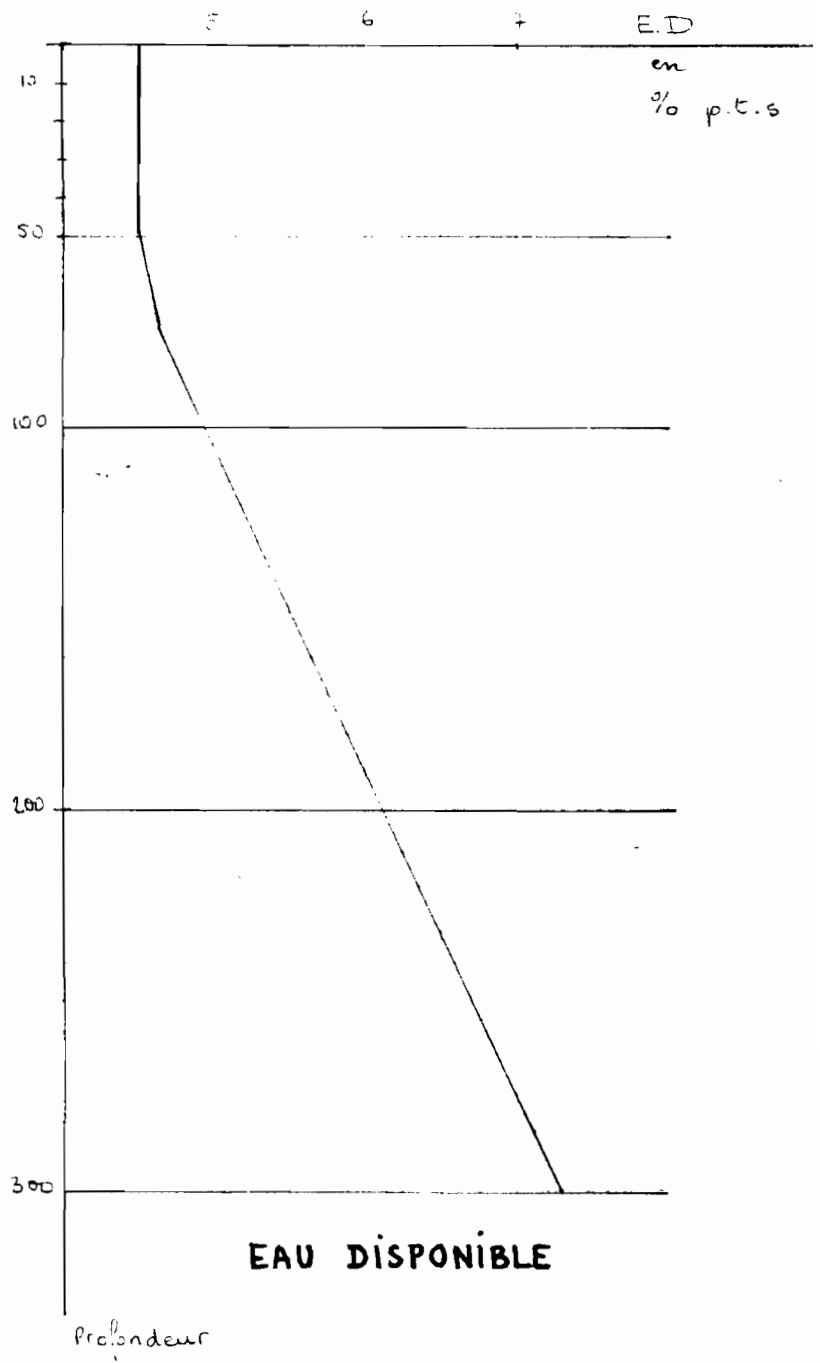
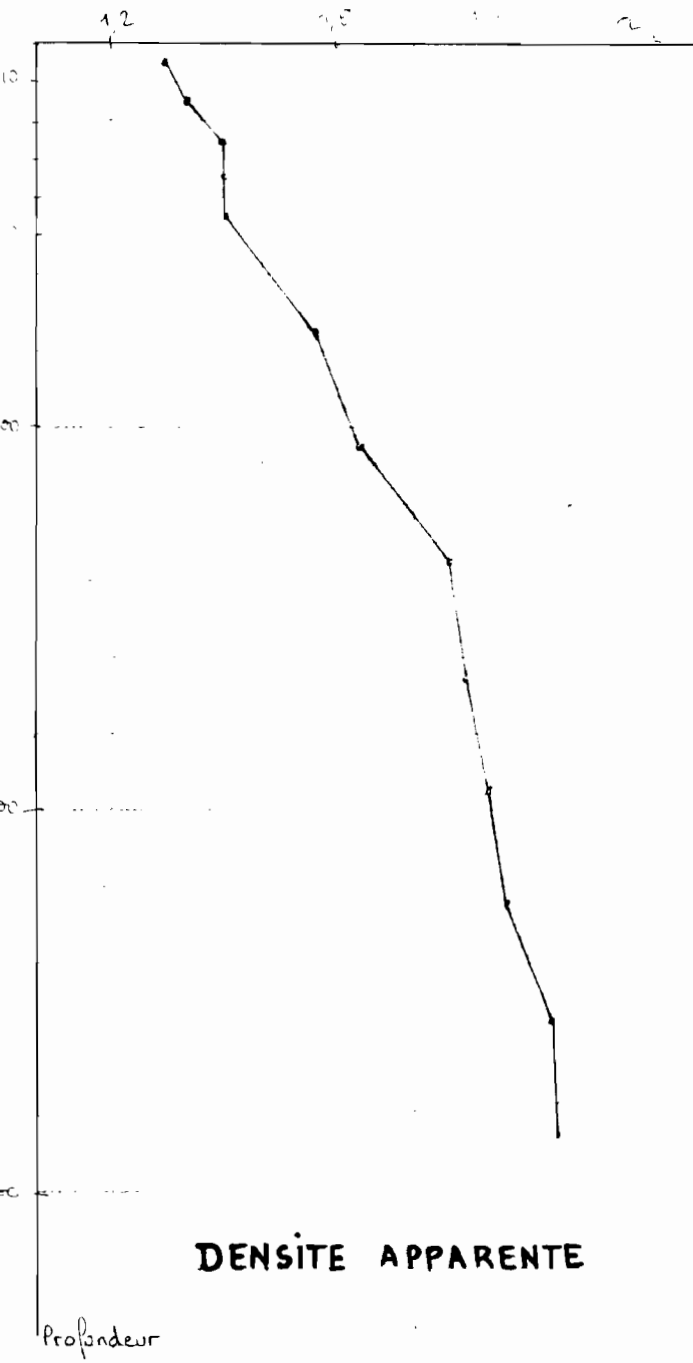
Il existe dans les trois cas une corrélation très hautement significative entre la teneur en éléments fins comprise entre 12 et 35 % (Argile + Limon F) et les humidités caractéristiques. Nous avons noté par ailleurs que la teneur en argile (et argile + limon puisque limon est constant) augmente régulièrement avec la profondeur (jusqu'à 290 cm). Donc, nous pouvons considérer que l'approximation faite pour les valeurs de la capacité au champ (croissant linéairement avec la profondeur) est acceptable.

De même, nous pouvons admettre que l'humidité, au point de flétrissement, croit linéairement avec la profondeur :

entre 0 et 50 cm
entre 50 et 290 cm

ces 2 segments correspondent à deux tranches de sol où le gradient du taux d'argile est différent.

L'intégration des humidités entre 0 et 290 cm donne respectivement des résultats très voisins pour les valeurs expérimentales et pour les valeurs de la courbe simplifiée. Donc cette simplification (par nivellement des variations) n'entraîne aucune erreur dans les calculs concernant l'eau du sol.



2.6 - Domaine d'eau disponible - Réserves

2.6.1 - Définition

La quantité d'eau correspondant à la différence entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement est la quantité d'eau que les plantes peuvent prélever dans le sol.

On exprime en % du poids de terre sèche, l'eau disponible à chaque niveau du profil, la quantité d'eau disponible dans le sol est la somme des quantités d'eau disponible dans chaque horizon. La quantité d'eau disponible dans chaque horizon ou réserve est égale au produit de l'humidité, en % du volume, par le volume de terre. :

R réserve

soit H l'humidité en % poids de terre sèche

d_a la densité apparente de la terre (Tableau I et graphique)

Z la profondeur de l'horizon (mm)

on exprime cette réserve en mm d'eau (le volume d'eau présent dans un volume unité de terre est ramené à une hauteur d'eau sur la surface unité).

$$R = \frac{H \times Z \times d_a}{100}$$

mm

2.6.2 - Domaine d'eau disponible

Nous déterminerons l'eau disponible pour chaque horizon par la différence entre les valeurs des humidités correspondant à la courbe simplifiée du point de flétrissement et celles correspondant à la capacité au champ calculée.

	0	70	100	130	160	190	200	250	280
Prof.	50	80	110	140	170	200	230	260	290
E.D.	4,5	4,65	5,00	5,35	5,70	6,05	6,40	6,75	7,10

2.6.3 - Références

Si nous consultons les résultats obtenus par différents auteurs, nous constatons que ceux-ci ne sont pas tous en accord.

La quantité d'eau utile varie en fonction de la texture.

- D'après Hallaire (cité dans Duchauffour " Précis de Pédologie " P 66) l'eau utile augmente quand la texture devient plus fine, jusqu'à un certain seuil (sols très argileux) où elle tend à diminuer. Il cite les valeurs suivantes :

- 5 % pour un sol léger sableux
- 10 % pour un sol limoneux
- 20 % pour un sol argilo limoneux.

Il n'y a pas ici de valeurs très exactes concernant la texture (teneur totale en argile + limon par exemple)

- Combeau a montré que l'eau disponible restait pratiquement constante entre des teneurs de 25 à 45 % d'éléments fins (A + L) ("Fertilité" Juillet - Août 1961).

- Les travaux de OCHS et OLIVIN au Dahomey à Pobé ont conduit aux remarques suivantes : l'eau disponible tend à diminuer quand la teneur en éléments fins augmente. La relation est meilleure lorsque l'on considère les éléments fins constitués par Argile + Limon fin + limon grossier (0 à 50,4 %).

- Dans le cas présent, nous avons montré qu'il existait une corrélation hautement significative entre l'humidité aux différentes valeurs du pF et la teneur en éléments fins (Argile + Limon), et que l'eau disponible augmentait linéairement avec la teneur en éléments fins (0 - 20,4 %) (comprise entre 12 et 35 %). La teneur en limon grossier et en limon fin peut être éliminée de la relation puisqu'elle est pratiquement constante sur tout le profil.

Ces résultats sont en accord avec les conclusions de Hallaire, mais opposés à ceux obtenus par OCHS et OLIVIN, à Pobé.

La nature de l'argile et des colloïdes minéraux pourrait être ~~une~~ facteur de différenciation; mais il semble que les sols de Pobé (Ferrallitiques sur terre de barre et Ferrallitiques sur sédiments sableux) ne soient pas très différents des sols de La Mé (Ferrallitiques sur sables tertiaires) du point de vue minéralogique, l'argile étant kaolinitique en majorité dans les deux cas. C'est un ^{théorique} problème/intéressant à étudier.

2.6.4 - Réserves en eau

Les réserves en eau calculées (d'après la formule donnée en 2.6.1) pour les différentes tranches du profil sont les suivantes.

Réserve de - à -	en mm	Réserves cumulées.
R 0 - 50	29,8	29,8
R 50 - 90	27,3	57,1
R 90 - 120	22,9	80,0
R 120 - 150	24,6	104,6
R 150 - 180	28,6	133,2
R 180 - 210	30,9	164,1
R 210 - 240	33,0	197,1
R 240 - 270	36,0	233,1
R 270 - 300	38,1	271,2

Le palmier dispose des réserves maximales données ci-dessus. L'étude de l'évolution des profils hydriques peut nous permettre d'approcher la nature et l'importance de l'utilisation de ces réserves par le système racinaire du Palmier.

3. ETUDE DES PROFILS HYDRIQUES -

3.1. - Résultats

3.1.1 - Présentation

Le tableau II donne les humidités en % de terre sèche, relevées aux différentes profondeurs lors des prélèvements successifs. Un graphique

Tableau II - Profils hydriques

- Humidités des horizons
des sondages successifs

- Intervalles de confiance

Dates	15/12	22/12	4/1	11/1	17/1	25/1	1/2	7/2
n°	0	1	2	3	4	5	6	7
0	8,7	11,0	8,7	7,2	5,5	7,3	6,0	8,8
10	9,9 ± 0,9	± 5,7	± 1,4	± 3,5	1,9	2,7	2,3	4,6
10	10,5	11,7	9,7	7,8	7,0	8,6	7,5	9,1
20	± 0,9	± 5,2	± 2,0	± 2,2	1,6	2,1	2,0	3,1
20	11,4	11,9	9,6	8,6	7,7	9,2	7,9	10,2
30	± 0,9	± 4,5	± 0,8	± 2,6	1,5	2,6	2,0	4,5
30	12,2	12,5	10,6	9,5	8,3	9,2	8,7	10,5
40	± 0,7	± 2,2	± 1,4	± 1,9	1,6	1,0	1,7	4,1
40	12,2	11,4	10,8	9,4	9,6	8,7	9,2	10,2
50	± 0,9	± 2,4	± 1,2	± 1,9	1,5	1,9	2,4	3,1
70	11,0	10,9	11,2	9,9	9,8	9,7	9,9	10,0
80	± 1,1	± 2,9	± 0,6	± 1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
100	10,8	10,4	10,9	10,2	9,7	10,0	10,1	9,6
110	± 1,3	± 2,2	± 0,3	± 1,3	1,4	1,4	1,4	2,0
130	10,8	10,3	10,8	10,7	9,9	10,0	10,3	9,8
140	± 0,7	± 1,1	± 0,4	± 1,7	1,1	0,6	1,5	1,0
150	10,5	10,6	11,1	10,7	10,2	10,1	10,5	10,2
170	± 0,7	± 1,1	± 0,8	± 2,0	1,2	0,8	2,4	1,3
190	11,9	11,2	11,6	11,7	11,1	11,3	11,4	11,4
200	± 0,7	± 1,3	± 1,1	± 2,4	2,1	1,0	2,2	1,2
220	14,2	13,4	13,8	13,3	13,2	13,2	12,6	12,6
230	± 0,8	± 1,5	± 0,4	± 2,3	1,9	2,3	1,2	1,9
250	15,0	14,7	14,8	14,1	14,7	14,2	13,9	14,1
260	± 0,4	± 1,8	± 0,3	± 2,4	1,2	1,7	1,4	1,4
280	14,4	14,9	14,9	14,6	14,9	14,4	14,6	14,8
290	± 1,0	± 1,2	± 0,6	± 1,5	0,9	0,8	1,0	0,9

Profils hydriques
(suite)

- Humidités des horizons des sondages successifs
- Intervalles de confiance

Dates	14/2	20/2	6/3	12/3	20/5	12/6	28/6	26/7
n°	8	9	10	11	12	13	14	15
0	7,7	10,5	9,1	6,7	11,3	13,7	16,5	17,1
10	$\pm 2,5$	2,5	2,2	2,6	1,1	4,2	2,6	7,5
20	$\pm 3,1$	4,6	3,9	2,8	3,2	2,2	6,2	3,6
30	10,7	12,1	10,0	10,6	14,2	15,6	14,7	14,3
40	2,2	4,2	3,7	2,1	3,2	1,9	3,2	2,9
50	11,2	12,7	11,0	10,7	14,3	14,9	14,5	14,9
60	2,1	5,0	1,8	1,7	2,1	2,1	3,0	2,5
70	11,5	11,4	11,1	10,7	13,9	14,6	14,4	14,4
80	2,5	4,6	2,8	1,8	2,5	1,5	1,3	2,3
90	10,6	11,1	10,7	11,0	13,7	14,9	14,4	14,3
100	3,1	4,0	2,9	2,5	2,1	1,4	1,5	2,1
110	10,2	10,7	10,4	10,9	13,8	15,0	14,1	14,7
120	2,4	3,5	2,1	2,1	2,0	1,7	1,6	2,9
130	10,0	10,5	10,4	10,5	13,3	14,9	14,1	13,9
140	2,8	1,6	1,3	1,3	1,6	2,3	0,8	1,5
150	10,2	10,4	10,7	10,3	12,7	14,6	14,1	14,2
160	2,4	1,6	1,4	1,0	1,7	1,9	1,3	1,5
170	11,0	11,3	11,3	11,3	13,2	15,4	15,0	15,0
180	2,4	1,9	1,4	2,1	1,5	2,1	2,6	2,3
190	12,2	12,9	12,3	11,9	13,9	16,3	15,5	15,9
200	2,6	2,0	1,6	2,3	2,4	1,9	3,3	3,8
210	13,6	14,1	13,6	13,8	15,2	17,8	16,5	17,2
220	2,8	1,3	0,5	0,6	0,9	1,2	4,6	2,0
230	14,2	14,8	14,6	14,9	15,3	18,1	17,3	18,1
240	3,2	0,3	0,3	0,5	0,9	2,2	3,8	1,3

général indique les variations d'humidité de quelques horizons dans le temps, ainsi que les pluviométries et ouvertures stomatiques observées.

(cf ANNEXE)

3.1.2 - Valeurs des résultats.

a) Le protocole comporte l'application de deux traitements pour les sondages à 2 m du pied du stipe et à 4 m.

L'analyse des résultats selon la méthode du test de t donne les résultats portés dans le tableau III. Nous avons reproduit les résultats pour 4 dates d'observation uniquement.

La méthode de calcul est la suivante :

soient x_{i2} les humidités des échantillons à 2 mètres.

x_{j4} " " " à 4 mètres

n_2 et n_4 le nombre d'échantillons à 2 m et 4 m.

m_2 les moyennes des humidités à 2 mètres.

m_4 " " " à 4 mètres.

on calcule la somme des carrés des différences à la moyenne pour les 2 traitements $S x_2^2$ et $S x_4^2$

puis l'écart type de la différence S_{2-4} à partir de $S_{2-4}^2 =$

$$\left(S x_2^2 + S x_4^2 \right) \frac{n_2 + n_4}{n_2 n_4 (n_2 + n_4 - 2)}$$

puis l'on calcule t

$$t = \frac{m_2 - m_4}{S_{2-4}}$$

Etant donné le degré de liberté $n_2 + n_4 - 2$ dans chaque cas, on compare t calculé, aux valeurs de t des tables de Student - Fischer.

Exemple Profil du 15/12/67

$$\begin{aligned} m_2 &= 9,27 \\ m_4 &= 8,19 \\ S_{2-4} &= 0,749 \\ t &= 1,442 \\ n_2 + n_4 - 2 &= 8. \end{aligned}$$

Tableau III - Comparaison des profils à 2 m et à 4 m.

xx significatif à P = 0,05

x " " P = 0,1

Dates	15/12/ 67				"	11/ 1 / 68				"
Profond	2 m	4 m	t	d° liberté	"	2 m	4 m	t	d° liberté	"
0	9,27	8,19	1,442	8	-	7,02	7,36	0,322	10	-
10										
10	10,72	10,21	0,525	8	-	7,64	8,05	0,611	10	-
20										
20	12,01	10,87	1,430	8	-	8,49	8,68	0,239	10	-
30										
30	12,04	12,40	0,601	8	-	9,38	9,59	0,360	9	-
40										
40	11,91	12,17	0,561	8	-	9,56	9,33	0,401	10	-
50										
70	11,89	9,98	2,570	7	xx	10,19	9,61	1,368	10	-
80										
100	11,16	10,51	0,543	8	-	10,25	10,14	0,181	10	-
110										
130	10,75	10,19	0,616	8	-	10,53	10,86	0,673	10	-
140										
160	10,90	10,70	0,307	8	-	10,70	10,70	0,00	10	-
170										
190	12,51	11,67	0,784	8	-	11,46	11,86	0,560	10	-
200										
220	14,32	14,04	0,360	8	-	13,31	13,32	0,014	10	-
230										
250	14,18	14,80	0,782	7	-	14,29	13,83	0,632	10	-
260										
280	14,18	14,64	0,488	8	-	14,60	14,63	0,087	9	-
290										

t 0,05 = 2,306

d = 9 t 0,05 = 2,26

Tableau III bis - Comparaison des profils à 2 m et à 4 m.

Date	14 / 2 / 68				"	28 / 6 / 68				
Prof.	2 m	4 m	t	d° liberté	"	2 m	4 m	t	d° liberté	
0										
10	8,35	7,13	1,859	10	x	15,47	17,97	1,135	8	
10										
20	9,56	9,36	0,221	10	"	13,78	16,29	1,487	9	
20										
30	10,57	10,79	0,328	10	"	14,08	15,44	1,604	9	
30										
40	10,98	11,33	0,568	10	"	14,62	14,38	0,252	8	
40										
50	11,66	11,32	0,367	10	"	14,55	14,21	0,878	9	
70										
80	10,68	10,49	0,199	10	"	14,33	14,38	0,110	9	
100										
110	10,16	10,24	0,108	10	"	14,60	13,57	3,102	9	xx
130										
140	9,63	10,32	0,830	10	"	14,15	14,07	0,099	9	
160										
170	9,81	10,50	0,996	10	"	14,16	14,14	0,576	9	
190										
200	10,83	11,17	0,476	10	"	14,81	15,14	0,426	9	
220										
230	12,29	12,21	0,100	10	"	15,05	16,09	1,102	9	
250										
260	13,43	13,82	0,466	10	"	15,56	17,57	1,641	9	
280										
290	13,75	14,65	0,976	10	"	16,59	18,13	1,482	9	

Table de Student - Fischer (valeurs de t)

degrés liberté	P = 0,1	P = 0,05
8	1,860	2,31

la valeur de t calculée est inférieure à la valeur de t pour une probabilité de 5 % et 10 %, donc la différence des moyennes des humidités à 2 m et 4 m n'est pas significative au niveau de probabilité de 10 %, à fortiori au niveau de probabilité 5 %.

Les résultats des analyses statistiques des 4 profils considérés (15/267, 11/1/68, 14/2/68, 28/6/68) prouvent que dans les conditions d'expérimentation, il n'existe pas de différence significative au niveau de probabilité 5 % entre les profils à 2 m et à 4 m du pied du stipe, et ceci pour quelque horizon que l'on considère.

En conséquence, nous avons rassemblé pour chaque date d'observation, les résultats des humidités, mesurées à 2 m et à 4 m : nous disposons alors de 12 échantillons pour chaque profondeur (6 à 2 m + 6 à 4 m, sauf cas particulier où des échantillons ont été éliminés).

b) Nous avons calculé les intervalles de confiance des moyennes d'humidités pour chaque horizon, à chaque date de prélèvement. (Tableau II).

Il apparaît que cet intervalle de confiance varie :

1 - en fonction de la profondeur :

- l'hétérogénéité de l'humidité dans l'espace est nettement plus importante en surface que dans les horizons profonds.

2 - en fonction du sondage considéré (dans le temps)

- les sondages effectués après une pluie (2 ou 3 jours après) montrent une dispersion plus grande de l'humidité dans les horizons de surface.

Il existe d'autre part, des variations de l'intervalle de confiance de la moyenne entre les sondages aux différentes dates, et ceci ne

peut être expliqué que par des variations dans le soin apporté aux manipulations (prélèvements, séchage, pesées).

Il serait sans doute intéressant pour la précision des résultats de multiplier le nombre de sondages et s'apporter plus de soin ~~aux~~ manipulations. Mais le matériel nécessaire devient alors important et difficilement disponible.

3.2. - Etude des profils en phase de dessèchement (cf. Annexe)

La phase de dessèchement au début de la grande saison sèche a été brève.

La fin de la petite saison des pluies a été déficitaire :

- le profil 1 du 22/12 : les horizons superficiels sont saturés (pluie du 20/12); l'eau de drainage a atteint 70.80 mais les horizons plus profonds n'auront pas leurs réserves maximales reconstituées.

- la période du 20/12 au 24/1 est pratiquement sèche (une pluie le 2/1 = 4 mm) nous assistons alors au dessèchement des horizons superficiels et à la progression du front de dessèchement.

- le profil 4 du 17/1 est le plus sec; l'humidité de 0 à 100 cm a nettement diminué; à partir de 100 cm les variations sont faibles, et au delà de 200 cm l'humidité est restée égale.

- on peut noter sur le profil 2 du 4/1 la faible incidence de la pluie du 20/12.

3.3 - Phase de stabilisation - (cf. Annexe)

A partir du 25/1 quelques pluies réapparaissent.

Alternativement, les horizons supérieurs se mouillent et se dessèchent

- profil 5 du 25/1 : les horizons 0 - 40 seulement sont atteints par la pluie du 24.

- Profil 6 du 1/2 : une phase de dessèchement brève ramène le profil à l'état du 17/1 (n° 4)

- Profil 7. 8. 9.

le 7/2, 6 jours après une forte pluie (73 mm) et pour 114 mm au total, les horizons 0 à 50 sont pratiquement à la capacité au champ; l'eau de drainage atteint le niveau 70.80.

le 20/2, il est tombé encore 50 mm, les horizons 0 à 80 sont au delà de la capacité au champ et l'eau de drainage atteint le niveau 130.

Ensuite le drainage continue, et l'évapotranspiration équilibre l'eau des pluies. Les horizons supérieurs 0 - 20 sont cependant déficitaires.

Donc, pendant cette période, nous constatons une réhumidification du profil jusqu'à 130, tandis que le bilan pluie - évapotranspiration maintient les horizons de surface à proximité de la capacité au champ.

Hypothèse concernant les variations d'humidité des horizons profonds entre le 7/2 et le 20/2: le phénomène n'est pas très net, mais l'on peut cependant constater que dans l'horizon 280 - 290, en deça de la capacité au champ, l'humidité diminue de 1,7 %, tandis que les horizons de surface 0.80 sont rehumectés. Il semble donc que la phase de dessèchement ayant atteint le niveau 100 - 200 (très faiblement) tend à se prolonger plus longtemps. Il existerait une différence de potentiel capillaire négative entre le niveau 100 - 200 et le niveau 200 - 290, d'où une ascension capillaire faible.

Le système racinaire du palmier est superficiel, et pendant la phase de dessèchement (du 20/12 au 17/1), les horizons de surface seuls se dessèchent; donc il n'y a pas d'activité profonde (200 - 290). Lorsque les pluies reprennent, l'ouverture des stomates provoque une reprise de l'activité du système racinaire dans son ensemble : si il existe des racines absorbantes dans le niveau 100 - 200, le déficit s'y trouve accentué et l'ascension capillaire a lieu, car la réhumectation de la surface vers la profondeur atteint seulement le niveau 130.

A partir du 20/3 nous n'avons plus effectué les prélèvements à la fréquence prévue, car le cycle de dessèchement était terminé et les pluies devenaient fréquentes.

3.4 - Phase de réhumidification totale jusqu'à saturation (cf Annexe)

- Profil 12 du 20/5 : le régime des pluies précédant cette date, a permis aux horizons 0 à 150 d'atteindre et de dépasser la capacité au champ, tandis que les horizons de 150 à 290 sont encore en deça de leur capacité au champ. Le drainage s'effectue lentement car les excès compensent l'évapotranspiration.

- Entre le 20/5 et le 12/6, le régime des pluies est ~~précédente~~ vis à vis de l'évapotranspiration, tout le profil est au delà de la capacité au champ, le drainage est lent.

Les horizons profonds deviennent de plus en plus humides, le 12/6 l'humidité de l'horizon 280 - 290 atteint 18,1 %; il y a donc un déficit de drainage dû probablement à des horizons plus profonds, engorgés et où la perméabilité est faible.

Il existe un fait difficilement explicable, sinon par la brièveté du temps séparant la dernière pluie du prélèvement, l'horizon de surface 0 - 10, déjà saturé le 20/5 (15 %), passe progressivement à 19,2 % le 20/6, alors que les horizons inférieurs gardent une humidité pratiquement constante.

3.5 - Conclusion sur l'observation des profils

- Les remarques précédentes concernant l'évolution des profils pendant les différentes phases, ont une valeur par la comparaison des humidités des profils successifs, or nous avons vu que souvent, il n'y avait pas de différence significative entre les humidités d'un profil et du suivant, (voir Intervalles de confiance) mais si l'on observe la tendance des variations sur plusieurs sondages successifs, les conclusions restent valables.

Nous savons que le système racinaire du Palmier à Huile est superficiel, les racines sont rares en profondeur. Pendant la brève phase de dessèchement, nous constatons que seuls les horizons superficiels sont atteints. Les horizons profonds ne semblent jouer qu'un rôle de magasin. Pendant une saison sèche prolongée, les horizons profonds céderaient leur eau par ascension capillaire pour l'alimentation du Palmier. Les études de

Humidités moyennes des horizonsTableau IV

	15/12	22/12	4/1	11/1	17/1	25/1	1/2	7/2	14/2	20/2	6/3	12/3	20/5	12/6
0														
50	11,0	11,7	9,3	8,5	7,6	8,6	7,9	9,8	10,7	11,5	10,2	9,5	13,2	14,6
100	10,9	10,7	11,1	10,1	9,8	9,9	10,0	9,8	10,4	10,9	10,6	11,0	13,8	15,0
200	11,0	10,7	11,2	11,0	10,4	10,5	10,7	10,5	10,4	10,7	10,8	10,7	13,1	15,0
300	14,5	14,3	14,5	14,6	14,3	13,9	13,7	13,8	13,3	13,9	13,5	13,5	14,8	17,4

Quantités d'eau correspondantes - Réserves

0														
50	72,6	77,2	65,3	56,1	50,2	56,8	52,1	64,7	66,7	75,9	67,3	62,7	87,1	96,4
100	76,3	74,9	77,7	70,7	68,6	69,3	70,0	68,6	72,8	76,3	74,2	72,2	77,6	105,0
200	183,7	178,7	187,0	183,7	173,7	175,4	178,7	175,4	173,7	178,7	184,4	178,7	218,8	250,5
300	255,2	251,7	255,2	246,4	251,7	244,6	241,1	242,9	234,1	244,6	237,6	237,6	260,5	306,2
Total	587,8	582,5	585,2	556,9	544,2	546,1	541,9	554,3	543,3	575,5	563,5	556,0	663,0	758,1
Réserves totales	233,6	217,0	219,7	191,4	179,5	180,5	176,4	186,1	181,8	210,0	198,0	190,5	297,5	392,6

OCHS et OLIVIN ont montré que l'alimentation en eau du Palmier pouvait être satisfaite par l'ascension capillaire, depuis les horizons situés à 300 cm de profondeur.

3.6 - Réaction du Palmier - Ouvertures stomatiques - Evapotranspiration réelle.

A la fin de la phase de dessèchement, le palmier a réagi par une fermeture de ses stomates.

L'alimentation en eau devenait défectueuse; en effet il n'existe pas un seuil d'humidité pour lequel le palmier (comme toute autre plante) brusquement ferme ses stomates pour limiter sa transpiration, le phénomène est progressif.

Nous pouvons admettre que, lorsqu'on a obtenu le profil le plus sec (4 du 17/1), le palmier avait réagi au maximum (ouverture stomatique minimum) nous n'avons pu faire les mesures avant).

Il est intéressant de comparer le comportement du Palmier pendant les deux phases de dessèchement d'une part (du 15/12 au 17/1 de stabilisation d'autre part (du 1/2 au 12/3.

Pour ce faire, nous pouvons calculer le bilan de l'eau entre ces dates.

Le tableau IV figure les humidités moyennes des horizons
les quantités d'eau correspondantes (en mm)
les réserves totales (entre 0 et 300 cm).

Les réserves sont égales à la différence entre les quantités d'eau totale présentes dans le sol et les quantités d'eau présentes au point de flétrissement

soit 0 - 50	36,0 mm
50 - 100	44,1 mm
100 - 200	122,7 mm
200 - 300	162,7 mm

365,5 mm

a) Phase de dessèchement du 15/12 au 17/1

réserve le 15/12	233,6 mm
" 17/1	179,5 mm
pluies (total)	18,5 mm

Bilan = ETR = 72,4 mm en 33 jours.

on peut donc estimer l'évapotranspiration réelle à 2,2 mm/J.

b) Phase de stabilisation

réserve le 1/2	176,4 mm
réserve le 12/3	190,5 mm
pluies	192,1 mm

Bilan = 178,0 mm en 40 j.

soit 4,4 mm/j.

Il apparaît donc une différence très nette entre ces deux phases.

Notons que pendant la phase de stabilisation, les pluies sont relativement fréquentes et moyennement abondantes (11 j de pluie en 40 j et une pluie exceptionnelle de 73 mm) de sorte que le palmier réagit en ouvrant ses stomates bien que le sol n'ait pas retrouvé sa capacité au champ. Mais chaque pluie apporte aux horizons supérieurs (dans lesquels se trouvent les racines) une quantité suffisante d'eau pour que le palmier puisse y puiser l'eau nécessaire à sa transpiration moyenne. En effet les ouvertures stomatiques restent moyennes (entre 5 et 8 de la gamme 1 - 12).

Mais il est à noter (travaux de OCHS et WORMER sur palmier; travaux STOCKER sur Artemisia) que dans des conditions d'alimentation faiblement défavorables, le palmier a un rythme d'ouverture journalier à 2 maxima et une fermeture pendant les heures les plus sèches (11 h à 14 h.). Or les mesures d'ouvertures stomatiques étaient faites entre 10 et 11 heures. Donc on peut admettre qu'entre 8 h et 10 h. les stomates étaient plus ouverts, et peut être aussi en fin d'après midi. Donc, l'évapotranspiration réelle calculée, correspondrait cependant à une alimentation en eau faiblement déficitaire.

TABLEAU V - Ouvertures Stomatiques

Réserves 0 - 300 - Humidités 0 - 50

Date	O-S	IC - OS	Réserves	Humidité 0 - 50
19/1	2,7	1,1	179,5	7,6
20/1	4,1	1,2		
22/1	4,8	0,9		
25/1	6,0	1,8	180,5	8,6
1/2	4,2	1,1	176,4	7,9
7/2	5,8	1,6	186,1	9,8
14/2	5,5	1,1	181,8	10,1
20/2	7,9	0,9	210,0	11,5
6/3	7,5	1,0	198,0	10,2
12/3	4,5	1,0	190,5	9,5
20/3	6,0	0,7		

L'observation du graphique indiquant l'évolution des humidités pour différents horizons et l'évolution des ouvertures stomatiques, montre qu'il existe durant cette phase de stabilisation, une corrélation entre l'ouverture stomatique et l'humidité des horizons superficiels 0 - 40; ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle le système racinaire du palmier s'alimente directement dans ces horizons; tandis que les horizons profonds jouent le rôle de magasin uniquement (fermetures des stomates presque totale, quand les horizons de surface ont leur humidité voisine de l'humidité au point de flétrissement).

4) - Conclusions

Cet essai n'a pas apporté suffisamment de renseignements en ce qui concerne le comportement du Palmier vis à vis du déficit hydrique, pour la raison essentielle que la grande saison sèche a été très faiblement marquée en 1968.

Mais nous avons cependant pu confirmer les résultats obtenus dans des conditions écologiques différentes à Pobé (Dahomey) par OCHS et OLIVIN :

Le palmier, dont le système racinaire est presque exclusivement superficiel, s'alimente en eau directement dans les horizons 0 à 50 cm. Les racines profondes ne jouent qu'un rôle faible non décelable. L'alimentation aux dépens des réserves profondes, est due au phénomène de remontée capillaire.

Un déficit faible se traduit par une réduction de la transpiration grâce à la régulation stomatique; mais l'alimentation reste cependant bonne lorsque ce déficit est " tamponné " par des pluies faibles desquelles le Palmier profite immédiatement; ainsi, les ouvertures stomatiques montrent une corrélation nette avec l'humidité des horizons superficiels, pour des ouvertures comprises entre 5 et 8 (phase de stabilisation).

Il sera intéressant de poursuivre les mesures pendant la prochaine saison sèche. Nous étudierons parallèlement l'évapotranspiration potentielle, si l'installation des bacs a pu être faite à temps; ce qui permettra de comparer les mesures d'évapotranspiration réelle et les valeurs de l'ETP.

Outre la détermination plus précise de la capacité de rétention maximale par la méthode indiquée, nous essaierons de déterminer jusqu'à quelle profondeur le phénomène de remontée capillaire peut intervenir dans l'alimentation en eau du Palmier; ce qui peut être intéressant de savoir, dans le cas des cultures situées en zones écologiques limites et où il existe parfois une nappe à moyenne profondeur (200 ou 300 cm).

Pour des questions de facilité de méthodes de travail et de validité des résultats, il serait intéressant de pouvoir travailler sur un grand nombre de prélèvements, dans différentes situations pédologiques et écologiques; mais cela ne peut se faire que grâce à des méthodes fondamentalement différentes des prélèvements à la tarière, par exemple grâce à la sonde à neutrons.

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

- (1) AUBERT 1967 Cours de Pédologie ORSTOM - Paris.
- (2) BOUCHET 1963 Evapotranspiration réelle - Evapotranspiration potentielle et Production Agricole (Annales Agronomiques 14.)
- (3) COMBEAU 1961 Domaine d'eau disponible - (Fertilité n° 13)
- (4) DUCHAUFFOUR 1965 Précis de Pédologie.
- (5) FRANQUIN 1968 Rapport général de la mission de normalisation des observations météorologiques en Afrique Francophone.
- (6) GREBET 1967 Mesure de l'ETP (Bulletin INRA)
- (7) HALLAIRE 1956 - 1961 Cité par Duchauffour (Précis de Pédologie)
- (8) HALLAIRE - HENIN 1958 Dessèchement du sol et évolution des profils hydriques (C.R. Acad. Science 246).
- (9) HENIN 1967 Cours de Physique du sol - ORSTOM - Paris.
- (10) OCHS - OLIVIN 1963 Bilan d'eau en Palmeraie - IRHO - Pobé.
- (11) VESSEREAU Méthode Statistique en Biologie et Agronomie.

E T U D E d u B I L A N

de l' E A U

en P A L M E R A I E

A N N E X E

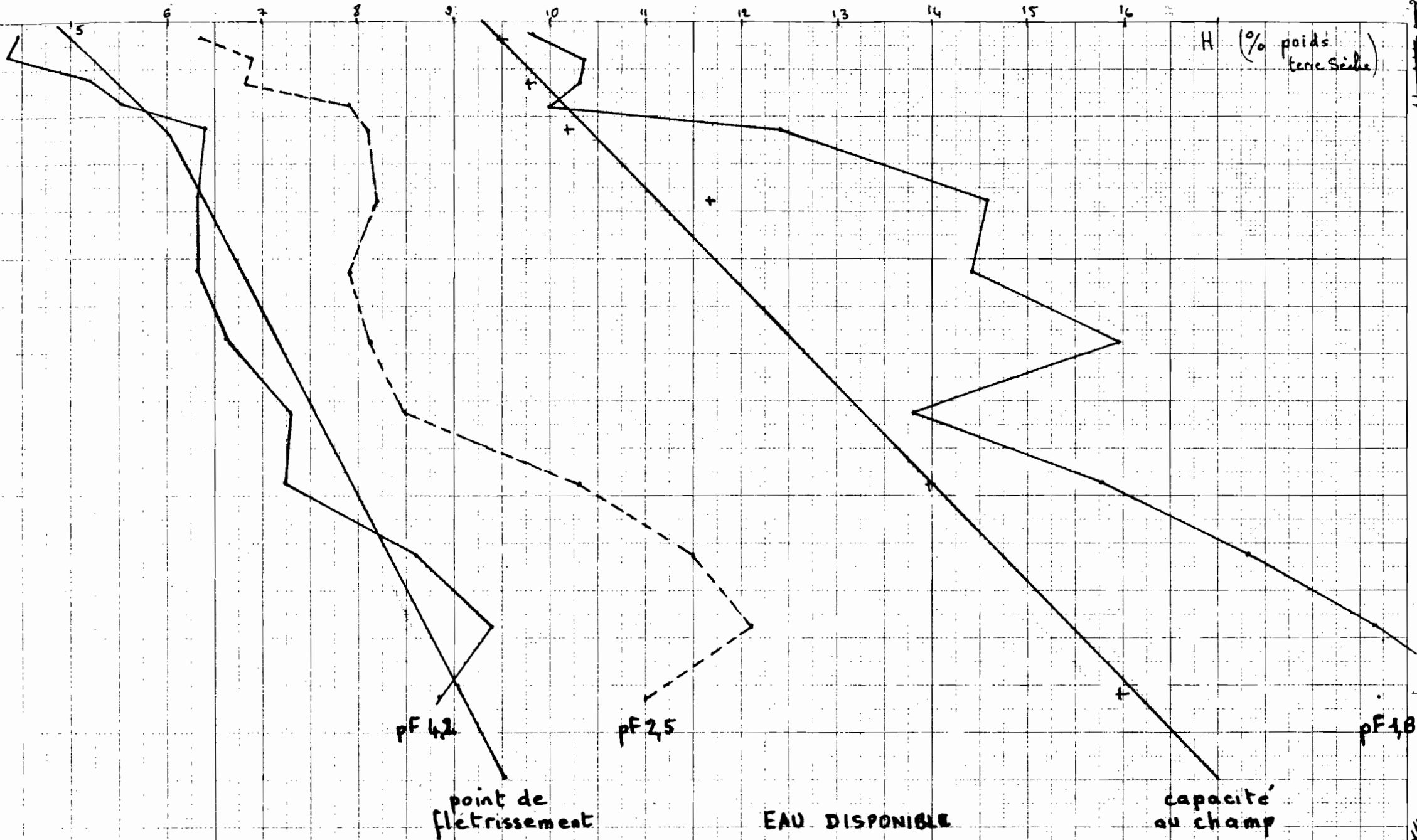
P. QUENCEZ - Elève de seconde année O R S T O M

Section Pédologie

Stagiaire I.R.H.O.

IRHO - LA ME NOVEMBRE 1968

H (% poids terre Seche)



PF 4,2

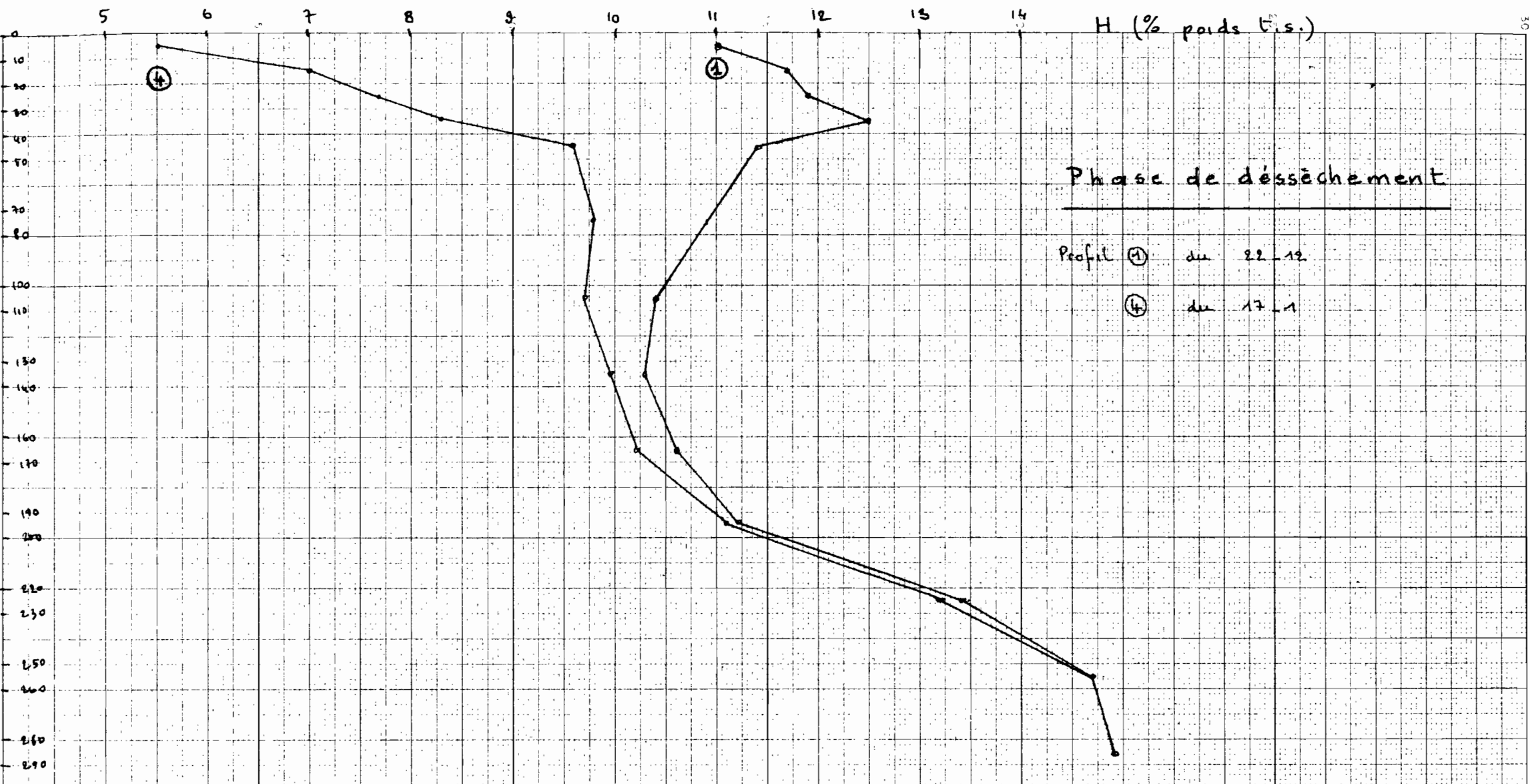
PF 2,5

PF 1,8

point de flétrissement

EAU DISPONIBLE

capacité au champ

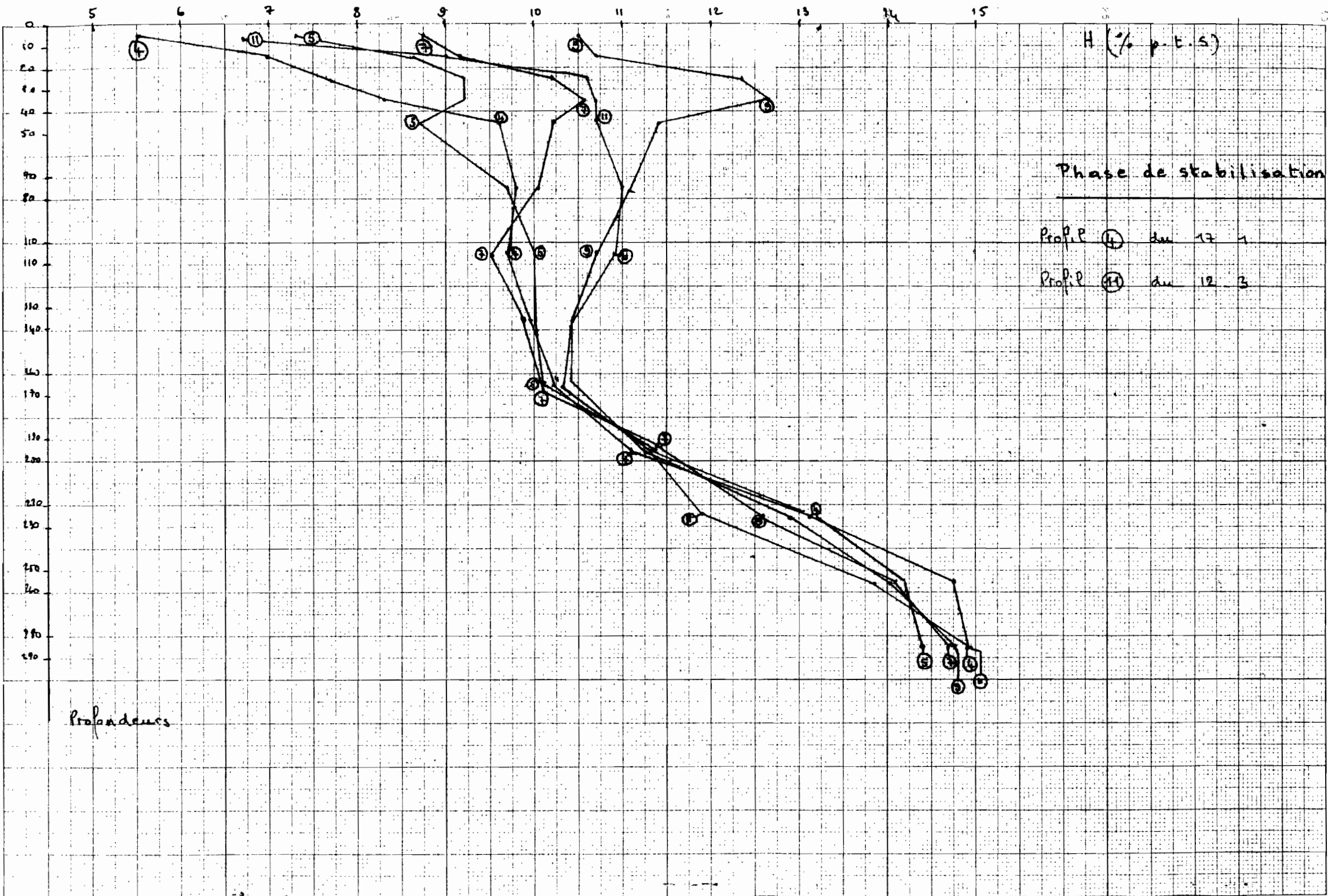


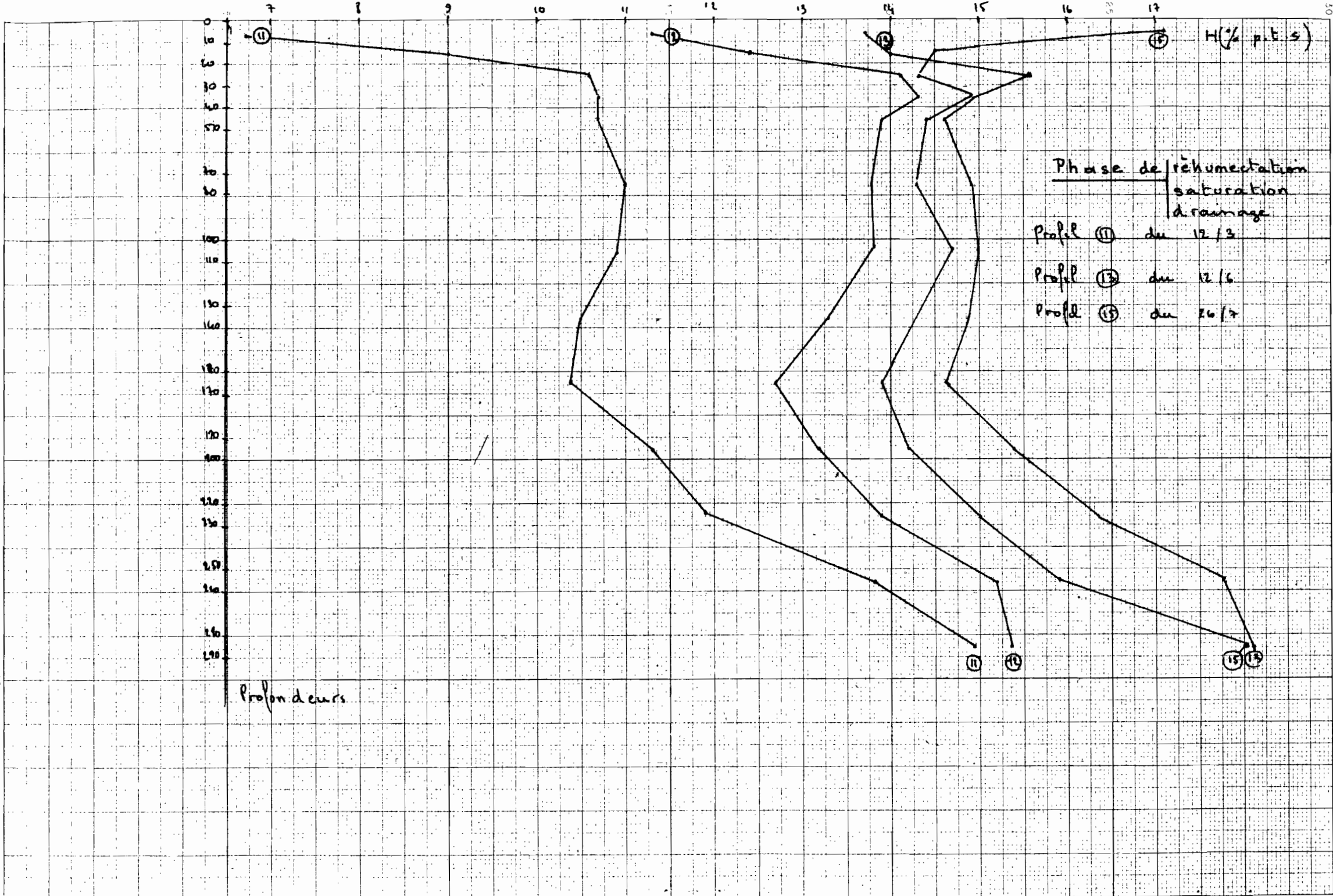
Phase de dessèchement

Profil ① du 22-12

④ du 17-1

Profondeurs

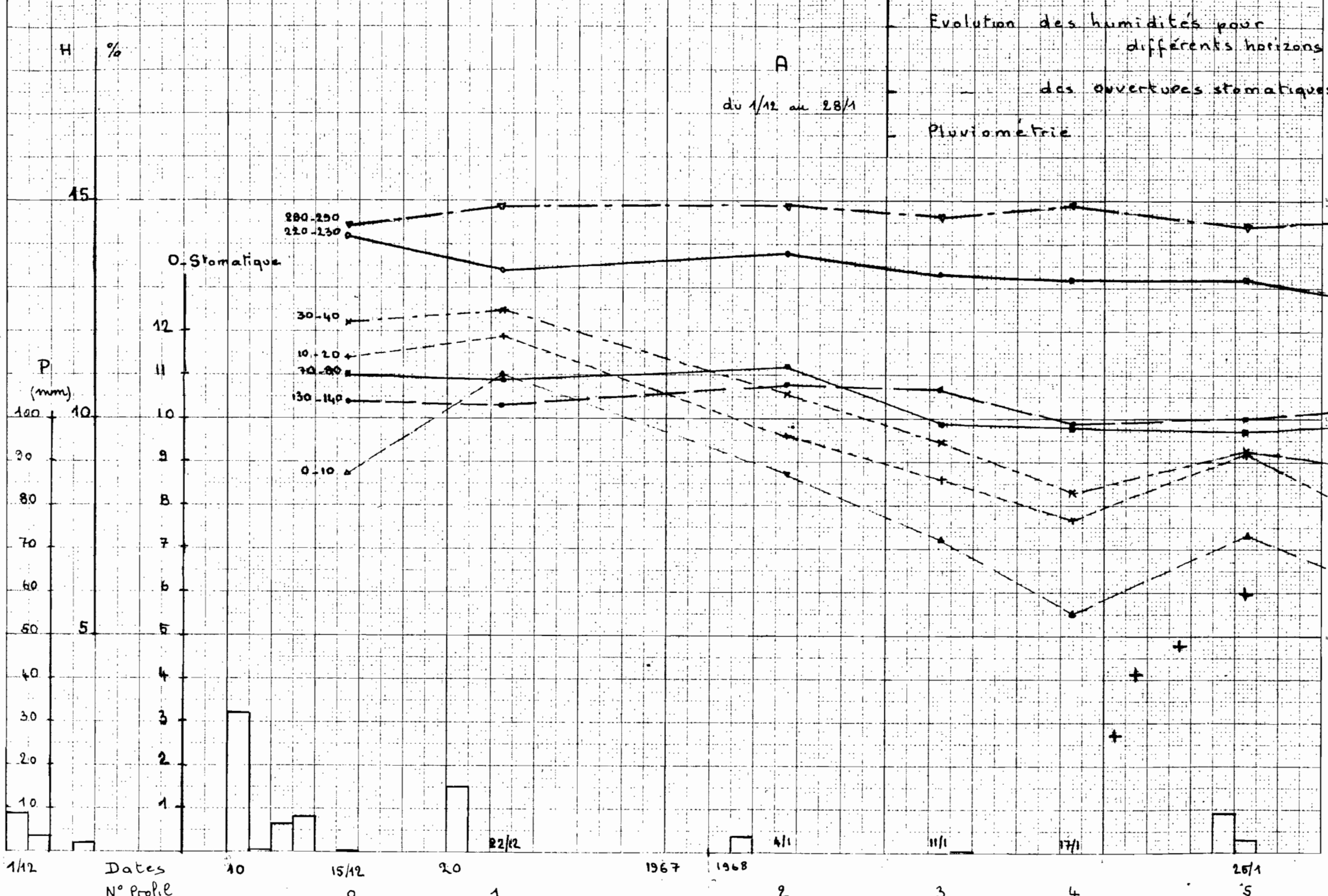




Phase de réhumectation
saturation
drainage

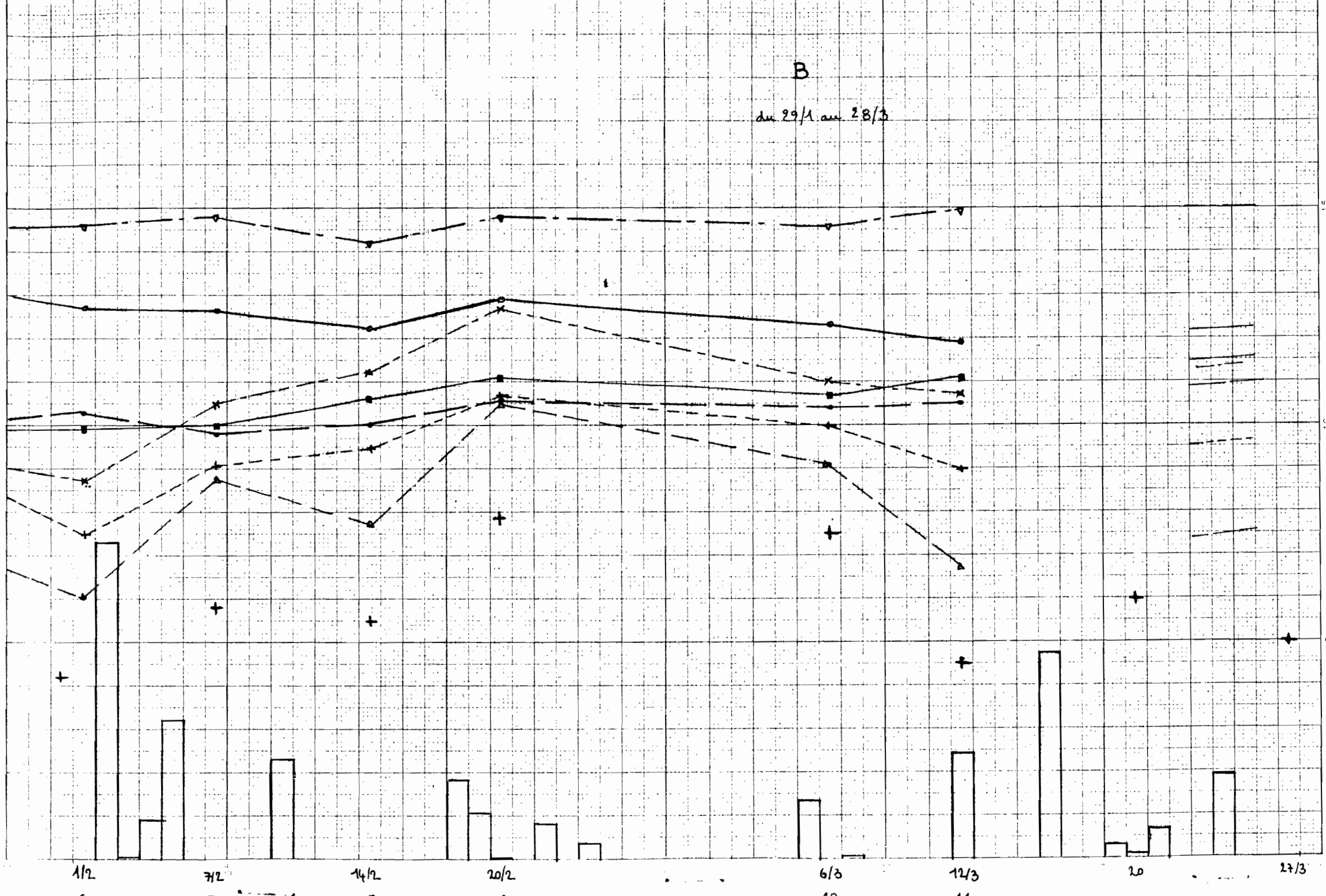
Profil 11 du 12/3
Profil 13 du 12/6
Profil 15 du 26/7

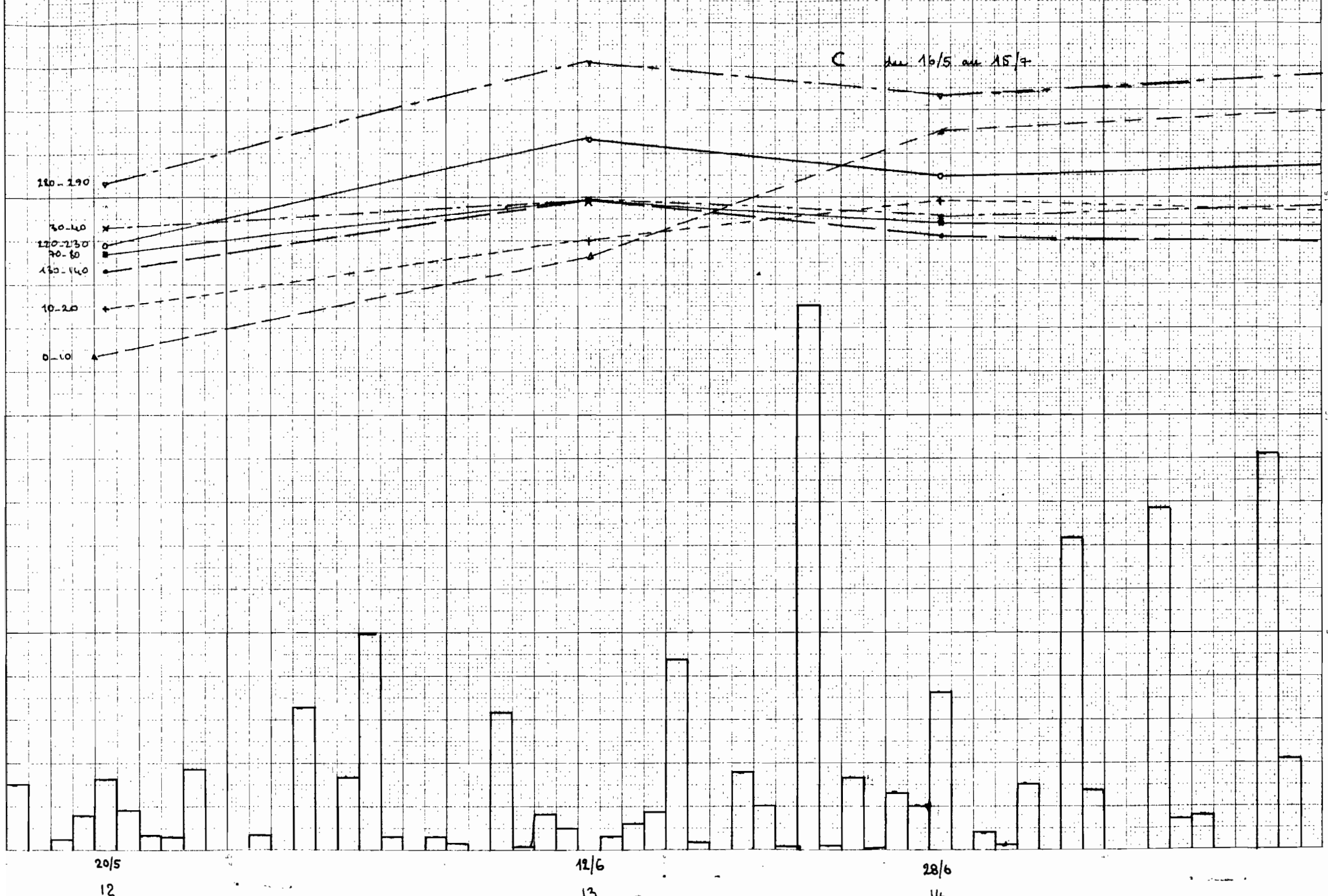
Profondeurs



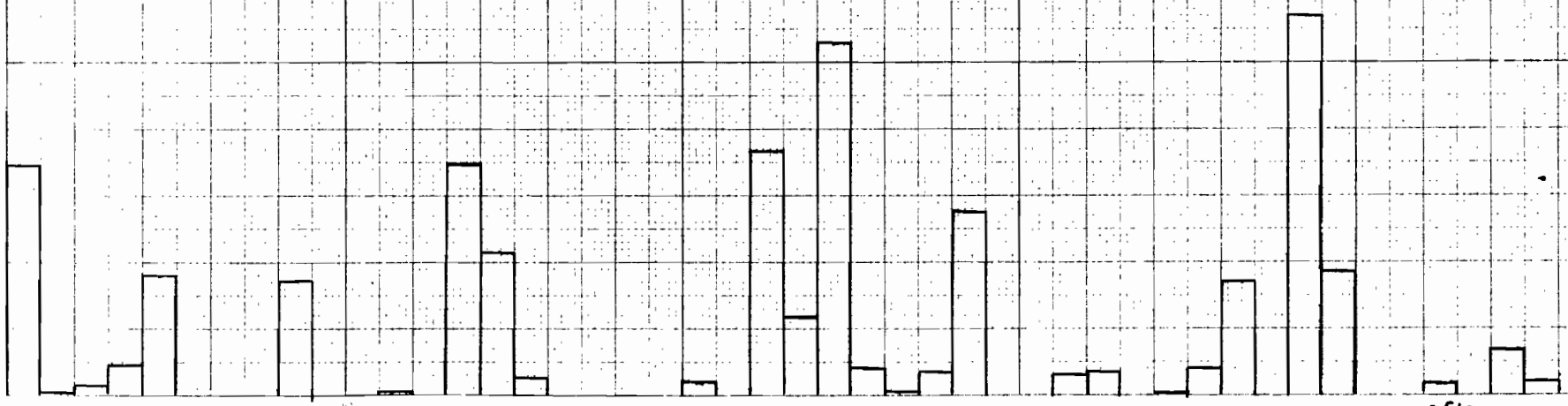
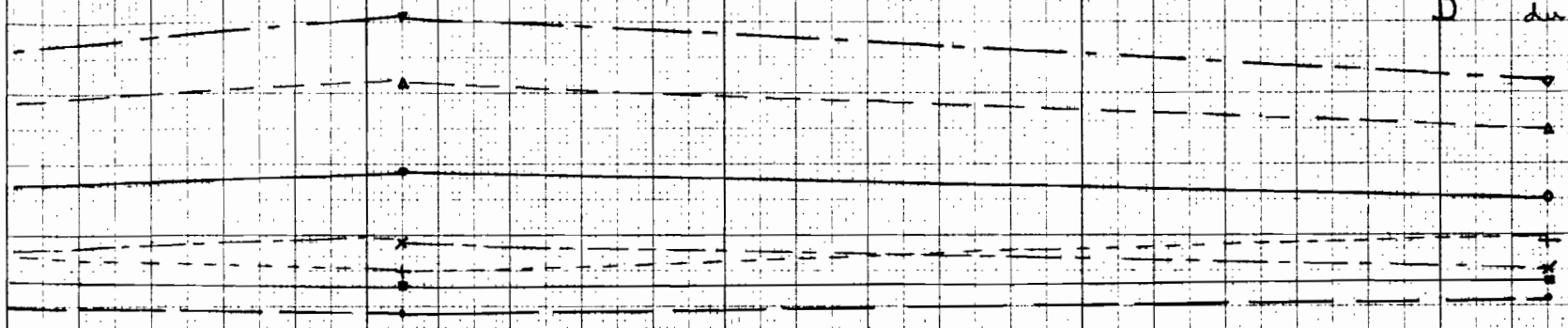
B

du 29/1 au 28/3





D du 16/7 au 26/8



26/7
15

26/8

16