TH.GBJO

République de Côte d'Ivoire
Union-Discipline-Travail

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

N° D'ORDRE : 76

THESE

présentée

À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR EN AGRO-PÉDOLOGIE

par

YORO GBALLOU

Contribution à l'étude de caractérisation de la structure. Identification et évolution des paramètres structuraux de deux types de sols du nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Incidences agronomiques.

Soutenue le 22 décembre 1983 devant la Commission d'examen :

MM.	ASSA AVEMOU	Président
	André LEVÊQUE	Rapporteur
	[redacted]	
	Alassane N'DIAYE	

TH-L16
G810

SOMMAIRE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
— I. N. R. A. —
STATION de SCIENCE du SOL
Domaine Saint-Paul
84140 MONTFAVET

AVANT PROPOS

INTRODUCTION

1ÈRE PARTIE : PRÉSENTATION DU MILIEU

A. DONNEES GENERALES
B. LES SITES DE L'ETUDE

2ÈME PARTIE : MÉTHODOLOGIE

I. GENERALITES
II. LES METHODES DE TERRAIN
III. LES METHODES DE LABORATOIRE

3ÈME PARTIE : CARACTÉRISATION STRUCTURALE (RÉSULTATS)

I. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE
II. CARACTERISATION ANALYTIQUE
III. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET MECANIQUES DES ELEMENTS STRUCTURAUX DE CERTAINES CLASSES DIMENSIONNELLES

4ÈME PARTIE : RECHERCHE DE RELATION ENTRE LES CARACTERISTIQUES STRUCTURALES ET LES TYPES DE STRUCTURE

5ÈME PARTIE : INCIDENCES AGRONOMIQUES DE L'ÉTUDE

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

ANNEXES

DÉDICACE

À TOI, AHONDJO NIAMKEY ALBERT,

qui m'a permis de sortir des ténèbres de l'ignorance, j'adresse toute ma reconnaissance.

AVANT-PROPOS

Cette étude financée entièrement par l'ORSTOM, m'a été proposée après les travaux de prospection pédologique du degré carré de TOUBA. Elle se propose de contribuer à une meilleure connaissance de la caractérisation structurale de certains sols tropicaux dont la dégradation apparaît plus ou moins rapide sous l'effet des contraintes physiques. Elle a été menée sur deux types de sols observés dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.

La réalisation de cette étude, dont les campagnes de terrain ont duré d'avril 1979 à juillet 1981, a été possible grâce aux appuis, à l'encouragement, aux conseils et aux apports de diverses personnes auxquelles je veux particulièrement témoigner ma profonde reconnaissance.

Monsieur le Docteur ASSA AYEMOU, Chargé de cours de pédologie à l'Université d'Abidjan, malgré ses multiples préoccupations administratives, a non seulement accepté d'être le président de mon jury, mais s'est également consacré à la correction et à me prodiguer des conseils. Je lui témoigne ma solide et sincère amitié.

Monsieur André LÉVÊQUE s'est toujours montré disponible pour m'apporter son concours scientifique. Ainsi, ne s'est-il pas contenté seulement de me faire des suggestions, mais il s'est entièrement consacré avec patience et dévouement à la correction de ce manuscrit. Il a en plus accepté de participer aux travaux de mon jury et d'en être même le rapporteur. Je voudrais, à l'occasion, lui renouveler toute ma gratitude et lui dire un grand merci pour l'attention particulière qu'il m'a toujours accordée. Il a beaucoup fait pour mon épanouissement scientifique et c'est à juste titre que je lui réitère toute ma reconnaissance.

Monsieur Jean-Claude FIES, Directeur de Recherches à l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) de Montfavet, a accepté d'effectuer un long voyage pour venir faire partie de mon jury malgré ses multiples occupations. Je le remercie vivement pour sa collaboration scientifique. Je le remercie également pour les

deux journées qu'il a eu à me consacrer au laboratoire des sols de Montfavet lors de mon stage en physique de sol effectué en France de novembre 1980 à janvier 1981. Mes remerciements vont aussi à ses collègues Gérard MONNIER, Alain FAURE pour les entretiens scientifiques que j'ai eus avec eux.

Monsieur le Professeur N'DIAYE ALASSANE, doyen de la Faculté des Sciences de l'Université d'Abidjan a bien voulu faire partie de mon jury malgré ses nombreuses occupations aussi bien scientifiques qu'administratives. Je le remercie de tout coeur.

Monsieur Yvon CHATELIN m'a proposé le sujet de cette étude. C'est ainsi qu'il m'a fourni la quasi-totalité des documents et livres consultés. Il a même continué de me documenter après son départ de la Côte d'Ivoire. Lors de mon stage en physique de sol en France, il m'a permis d'avoir des contacts fructueux avec des chercheurs de divers instituts et centres de recherches agro-pédologiques. Je voudrais qu'il m'excuse de ne l'avoir pas désigné comme l'un des membres de mon jury après tant de dévouement. Qu'il veuille accepter, en compensation, ma solide et sincère amitié et celle de mon épouse. Je suis heureux de lui renouveler ici toute ma profonde reconnaissance.

Messieurs François-Xavier HUMBEL et André COMBEAU m'ont aidé, lors de mon dernier passage à Bondy, à donner une orientation définitive à l'étude. Je les remercie pour leur collaboration et leur sympathie.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Georges AUBERT et à Bernard DABIN pour leurs conseils et l'intérêt qu'ils ont manifesté vis-à-vis de cette étude.

Les responsables des laboratoires d'Agronomie, de Bioclimatologie, d'Hydrologie et de Botanique du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé m'ont apporté un concours appréciable dans la documentation. Je les prie de trouver ici tous mes remerciements. Je n'oublie pas Monsieur ZADI KOUBI Prosper qu'i m'a identifié les plantes des sites étudiés.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs Marc GOUZY, Patrick TOPART, Claude HANRION, tous responsables des Laboratoires d'Analyses du Centre d'Adiopodoumé. Je remercie aussi Monsieur Michel NICOLE et tous ses collègues du Laboratoire de Photographie (MAI LOUHOU Gustave et KOUAKOU KOFFI Georges).

Madame GUERIN du Laboratoire de Physique de Sol à Bondy, m'a appris à utiliser le moule Proctor. Je lui témoigne ici toute ma gratitude.

Ma reconnaissance va également à tous mes compagnons de terrain : PALE Gaston, DIBI Kouassi, KOUAME Marcel et particulièrement au feu ZOKOUA Jonas qui, avec dévouement et patience a effectué toutes les mesures de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau, paix à son âme.

Je suis aussi reconnaissant à Messieurs KANGA Mathieu et ALLOU N'Doli qui ont dessiné les différentes figures et schémas de ce rapport.

Que Monsieur K. BONFOU et tous ses collaborateurs des Services Communs du Centre d'Adiopodoumé, qui ont effectué la frappe de ce mémoire, trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Je reconnais également le concours précieux apporté par Monsieur TOLLAH Charles, manipulateur de la photocopieuse. Je le remercie pour son courage et sa patience.

A toute l'équipe de la Bibliothèque du Centre d'Adiopodoumé, qui a oeuvré à la mise en page de ce mémoire, j'adresse mes sincères remerciements.

Christian VALENTIN, mon collègue de longue date, m'a apporté son concours scientifique. Il n'a pas hésité un seul instant à me faire des photocopies de certains de ses nombreux documents et revues se rapportant à mon étude. Je le remercie sincèrement pour l'attention particulière qu'il m'a toujours accordée. Je lui renouvelle ici ma reconnaissance et ma tendre amitié.

Je ne saurais terminer sans adresser à la Direction de l'O.R.S.T.O.M., à Messieurs Bernard POUYAUD et Jean COLLINET, mes vifs remerciements pour les moyens qu'ils ont mis à ma disposition afin de réaliser cette étude. Je leur suis particulièrement redevable et les prie de trouver ici l'expression de ma respectueuse reconnaissance.

Je remercie de tout coeur Monsieur le Ministre de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique, le Dr BALLA KEITA, pour avoir accepté, par ce temps de conjoncture difficile, de faire quelques sacrifices en prenant en charge les frais de transport et séjour de mon invité, Monsieur Jean-Claude FIES. A travers lui, je remercie aussi tous ses collaborateurs en particulier Monsieur COULIBALY DOGNENENA.

INTRODUCTION

"La structure d'un sol est définie par la manière dont les particules élémentaires sont associées entre elles formant ou non des agrégats" (GLOSSAIRE de Pédologie, 1969). Elle peut être aussi définie comme "l'arrangement des particules primaires et secondaires du sol d'une façon spéciale" (BOURGET, 1978).

Elle a une très grande influence sur les propriétés physiques du sol : aération, rétention de l'eau, résistance à la pénétration des racines, perméabilité.... Elle conditionne le développement et la production des plantes cultivées (DE CAESTECKER, 1958). Elle est probablement l'une des caractéristiques physiques du sol des plus importantes (BOURGET, 1978).

Il n'en demeure pas moins que l'appréciation qui peut en être faite, bonne ou mauvaise, ou plus précisément, que son état dépend de nombreux facteurs tels que : le taux d'argile et sa nature minéralogique (FIES, 1978 ; CHAUVEL, PEDRO et TESSIER, 1976), l'existence des complexes formés entre les fractions organiques et des ions minéraux (BONNEAU et LEVY, 1979), les liaisons kaolinite-fer ou kaolinite-aluminium (BARBIER, 1938 ; CHATELIN, 1974 ; SEGALEN, 1973), la présence éventuelle de carbonate de calcium (DUCHAUFOUR, 1970), etc...

En effet, la formation des unités structurales est favorisée par un double processus : la floculation des colloïdes et la cimentation, par ces colloïdes floculés, des particules grossières (DUCHAUFOUR, 1970). Le ciment qui lie les constituants élémentaires peut disparaître en conséquence de la lixiviation des cations floculants, de la minéralisation de la matière organique et de l'exportation de l'argile par lessivage ou par appauvrissement. Le processus aboutit alors à l'apparition d'une "structure particulaire" essentiellement observée dans les sols sableux ou limoneux.

L'argile a longtemps été considérée comme le principal facteur de cimentation des particules dans la formation des grumeaux. C'est ainsi qu'on s'est interrogé sur l'influence de la nature des argiles. BUEHRER (1961) a montré que les "argiles gonflantes" donnent une structure plus typée que celle qui se forme dans les argiles non gonflantes (illites, kaolinite...).

Divers travaux (TESSIER et PEDRO, 1976 ; JACQUIN, 1978) ont cependant révélé que le "ciment" pouvait être autre chose que l'argile. En effet, la matière organique, uniformément répartie dans un horizon sableux, assure la liaison entre les diverses particules minérales (MULLER, 1974). MONNIER (1965), en particulier, a montré le rôle des "composés uroniques" d'origine microbienne dans l'édification d'une structure aérée, résistante au processus de dégradation.

Les oxydes de fer et d'alumine jouent, eux aussi, un rôle important dans la structure des sols. FILIPOVICH (1956) a mis en évidence que des sols dépourvus de bases mais présentant des teneurs notables en oxydes de fer (Fe_2O_3), peuvent avoir une bonne structure, et que l'accumulation de matière organique dans les sols ne suffit pas pour avoir une bonne structure si elle n'est pas accompagnée de fer. Cette remarque avait déjà été faite un an plus tôt par BEUTELSPACHER (1955) pour qui "l'humus ne peut se fixer sur l'argile sans fer". Cet élément lui-même, en l'absence de la matière organique est responsable de la qualité de la structure (BATES, 1960). Dans les sols ferrallitiques, LUTZ (1936) avait constaté une relation précise entre la stabilité des agrégats et les teneurs en fer libre, à la fois dans l'horizon A et dans l'horizon B.

Ces oxydes interviennent dans les structures des sols soit sous forme ionique liée au complexe argilo-humique, soit sous forme colloïdale libre (horizon B des podzols), soit sous forme cristalline (SEGALEN, 1964 et 1973). Dans ce dernier cas ils constituent un "ciment durci" qui forme un revêtement autour des grains (DUCHAUFOUR, 1970). Le durcissement (fréquent dans les sols ferrallitiques) intervient lorsque la proportion des hydroxydes par rapport à la matière organique est particulièrement élevée (SCHWERTMANN, 1965). L'une des conséquences de cette abondance de sesquioxydes de fer est de masquer à l'analyse granulométrique une bonne partie de l'argile contenue dans le matériau (PEDRO, CHAUVEL et MELFI, 1976).

Le carbonate de calcium peut aussi jouer un rôle important dans la formation des agrégats, en constituant "avec l'humus des pellicules autour des grains plus gros (grumeaux de rendzines)" (DUCHAUFOUR, 1970). Dans les sols de nombre de pays tropicaux et en particulier dans ceux qui sont développés sous les climats les plus humides, le calcium est rapidement lixivié. Son influence sur le développement de la structure est alors très restreinte. Elle est même pratiquement inexistante dans le cas des sols ferrallitiques (BOYER, 1975).

Des facteurs internes, propres à l'évolution des constituants du sol entraînent des modifications négatives de la structure. C'est le cas de la disparition des ciments des particulies qui a pour résultat une destruction de la structure (HENIN, 1938 ; BONNEAU et LEVY, 1979, MULLER, 1974). Mais des facteurs externes par rapport à l'évolution pédologique peuvent intervenir. C'est le cas, par exemple, d'un travail excessif du sol, qui diminue la stabilité de la structure (HENIN, 1969). De BLIC (1975), en particulier, note des modifications structurales négatives après la mise en culture mécanisée de sols du Centre de la Côte d'Ivoire. C'est aussi le cas d'aléas climatiques, comme une hydratation trop brutale des agrégats suivie d'une dessication rapide (DUCHAUFOUR, 1970). Bref, interviennent de multiples facteurs de la dégradation structurale et celle-ci est alors perçue comme un danger pour le sol lui-même, par érosion et pour les plantes, par mauvais enracinement.

La structure d'un sol évolue et il est donc indispensable de contrôler régulièrement son état. Pour ce faire, des méthodes ont été mises au point. Parmi celles-ci nous avons : la mesure de la porosité et celle de l'indice d'instabilité, Is (HENIN, 1938). Ces méthodes permettent, en quelque sorte, de fixer les jalons de la variation de la structure de la surface vers la profondeur, d'une saison à l'autre, ou suivant les différents types de sols. La variabilité saisonnière de Is est essentiellement liée aux conditions hydriques (MOREAU, 1978). Pour COMBEAU, les variations des valeurs prises par cet indice est la résultante de plusieurs processus : les alternances de dessication et de réhumidification, les changements d'état des substances organiques qui ont un rôle de cimentation, d'une part, et, d'autre part, les variations de l'activité

biologique au sens large, qui se traduisent par la synthèse ou la dégradation des substances organiques qui exercent un effet favorable sur la stabilité.

L'indice d'instabilité structurale est établi pour chaque échantillon de sol, à partir de l'évaluation des taux d'agrégats stables à l'eau, avec ou sans prétraitement à l'alcool et au benzène Ces agrégats présentent d'un horizon ou d'un type de sol à l'autre, des caractères fort variables. Les principaux de ces caractères sont leur mode d'association, leur forme (cubique, polyédrique, etc...), leur taille, leur compacité, leur cohésion. Par exemple MONNIER, STENGEL et FIES (1973) ont montré sur de petits "agglomérats terreux" que la densité apparente augmente lorsque la taille des fragments diminue. Tous ces caractères conditionnent d'abord, par les fissures plus ou moins figurées qui se développent dans le matériau sol, ce qu'il est convenu de nommer la porosité structurale qui s'ajoute à la porosité biologique traduite par l'existence de galeries ou autres cavités. Ils conditionnent également la porosité texturale par l'assemblage élémentaire, c'est-à-dire par la disposition relative des particules argileuses, limoneuses sableuses ou organiques. Et ces deux aspects fondamentaux de la porosité des sols conditionnent à leur tour nombre de propriétés physiques.

Or, malgré toutes ces indications, plusieurs auteurs, dont BOURGET (1978) s'accordent à reconnaître que la structure est peut-être le moins connu des paramètres physiques du sol.

Pour faire le point très rapide de la question, nous retiendrons en premier lieu, que l'origine ou les causes de tel ou tel type de structure nous échappe assez largement. En second lieu, nous noterons que nombre d'études déjà réalisées sur la structure laissent quelque peu dans l'ombre certains problèmes. Par exemple CHAUVEL (1976) a ébauché la question des agrégats mais sans définir leur taille ni le rôle que celle-ci peut jouer dans les propriétés physiques du sol. FIES (1978), qui à l'issue d'un tamisage sous l'alcool , a défini trois structures basées sur le taux cumulé d'éléments inférieurs à 10 mm (T_{10}), n'a pas non plus revélé l'importance de la taille, de sorte que la question de la relation éventuelle entre la stabilité et la taille des agrégats reste grandement posée. Cette taille varie-t-elle avec le type de structure (grumeleux, polyédrique...)? Quels sont les facteurs qui la

conditionnent ? Parmi les paramètres de l'agrégattion et de la désagrégation, cités par BEAUDOU (1975), lesquels doivent-ils attirer plus spécialement l'attention ? Enfin que peut-on tirer de la résolution de toutes ces questions pour une meilleure exploitation agricole ?

Autant de problèmes posés auxquels la présente étude se propose de contribuer à la recherche d'une solution. L'exposé traitera en particulier du type et de la distribution dimensionnelle des éléments structuraux, des propriétés physico-chimiques des agrégats répartis en classes dimensionnelles après tamisage, c'est-à-dire de l'état structural du sol. Il traitera également du comportement structural des sols c'est-à-dire des modifications subies en la matière sous l'effet de contraintes mécaniques. Enfin l'attention sera portée sur la répartition des racines (assimilatrices ou conductrices) dans le profil étant donné que le développement et le fonctionnement de ces organes souterrains sont, d'évidence, très dépendants de la structure (CHARREAU, 1970).

Pour atteindre ces objectifs, deux approches successives ont été utilisées.

- La première approche a consisté en des travaux de terrain qui ont porté essentiellement sur l'étude morphologique des types de structure et de l'enracinement ainsi que sur celle de leurs variations saisonnières et enfin sur les tests de contrainte.

- La seconde approche, conduite en laboratoire, a été principalement expérimentale et analytique. Elle a fourni en particulier, des données nécessaires à la compréhension des propriétés physico-chimiques des agrégats.

Ces deux approches nous ont permis en définitive d'apporter des éléments propres à une caractérisation plus précise des organisations pédologiques grâce, en particulier, à la connaissance de la taille de leurs éléments structuraux. Précisons que cette étude a porté, principalement, sur les 80 centimètres supérieurs de deux types de sols de la région de Touba (nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Ces sols se différencient d'un site à l'autre par leur susbstrat lithologique et par nombre de caractères au premier rang desquels se place, la texture.

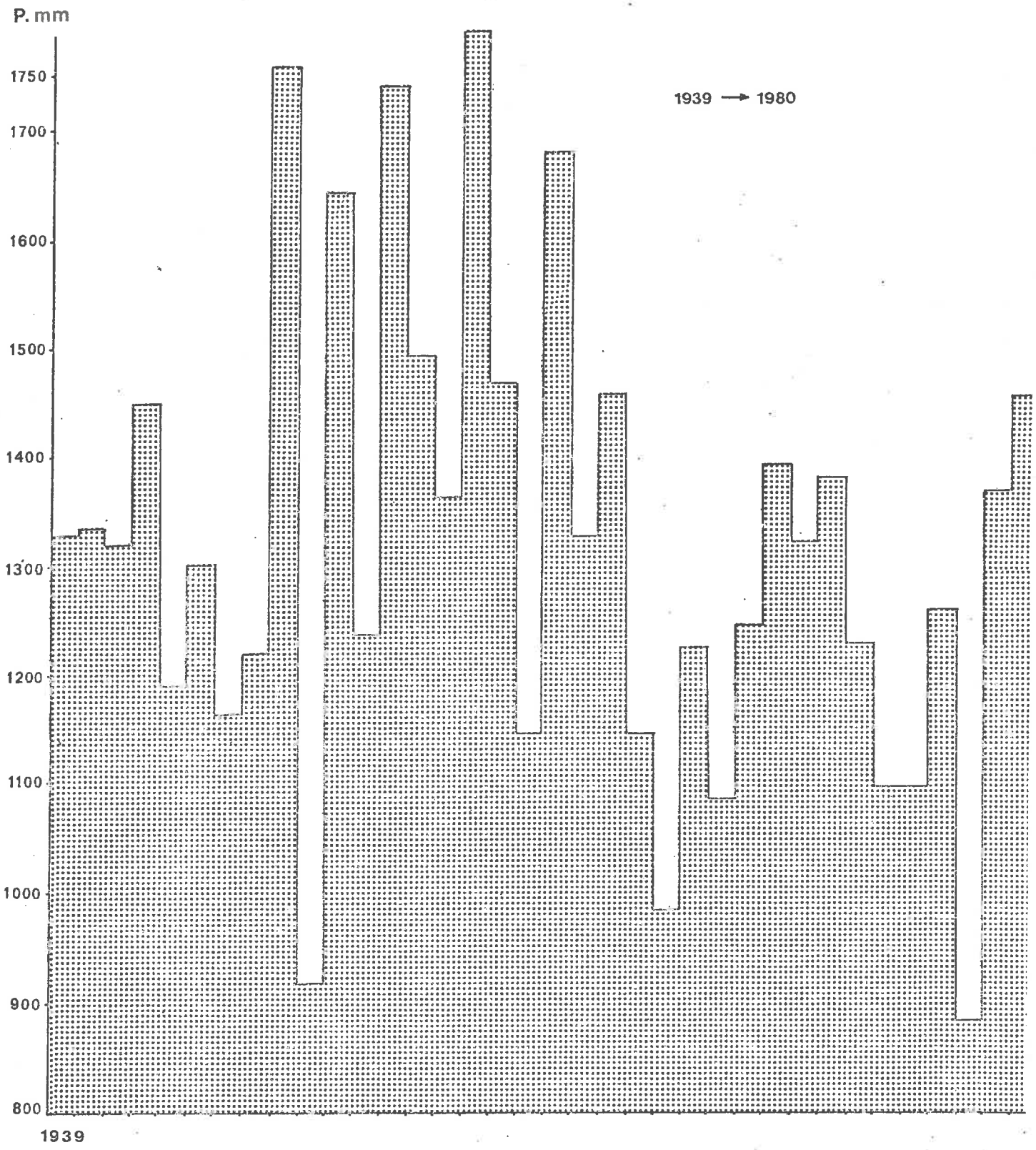
Cette étude comprend cinq grandes parties :

1. La présentation du milieu
2. La méthodologie
3. La caractérisation structurale (ou les résultats)
4. La recherche de relation entre les caractéristiques structurales et les types de structure
5. Les incidences agronomiques.

PREMIÈRE PARTIE

CARTE DE SITUATION n°1

Fig. 1



Pluviométries moyennes annuelles
1939 - 1980

Fig. 2

1ère PARTIE

I. PRÉSENTATION DU MILIEU

A. DONNEES GENERALES

1. Le climat

Les sites de l'étude ne font pas l'objet de relevés climatiques. Nous nous référerons par conséquent aux données météorologiques fournies par la Station de Touba (8° 17' N, 7° 41 W) de part et d'autre de laquelle ils sont implantés.

Le climat de la région de Touba est de type tropical soudano-guinéen et se caractérise par :

- deux saisons contrastées : une saison des pluies (mai à octobre) dont les précipitations maxima se situent en septembre et une saison sèche (novembre à avril) avec un minimum de précipitations en décembre et janvier ;
- une pluviométrie moyenne annuelle de 1300 à 1400 mm
- une température moyenne annuelle de 26°C dont les variations, peu accusées en général, atteignent leur maximum, à l'échelle de la journée en période d'harmattan.

1.1. Les précipitations

Les relevés pluviométriques sont effectués depuis 1939 et nous ont été communiqués par la Section Hydrologique de l'ORSTOM. Nous distinguerons successivement les précipitations annuelles, les précipitations mensuelles et le nombre annuel de jours de pluie depuis 1939 jusqu'en 1980.

a) les précipitations annuelles

La hauteur des précipitations moyennes annuelles de Touba (1362 mm) est inférieure à celle d'Odienné (1620 mm) et légèrement inférieure à celle de Séguéla (1387 mm) à l'Est. On peut expliquer

Tableau 1 : Données pluviométriques de 1939 à 1980

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Total de la pluviométrie mensuelle en 42 années	393,8	1235,8	2633,3	4610,8	6399,6	6259	6416	8130,3	10127	4073	1400,1	551	52229,7
Nombre mensuel de jours de pluies en 42 années	30	80	184	251	279	341	316	366	467	382	97	35	2828
Pluviométrie moyenne mensuelle	9,4	29,4	62,7	109,8	152,4	149,0	152,7	193,6	241,1	97,0	33,3	13,1	
ETP moyenne mensuelle de 1970 à 1980	127	136	144	131	117	104	104	110	117	122	122	117	

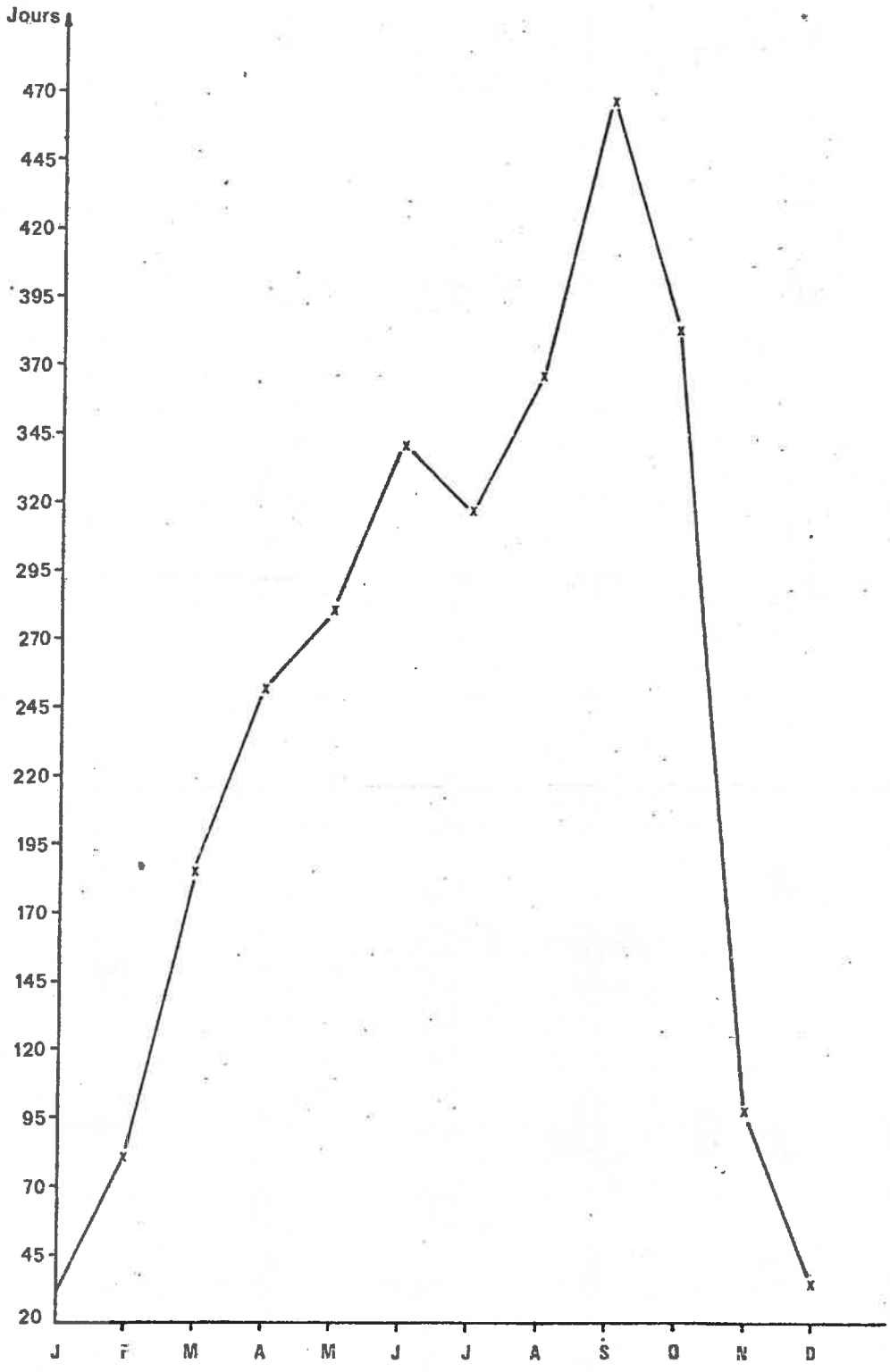
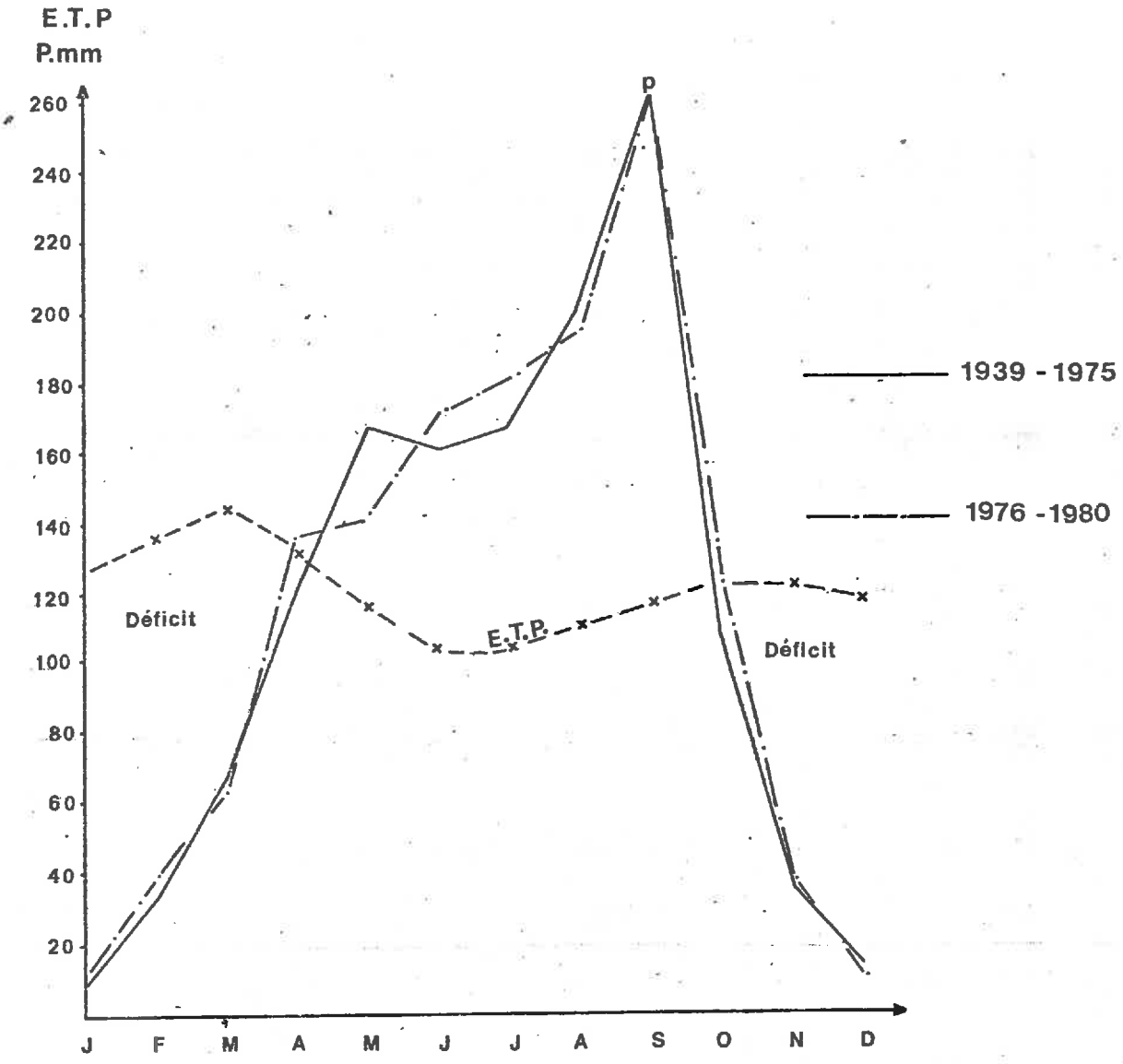


FIG. 3 : FREQUENCES MENSUELLES DES PLUIES DE 1939 à 1980



Pluviométries moyennes et
Evapotranspiration potentielle

Fig. 4

la faible pluviométrie de Touba par rapport à celle d'Odienné située plus au Nord, par l'effet d'écran qu'exercent les massifs montagneux qui constituent une chaîne au Sud de la région concernée.

Depuis 1939, l'année la plus humide fut 1954 avec un total de précipitations de 1803 mm. L'année 1973 fut, par contre, la plus sèche avec 884 mm de pluies.

b) les précipitations mensuelles

Les précipitations enregistrées sur les cinq mois de mai à septembre représentent environ 70% de celles de toute l'année. De 1939 à 1975, le mois de mai apparaît, en moyenne, relativement plus humide que celui de juin (fig. 4). Mais au cours des dernières années, les précipitations sont devenues plus abondantes en juin qu'en mai. Toutefois, le mois de septembre (rarement août) est le plus pluvieux de la région avec une moyenne de 261 mm.

Les mois de janvier et de décembre sont les plus secs de l'année. Ils peuvent être dépourvus de précipitations deux ou trois années consécutives, voire plus (de 1952 à 1958, il n'a pas plu en janvier).

c) nombre de jours de pluies

Au cours des 42 années on a enregistré un total de 2828 jours de pluies, soit une moyenne de 67 jours de précipitations par an. On constate que cette moyenne n'atteint pas le quart du nombre de jours de l'année. Cette faible moyenne traduit le caractère irrégulier des précipitations au cours de l'année. Il pleut, par exemple, en moyenne 0,7 jour en janvier, 0,9 jour en décembre et 12 jours en septembre. La concentration des pluies sur des périodes courtes masque ainsi la fréquence de nombreux jours secs ou sans précipitation.

1.2. La température

Nous ne disposons pas de relevés de température de Touba. Mais en nous référant aux températures moyennes minima et maxima de Man (23°8 - 25°6) et d'Odienné (23°8 - 28°2) on peut situer celle

de Touba entre 23°8 et 28°2. Nous retiendrons pour l'essentiel, que les amplitudes sont faibles pendant la saison des pluies et relativement élevées en saison sèche, ceci surtout lorsque l'harmattan souffle.

1.3. L'évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée par ELDIN et DAUDET (1975), MONTENY (1983) est de l'ordre de 1450 mm pour la région de Touba. Elle varie sensiblement au cours de l'année. C'est ainsi qu'elle passe de 104 mm en saison des pluies (juin-juillet) à 144 mm en fin de saison sèche (mars). Sur sept mois considérés comme secs (octobre à avril), cinq (novembre à mars) connaissent un déficit hydrique permanent et deux (avril, octobre) sont affectés par la sécheresse selon les années.

En conclusion, nous noterons que le climat de cette région présente d'une saison à l'autre un très sensible contraste. Celui-ci oriente dans une large mesure, l'évolution de la matière organique du sol, en particulier, du fait qu'il favorise la polymérisation ou la condensation sous des formes plus stables de nombreux composés (DUCHAUFOUR, 1970, ANDREUX, 1979).

2. Les facteurs biologiques

2.1. La végétation

La feuille I.G.N. (Institut Géographique National) de Touba se subdivise en deux secteurs : un secteur mésophile au Sud-Ouest et un secteur sub-soudanais dans le reste de la région (GUILLAUMET, 1967). On distingue quatre types de végétation : forêt dense sèche, savane boisée et forêt claire, savane arborée et savane arbustive, savane herbeuse.

Nous sommes donc ici dans une zone de transition entre les zones très "ouvertes" du Nord et la région forestière. Cette zone de transition malgré les fortes variations du couvert végétal qu'elle implique permet cependant, à la plupart des sols, de recevoir des apports organiques relativement abondants.

Pour AVENARD (1969) la forêt mésophile (dense sèche) résulterait de la dégradation par le feu, de la forêt dense humide semi-décidue. GUILLAUMET et *al.* (1971) pensent que les pratiques culturales, ajoutées aux feux de brousse annuels conduiraient à un appauvrissement de la flore originelle et à un amoindrissement de la fertilité des sols. Selon eux, l'homme serait aussi à l'origine des transformations subies par les forêts denses sèches et les forêts claires.

2.2. La faune

Les relations entre les sols et la faune sont à prendre en compte. Tout d'abord nous avons le bétail dont les lieux de pacage et les parcours de pâturage sont le siège d'un piétinement (aspect négatif) et d'un apport de déjections (aspect positif). L'action des rongeurs n'est pas, non plus, négligeable car elle se traduit par un fouissage des sols parfois important. Mais les actions les plus spectaculaires et surtout les plus généralisées sont le fait de la mésofaune, et principalement des termites, des vers de terre et des fourmis. L'activité de ces organismes, qui s'intensifie nettement en saison pluvieuse, présente comme caractères primordiaux à la fois l'ouverture d'un réseau de galeries dans les sols et l'apport en surface de ceux-ci de matériaux prélevés en profondeur (LEVEQUE, 1975). Mais l'accumulation ou la concentration des éléments minéraux en surface peut être un facteur de destructuration et d'appauvrissement (ROOSE, 1976) car les turricules sont fragiles et les matériaux constituant les termitières sont très vite appauvris.

2.3. L'homme

La densité de population de la zone étudiée est de 10 à 20 habitants au km2. Les ethnies représentées sont les Malinké au Nord et à l'Est, les Yacouba et les Mahou dans le reste de la région.

La majorité de la population est concentrée le long des axes routiers et surtout dans les zones montagneuses (Santa, Waninou, Booko...) où la densité peut atteindre 50 habitants au km2. Ceci s'explique par le fait que ces zones de reliefs constituaient des lieux de refuge et de protection contre l'envahisseur.

La population exerce le commerce et surtout l'agriculture. Elle cultive le maïs, le riz, le manioc, la patate douce et l'igname, le coton constituant la culture de rente. Il faut noter l'introduction récente de la pomme de terre sur les berges de la Férédougouba et au Sud de Waninou par la SODEFEL (Société pour le Développement des fruits et légumes), de la canne à sucre cultivée sur le complexe industriel de la SODESUCRE (Société pour le développement du sucre) à Borotou, et du soja en fermes semencières à Sokouroula. L'élevage commence à devenir intensif (ranch de Sipilou) avec la mise en place des cultures fourragères (*Stylosanthes*, maïs) pour l'alimentation du bétail grâce à l'encadrement de la SODEPRA (Société pour le développement de la production animale).

Les méthodes culturales dans les exploitations villageoises sont principalement manuelles, mais l'emploi d'attelages de boeufs commence à se développer grâce à l'effort conjugué de la SODEPRA et de la CIDT (Compagnie ivoirienne pour le développement textile).

Nous retiendrons des divers aspects des activités humaines que celles-ci n'exercent pas sur les sols des contraintes généralisées ni, dans la plupart des cas, très importantes, comme ce que nous observons, par exemple dans la zone dense de Korhogo.

3. La géologie

Le substrat géologique de la région de Touba appartient à un ancien socle cristallin archéen (TAGINI, 1972). Il est constitué principalement de granites très divers. Ces roches présentent fréquemment des taux assez faibles de minéraux ferro-magnésiens, mais par contre des taux élevés de quartz (LENEUF, 1959). Leur altération aboutit, en conséquence, à des sols caractérisés par des pourcentages modestes d'argile, des pourcentages élevés de sables (LEVEQUE, 1975) (qui favorisent d'ailleurs les phénomènes d'appauvrissement) et par des taux modérés de fer. Tous ces caractères influent fortement sur le type de strucutre des sols en question (MONG GINE, 1979, VIENNOT, 1980).

On note cependant, très localement, l'existence d'anorthosites et de norites au Sud, d'amphibolites et de pyroxénites au

0 10 20 30 40 50 km

LEGENDE

- Granite
- Granite à hypersthène
- Gneiss
- Gneiss à hypersthène
- Dolerite
- Andesite
- Migmatite

D'après carte géologique de reconnaissance Odéane feuille NC 29 SE

CARTE HYDROGRAPHIQUE DE TOUBA Fig. 6

RESEAU HYDROGRAPHIQUE

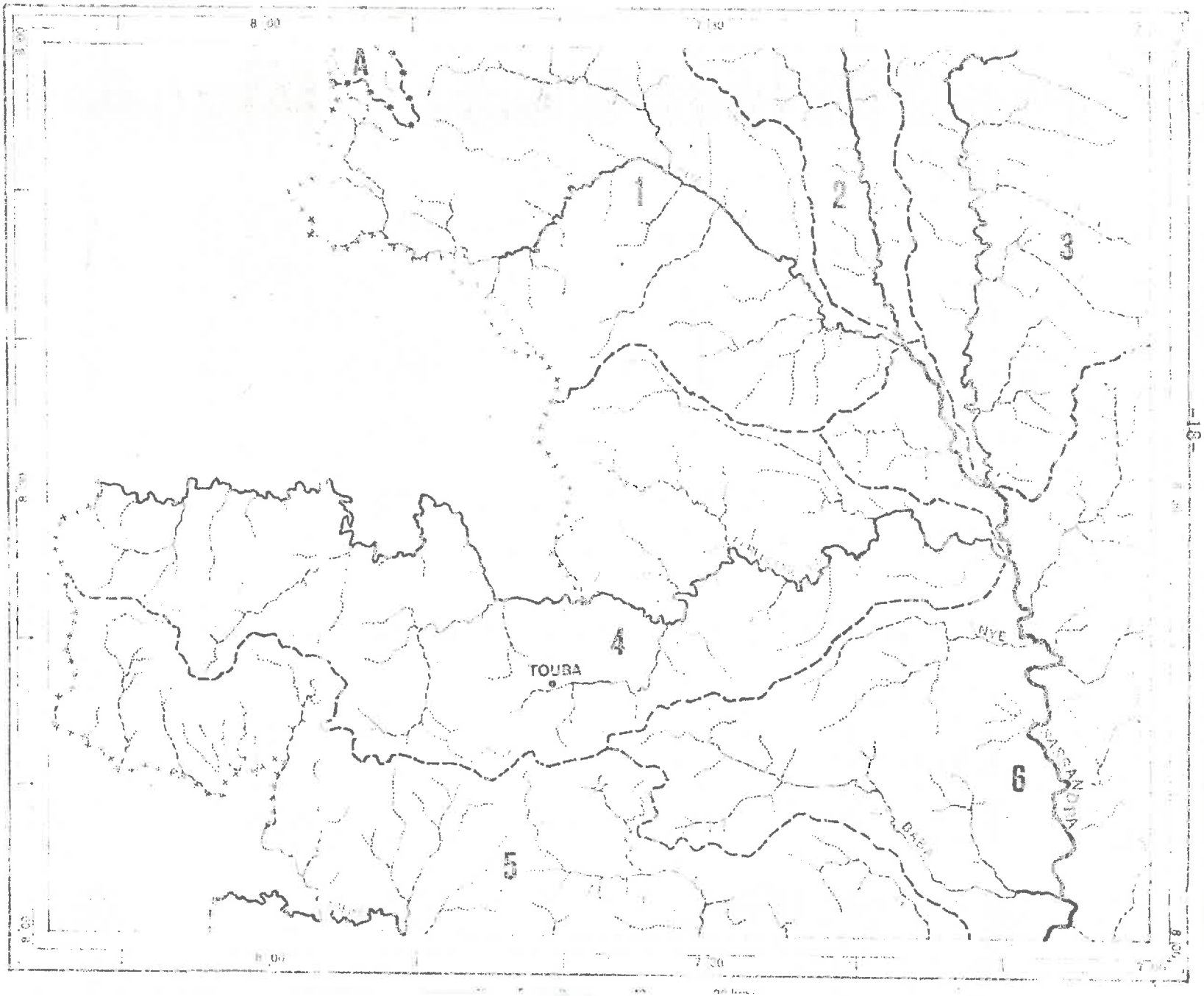
- 3ème ordre
- 4ème ordre
- 5ème ordre
- 6ème ordre
- 7ème ordre
- Ligne de partage des eaux

Tributaires du NIGER

A BASSIN VERSANT DU KOUROU-KELE

Tributaires du SASSANDRA

1 BASSIN VERSANT DE LA BOA
2 BASSIN VERSANT DU SIEN
3 BASSIN VERSANT DE LA TYENBA
4 BASSIN VERSANT de la FEREDOUGOUBA
5 BASSIN VERSANT DU BAFING
6 BASSIN VERSANT DU SASSANDRA



Centre-Sud et de dolérites dans les zones montagneuses de Santa, Booko, etc... dans l'Ouest. L'altération de ces roches donne, dans la majorité des cas, des sols qui, à la différence des précédents, sont très bien pourvus en argile et en fer.

4. L'hydrologie

Le réseau hydrographique de la région est dense et ramifié. Il découpe la région en une multitude d'interfluves de faible extension ce qui entraîne la succession à faible distance, sur les versants courts qui caractérisent le modelé, de plusieurs types de sols. De nombreux cours d'eau sont permanents (Boa, Férédougouba, Sassandra, Tyenba, etc..) d'où leur intérêt pour des projets d'irrigation et pour l'abreuvage du bétail. Il faut souligner que la dynamique de ce réseau est grandement en équilibre avec le modelé actuel. Aussi n'observons-nous qu'exceptionnellement, la présence de ravins témoins d'une reprise d'érosion. Autrement dit l'érosion des sols des versants reste en général limitée à un décapage en nappes, local et très superficiel.

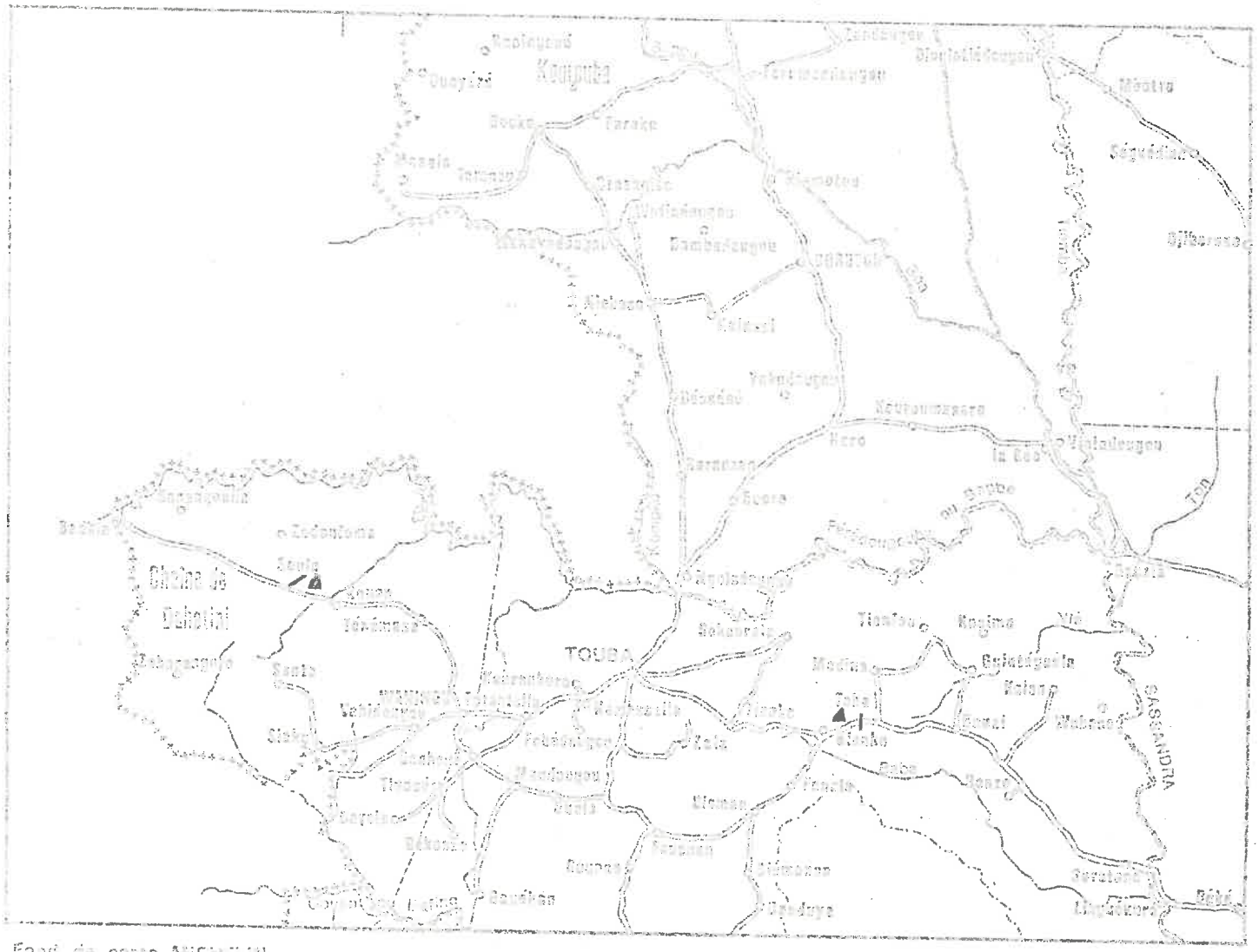
5. Géomorphologie

Le modelé de la région se caractérise par une pénéplaine dominée par de nombreux reliefs résiduels, localisés surtout au Sud-Ouest et au Nord-Ouest. Ces reliefs résiduels comprennent essentiellement des massifs doléritiques et des massifs granitiques.

Les massifs doléritiques sont soit isolés (Mont Kourouba : 1009 m, Mont Kouroukro : 794 m), soit groupés en chaînons comme ceux de Tyenko (954 m), de Pohitini (995 m). Ils présentent des sommets coniques rocheux ou tabulaires-cuirassés (les dolérites affleurent dans ce dernier cas, en contrebas). Les versants sont irréguliers (en marche d'escalier) et les pentes, fortes (15 à 50%). Les incisions sont encaissées. Elles se limitent au lit majour.

Les massifs granitiques en relief sont nombreux mais se répartissent d'une façon irrégulière. Ils sont surtout isolés (Léba, Booko..) ; cependant un chaînon, au Sud de la région, constitue une limite naturelle avec la région de Man. Ces ensembles de reliefs résiduels comportent plusieurs points culminants dont le plus impor-

FIG. 7 : CARTE DE SITUATION DES SITES D'ETUDE



Fond de carte MICHELIN

0 10 20 30 40 50 Km

tant est Mafala avec 1052 m d'altitude. Celui-ci est d'ailleurs le sommet le plus haut de la région de Touba. Les sommets sont arrondis et séparés par des dépressions. Les versants sont longs et plus ou moins rectilignes. Les vallées ou bas-fonds sont assez larges.

Ces différents reliefs dominent une pénéplaine dont le sommet des interfluves, souvent convexes et quelquefois rocheux, oscille entre 320 et 500 mètres d'altitude.

B. LE SITES DE L'ETUDE

Pour la réalisation de l'étude nous avons choisi deux toposéquences. La première, sur roche basique (dolérite), se trouve à six kilomètres environ à l'ouest de la Sous-Préfecture de Koonan, entre les villages de Soula et de Wéna ; la seconde, sur roche acide (granite), coupe l'axe routier Touba-Séguéla, à 150 mètres à l'Ouest de la sortie du village de Toha.

Sur chacune des deux toposéquences, une prospection détaillée a permis de délimiter, sous végétation naturelle, des parcelles morphologiquement homogènes.

1. Toposéquence de Soula

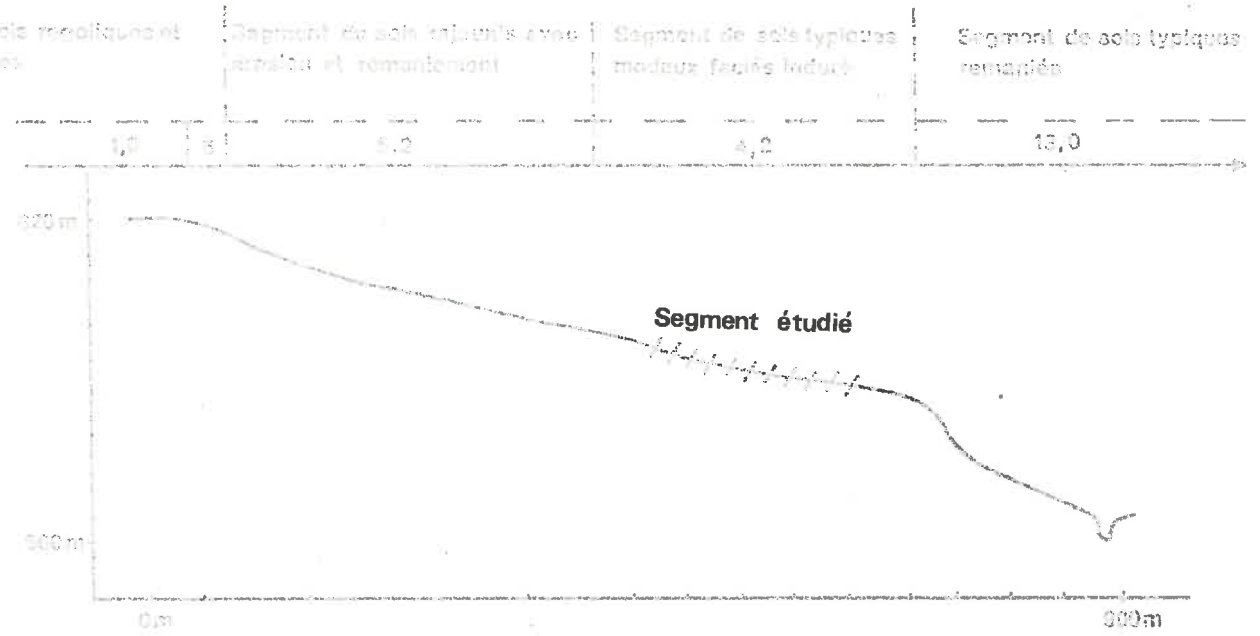
La toposéquence de Soula se rattache au paysage morpho-pédologique que BEAUDOU et SAYOL ont, dans leurs travaux cartographiques de Korhogo et de Boundiali (1979) dénommé "Paysage de croupes subaplanies convexes-concaves avec affleurements de roches mélanocrates" (paysage n° 9).

Son sommet, légèrement convexe, est faiblement surélevé par des affleurements de blocs de dolérites. Il passe progressivement à un versant dont le profil essentiellement rectiligne, est marqué dans sa partie amont par la présence de cuirasse. Une légère rupture de pente qui marque la limite des affleurements cuirassés annonce la partie inférieure du versant. L'aval de celle-ci est fortement incisé par un marigot dont le lit, en forme de V, est très encaissé.

Légende du schéma

FIG. 8 : Toposéquence de Couta

- Faciès humifère
- Faciès sablo-limoneux
- Horizon peu graveleux (<15 %)
- Horizon gravillonnaire (15 - 30 %)
- Horizon gravillonnaire (30 - 45 %)
- Cuirasse
- Latérite
- Colluvions
- Transition distincte (3 à 5 cm)
- Transition graduelle (5 à 15 cm)



Profil 1 Sols ferrugineux et sols lithiques sur cuirasse indurée

Sols peu évolués d'érosion

Profil 2 Sols gravillonnaires sur cuirasse et cuirasse démantelée

Sols ferrugineux remaniés avec érosion et remaniement

Profil 3 Sols rouges profonds sur cuirasse

Profil 4 Sols rouges profonds sur gravillons

Les pentes varient sensiblement de l'amont vers l'aval (de 15 à 4%). La dénivelée entre le sommet de l'interfluve et l'axe du drainage est de 60 mètres.

Quatre unités morpho-pédologiques (BEAUDOU et SAYOL, 1979) ont été déterminées sur la toposéquence. Elles correspondent successivement au sommet, aux parties supérieure , puis inférieure du versant et à l'incision (fig. 8). Chacune d'elles définit un segment pédologique caractérisé par un type particulier de processus pédogénétique : remaniement, induration, altération, pédoplasmation, rajeunissement...

Pour notre étude nous avons retenu l'unité morpho-pédologique de la partie inférieure du versant, composée d'un segment de sols typiques modaux à faciès induré . Le choix de cette unité a été déterminé par son homogénéité et sa représentation dans la région naturelle.

La végétation de latoposéquence est une savane arborée très dégradée par les feux de brousse annuels. La strate herbacée se compose essentiellement de graminées : *Andropogon gayanus* et surtout *Panicum* sp. (graminées déterminées par le laboratoire de Botanique du Centre d'Adiopodoumé) associées à quelques plantes stolonifères (*Aframomum citratus*).

Sur le segment retenu, nous avons observé avec détail cette strate herbeuse. Elle est formée de graminées à touffes isolées mais larges à la base (structure basicloïde : RICHARD, 1979). La densité et la répartition de cette couverture herbacée ont été relevées dans trois petites parcelles carrées de quatre mètres de côté.

Les observations faites sur celles-ci au cours de diverses périodes sont consignées dans le tableau ci-dessous (2).

On note sur ce segment pédologique, que le nombre de touffes de graminées ne change pas au cours de l'année. Ceci s'explique par le fait que :

- les jeunes touffes proviennent de la reprise d'anciennes souches des tiges brûlées,
- aucune nouvelle pousse ne s'observe dans les espaces que laissent entre elles les précédentes.

Tableau 2 : Observation de la strate herbacée du segment pédologique retenu à Soula.

Parcelle N°	Période de l'année	Végétation herbacée	Hauteur moyenne (cm)	Nombre de touffes	Ø moyen d'une touffe (cm)	Distance moyenne entre 2 touffes	Observations
1	avril-mai 1979	*Panicum* sp. et quelques *Aframomum citratus*	45	198	11,5	20	Les touffes sont de reprises de souches brûlées, déchaussée à la base
	juillet 1979	*Panicum* sp., *Aframomum citratus* et de rares jeunes plantules entre les touffes	150	198	14	16	Les souches ont tot lement repris. Les tiges sont hautes e enchevêtrées. Sol protégé à 100%.
	octobre 1979	Les même qu'en juillet mais en voie d'assèchement	160	198	14	16	Les tiges sont plus ou moins inclinées ou couchées. En-des sous d'elles les espaces entre les touffes sont sans herbes.
2	janvier-février 1980	Très jeunes pousses de graminées	12	288	11	16	Sol nu, couvert de débris végétaux inc nérés. les vieilles souches commencent reprendre
	avril-mai 1980	*Panicum* sp.	45	288	13	15	Les touffes sont de reprises de vieille souches déchaussées à la base. Les espa ces inter-touffes se nus.
3	février 1981	Très jeunes pousses de graminées	11	195	13	18	Les vieilles souch sont déchaussées à base. Sol nu.
	juillet 1981	*Panicum* sp., *Andropogon gayanus*, trois plantes stolonifères	180	195	16	15	Quelques touffes de pousses de graminé Sol nu, couvert p Les tiges [illegible]

Ainsi le nombre de touffes reste constant alors que le diamètre de leur base évolue et par conséquent leur taux de recouvrement du sol. En effet, le diamètre des touffes de graminées augmente au fur et à mesure que la reprise s'amplifie après le retour de la saison des pluies. Il atteint les valeurs maximales en juillet, valeurs qui sont conservées jusqu'au passage du feu de brousse. Les distances entre les touffes diminuent avec l'émission et la croissance de nouvelles tiges sur les souches.

En juillet, la hauteur du couvert (végétal) graminéen devient supérieure à 150 cm. Les chaumes et les feuilles s'enchevêtrent et recouvrent le sol qui se trouve ainsi protégé de l'insolation et des phénomènes de battance.

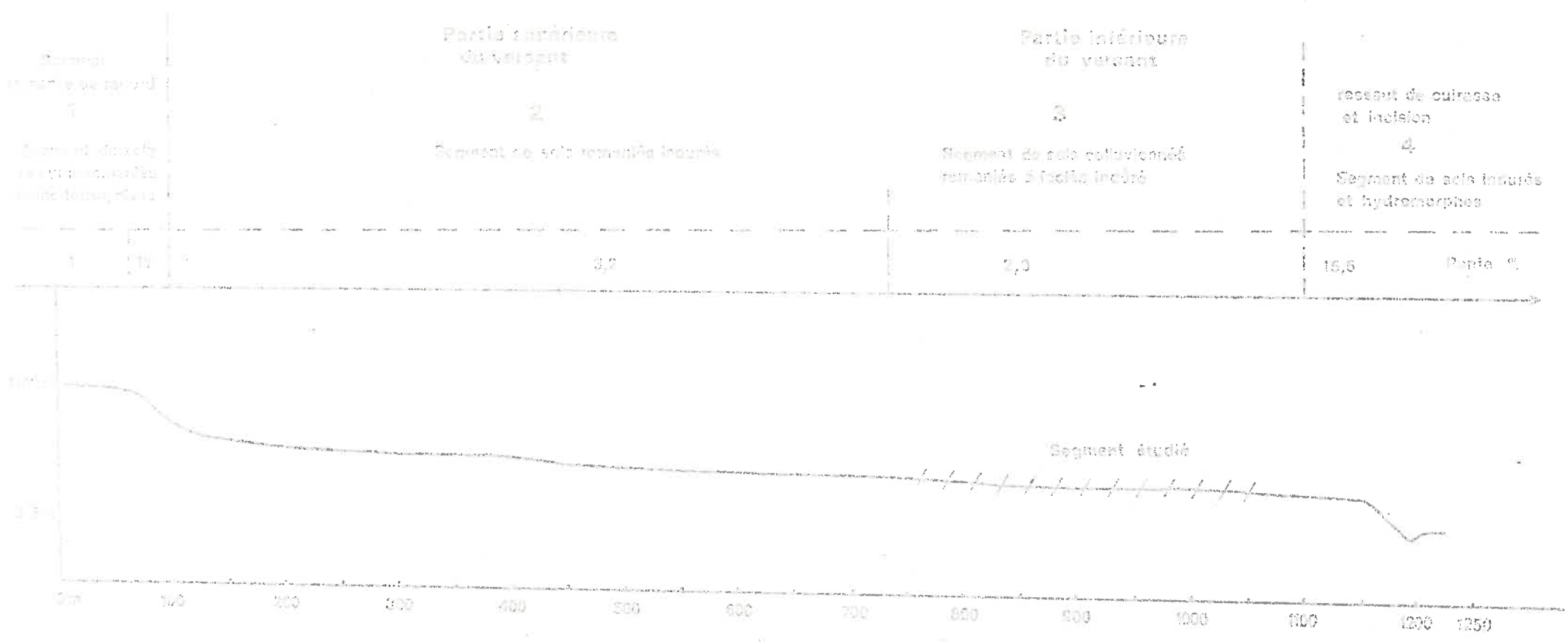
Sous la végétation herbacée, on observe à la surface du sol, de petits agrégats (3-5 mm) déliés qui sont en majorité constitués d'anciennes déjections de vers de terre. De couleur très variée (rouge : 2,5 YR 4/8 ; brun rougeâtre foncé 5 YR 3/4, etc...) certains rappellent les "noyaux" décrits par J.P. MULLER (1974). Ils sont très résistants, ne contiennent pas de radicelles et ne présentent pas de fissures. Après une pluie, nous avons observé que ces agrégats conservent leur taille mais se sont déplacés pour s'accumuler au pied des touffes ou à l'amont des obstacles. NOus n'avons cependant pas noté de dépôts superficiels d'éléments grossiers (sables, nodules...) et de croûte de battance à la surface du sol. On peut donc penser que les agrégats déliés protègent le niveau superficiel du sol de la battance, comme le font les éléments grossiers (ESCHENBRENNER, 1975 et VALENTIN, 1981).

Notons que la densité de turricules frais est passée de 13 en mai à 42/m2 en juillet 1979.

2. Toposéquence de Toha (T)

La toposéquence de Toha s'étend sur un versant caractérisé en sommet d'interfluve par la présence de plateaux ou de témoins cuirassés, particllement démantelés (paysage 2 de BEAUDOU et SAYOL, 1980). Des blocs de cuirasse associés à des débris de roche ferruginisée s'observent par plages à la surface de ce sommet. Celui-ci se raccorde au versant rectiligne par l'intermédiaire d'une courte section rectiligne puis concave, à forte déclivité (18%). La pente du versant proprement dit est douce et régulière si bien qu'ici, ne

Fig. 2 : Topoéquences de Tona



Profil 1 Sols rouges sableux et graveleux

Profil 2 Sols rouges très graveleux sur cuirasse

Profil 3 Sols rouges graveleux cuirasse démantelée

Profil 4 Sols humifères sur cuirasse

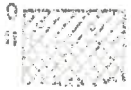


Tableau 3 : Observation de la strate herbacée du segment pédologique retenu à Toha.

Parcelle N°	Période de l'année	Végétation herbacée	Hauteur moyenne (cm)	Nombre de touffes	Ø moyen d'une touffe (cm)	Distance moyenne entre 2 touffes	Observations
1	avril-mai 1979	*Imperata*, *Andropogon africanus*	35	715	3	8	On compte 521 touffes d'*Andropogon* et 194 *d'Imperata*. Elles sont clairsemées et comportent au plus 3 tiges chacune.
	juillet 1979	*Imperata*, *Andropogon africanus*, jeunes plantules, herbes rampantes	150	773	7,5	4	Nouvelles touffes d'*Imperata* et d'*Andropogon* sont apparues. Elles sont serrées et hautes.
	octobre 1979	*Imperata*, *Andropogon africanus*	150	Tiges entremêlées : impossible de distinguer les touffes en-dessous	—	—	Sol protégé à 100%
2	janvier-février 1980	Très jeunes pousses	11	808	2	9	Sol couvert de débris végétaux incinérés
	avril-mai 1980	*Imperata*, *Andropogon africanus*	30	818	4	7	Les touffes d'*Imperata* sont plus nombreuses que celles d'*Andropogon* (212). Quelques tiges isolées
3	février 1981	Très jeunes pousses	8	728	2	3,5	Sol couvert de débris végétaux incinérés
	juillet 1981	*Andropogon africanus*, *Imperata*, *Dioscorea*, jeunes plantules	160	831	7	6	Les tiges d'*Andropogon* sont plus nombreuses que celles d'*Imperata*. L'ensemble protège très bien le sol.

s'individualise pas l'unité géomorphologique dite de bas de versant que l'on trouve généralement dans la région. Un ressaut cuirassé relie le versant au thalweg. La dénivelée entre le sommet de l'interfluve et le marigot est de 28 mètres.

Trois unités morpho-pédologiques ont été définies. Elles correspondent respectivement au sommet, au versant et à l'incision (cette dernière comprenant le ressaut cuirassé). Le nombre de segments pédologiques varie de un à deux dans chacune de celles-ci. Seul le segment de sols colluvionnés remaniés à faciès induré, a été retenu pour cette étude (profil n° 3 de la fig. 9).

La végétation, comme pour la séquence de Soula, est une savane arborée très dégradée. La strate herbacée est assez clairsemée à l'amont du versant. Elle devient dense vers l'aval. Elle est dominée par *Imperata sp.* et *Andropogon africanus* auxquels sont associées des herbes rampantes (*Dioscorea*) et des plantes stolonifères (*Aframomum citratus*).

Comme à Soula, nous avons observé et noté la répartition et la densité de la couverture herbacée sur trois parcelles carrées (4 m de côté) implantées sur le segment pédologique de sols colluvionnés remaniés à faciès induré (tableau 3).

Contrairement à ce que nous avons observé à Soula, le nombre de touffes ou de tiges de graminées à Toha augmente avec la saison des pluies. Les tiges sont dans la majorité séparées les unes des autres. Certaines sont groupées en touffes rétrécies à leur base. Celles-ci ne sont pas issues de vieilles souches comme à Soula.

En saison des pluies, les distances entre les touffes diminuent sensiblement avec la croissance de nouvelles tiges de graminées ; les espaces intertouffes portent de jeunes plantules et la hauteur des tiges, très variable, atteint sa valeur maximum.

Des turricules de vers de terre apparaissent à la surface du sol en avril et en mai. Ces déjections sont de teinte beaucoup plus sombre (10 YR 3/4) et beaucoup moins résistants à l'effet splash que dans le site d'étude de Soula. Le nombre de ces turricules augmente jusqu'en juillet pour atteindre 185/m2 contre 88/m2 en avril et en mai.

Au cours des observations d'avril et de mai, nous avons, d'autre part, noté la présence de dépôts superficiels de sables. Ceux-ci ont été rarement observés en juillet car la végétation protégeait assez bien le sol.

Cette étude assez détaillée de la couverture herbacée à la surface des sols des segments pédologiques retenus nous permettra de comprendre la distribution des racines (assimilatrices et conductrices) dans le sol au cours de l'année.

DEUXIÈME PARTIE

2ème PARTIE

II. MÉTHODOLOGIE

1 . GENERALITES

La caractérisation structurale est à la fois une étude de la morphologie des types d'associations des particules du sol, de l'organisation des constituants élémentaires et des propriétés physiques liées à la structure. Ainsi, pour cerner l'ensemble des problèmes qui concernent la caractérisation structurale, la méthodologie utilisée comporte une mise au point des termes de description de la structure, des manipulations de terrain (la quantification des racines, la séparation granulométrique des agrégats (BUITRI, 1968), un test de piétinement couplé à des roulages d'une camionnette vide) et des méthodes de laboratoire plus ou moins connues telles que le test de résistance des agrégats à l'impact de gouttes d'eau, le test de l'indice d'instabilité structurale (HENIN, 1938), les essais Proctor (FAURE, 1971 et YORO, 1976)) la détermination de l'argile masquée (PEDRO et *al.*, 1976), la mesure de la densité apparente des agrégats (MONNIER, STENGEL et FIES, 1973), la micromorphologie (FEDOROFF, 1979) et d'autres méthodes physiques ou chimiques plus courantes (extraction du fer total, granulométrie, mesure du pH, détermination de la capacité d'échange, des pF, de la matière organique...).

2. LES METHODES DE TERRAIN

Les méthodes de terrain que nous avons utilisées constituent l'approche fondamentale et la base de notre étude de caractérisation structurale. Elles sont au nombre de trois : la quantification des racines, la séparation granulométrique des agrégats et un test de piétinement. Ces méthodes nous ont permis d'apprécier *in situ* les types de structure, l'importance de la "matière organique libre" (JACQUIN, 1978) et des vides, la distribution dimensionnelle des éléments structuraux du sol et le comportement au tassement.

Mais avant d'exposer les observations et les expérimentations et leurs résultats, il nous a semblé important de rappeler la définition de la structure du sol et de préciser les termes utilisés pour la caractériser.

2.1. Définitions

a) La structure du sol

La structure du sol varie suivant l'arrangement des particules de terre (BOURGET, 1978 ; Glossaire de Pédologie, 1969). Elle est dite "monoparticulaire" si on a une simple juxtaposition des constituants tels qu'ils sont séparés par une analyse granulométrique (MONNIER, 1965).

Si les particules primaires et secondaires sont réunies entre elles par des ciments colloïdaux (mucus, argile, matière organique...) pour former des masses continues, la structure est appelée : "continue" (MONNIER, 1965).

Pour des raisons diverses (biologiques, climatiques...) une fragmentation des ensembles cimentés peut intervenir. La "structure est alors qualifiée de fragmentaire" (MONNIER, 1965). Notons que les agrégats de celle-ci peuvent avoir la forme "grumeleuse", mais la structure grumeleuse, elle-même, est une "structure construite" (JACQUIN, 1978), ne résultant pas de la fragmentation d'une masse cimentée continue.

Le Glossaire de pédologie (1969) explicite ces trois types de structure :

- la structure particulaire : "résulte de l'absence totale de cohésion entre les particules élémentaires constituant le matériau, les éléments du squelette n'étant pas associés entre eux". Il n'y a donc pas d'agglomérats terreux dans un horizon à structure particulaire ;

- la structure massive : "correspond à un assemblage continu et cohérent sans faces de dissociation marquée ; la fragmentation ne peut être obtenue qu'artificiellement". Les éléments structuraux d'un horizon à structure massive ne peuvent pas être décrits *in situ* sur le profil car ils ne sont pas individualisés ;

- la structure fragmentaire : "est caractérisée par l'arrangement des particules élémentaires en agrégats de formes et de dimensions très variables". Dans un horizon à pareille structure, les éléments structuraux sont individualisés et discernables *in situ*.

Suivant la "planéité des faces", l'émoussé des arêtes et l'orientation préférentielle de dissociation des agrégats ou des éclats, les deux derniers types de structure se subdivisent en des sous-structures. On distingue :

- dans la structure massive :
  - . la structure massive à éclats anguleux,
  - . la structure massive à éclats émoussés ;

- dans la strcuture fragmentaire :

. la structure cubique : les faces des agrégats sont planes et orthogonales ; les arêtes sont anguleuses sans dimensions privilégiées. Ce type de structure rare, voire même inexistant dans les sols ferrallitiques, s'observe dans certains sols bruns eutrophes développés sur des massifs de roches basiques de Côte d'Ivoire (LEVEQUE, 1979).;

. la structure polyédrique : l'agrégat présente des faces nombreuses (réduites au nombre de quatre dans les horizons fortement gravillonnaires) et planes avec des arêtes anguleuses et généralement sans orientation préférentielle. On observe, dans les sols du Nord de la Côte d'Ivoire, peu d'agrégats réellement polyédriques. Par contre les "éclats" polyédriques sont fréquents dans les horizons B2 des sols ferrallitiques et dans les matériaux argileux hydromorphes des bas-fonds ;

. la structure polyédrique subanguleuse : "les faces planes ne sont pas très bien marquées, les arêtes sont émoussées". Ce type de structure est assez fréquent ;

. la structure prismatique : les faces des agrégats sont planes ; les arêtes sont anguleuses ; l'orientation préférentielle est verticale. Cette structure se développe dans les sols de bas-fonds à caractère vertique et c'est en saison sèche qu'elle est la plus nette ;

. la structure grumeleuse : l'agrégat présente un ensemble complexe de faces courbes dominantes et de faces planes à surface irrégulière, mamelonnée, sans orientation préférentielle. Elle est très fréquente dans les horizons superficiels humifères ;

. la structure grenue : "les faces sont courbes ; il n'y a pas d'arêtes, ni d'orientation préférentielle" Les agrégats grenus s'observent aussi quelquefois dans les horizons de surface.

Cette nomenclature s'applique sans ambiguité aux sols des pays tempérés qui ont des structures fréquemment franches, nettes (BOULAINE, 1976). Par contre dans les pays tropicaux, la désignation d'un type de structure, surtout fragmentaire, crée une confusion dans l'esprit car on confond la structure observée sur la coupe de sol en place et celle qui est déterminée sur un échantillon de terre, c'est à dire d'après la manière avec laquelle le sol se débite.

Il en découle que la structure doit d'abord être définie sur le sol en place, ensuite sur de la terre prélevée, ceci pour apporter plus de précision à la description des éléments structuraux Or, au cours des prospections pédologiques, pour que la structure se révèle plus nettement, on la détermine sur des échantillons prélevés au piochon. La qualification de "fragmentaire" que l'on attribue alors dans certains cas aux structures obtenues n'apparaissent préalablement ni individualisées ni discernables sur le profil.

Il est, de fait, rare de trouver dans les sols tropicaux des horizons à structure fragmentaire nette. Celle-ci est plus ou moins exprimée et est associée à la structure massive. C'est donc pour appréhender la réalité que nous avons utilisé, en fondant sur la démarche typologique de CHATELIN (1976), une combinatoire des précédents termes si bien que dans la plupart des cas, deux qualificatifs seront employés pour désigner la structure. Le premier indique la structure générale, dominante de l'horizon. Le second désigne le type de structure moins apparent et/ou la sous-structure, c'est-à-dire le mode d'agencement observable sur l'échantillon remanié.

Les types structuraux définis ci-dessous sont donc des compléments à ceux du Glossaire de pédologie (1969).

- Structure fragmentaire-massive : les agrégats en majorité individualisés, discernables sur l'horizon, sont associés à des masses continues. Cette structure peut être aussi considérée comme un intergrade entre les deux types (fragmentaire et massive). Elle est fréquemment observée dans les 10 centimètres supérieurs des profils des sols tropicaux.

- Structure massive-fragmentaire : structure apparemment continue sur l'horizon, aucun agrégat n'est discernable *in situ* ; mais un échantillon disloqué révèle la présence d'agrégats individualisés, aux contours nets (cas des horizons B gravillonnaires).

- structure massive meuble : les éclats se détachent aisément les uns des autres ; leur taille est assez variable (exemple A_3 humides des sols ferrallitiques).

- Structure massive cohésive : les éclats se détachent difficilement. Leur taille est très variable et à tendance très grossière (10 à 30 mm).

b) Les éléments structuraux

On peut constater dans le paragraphe précédent, l'usage fréquent des mots : agrégats, éclats ou débits, éléments structuraux. Chacun d'eux désigne un ensemble de constituants du sol suivant l'origine d'individualisation qui peut être naturelle ou provoquée. C'est ainsi que l'on distingue les ensembles suivants :

- L'agrégat est une agglomération de particules de sol à l'état naturel et dans laquelle les forces qui retiennent ces particules sont beaucoup plus intenses que celles qui existent entre les agrégats adjacents (MARTIN et *al.*, 1955). Cette définition complète celle du Glossaire de pédologie (1969) qui considère l'agrégat comme une unité naturelle tridimensionnelle résultant d'un assemblage cohérent et défini de particules élémentaires. Un agrégat a donc sa forme propre, sa taille définie et ses contours délimités. A ce titre on ne peut l'observer *in situ* que dans les horizons à structure fragmentaire ou grumeleuse.
- L'éclat est un ensemble de particules primaires et secondaires provenant d'une masse continue de sol brisée ou cassée sous l'effet des manipulations. Il se distingue de l'agrégat par sa forme, sa taille et ses limites non apparentes sur l'horizon.
- Les éléments structuraux sont les différents ensembles de particules séparés les uns des autres par des lignes ou des faces de moindre résistance et existant à un moment donné dans le sol (TR 1968). On peut encore les désigner comme des ensembles de constituants élémentaires résultant soit de l'action du climat (dessiccation et humectation) et/ou d'activités biologiques (racines, faunes, microfaunes...) soit d'interventions humaines. Ils comprennent donc les agrégats et les éclats.

c) La taille des éléments structuraux

En attendant d'aborder dans un prochain chapitre le problème de la distribution dimensionnelle des éléments structuraux, notons que la taille des agrégats varie suivant le type de structure comme l'indique le tableau ci-dessous (Glossaire de pédologie, 1969).

Tableau 4 : Taille des agrégats suivant la structure

Classe de particules ou de structure	Structure grenue ou grumeleuse	Structure cubique ou polyédrique	Structure prismatique
Très fine	<1 mm	<5 mm	<10 mm
Fine	1 à 2 mm	5 à 10 mm	10 à 20 mm
Moyenne	2 à 5 mm	10 à 20 mm	20 à 50 mm
Grossière	5 à 10 mm	20 à 50 mm	50 à 100 mm
Très grossière	>10 mm	>50 mm	>100 mm

On constate dans ce tableau que la dimension de l'agrégat peut varier de moins de 1 mm à plus de 100 mm. Or, des agrégats peuvent s'associer les uns aux autres pour donner naissance à des agglomérats et à des mottes qui sont de taille de plus en plus importante (HENIN, 1976). Les mottes ont une taille comprise entre 5 et 10 cm (HENIN, 1976). Cet ordre de dimension est atteint par un agrégat prismatique grossier. Par contre, l'association d'une dizaine d'agrégats grumeleux très fins n'aboutirait pas à un volume de taille supérieure à 10 mm.

On réalise ainsi la confusion qui existe dans l'appellation d'agrégats, d'agglomérats et de mottes car ces ensembles qui, tous constituent des éléments structuraux du sol ne sont pas clairement définis. Pour les distinguer, nous proposons la classification d'ATTERBERG où les limites des classes sont déterminées selon une progression géométrique à base 10.

microagrégat	agrégat	agglomérat	motte
0,1 à 1 mm	1 à 10 mm	10 à 100 mm	>100 mm

Dans un même horizon on peut observer ces différents éléments structuraux mais, selon la distribution des mottes ou des agrégats en fonction de leur taille, on aura soit une macrostructur soit une microstructure (HENIN, 1976). Dans le cadre de notre étude nous nous intéresserons seulement à la macrostructure qui résulte de l'association des particules visibles à l'oeil nu sur le terrain (HENIN, 1976).

Pour la description des horizons, les termes : agrégats et éclats seront employés selon leur sens donné plus haut. Nous utiliserons toutefois le mot "agrégat" au sens large d'ensemble structural dans les tests physico-chimiques tel que celui de l'inst bilité structurale (HENIN, 1938).

2.2. Méthode de quantification des racines

Les travaux de nombreux auteurs, entre autres : HENIN (1944 MARTIN (1946) ; COMBEAU (1964) ; MONNIER (1965) ; JACQUIN (1978), ont permis de rendre compte de l'influence de la matière organique sur la structure du sol. Cette matière organique exerce son effet par deux mécanismes d'agrégation : mécanismes physiques et mécanismes biochimiques (JACQUIN, 1978).

Nous nous intéresserons en priorité aux mécanismes physique et surtout à l'action des racines.

Le système racinaire des plantes intervient directement par "effet de fissuration" ou par formation d'un filet ou enrobage avec "effet granulaire" (JACQUIN, 1978). MARTEL et DESCHENES (1976) attribuent aussi les effets bénéfiques d'une prairie prolongée sur la structure du sol à "l'activité grandissante des racines qui croît avec l'âge". TRI (1973) a montré que les racines du ray-gras non seulement améliorent la porosité du sol mais aussi réduisent la proportion des agrégats très grossiers, supérieurs à 10 mm. L'enracinement de la végétation joue, en général, un rôle dans l'appréciation de visu des propriétés physico-chimiques du sol. Il renseigne sur la profondeur utile et sur l'ameublissement.

Son appréciation à la vue des coupes de sol est très fréquemment qualitative et donc subjective. Certains auteurs (GRAS, 1961 ; HUGUET, 1973 ; BONZON et PICARD, 1969...) ont essayé d'échapper à cette subjectivité en mettant au point des techniques diverses. Nous rappelerons seulement celle de NEWMAN (1966) qui permet de mesurer la longueur L des racines. La technique consiste à étaler sur une surface transparente quadrillée, les racines extraites d'un volume connu de terre. L'opérateur relève le nombre N d'intersection des racines avec le quadrillage. On détermine une grandeur I égale au produit C (nombre d'opérations de comptage effectuées pour l'échantillon total) par D, longueur réelle des lignes tracées sur la surface repère quadrillée

$$I = C.D$$

La longueur totale des racines se définit par $L = \frac{\pi N S}{2 I}$

où S est la surface de la plaque d'observation.

De L on peut tirer la longueur spécifique L_S c'est-à-dire la longueur des racines par unité de poids : $L_S = \frac{L}{P_t}$ où P_t est le poids de l'échantillon de terre. La connaissqnce de L_S et de la densité apparente Δa du matériau permet de calculer la longueur volumique L_V c'est-à-dire la longueur de racines par unité de volume de sol en place.

$$L_V = \frac{L_S . Pr . \Delta a}{P_t}$$ où Pr est le poids de racines.

TRI (1968) a obtenu de bons résultats avec cette méthode dont la mise en oeuvre est malheureusement laborieuse (HENIN, 1977).

Dans le cas de notre étude nous avons quantifié les racines par la méthode pondérale (MAERTENS et *al.*, 1974) qui consiste à prélever sur les parois d'une fosse un volume déterminé de sol. L'échantillon est tamisé dans l'eau et toutes les racines sont recueillies triées, séchées à 60°C et pesées. On obtient ainsi le poids de racines par unité de volume de terre.

Pour ce qui nous concerne, nous avons prélevé sur chaque horizon décrit trois monolithes de 1 dm3 chacun. Les racines recueillies sont réparties en deux classes suivant leur diamètre (diamètre supérieur à 1 mm et diamètre inférieur à 1 mm). Le choix de 1 mm comme limite a été guidé par les observations de terrain. En effet, nous avons constaté parmi les racines décrites, que celles des

graminées avaient un diamètre excédant rarement 1 mm et se distinguaient des autres (ayant un diamètre supérieur à 1 mm) par leur distribution plus ou moins régulière dans l'horizon. C'est donc pour préciser et situer le rôle des racines (suivant leur grosseur et leur nombre exprimé ici en poids par unité de volume) sur le développement des types de structures observées que nous avons seulement pris en compte ces deux classes. La limite de 1 mm permettra ainsi de distinguer l'action de chaque système racinaire (des graminées, d'une part, et des autres plantes, d'autre part) sur la fragmentation ou la fissuration du sol.

2.3. Séparation granulométrique des éléments structuraux

a) Généralités

Dans la littérature pédologique, la description de la structure des sols n'est effectuée généralement que d'une façon qualitative. Cet état de fait s'explique par l'absence de techniques précises de quantification (BOURGET, 1978) ou par la difficulté de leur utilisation comme par exemple pour celle que TRI (1968) a mise au point pour l'étude de la granulation des sols sous prairies. Cependant FIES (1978) qui, avec TRI (1968), se situent parmi les rares auteurs qui ont dépassé le stade de la description qualitativ a réalisé des travaux qui montrent que "les propriétés physiques de sols dépendent étroitement de la distribution dimensionnelle des particules qui les constituent". Et nous ajoutons que la taille des éléments de la structure varie selon le type de celle-ci (Glossaire de pédologie, 1969) et selon les saisons (de LEENHEER, 1958).

Il est donc permis de penser que l'évaluation quantitativ des éléments structuraux à un moment donné, venant en complément de observations classiques de terrain, fournit une contribution déterminante à la caractérisation de la structure des sols. C'est pourquoi nous avons adopté tout en la simplifiant, la méthode d'évaluation de la taille des éléments structuraux que MONNIER et TRI ont exposée en 1971.

b) Le principe de la méthode

Le principe de la méthode, établi par TRI (1968) fut utilisée successivement par MONNIER (1971) et FIES (1978). Il consiste

à séparer dans une colonne de tamis d'ouverture de maille décroissante de haut en bas (appareil de FEDOROFF) des agrégats séchés à l'air, débarassés des racines et préalablement humectés d'alcool éthylique. La colonne comporte six tamis de 10 cm de diamètre avec des ouvertures de maille suivantes : 10, 5, 3, 2, 1 et 0,5 mm. Le tamisage lui-même est "réalisé dans un bain d'alcool éthylique dont le niveau est fixé de telle sorte que le liquide affleure la toile du tamis supérieur au point mort haut du mouvement" (MONNIER et TRI, 1971).

A la fin de l'opération de tamisage, les agrégats retenus par chacun des tamis constituent des classes dimensionnelles évaluées en pour cent du poids de la prise d'essai.

Dans le cadre de la présente étude, le tamisage des échantillons a été effectué sur le terrain et "à sec" c'est-à-dire sans bain d'alcool. L'objectif était en effet, de mettre au point un outil de terrain destiné à compléter sur place les informations du pédologue en ce qui concerne la description des états structuraux. Il était également d'ordre pratique et économique, le tamisage s'effectuant sans alcool au fur et à mesure du prélèvement des échantillons. Le matériel utilisé se limite donc aux tamis, à une balance de ménage, une paire de petits ciseaux (pour couper les racines auxquelles les ensembles structuraux sont liés) et à un piochon.

Il était, par ailleurs, nécessaire d'estimer la sensibilité à l'émiettement selon l'humidité du sol. Le recours à cette méthode simplifiée s'explique enfin par la différence qui existe entre la structure des sols tempérés et celle des sols tropicaux. En effet, la méthode TRI convient aux horizons superficiels (0-12 cm) à structure grumeleuse nette dans lesquels les agrégats "perceptibles à l'oeil nu, appartiennent à une gamme de taille assez étroite" (MONNIER et TRI, 1971). Or dans les sols ferrallitiques que sont ceux du Nord de la Côte d'Ivoire, la structure fragmentaire grumeleuse, même dans les horizons de surface, est souvent très peu affirmée et par conséquent les éléments structuraux sont peu individualisés. Dans ce cas, le tamisage dans l'alcool, liquide stabilisateur (HENIN, 1969), donne pour les classes d'éléments structuraux inférieurs à 10 mm des taux faibles.

Cette méthode simplifiée, pratiquée sur le terrain est applicable à tous les sols, sauf, aux horizons indurés, organiques ou noyés, les éléments structuraux étant respectivement, fortement soudés entre eux ou inexistants ou présentant un état plastique à liquide.

Enfin, sur les échantillons des horizons fortement gravillonnaires (plus de 30% d'éléments grossiers) la séparation granulométrique des éléments structuraux reste possible mais en tenant compte du calcul de correction suivant :

$$Es = \frac{Z - Y}{X} \times 100$$

où Es est le taux des éléments structuraux d'une classe granulométrique donnée,

Z le poids de l'ensemble des éléments structuraux et des éléments grossiers de la même classe,

Y le poids des éléments grossiers de cette même classe,

X le poids total de l'échantillon soumis au tamisage.

c) Mode opératoire de la méthode simplifiée

Pour le traitement des échantillons, sur le terrain, nous avons utilisé cinq tamis de 20 cm de diamètre avec des ouvertures respectives de 10, 5, 3,15, 2 et 1 mm. Le choix de ces ouvertures de maille a été guidé, d'abord, par les travaux des auteurs auxque nous venons de nous référer et ensuite par le fait que ces tamis étaient les seuls dont nous pouvions disposer. La limite inférieure (1 mm) a été retenue pour deux raisons. La première est que, en saison sèche, certains sols du Nord de la Côte d'Ivoire présentent une structure fragmentaire très fine à tendance farineuse (MONGINE, 1979). Le tamis de 1 mm d'ouverture permet donc d'estimer quantitativement ces éléments structuraux très fins (Glossaire de pédologie, 1969). La deuxième raison est que les ouvertures de maille inférieure à 1 mm se colmatent rapidement (TRI, 1968), surtout quand l'échantillon est plus ou moins humide. La distinction d'une classe granulométrique inférieure à cette dimension serait donc aléatoire et le résultat nous ramènerait à celui de la limite inférieure de 1 mm.

Quant au choix de la limite supérieure (10 mm), il se justifie, en premier lieu, par le fait que, dans les sols étudiés, la taille de gros agrégats qui constituent les structures fragmentaires oscille autour de 10 mm, et, en second lieu, par référence à MONNIER (1971) pour qui "cette taille est une donnée suffisante lorsqu'on se borne à rechercher une discrimination entre deux types de structure".

Le traitement d'une prise d'essai s'effectue suivant le mode opératoire ci-dessous :

- On place en contre-bas de l'horizon à prélever, un bocal à ouverture large.
- On recueille directement dans ce bocal les particules de terre arrachées en exerçant une force verticale (de haut en bas) au sommet de l'horizon, ceci en ne donnant aucune préférence à telle ou telle taille d'éléments structuraux. Il faut veiller à prélever les échantillons de la même manière avec la même attention.
- On pèse l'ensemble bocal et terre (humide) et l'on verse le contenu avec précaution au sommet de la colonne des cinq tamis placés l'un sur l'autre. La quantité d'une prise varie entre 600 et 1000 g selon l'état du sol.
- On agite jusqu'à ce que chaque tamis ne contienne que des éléments structuraux de taille supérieure à son ouverture de maille. La durée et la vitesse de tamisage ayant une certaine influence sur la distribution dimensionnelle obtenue (MONNIER et TRI, 1971), il faut agiter le plus régulièrement possible et arrêter l'opération dès que les éléments structuraux du tamis supérieur ne peuvent plus passer au travers de la maille.
- On retire alors le tamis supérieur pour recueillir son contenu et le peser immédiatement.
- On reprend l'agitation au fur et à mesure que l'on enlève les tamis (de haut en bas) car l'expérience montre que lorsque le tamisage est terminé dans le tamis supérieur, il ne l'est pas dans celui qui est placé directement en-dessous.
- On calcule la proportion de chaque classe d'éléments structuraux recueillis.
- On répète au moins cinq fois la manipulation pour chaque horizon d'un même profil.

Pour le traitement de la prise, il faut considérer les deux cas particuliers suivants :

- Cas des horizons riches en racines assimilatrices. Il arrive, en effet, que des agrégats apparemment individualisés soient reliés entre eux par des radicelles qui les empêchent de passer à travel la maille du tamis ; il faut alors couper celles-ci, à l'aide d'u paire de petits ciseaux sans modifier les dimensions des agrégat:
- Cas des éléments structuraux très grossiers (taille supérieure à 10 mm). Pour éviter d'influencer la distribution dimensionnelle lors du tamisage, les éléments structuraux très grossiers, globu- leux, ne présentant aucun signe extérieur de division (fissurati sont directement retirés du tamis supérieur et pesés.

d) Nature des éléments structuraux traités

Dans le mode opératoire précédent, trois forces intervie nent : deux (verticale et horizontale) au niveau du prélèvement et une (horizontale) au niveau du tamisage. Ces trois forces peuvent créer, en proportion variable, de nouveaux éléments structuraux de taille réduite. En effet, lors du prélèvement, le coup de piochon appliqué de haut en bas au sommet de l'horizon donne naissance à des contraintes verticales et horizontales. Celles-ci, dans un hor zon à structure fragmentaire ne font que parachever l'individualis tion naturelle des agrégats. Par contre, dans un horizon à structu massive, où il n'existe pas d'agrégats, ces contraintes provoquent l'émiettement ou la fragmentation des mottes dont les éclats const tuent les éléments structuraux.

La force horizontale résultant de l'agitation des tamis, crée en fait, quant à elle, très peu de nouveaux éléments structu- raux.

Nous réalisons donc que les ensembles structuraux recuei lis sont de deux origines. Les uns, agrégats, résultent de l'indi- vidualisation naturelle par le jeu des alternances de dessication et d'humectation (HENIN, 1969), de l'action des facteurs biologiqu (matière organique humifiée, racines, faune hypogée) et de l'influ ence de la texture (argile); le tamisage dans ce cas ne fait qu'ac ver leur séparation en les répartissant en classes dimensionnelles

Les autres éléments structuraux proviennent de l'émiettement et de la fragmentation des mottes sous l'effet des contraintes dues à la manipulation. Ce sont des éclats ou débits ou agrégats artificiels plus ou moins émoussés selon les saisons et généralement recouverts de microagrégats.

e) Validité de la méthode simplifiée

L'intensité des différentes forces exercées sur les échantillons au cours de leur prélèvement et de leur tamisage, ne peut pas être précisée. Et cela peut laisser planer quelque doute quant aux données finalement obtenues. On ne doit, par ailleurs, pas perdre de vue que l'énergie nécessaire pour effectuer un prélèvement dépend du type de structure et de la consistance. Elle dépend aussi grandement de l'humidité. En effet, la force nécessaire pour la pénétration d'un outil à une profondeur donnée et sur une surface unitaire "peut être multipliée par 100 lors du passage de l'humidité à la capacité au champ à celle de la saison sèche"(VALENTIN, 1981). La force à exercer peut, en outre, varier d'un point à un autre du profil, et principalement entre les divers horizons, en fonction du mode d'assemblage des éléments constitutifs et du type de vides (vides d'entassement libre, vides d'entassement compact, FEDOROFF, 1979).

En modulant les coups de piochon selon l'état du sol, on peut supposer que l'émiettement et la fragmentation induits dans chaque cas constituent un facteur de variation très inférieure et même négligeable par rapport à l'hétérogénéité du milieu étudié. On retiendra d'autre part que pour chaque campagne d'étude sur le terrain, les prélèvements ont été effectués sur chaque horizon, en cinq répétitions. Enfin, les diverses manipulations sont réalisées selon une méthode standard et avec les mêmes soins. Dans ces conditions les résultats obtenus varient essentiellement en fonction des caractères intrinsèques des horizons et peuvent donc être soumis à une étude comparative. Ils permettent, en définitive, de préciser les deux principaux états structuraux des sols ferrallitiques, massif et fragmentaire, que l'observateur révèle sur le terrain. Ils permettent, en particulier, de saisir le rôle de l'humidité sur la granulation et sur l'émiettement des mottes.

Enfin l'étude micromorphologique, axée essentiellement sur la distribution des fissures et des vides, permettra d'étayer l'interprétation de certaines des données obtenues.

2.4. Le test du piétinement

a) Objectif et présentation de la méthode

Les contraintes liées aux interventions culturales aboutissent fréquemment à modifier l'assemblage des constituants de certains matériaux pédologiques (STENGEL, 1976). C'est ainsi que les déformations subies par la surface des sols, peuvent aller de la simple trace à l'ornière caractérisée (FAURE, 1976). Pour ce qui concerne plus particulièrement les sols de la Côte d'Ivoire, De BLI (1975) a noté la "susceptibilité marquée" de ceux de la région Centre, au tassement sous l'effet de la mécanisation.

Les modifications provoquées par ces contraintes ont pour résultats, dans de nombreux cas, l'augmentation de l'instabilité structurale telle que le test de HENIN (1938) permet de l'estimer, et une diminution de la perméabilité à l'eau et aux échanges gazeux

Certains effets de ces contraintes mécaniques peuvent être étudiés en laboratoire grâce à l'appareil Proctor. Le principe de son utilisation consiste à imprimer à un échantillon de sol, des tassements en fonction des teneurs en eau croissantes. Le matériau étudié est amené, ainsi, à une densité apparente dite "densité maximale Proctor" pour une humidité spécifique désignée "eau optimum Proctor" (FAURE, 1971 ; REMY, 1971). Les contraintes exercées dans cette manipulation provoquent la destruction des agrégats et une diminution importante de la porosité au fur et à mesure que l'humidité augmente (YORO, 1976 ; GRIMALDI, 1981). Le matériau acquiert alors une structure massive par coalescence des agrégats (GRIMALDI 1981). Ces modifications déterminées en laboratoire sont proches de celles qu'on observe sous la culture mécanisée ou motorisée.

Mais on ne peut pas écarter la possibilité, en agriculture traditionnelle, d'une déstructuration par les passages répétés des paysans. C'est ainsi que le test de piétinement, approche plus nat

relle des effets de passages fréquents des agriculteurs dans leurs champs, a été retenu pour situer la responsabilité propre de l'homme en dehors de l'utilisation de ses outils de travail, et, caractériser les modifications structurales des sols soumis à de faibles contraintes répétées.

Le principe du test de piétinément consiste à faire marcher d'un pas régulier et un nombre bien défini de répétitions (100, 200, 300, 400), une personne sur des parcelles dont les contours sont matérialisés par des ficelles tendues entre des repères naturels. Ceux-ci permettent de reconnaître, au cours des phases successives de l'étude, les endroits déjà soumis au piétinement. A la fin de l'opération, on note les modifications de la surface du sol et on détermine les densités apparentes des horizons superficiels. Sur certaines parcelles on creuse des fosses pour effectuer d'autres mesures de densité apparente en profondeur.

Les dimensions des parcelles peuvent être variables mais ceci n'affecte pas le résultat final si le nombre prévu de passages du piéton est respecté et si ses pas sont réguliers.

b) Estimation de la pression exercée

Il est tentant de quantifier la contrainte subie par les parcelles en ayant recours à la formule suivante de la pression exercée :

$$\frac{\text{Poids du marcheur} \times \text{nombre de pas par répétition} \times \text{nombre de répétitions}}{\text{Surface du pied}}$$

Mais la parcelle n'est pas uniformément piétinée et d'autre part, le poids du marcheur se répartit d'une façon inégale à l'endroit de l'empreinte du pied (ou de la chaussure). Sur ce second point on peut, en effet, préciser que la pression s'exerce plus fortement surla surface du talon et à l'extrémité du pied.

C'est ainsi que pour resituer les données obtenues par le test du piétinement dans des ordres de grandeurs mieux quantifiables, cette méthode a été couplée, lors des deux dernières campagnes de mesures de février et juillet 1981, avec le roulage (FAURE et STENGEL 1978) d'un véhicule motorisé de 1300 kg de poids total, y compris

celui du chauffeur. La vitesse maximum adoptée a été de 10 km/h afi de limiter l'effet de l'énergie cinétique sur les irrégularités en relief du terrain. Elle a été par ailleurs constante sur l'ensemble des parcelles soumises à l'expérimentation. Le nombre de passages du véhicule sur chacune des parcelles a été de deux ou quatre. En supposant que le poids du véhicule est réparti uniformément de part et d'autre de l'axe longitudinal, que les forces de frottement et de résistance de la part du sol sont négligeables et que la surface de contact de chacune des quatre roues soit une constante tout au cours de l'expérimentation, la contrainte exercée sur le sol peut s'énoncer de la manière suivante :

$$\text{Contrainte exercée} = \frac{\text{Poids du véhicule : 4 x nombre de passages d'une roue}}{\text{Surface de contact d'une roue avec le sol}}$$

où 4 est le nombre de roues du véhicule. Le nombre de passages d'un roue s'obtient en multipliant par 2 celui du passage complet du véhicule (les roues arrière empruntant en l'occurence le même traje que celui des roues avant).

Néanmoins, cette formule n'est citée, comme la précédente qu'à titre indicatif. En effet, elle ne prend pas en compte le temp pendant lequel s'exerce la pression à chaque passage de roue, sur une surface unitaire donnée. Elle n'intègre pas non plus l'effet de répétition sur un milieu qui par ailleurs subit une déformation pro gressive et très vraisemblablement une variation de son élasticité.

Autrement dit, l'approche fondamentale des phénomènes physiques mis en jeu dépasserait de loin le cadre de l'étude. C'est la raison pour laquelle, en définitive, nous nous sommes référés, comme STENGEL et FAURE (1978), à des données plus immédiatement saisissables que constituent les valeurs adoptées pour le nombre de passages. Dans le cas du marcheur ces valeurs sont les suivantes :

P_{100} = 100 passages d'un marcheur de 75 kg
P_{200} = 200 " " "
P_{300} = 300 " " "
P_{400} = 400 " " "

Pour le passage du véhicule on a

R_2 = 2 passages complets du véhicules de 1300 kg
R_4 = 4 " " " "

Afin de s'assurer des conditions de reproductibilité maxima dans l'acquisition des données les impératifs suivants doivent être respectés :

- le marcheur doit être le même au cours des diverses opérations du piétinement,
- le volume de terre prélevé lors des mesures de densités apparentes doit être supérieur à 1 litre pour réduire les effets de l'hétérogénéité d'un horizon donné (FIES, 1980),
- la méthode de détermination de la densité apparente doit être, si possible, la même sur toutes les parcelles car les résultats de la détermination de la porosité d'un sol varie plus ou moins suivant la méthode utilisée (DECROIX et *al.*, 1975),
- les mesures doivent être répétées au moins trois fois pour chaque détermination,
- l'emplacement des parcelles doit bénéficier des mêmes critères de choix c'est-à-dire que :
  - . le couvert végétal de chaque parcelle doit être représentatif de celui de l'ensemble morpho-pédologique concerné,
  - . la surface du sol de chaque parcelle doit présenter la même morphologie (micro-relIefs, pierrosité...) que celle des autres,
  - . l'éclairement de chaque parcelle ne doit pas différencier de l'ensemble (afin que les observations s'effectuent dans les mêmes conditions.

Les mesures de la densité apparente ont été effectuées à l'aide d'un densitomètre à membrane. Enfin dans le cas de roulages du véhicule elles ont été faites sur les traces des roues droites et de celles des roues gauches.

3. LES METHODES DE LABORATOIRE

Les méthodes de laboratoire utilisées dans cette étude sont plus ou moins récentes, et pour certaines d'entre elles, encore peu répandues. Ce sont : le test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau, la méthode de mesure de la densité apparente

des agrégats (MONNIER, STENGEL et FIES, 1973), la méthode de détermination de l'argile masquée (PEDRO, CHAUVEL et LELFI, 1976), l'essai Proctor et l'examen micromorphologique. Ces approches ont été complétées par les méthodes habituelles de détermination des taux de matière organique, du fer total, des bases échangeables, de l'argile, de la mesure du pH et de l'indice d'instabilité structurale.

3.1. Test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau

a) But

La stabilité structurale qui peut être définie comme "l'aptitude d'une structure à résister aux actions de dégradation" (pluies, travaux des sols...)(MONNIER, 1965), est en fonction complexe mais directe de l'abondance de divers constituants du sol te la matière organique (MONNIER, 1965), l'argile (HENIN et *al.*, 1969 MONNIER et KHEYRABI, 1968) et les sesquioxydes de fer (FILIPOVICH, 1956). Le calcium, comme nous l'avons déjà signalé ne semble pas exercer de rôle important sur la structure dans les sols ferrallitiques (BOYER, 1975), étant donné ses très faibles pourcentages.

Cette stabilité structurale varie à l'échelle de l'année d'une saison à l'autre (COMBEAU, 1965 ; MOREAU, 1978). Elle varie également d'un horizon à l'autre d'un profil en fonction de la répartition des constituants précités. Il y a risque de dégradation structurale quand l'indice d'instabilité I_s (HENIN, 1938) est élevé. La dégradation structurale de la surface d'un sol en place est, dans majorité des cas présentée par le milieu naturel concerné, caractérisée par la désagrégation des mottes ou de tout autre assemblage particules accompagnée de dépôts présentant généralement une faible perméabilité (BOIFIN et SEBILLOTTE, 1976). Elle est due à l'action mécanique directe des gouttes de pluie qui entraine la diminution de la cohésion des éléments structuraux (BOIFIN et SEBILLOTTE, 1976

Dans la détermination de l'indice d'instabilité (HENIN, 1938) la cohésion des éléments structuraux a été prise en compte. Par contre, la simple action mécanique de l'impact de gouttes d'ea a été rarement considérée dans l'appréciation de la stabilité structurale, approche que VILENSKY (1934) et LOW (1954) ont imaginée et appliquée (méthode de "résistance des mottes à l'action des goutte d'eau").

Cette méthode permet de reproduire en laboratoire, dans la mesure du possible, l'effet des précipitations naturelles et de le quantifier. La manipulation porte sur divers éléments structuraux obtenus par séparation granulométrique, en différentes périodes de l'année. Elle est utilisée pour déceler les facteurs intrinsèques de la désagrégation structurale et surtout relever l'influence de l'humidité initiale et de la taille des éléments structuraux traités.

b) Principe

Le principe du test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau consiste à faire tomber d'une hauteur (de 25 cm) des gouttes d'eau sur un élément structural placé sur un tamis d'ouverture de maille légèrement inférieure à la taille moyenne de cet élément : un élément structural de la classe granulométrique de 5 à 10 mm sera placé sur le tamis de 5 mm d'ouverture. Les gouttes tombent d'une burette graduée attachée à un support métallique. Elles sont comptées au fur et à mesure qu'elles s'écrasent sur l'agrégat. L'opération de destruction s'achève quand l'agrégat émietté passe entièrement à travers le tamis et que les produits de destruction sont recueillis dans une capsule. On note alors le nombre total de gouttes d'eau.

Ce nombre qui permet de caractériser comparativement la résistance de divers types d'agrégats à l'action mécanique directe de l'eau peut être traduit en énergie potentielle selon la formule :

$Ep = NmgZ$ où (en joules)

- g est la pesanteur
- Z la hauteur de chute (en m)
- m la masse d'une goutte (en kg)
- N le nombre de gouttes.

En effet, l'énergie potentielle nécessaire pour débiter un agrégat est la somme des énergies apportées par chaque goutte ayant une masse m_1 : $Ep = \Sigma m_1 gZ$ ou $Ep = gZ\Sigma m_1$. Or les gouttes d'eau ont la même masse m car elles tombent toutes d'une même burette et de façon régulière (une goutte par seconde). C'est ainsi que nous considérons le nombre de gouttes qui exprime alors l'énergie potentielle totale reçue par l'élément structural émietté.

La masse d'une goutte d'eau a été déterminée par la pesée de plusieurs séries de gouttes en nombre suffisant pour éliminer au maximum les différentes erreurs. Le calcul consécutif à la pesée a montré que cette masse unitaire est de 0,035 g.

Pour éviter, d'une classe à l'autre, la dispersion des résultats obtenus sur les éléments structuraux, nous avons réduit, dans le cas de cette méthode, l'intervalle de variation des dimensions. Ainsi le nombre de classes des agrégats traités passe de 4 à 8 avec les limites suivantes :

1)	10-8	mm
2)	8-7	mm
3)	7-6	mm
4)	6-5	mm
5)	5-4	mm
6)	4-3,15	mm
7)	3,15-2	mm
8)	2-1	mm

Dix éléments structuraux de chacune de ces classes dimensionnelles sont successivement soumis au test.

Après la notification du nombre de gouttes nécessaires pour la destruction totale de l'agrégat, on procède aux opérations suivantes :

- récupération dans la capsule des particules désagrégées qui seraient restées sur le tamis,
- observation de l'eau recueillie dans la capsule en vue de noter sa turbidité,
- mise au repos puis décantation,
- séchage à 105° du contenu de la capsule,
- tamisage des particules de désagrégation
- notification de leur distribution dimensionnelle.

3.2. Mesure de l'indice d'instabilité

La méthode de mesure de l'indice d'instabilité utilisée dans cette étude est celle qui fut mise au point par HENIN (1938). Elle a été appliquée à des agrégats répartis en quatre classes

dimensionnelles (5-10, 3,15-5, 2-3,15 et 1-2 mm). L'objectif est de savoir, d'une part, si la taille des éléments structuraux peut avoir une certaine influence sur l'indice d'instabilité et, d'autre part, s'il existe une relation entre cet indice et la résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau.

3.3. Méthode de mesure de la densité apparente des agrégats

"La porosité totale est la fraction d'un volume apparent de sol qui n'est pas occupé par la phase solide" (STENGEL, 1976). MONNIER et *al.*, (1973) distinguent deux sous-ensembles de pores c'est-à-dire deux systèmes de porosité.

- La porosité texturale est l'ensemble des vides ménagés par l'assemblage des constituants élémentaires du sol.

Elle est donc déterminée par la constitution du matériau (STENGEL, 1976).

- La porosité structurale résulte des mécanismes de fissuration par retrait et gonflement, de l'activité des organismes vivants et du travail du sol.

On évalue la porosité totale par des méthodes de terrain telles que l'utilisation d'un densitomètre à membrane, la méthode du cylindre, la méthode à la sonde à rayonnement gamma, etc...

La différence entre la porosité totale et la porosité texturale donne la porosité structurale. MONNIER, STENGEL et FIES (1973) ont imaginé une méthode de mesure de la densité apparente de petits "agglomérats terreux" pour évaluer la porosité texturale. Le mode opératoire de celle-ci comporte deux phases : une phase d'imprégnation et de ressuyage des agglomérats et une phase de mesure du volume des agglomérats ressuyés.

a) Imprégnation et ressuyage des agglomérats

L'imprégnation et le ressuyage des agglomérats consiste à :

- prendre un échantillon de 2 à 5 g d'agrégats de taille comprise entre 2 et 3 mm ;

- le déposer sur un panier à fond plat en toile métallique fine ;
- disposer les agrégats en une seule couche ;
- placer le panier dans une coupelle contenant du pétrole pendant au moins une heure de façon à obtenir un taux de remplissage des pores suffisamment stable ;
- à la sortie de la coupelle, éliminer l'excès du pétrole présent à l'état de film autour des agglomérats, et de ménisques à leurs points de contacts.

Cette dernière opération est indispensable en raison de la grande surface volumique des agglomérats (un film résiduel de pétrole de 0,03 mm d'épaisseur entrainerait une surestimation du volume de l'ordre de 3% (MONNIER, STENGEL et FIES, 1973). Par ailleurs, elle doit être conduite en évitant de vider les plus gros pores. L'expérience a montré à ces auteurs que le ressuyage doit être interrompu dès que la surface des agrégats, brillante au départ, devient mate.

b) Mesure du volume des agrégats

Le volume des agrégats est déterminé par la mesure de la poussée hydrostatique exercée sur l'échantillon immergé avec son panier dans le pétrole (MONNIER et *al.*, 1973). On le calcule par la relation :

$V = \frac{p}{dp}$ (1) où p est le poids du pétrole déplacé

dp est la densité du pétrole au moment de la mesure.

La densité apparente des agrégats est alors donnée par la relation $da = \frac{P}{V}$ (2) où P est le poids des agrégats secs.

En remplaçant dans la relation (2), V par sa valeur, on obtient la relation $da = \frac{P}{p} \times dp$ (3)

La porosité texturale $n^t = \frac{da}{ds}$ où ds est la densité de solide des agglomérats.

Dans notre étude, nous avons utilisé cette méthode pour déterminer la porosité texturale des éléments structuraux obtenus par séparation granulométrique et groupés selon les classes dimensionnelles suivantes : 10-5 ; 5-3,15 ; 3,15-2 ; 2-1 mm. Ceci nous permettra par la suite de savoir si "la porosité texturale considérée comme une caractéristique constante du matériau sec" (STENGEL, 1976) peut varier avec la taille des éléments structuraux constitutifs d'un horizon.

3.4. Détermination de l'argile marquée

La teneur en argile influe sur les propriétés physico-chimiques du sol, notamment sur la mise en réserve de l'eau (PERIGAUD, 1963) et sur sa circulation (MERIAUX, 1979), le type de structure (MONNIER, 1965), la stabilité structurale (KHEYRABI et MONNIER, 1968) et sur l'adsorption des cations échangeables (DUCHAUFOUR, 1970). Sa connaissance est donc primordiale pour les travaux concernant les sols et surtout pour le choix des plantes et des systèmes culturaux.

La méthode de détermination du taux d'argile se fonde sur la liaison qui existe entre le diamètre des diverses particules de l'échantillon analysé et leur vitesse de sédimentation en milieu aqueux.

Pour un même matériau, le taux d'argile obtenu par l'analyse granulométrique varie généralement selon le prétraitement effectué sur l'échantillon. PEDRO, CHAUVEL et MELFI (1976) ont montré, à la suite d'une "granulométrie comparée", que si "le réactif mis en jeu est efficace, on aboutit par exemple à une séparation intégrale des particules élémentaires plus ou moins juxtaposées dans le sol. Si par contre, il est moins agressif, le traitement n'arrive pas à disperser certaines associations qu'on peut considérer comme plus ou moins caractéristiques du matériau".

Afin d'obtenir des précisions sur les teneurs en argile des sols étudiés, les échantillons ont été soumis à quatre types de prétraitements adoptés par PEDRO et *al.*, (1976). Ces quatre prétraitements qui sont mentionnés au tableau 5 ont été choisis du fait qu'ils permettent d'obtenir une gamme étendue de pourcentages d'argile.

Tableau 5 : Nature des prétraitements utilisés et succession des opérations réalisées.

Désignation de la méthode	Destruction de la M.O.	Echange ionique	Dispersion Nature du dispersant	Durée de l'agitation
Eau distillée				4 heures
DB H_2O_2 électro	H_2O_2 électro	Kcl N/10	NH_4OH	4 heures
Méthode internationale (Hcl N/10) 1 traitement	H_2O_2 électro	Kcl N/10	NH_4OH	4 heures
Réactif de Tamm (obscurité)	H_2O_2 électro	Kcl N/10	NH_4OH	4 heures

- Le premier prétraitement ne fait intervenir que l'eau distillée et l'agitation mécanique. Il est donc semblabl à celui qui est utilisé pour la détermination du taux d'argile naturelle.

- Le prétraitement 2 met en oeuvre une péroxydation de la matière organique par l'eau oxygénée, puis une saturation de l'argile par des ions K (DEMOLON, BASTISSE, 1935) et enfin l'adjonction d'ammoniaque, utilisé comme dispersant, avant de procéder à l'agitation mécanique, puis à la séparation granulométrique proprement dite.

- Dans le prétraitement 3, le déplacement des cations échangeables est obtenu par lixiviation en milieu acide (Hcl N/10), au contact duquel l'échantillon est laissé pendant une nuit puis soumis à un rinçage à l'eau distillée. Cette lixiviation est appliquée une fois. Elle exerce un double effet d'échange cationique et de solubilisation de certains éléments ferrugineux et alumineux.

- Le dernier prétraitement (4), utilisé fait intervenir un réactif complexant du fer, le réactif de Tamm compos d'un mélange tamponné d'acide oxalique et d'oxalate d'ammonium (pH 3,6 - 3,7). L'essai est effectué à l'obscurité, renouvelé une fois et suivi par des lavages avec Kcl N/10.

3.5. L'observation micromorphologique

L'étude micromorphologique des sols se pratique au microscope polarisant (FEDOROFF, 1979) sur des lames minces du matériau à observer. Elle porte généralement sur l'organisation et l'assemblage élémentaire des constituants du sol (BREWER, 1964 ; BOCQUIER, 1971 ; MULLER, J.P. 1977...). Mais l'étude du sol en lames minces permet aussi "d'observer des vides de différentes formes (FEDOROFF, 1979).

Cette étude micromorphologique s'est attachée principalement à définir, dans chacun des deux sols étudiés, les divers types et la distribution des vides susceptibles d'isoler naturellement les agrégats dans un sol. Une étude comparative a été menée sur les pourcentages respectifs des types de vides par rapport à la surface totale de chacune des lames minces. Cette approche a été facilitée par la prise de clichés photographiques.

3.6. Essai Proctor

a) But

Dans l'analyse des possibilités du petit moule Proctor, nous avions relevé une légère différence entre deux courbes Proctor d'un même matériau tamisé à 2 mm et à 5 mm (YORO, 1976). La courbe Proctor obtenue à partir des éléments structuraux de 5 mm indiquait, en effet, pour les mêmes humidités, des densités apparentes sèches relativement supérieures à celles qui étaient déterminées sur la courbe relative aux agrégats de 2 mm.

Nous avions alors émis l'hypothèse que la sensibilité au tassement d'un sol pourrait être liée également à la taille de ses éléments structuraux.

La présente étude de caractérisation structurale s'est donc elle-même fondée, entre autres, sur les essais Proctor pour d'une part, vérifier notre première hypothèse et d'autre part, comparer les tassements des sols *in situ* avec ceux qui sont réalisés au laboratoire.

En outre, certains échantillons compactés à des humidités caractéristiques, ont été étudiés en lames minces pour caractériser les agrégats des différentes classes dimensionnelles après compactage.

b) Matériel et méthode

Les essais Proctor sont réalisés sur les éléments structraux des classes dimensionnelles suivantes : 10-5 ; 5-3,15 ; 3,15-2-1 mm.

Les caractéristiques des essais sont les suivantes :

Moule :	diamètre	5,35 cm
	hauteur	5 cm
	volume	112,34 cm3
Dame :	diamètre	2,7 cm
	masse	0,485 kg
	hauteur de chute	29 cm
	nombre de couches	3
	nombre de coups/couche	16
Energie de compactage		6 kg cm/cm3

Le prélèvement des mottes dans les échantillons Proctor, pour la fabrication des lames minces, doit s'effectuer dans la partie centrale des échantillons compactés. En effet, "l'observation de grandes lames minces d'échantillons Proctor a mis en évidence que le tassement s'atténue du sommet à la base de chacune des trois couches, mais aussi de la partie centrale à la périphérie de la couche" (GRIMALDI, 1977).

Pour mener à bien le compactage et réduire les risques d'hétérogénéité entre les mottes, il faut "compacter les échantillons en trois couches d'égale épaisseur, c'est-à-dire de même poic (GRIMALDI, 1981).

3.7. Méthodes d'analyse courantes

Les méthodes classiques d'analyses physico-chimiques de détermination du taux de matière organique, de la capacité d'échar du taux de saturation, du taux d'argile et du fer total ainsi que mesure du pH ont été réalisées au Laboratoire d'Adiopodoumé dans l but d'avoir une connaissance assez précise des caractéristiques de sols étudiés et de disposer d'éléments pour expliquer leurs compor tements.

TROISIÈME PARTIE

3ème PARTIE

RÉSULTATS

III. CARACTÉRISATION STRUCTURALE

Cette troisième partie est consacrée à l'exposé aussi détaillé que possible des caractères morphologiques et analytiques concernant la structure des sols des deux segments pédologiques étudiés. Ces caractères ont été appréciés en référence aux approches présentées antérieurement.

3.1. Caractérisation morphologique

3.1.1. Le types de structure des sols

a) Profil de SOULA

Observé le 20.04.1979 (fin de saison sèche). Les couleurs sont notées après réhumidification des échantillons.

0 - 7 cm : Rouge sombre (2,5 YR 3/2), homogène, frais. Matière organique non directement décelable. Texture argileuse (39%). Structure fragmentaire nette, généralisée. Agrégats en majorité grumeleux, rarement grenus, de taille assez variable mais à tendance moyenne (3-5 mm). Quelques turricules de vers disséminés. Malgré la faible cohésion entre eux, les agrégats sont assez résistants à la pression des doigts. Nombreux pores biologiques : galeries de termites et de fourmis ; fissures et chenaux dans les agrégats. Nombreuses racines conductrices et assimilatrices (surtout de graminées) réparties de façon homogène pénétrant dans les agrégats qui révèlent de légères fissures aux points d'insertion ; pas d'orientation préférentielle. Transition distincte et régulière.

A11

7-20 : Brun rougeâtre (2,5 YR 3/4), homogène. Frais. Matière organique non directement décelable. Texture argileuse (50%). Structure fragmentaire, massive. Agrégats grumeleux masquant quelques rares grenus ; éclats polyédriques subanguleux. Eléments structuraux de taille très variable. Quelques turricules se raréfient à la base de l'horizon. Faible cohésion entre les divers éléments structuraux. Fines particules déliées (<1 mm) dans les fissures séparant les agrégats. Eléments structuraux résistant à la pression des doigts. Nombreuses cavités, fissures, fentes subverticales ; micropores et chenaux. Nombreuses racines, assez bien réparties, subverticales, à dominance assimilatrice, fissurant légèrement les agrégats. Transition distincte et régulière.

A12

20 - 50 : Rouge foncé (2,5 YR 3/6), peu homogène, petites poches (0,1 à 0,3 cm) de remplissage de matière organique dispersée. Sec. Texture argileuse (54%). Structure massive fragmentaire généralisée, localement fragmentaire. Débi polyédrique subanguleux. Agrégats grumeleux. Rares turricules de vers. Eléments structuraux de taille variabl Cohésion moyenne. Résistance des éléments structuraux sous la pression des doigts. Finesparticules dans les fissures, chenaux et cavités de termites et de fourmis Fentes de retrait (1-2 mm) verticales. Racines fines, subverticales assez bien réparties. Aucune fissure aux points d'insertion. Transition graduelle.

AB

50-110 : Rouge (2,5 YR 4/6), homogène. Sec. Texture argileuse (70%). Rares nodules et graviers de quartz (1%). Structure massive meuble. Débit polyédrique subanguleux. Quelques rares agrégats grumeleux le long de certaines racines. Eléments structuraux de taille très variable (0,1 à 3 cm). Cohésion moyenne. Nombreux petits pores avec quelques fentes de retrait subverticales. Quelques racines fines, subverticales, inégalement réparties.

B

b) Profil de TOHA

Observé le 7.05.1979, fin de saison sèche. Fine pluie la veille.

0 - 8 : Brun foncé (7,5 YR 3/2), homogène. Humide. Matière orga nique non directement décelable. Texture grossièrement sableuse à faible pourcentage d'argile (17%). Structure massive-fragmentaire, localement fragmentaire peu nette sous les touffes. Agrégats de débit généralement grumeleux ou, en faible proportion, polyédriques subanguleux Turricules de vers légèrement étirés. Taille des éléments structuraux variable mais à tendance grossière (10 mm). Cohésion moyenne des éléments structuraux sous la pression des doigts. Nombreux pores : cavités, fissures, chenaux, sans orientation préférentielle. Racines conductrices et assimilatrices inégalement réparties (plus abondantes sous les touffes). Transition distinc-

A11

8 - 22 : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3) comportant de petites poches de matière organique non directement décelable. Frais. Texture grossièrement sableuse à faible pourcentage d'argile (18%). Structure massive meuble. Eclats polyédriques subanguleux dominant sur les agrégats grumeleux. Quelques turricules légèrement étirés. Taille des éléments structuraux variable, à tendance très grossière (10 mm <). Cohésion moyenne des éclats sous la pression des doigts. Nombreuses cavités biologiques : galeries de termites et de fourmis. Racines horizontales en majorité, de diamètre supérieur à 1 mm. Eclats pauvres en radicelles. Transition distincte.

A_{12}

22 - 54 : Rouge foncé (2,5 YR 3/6) comportant de petites poches de matière organique. Frais. Texture sablo-argileuse à argilo-sableuse (26%). Graviers de quartz et gravillons ferrugineux fins (1-2 mm) peu abondants (6%). Structure massive
AB cohésive. Eclats en majorité polyédriques émoussés, rarement grumeleux. Taille des éléments structuraux très variable mais généralement à tendance très grossière (supérieure à 10 mm). Cohésion forte. Cavités biologiques, fissures et chenaux. Quelques racines conductrices subhorizontales inégalement réparties. Transition graduelle.

54 - 95 : Rouge (2,5 YR 4/6) assez homogène. Frais. Texture argilo-sableuse (38%). Graviers de quartz et nodules ferrugineux. Ces éléments grossiers (30%) sont inégalement répartis dans l'horizon. Structure massive-fragmentaire. Agrégats polyédriques anguleux. Quelques uns sont polyédriques émoussés. Taille variable à tendance moyenne. Forte cohésion des agrégats sous la pression des doigts. Cavités, surtout visibles à la base. Quelques racines subhorizontales.

Les descriptions effectuées au cours des tournées suivantes ont porté seulement sur la structure et sur la distribution des racines. Le tableau ci-dessous récapitule les observations relatives aux structures sur les deux sites pendant les différentes périodes.

Tableau 6 : Structure des horizons des sols de SOULA et de ceux de TOHA au cours de six périodes d'étude

Période	Horizons	Structure
avril-mai fin de saison sèche 1979	SOULA (0-7) 1 TOHA (0-8)	Grumeleuse, rarement grenue. Massive-fragmentaire ; agrégats et débit grumeleux (quelques uns sont polyédriques émoussés).
	SOULA (7-20) 2 TOHA (8-22)	Fragmentaire-massive : agrégats grumeleux ; éclats polyédriques subanguleux. Massive meuble : éclats polyédriques subanguleux (quelques uns sont grumeleux).
	SOULA (20-50) 3 TOHA (22-54)	Massive-fragmentaire : débit polyédrique subanguleux, agrégats grumeleux. Massive-cohésive ; éclats en majorité polyédriques émoussés, rarement grumeleux.
	SOULA (50-110) 4 TOHA (54-95)	Massive-meuble. Débit polyédrique subanguleux. Massive-fragmentaire. Agrégats polyédriques anguleux.

./..

juillet 1979 saison des pluies	SOULA (0-10) 1 TOHA (0-8)	Fragmentaire nette. Agrégats grumeleux, rarement grenus. Localement fragmentaire-massive ; débit polyédrique subanguleux. Massive-fragmentaire ; débit grumeleux avec quelques rares grenus.
	SOULA (10-20) 2 TOHA (8-22)	Fragmentaire-massive. Agrégats grumeleux, éclats polyédriques subanguleux, rarement grenus. Massive meuble. Eclats polyédriques émoussés un peu plus abondants que les grumeleux.
	SOULA (20-50) 3 TOHA (22-50)	Massive-fragmentaire à massive meuble. Eclats polyédriques subanguleux. Massive-meuble. Débit polyédrique subanguleux.
	SOULA (50-100) 4 TOHA (50-98)	Massive meuble. Débit polyédrique subanguleux. Massive meuble. Débit polyédrique subanguleux dominant sur les anguleux.
janvier-février 1980 saison sèche	SOULA (0-10) TOHA (0-5)	Fragmentaire nette. Agrégats grumeleux plus abondants que les grenus qui sont assez rares. Massive-fragmentaire, localement. Débit polyédrique subanguleux dominant sur l'individualisation d'agrégats grumeleux
	SOULA (10-20) 2 TOHA (5-20)	Fragmentaire-massive. Agrégats grumeleux, éclats polyédriques subanguleux. Massive meuble, localement massive cohésive. Eclats polyédriques subanguleux.
	SOULA (20-40) 3 TOHA (20-50)	Massive-fragmentaire, localement fragmentaire. Eclats polyédriques subanguleux dominant sur les agrégats grumeleux. Massive cohésive. Eclats polyédriques plus ou moins émoussés.
	SOULA (40-95) 4 TOHA (50-100)	Massive meuble, localement massive-fragmentaire. Eclats polyédriques subanguleux. Massive-fragmentaire. Agrégats polyédriques anguleux.
avril 1980 fin de saison sèche	SOULA (0-10) 1 TOHA (0-8)	Fragmentaire nette. Agrégats grumeleux plus abondants que les grenus (rares). Massive-fragmentaire, localement fragmentaire. Eclats polyédriques subanguleux plus abondants que les agrégats grumeleux.
	SOULA (10-20) 2 TOHA (8-22)	Fragmentaire-massive. Débit grumeleux, rarement polyédrique subanguleux. Massive meuble, localement massive-fragmentaire. Débit polyédrique subanguleux.

avril 1980 fin de saison sèche	SOULA (20-40) 3	Massive-fragmentaire, localement fragmentaire. Débit polyédrique subanguleux dominant sur l'individualisation d'agrégats grumeleux.
	TOHA (22-51)	Massive cohésive. Débit polyédrique subanguleux.
	SOULA (40-100) 4	Massive-meuble. Eclats polyédriques anguleux.
	TOHA (51-95)	Massive-fragmentaire. Eclats polyédriques anguleux.
juillet 1981 saison des pluies	SOULA (0-8) 1	Fragmentaire, localement fragmentaire-massive. Agrégats grumeleux.
	TOHA (0-10)	Massive-fragmentaire, localement massive meuble. Débit plus fréquemment grumeleux que polyédrique subanguleux.
	SOULA (8-20) 2	Fragmentaire-massive, localement massive fragmentaire. Agrégats grumeleux, rarement grenus ; débit polyédrique subanguleux.
	TOHA (10-22)	Massive meuble. Débit polyédrique subanguleux dominant légèrement sur les agrégats grumeleux.
	SOULA (20-50) 3	Massive-fragmentaire à massive meuble. Débit polyédrique subanguleux.
	TOHA (22-54)	Massive meuble. Débit polyédrique émoussé.
	SOULA (50-100) 4	Massive meuble. Débit polyédrique subanguleux.
	TOHA (54-95)	Massive meuble. Débit polyédrique plus fréquemment subanguleux qu'anguleux.

Ces descriptions permettent de relever que les sols de SOULA étudiés possèdent des structures fragmentaires, grumeleuses, sur au moins 20 cm de profondeur. Les éléments structuraux sont en majorité des agrégats auxquels sont associés quelques agglomérats et mottes qui se débitent en éléments polyédriques subanguleux. En dessous, les espaces interagrégats, devenus très réduits, ne permettent plus de distinguer, *in situ*, la taille, la forme ni les contours des unités structurales qui se fondent alors en une masse continue très friable.

En saison des pluies, la structure fragmentaire grumeleuse de l'horizon superficiel se modifie plus ou moins. Elle devient, par endroits, continue ou fondue, probablement par suite d'une forte

humidité. En effet, quand certains sols sont examinés à l'état humide, il arrive que l'on ne puisse plus distinguer les éléments constitutifs qui apparaissaient individualisés quand ils étaient examinés à l'état sec (HENIN, 1976).

Dans les sols de TOHA, la structure est massive-fragmentaire toute l'année dans les dix centimètres (10 cm) supérieurs où les éléments structuraux, grumeleux ou polyédriques subanguleux, ne s'individualisent nettement que lorsqu'on prélève des échantillons c'est-à-dire quand on entraine la masse de l'horizon à se diviser. Dans les horizons sous-jacents dépourvus d'éléments grossiers, elle passe de massive cohésive en saison sèche à massive meuble en saison des pluies alors que dans l'horizon gravillonnaire (30%), la structure massive-fragmentaire pendant les quatre derniers mois de la saison sèche devient massive meuble en juillet.

Ces modifications structurales des sols de TOHA s'expliquent par les variations d'humidité provoquées par les alternances des saisons. En période sèche, le sol faiblement couvert (feux de brousse) par des arbustes très espacés, est exposé en grande partie, au rayonnement solaire. Il se produit alors une intense évaporation qui entraine la dessication des horizons supérieurs. Or nous savons qu'une forte dessication provoque l'augmentation de la cohésion (HUMBEL, 1974) par départ d'eau et par ralentissement des activités biologiques. Cette dessication favorise cependant, dans les horizons gravillonnaires, la formation des agrégats polyédriques anguleux qui s'individualisent nettement lorsqu'on prélève un échantillon c'est-à-dire lorsqu'on dissocie les unités structurales les unes des autres en exerçant des forces au moyen d'un outil. Mais ces éléments structuraux n'apparaissent plus individualisés en saison humide. L'humidité masque donc pour un temps, l'individualisation des agrégats en diminuant la cohésion de l'ensemble (éléments grossiers + éléments structuraux) et en assurant l'expansion de la matrice argilo sableuse (38%).

Ainsi peut-on, des observations qui précèdent, souligner les différences fondamentales qu'entretiennent réciproquement les sols des deux sites en matière de structure. La structure massive, qui caractérise les sols de TOHA, est très fréquente dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Par contre, la structure fragmentaire des sols

de SOULA est limitée dans la région et son développement apparait devoir se rapporter à des conditions particulières que nous nous efforçerons de déterminer par la suite. Pour l'instant, on notera que la morphologie des deux types de structure n'échappe pas à l'effet de l'alternance saisonnière du taux d'humidité des sols.

3.1.2. Variations de l'abondance des racines

Divers travaux (MARTEL et DESCHENES, 1976 ; MEREDITH et PATRICK, 1961 ; HIDDING, BERG et VAN DEN, 1960...) ont déjà montré que les caractéristiques de l'enracinement d'une part, et le type ainsi que l'intensité du développement de la structure d'autre part, sont étroitement liés.

Il ne s'agit certes pas, pour notre propos, de rééditer d'une manière aussi exhausitve que l'ont fait certains auteurs, l'étude de la "densité d'occupation des racines" (GAUTREAU , 1963 ; NICOU et THIROUIN, 1968 ; CHARREAU, 1970). Il est cependant nécessaire, ici, de tenter de retirer le maximum d'enseignements des données relatives au développement de ces organes végétaux souterrains.

Les variations spatiales de l'abondance des racines doivent être étudiées, en premier lieu, dans les deux dimensions latérales, pour chacun des types d'horizon et de sol. En effet, les observations ont montré que d'un lieu à un autre, l'enracinement est plus ou moins abondant. Ces variations que nous appelons latérales, découlent de l'hétérogénéité du couvert actuel ou récent du terrain. Les variations spatiales doivent en second lieu, être étudiées à l'échelle du profil c'est-à-dire d'un type d'horizon à l'autre puisque les caractères physiques et chimiques du sol qui conditionnent le développement des racines présente une variation généralement importante dans la dimension verticale.

Pour ce faire, la distinction a été faite entre les racines de diamètre supérieur à 1 mm (racines conductrices) et celles qui présentent un diamètre inférieur à cette valeur (racines assimilatrices). Le tableau I (annexe) consigne les données obtenues pour les divers horizons de chacun des deux types de sols étudiés, ceci en plusieurs lieux de prélèvement sur le terrain et à diverses saisons des années 1979, 1980 et 1981.

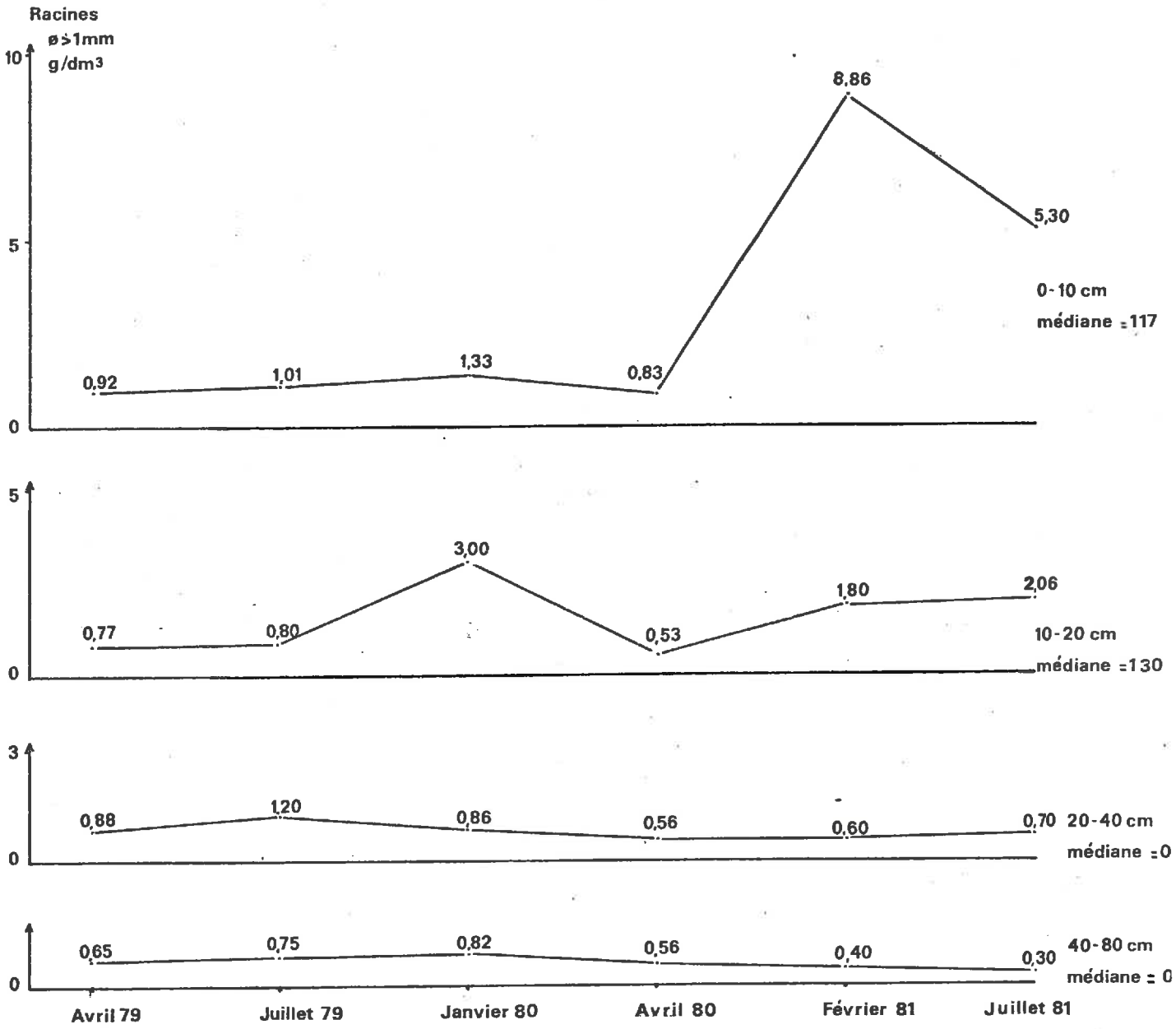


FIG.10 : VARIATION TEMPORELLE DU TAUX DES RACINES DE Ø>1mm DANS CHACUN DES HORIZONS DE SOULA

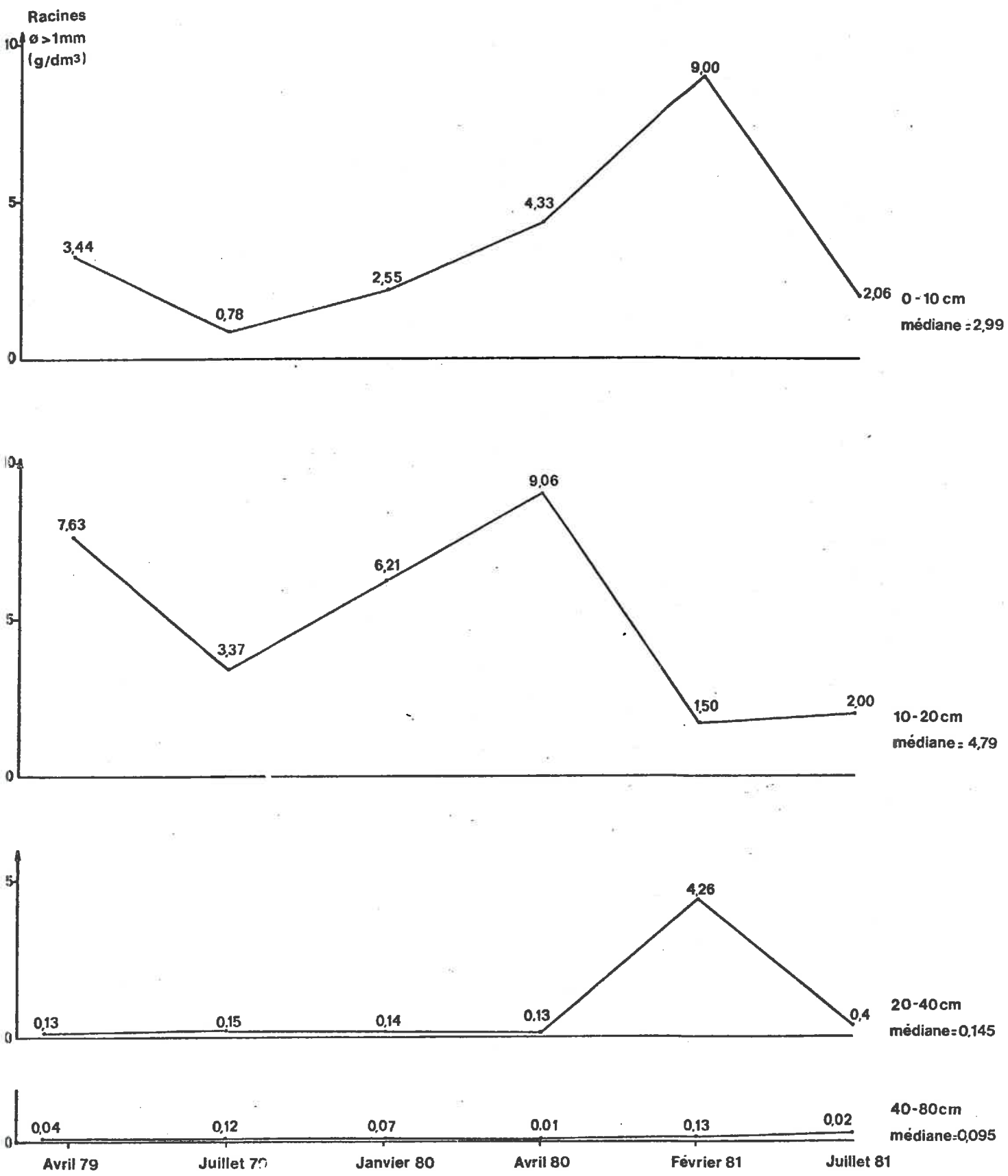


FIG. 11 : VARIATION TEMPORELLE DU TAUX DES RACINES DE Ø >1mm DANS CHACUN DES HORIZONS DE TOHA

Pour chacun des trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12} et AB) le calcul du coefficient de variation de la "densité d'occupation" a été effectué. Il faut rappeler que ce coefficient ($V = 100\sigma/\bar{x}$) porte seulement sur trois données recueillies pour chacun de ces trois horizons et que les valeurs ainsi obtenues sont mentionnées à titre strictement indicatif.

a) Répartition des racines de diamètre supérieur à 1 mm ou racines conductrices

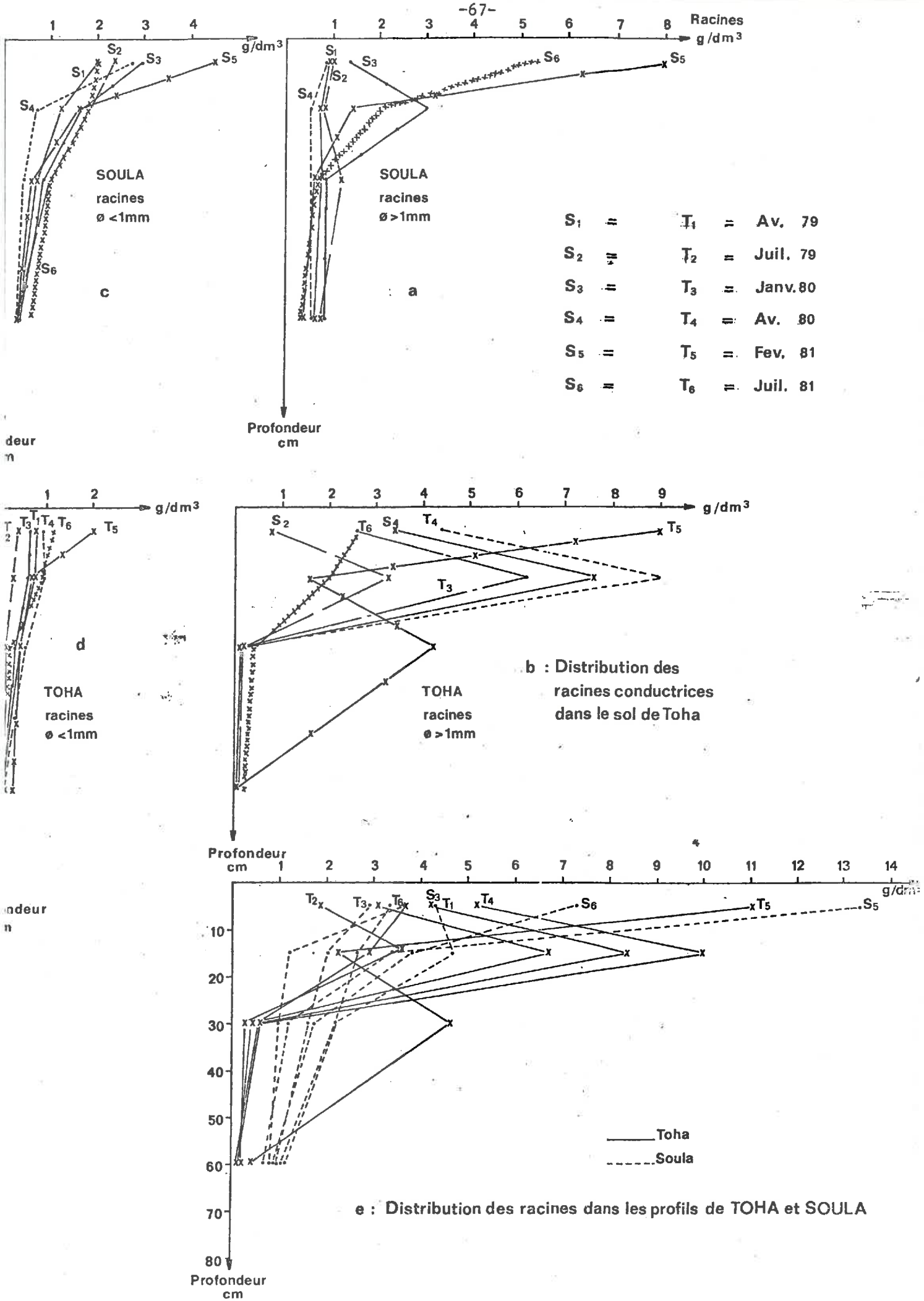
- Variations latérales

Aussi bien à SOULA qu'à TOHA, la distribution horizontale des racines de diamètre supérieur à 1 mm (que nous appellerons désormais conductrices) est irrégulière, ce qui se traduit par des coefficients de variation très élevés. Cette irrégularité découle principalement de l'existence de grosses racines (diamètre supérieur à 5 mm) qui n'explorent pas le sol d'une manière aussi dense que le font les racines plus fines. Les variations saisonnières de ces racines, très marquées au niveau des deux horizons supérieurs (A_{11} et A_{12}), s'atténuent pour les horizons minéraux (AB et B). Cette atténuation est moindre pour l'horizon 20-40 cm de TOHA, dans lequel les densités d'occupation varient entre 0,13 et 4,26 g/dm3, que pour celui de SOULA (0,56 et 1,20 g/dm3) (fig. 10 et 11).

- Variations verticales (en fonction de la différenciation pédologique)

SOULA

Excepté pour le second horizon (A_{12}, de 10 à 20 cm), la densité d'occupation des racines conductrices ne présente pas de différences notables dans le temps sur les 40 premiers centimètres du profil, ceci pour la période d'avril 1979 à avril 1980 inclus. Mais elle augmente très sensiblement dans le premier horizon (A_{11}) et, dans une moindre mesure, dans le second horizon, pour la période qui s'étend, ensuite jusqu'à juillet 1981 (fig. 12a). La différence entre les densités racinaires de deux horizons consécutifs est souvent assez peu marquée, surtout entre les deux horizons sous-jacents (AB et B). Ces derniers se distinguent donc, par un enracinement constant et faible, de ceux qui leur sont sus-jacents. Nous retiendrons,



IG. 12 : DISTRIBUTION VERTICALE DES TAUX DE RACINES DANS LES SOLS DE SOULA ET DE CEUX DE TOHA

enfin, que l'horizon superficiel (A_{11}) apparait le plus souvent, plus riche en racines conductrices que l'horizon sous-jacent de pénétration humifère.

TOHA

Dans le type de sol étudié à TOHA, on observe, comme dans celui de SOULA, que les horizons supérieurs A_{11} et A_{12} (0-10 et 10-20 cm) sont, de loin, plus riches en racines conductrices que les horizons sous-jacents (AB et B). A l'inverse de ce que l'on observe à SOULA, l'horizon A_{12} apparait plus fréquemment mieux pourvu en racines conductrices que l'horizon A_{11} superficiel (fig. 12b). La seule exception notable concerne les observations de février 1981, époque à laquelle l'enracinement dans cet horizon superficiel est 5 à 6 fois plus abondant que dans A_{12}, sous-jacent, alors qu'aux autres époques, nous avons à quatre reprises sur cinq, un enracinement de 2 à 4 fois plus élevé dans ce dernier horizon (A_{12}) que dans le premier (A_{11}) (fig. 11).

Nous noterons qu'à partir de 20 cm de profondeur, l'abondance des racines conductrices décroît, encore plus nettement qu'à SOULA, les valeurs étant inférieures à 0,40 g/dm3, sauf en février 1981 où nous avons 4,26 g/dm3 dans l'horizon AB (20-40 cm).

On notera surtout la variation, en dents de scie, de la densité d'occupation racinaire dans les trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12}, AB) des sols étudiés. Cette variation semble, en fait découler de la répartition aléatoire des racines de diamètre supérieur à 5 mm.

b) Répartition des racines de diamètre inférieur à 1 mm ou racines assimilatrices

- Variations latérales

SOULA

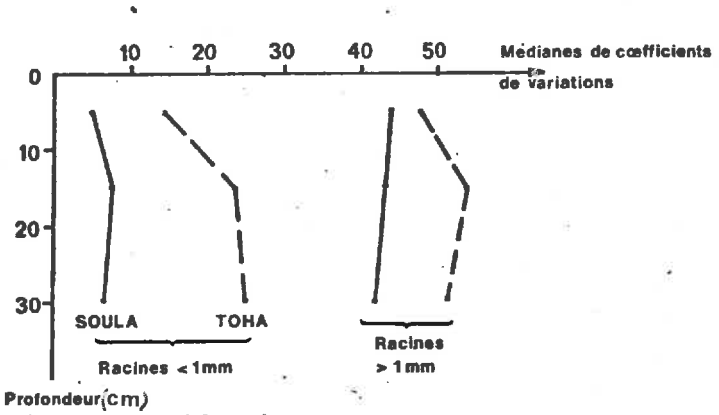
Les coefficients de variation traduisent une répartition latérale assez homogène des racines assimilatrices par rapport à celle des conductrices. Cette homogénéité est la plus nette pour l'horizon superficiel (0-10 cm). Etant donné que les pores doivent

présenter "une dimension minimale pour que les racines puissent y pénétrer (HENIN, GRAS et MONNIER, 1969), cette répartition relativement uniforme des racines assimilatrices semble pouvoir être liée, de par leur faible diamètre, à leur facilité d'exploration des fissures du sol, des espaces interagrégats et des ensemblesstructuraux.

TOHA

Toujours en nous référant aux valeurs du coefficient de variation, la variation horizontale des "densités d'occupation" des racines assimilatrices traduit, également dans les sols de TOHA, une plus grande homogénéité que dans le cas des racines conductrices. Elle est cependant sensiblement plus forte que celle qui caractérise les sols de SOULA (fig. 13).

FIG. 13 : EVOLUTION VERTICALE DES MEDIANES DE CŒFFICIENT DE VARIATION DES RACINES



- Variations verticales

SOULA

La quantité de racines assimilatrices par unité de volume diminue, dans l'ensemble, rapidement mais d'une manière progressive de la surface vers la profondeur, quelle que soit la période ou la saison (fig. 12c). Elle est presque toujours supérieure à 2 g/dm3 dans les horizons superficiels (0-10 cm). Il est à remarquer, dans cet horizon de surface, que les valeurs les plus élevées de la densité d'occupation des racines assimilatrices ont été relevées en janvier 1980 et février 1981, c'est-à-dire en pleine saison sèche (fig. 14). Dans les horizons sous-jacents, c'est au contraire, en saisons pluvieuses que les valeurs les plus élevées ont été notées. Par exemple, entre 10 et 20 cm nous avons 1,84 g/dm3 en juillet 1979

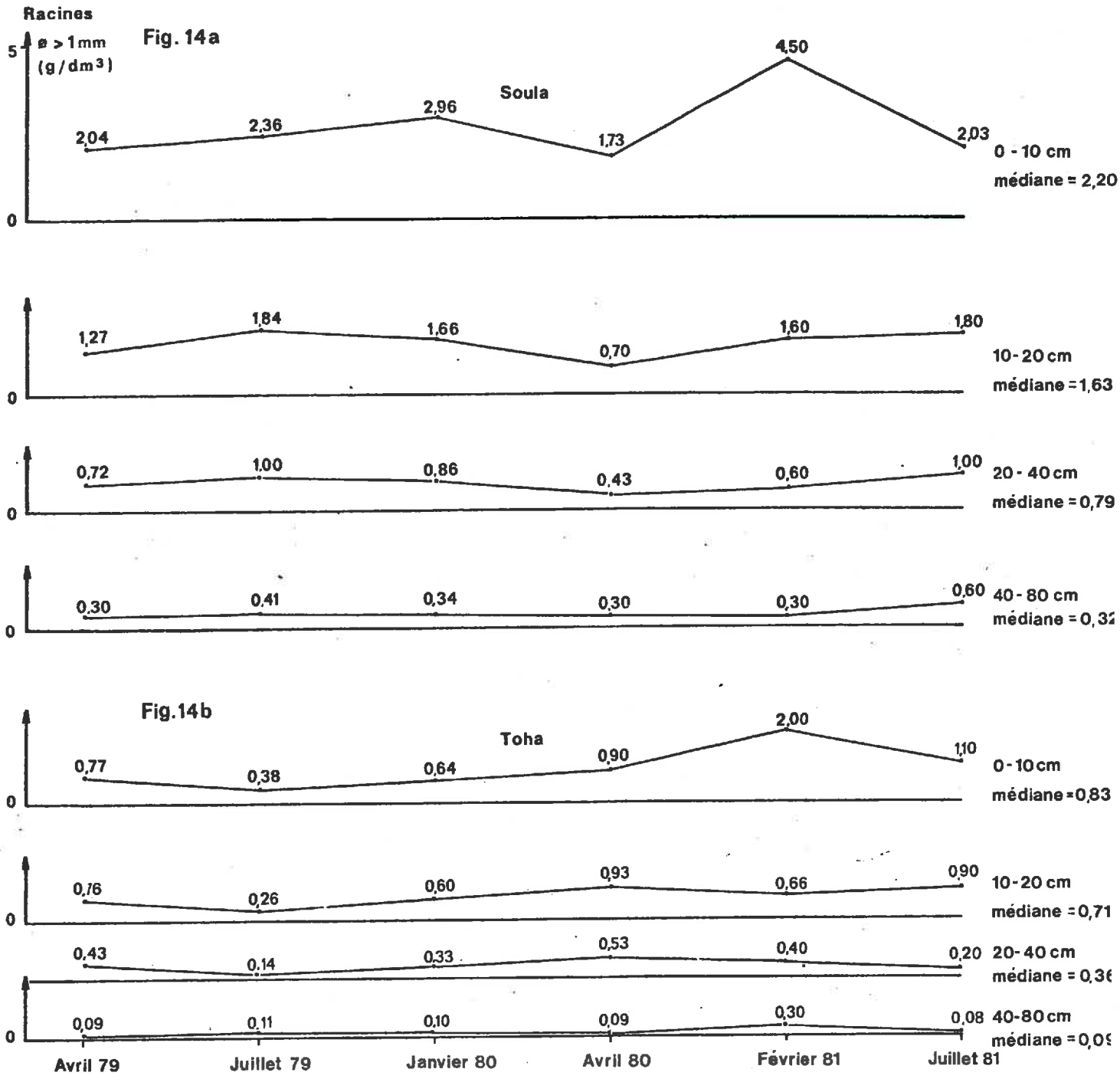


FIG. 14 : Variation temporelle des taux de racines de ø < 1mm dans chacun des horizons de SOULA et de TOHA

et 1,80 g/dm3 en juillet 1981, alors que nous avons 1,27 et 0,70 g/dm3 respectivement en avril 1979 et en avril 1980, c'est-à-dire à la fin de la saison sèche.

Il ressort donc de ces données, que la quantité de racines assimilatrices augmente en saison des pluies en-dessous de 10 cm et vice-versa pour l'horizon sus-jacent.

TOHA

Comme dans les sols de SOULA, la répartition des racines assimilatrices en profondeur se caractérise (à une exception près, entre 0-10 et 10-20 cm, pour avril 1980) par une décroissance systématique de leur densité d'occupation (fig. 12d). Cette décroissance est un peu moins affirmée entre chacun des deux horizons plus ou moins humifères (A_{11} et A_{12}), qu'entre les deux parties humifère et minérale du profil ainsi qu'entre les deux horizons minéraux (20-40 et 40-80 cm). La majeure partie des racines assimilatrices se concentrent donc dans les vingt premiers centimètres, ce qui est d'ailleurs le cas des sols étudiés également à SOULA. Nous signalons au passage que MARTIN (1935) avait effectué la même constatation sur la distribution des racines de canne à sucre.

Si nous comparons pour chacune des deux années 1979 et 1981 les données obtenues d'une part, en février ou avril (saison sèche) et d'autre part, en juillet (saison des pluies) dans l'horizon humifère (A_{11}), nous notons une décroissance de la quantité des racines assimilatrices de la première à la seconde saison. Ceci rejoint d'ailleurs ce que nous avons observé en février et en juillet 1981 dans l'horizon A_{11} de SOULA. Cette remarque s'applique également à l'horizon 20-40 cm (AB), mais non pour celui qui est intermédiaire (A_{12}) où en 1979 la quantité des racines décroit de février à juillet 1979, mais croît de février à juillet 1981 (fig. 14b).

Il semblerait donc, en tout état de cause, que l'action de la pluviométrie n'apparaît pas, de façon systématique, positive, sur le développement des racines assimilatrices.

c) Caractéristiques des racines suivant le site d'étude

De ce qui précède nous pouvons noter que les deux catégories de racines présentent des caractéristiques de distribution variables suivant le type de sol. On observe en particulier les points suivants :

- Les racines conductrices paraissent plus abondantes entre 10 et 20 cm de profondeur dans les sols de TOHA, alors que dans ceux de SOU c'est plutôt l'horizon superficiel (0-10 cm) qui en est souvent mieux pourvu (fig. 10 et 15a).

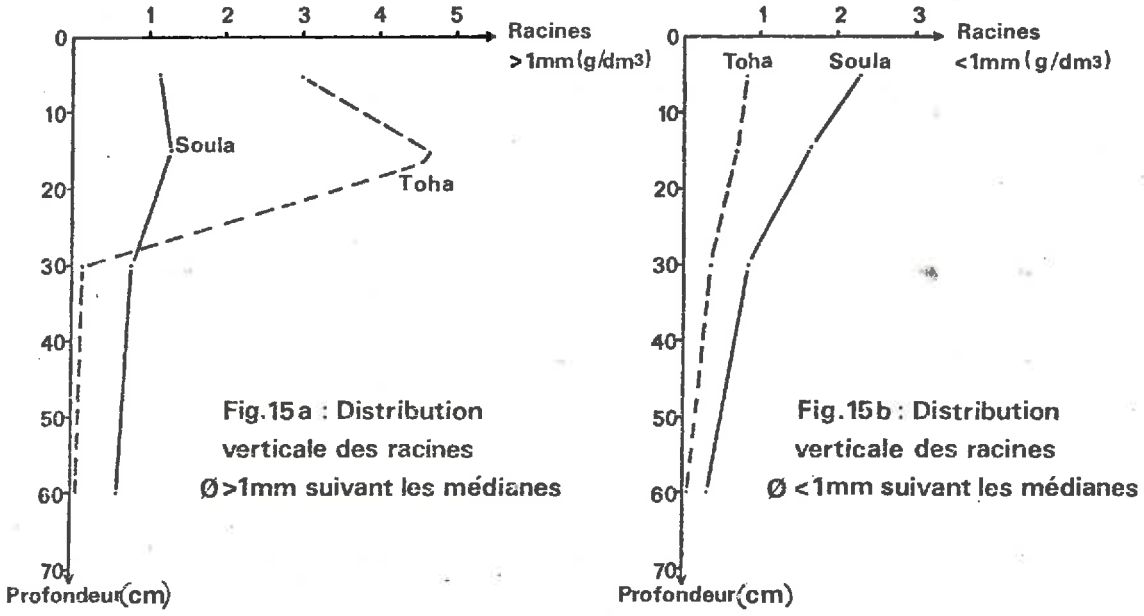


FIG.15 : DISTRIBUTION VERTICALE DES RACINES SUIVANT LES MEDIANES

- Dans les sols de SOULA, les racines assimilatrices sont souvent plus abondantes que les racines conductrices et vice versa dans les sols de TOHA.

- La densité de racines assimilatrices augmente en saison des pluies dans les horizons sous-jacents à la couche superficielle (0-10 cm des sols de SOULA, alors qu'à TOHA, presque tous les horizons présentent en saison sèche des valeurs supérieures à celles que l'on relève en saison pluvieuse.

- A une même profondeur et à une même époque, cette densité de racines assimilatrices se révèle un peu plus élevée dans les sols de SOULA que dans ceux de TOHA (fig. 15b).

Ces différences dans la distribution des racines des deux types de sols semblent être fonction en premier lieu, du couvert végétal observé sur chaque site d'étude. Mais on doit également les relier à l'état d'ameublissement des sols, état qui est, lui-même, très dépendant des types de structure (DUCHAUFOUR, 1970). Il semble que dans le cas de cette étude, ce soit la nature de la végétation qui prime sur les autres facteurs de l'enracinement. En effet, le couvert présente d'un site à l'autre des différences dans la proportion de la superficie couverte, dans le développement des touffes et de leur rhizophère, tout ceci découlant principalement du fait qu'à SOULA, *Panicum* et *Andropogon gayanus* dominent alors qu'à TOHA le couvert végétal est assuré essentiellement par *Imperata* et *Andropogon africanus*. Et nous noterons ici que CHARREAU (1970) souligne l'importance particulière du rôle joué par le *Panicum* dont l'enracinement est fasciculé et profond.

3.1.3. Relation entre la distribution des racines et les types de structure

Les deux horizons supérieurs (0-10 et 10-20 cm) des sols de SOULA renferment la majeure partie des racines conductrices et assimilatrices et possèdent des structures fragmentaires avec des agrégats grumeleux. Dans les horizons sous-jacents où le poids de racines/dm3 diminue sensiblement, la structure est massive-fragmentaire avec des éléments structuraux polyédriques subanguleux.

Dans les horizons humifères (0-20 cm) des sols de TOHA, la concentration de l'essentiel de l'enracinement qui s'y effectue comme pour le premier site, ne correspond par contre pas au développement d'une structure aussi "élaborée". Ainsi l'horizon de faible pénétration organique (10-20 cm), souvent mieux pourvu en racines que l'horizon humifère *sensu stricto* qui le surmonte, présente une structure massive meuble avec, au débit, des éléments structuraux presque tous polyédriques subanguleux. La structure entre 0-10 cm est cependant massive-fragmentaire et les éléments structuraux sont fréquemment grumeleux.

On peut ainsi, remarquer que la quantité totale de racines (conductrices et assimilatrices) par unité de volume, ne semble pas pouvoir rendre compte ou dépendre de la formation ou du développement de tel ou tel type de structure, et ceci aussi bien à SOULA qu'à TOHA (fig. 12e). Par contre, la distribution verticale des racines de diamètre inférieur à 1 mm apparaît liée à la différenciation structurale des profils. En effet, dans chacune de ceux-ci, nous notons que les horizons à structure fragmentaire, grumeleuse sont mieux pourvus en racines assimilatrices que ceux qui présentent une structure massive. Nous relevons, également, une diminution plus ou moins brutale affectant la quantité de ces racines quand la structure passe de fragmentaire ou massive-fragmentaire, à massive à des niveaux plus profonds dans le profil.

Cette liaison entre la différenciation structurale et la répartition de "l'enracinement fin herbacé" a été signalée par de BLIC et MOREAU (1977) dans les sols de savane de la région Centre de Côte d'Ivoire. Il est en outre, reconnu d'après les travaux de TRI (1968) ; HENIN (1976); MONNIER et TRI (1973), que les racines fines améliorent la structure du sol. Or celles-ci sont généralement concentrées dans les horizons humifères où elles exercent "un effet de fissuration" (JACQUIN, 1978) sur les mottes ou autres ensembles structuraux. On comprend alors la fréquence de la structure fragmentaire fine ou moyenne dans ces horizons.

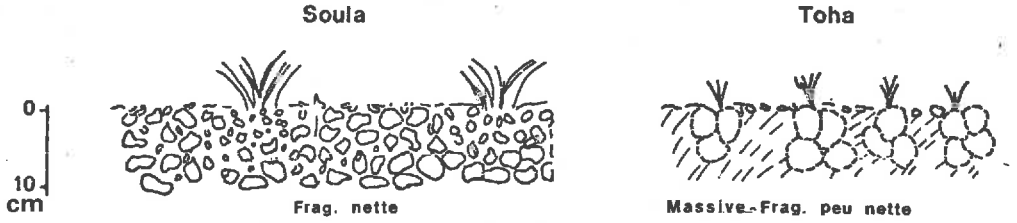
La différence de structure entre les horizons superficiels de SOULA et ceux de TOHA peut être rapprochée de la quantité de racines assimilatrices. L'ensemble des horizons supérieurs (0 à 20 cm) présente constamment, à SOULA, plus de 2 g/dm3 de ces organes souterrains, alors qu'à TOHA, d'avril 1979 à avril 1980 inclus, la densité d'occupation racinaire est inférieure à cette valeur. Dans ce deuxième site d'étude le pourcentage de racines assimilatrices augmente légèrement en février et en juillet 1981, toujours pour l'ensemble des horizons supérieurs, mais sans que l'on observe un développement plus net de la structure. Ce dernier point amène à penser que l'action du développement de ces racines fines sur la granulation nécessite, selon toute vraisemblance, un certain temps et la conjonction de certaines conditions d'ordre édaphique. Ceci peut être rapproché des conclusions de TRI (1968) et de CHARREAU (1970) qui ne notent "aucune influence des racines sur la structuration lorsque le sol

choisi (pour l'expérimentation) est de texture sableuse". Ils observent, enfin, d'un point de vue plus général, que "l'efficacité de l'action racinaire dépendrait donc non seulement de la nature de la végétation, mais aussi et surtout de la granulométrie du sol et de son état structural initial".

L'étude a, d'autre part, toujours dans le but d'apprécier l'action des racines sur la structure, comparé les données des observations (qualitatives) effectuées sur des profils en long qui recoupent les touffes des graminées et les plages dénudées entre celles-ci.

- Dans les horizons humifères *sensu stricto* de SOULA, la structure est fragmentaire grumeleuse entre les touffes et sous les touffes. La différence réside seulement dans la taille des agrégats. Sous les touffes ceux-ci sont moyens à fins (5 à 1 mm). Entre les touffes, ils sont en majorité, grossiers ou moyens (5-10 ou 3,15-5 mm).

- La structure, dans les espaces intertouffes de TOHA, est massive-fragmentaire. Les éléments structutaux obtenus ou débit sont grumeleux ou polyédriques. Sous les touffes, la structure est fragmentaire peu nette. Les agrégats sont grumeleux et en majorité grossiers (5-10 mm).



SCHEMA 1 : VARIATION LATERALE DE LA STRUCTURE

Ces observations confirment l'existence d'une différenciation latérale de la structure (de BLIC, 1975 ; de BLIC et MOREAU, 1977) liée à la répartition des racines fasciculées. Elles concordent également avec les résultats de travaux de HENIN, GRAS et MONNIER (1969) qui relèvent l'importance de la "quantité de racines des graminées sur l'intensité de la granulation". Selon ces derniers auteurs, ce sont "les systèmes racinaires fasciculés qui favorisent cette évolution".

Cette différenciation latérale est d'autant plus prononcée que la distribution des racines assimilatrices est discontinue comme dans la partie supérieure (0-10) des sols de TOHA. Cette discontinuité est due à un mauvais enracinement des espaces entre les touffes où "la cohésion" des éléments structuraux "jouent" peut être "le rôle de facteur limitant vis-à-vis du développement radiculaire" (BARLEY et GREACEN, 1967). La variation horizontale de la structure est cependant peu perceptible dans les sols de SOULA où les racines ne sont pas uniquement concentrées sous les touffes, mais occupent aussi les espaces dénudées, entre les touffes. Cette répartition assez régulière des racines fasciculées dans les horizons superficiels des sols de SOULA, pourrait être attribuée, comme ce fut déjà souligné, d'une part, à l'importance des touffes (largeur à la base plus qu'à leur densité et, d'autre part, à la permanence des souches de graminées qui assurent le maintien des racines dans les sols après les feux de brousse.

Conclusion

L'abondance des racines dans les horizons humifères des sols étudiés constitue "une preuve en faveur de l'ameublissement" de ceux-ci (MARTIN, 1935). Cet ameublissement, tel qu'il est apprécié d'après les résultats de l'évolution des racines, est en effet plus net dans les horizons de SOULA que dans ceux de TOHA et concorde avec les descriptions des types de structure. Mais à l'inverse, les racines peuvent avoir une certaine influence sur les caractéristiques structurales des horizons, surtout superficiels. Leur densité d'occupation dépend de celle du couvert végétal en général, mais on ne doit pas perdre de vue que le type de végétation intervient également (TRI et MONNIER 1973 ; HENIN et *al*. (1969).

Nous retiendrons, en définitive, que la structure d'un sol et des horizons humifères en particulier semble être en liaison avec la densité et la répartition des racines assimilatrices ou fasciculées, quand certaines conditions édaphiques sont remplies.

3.1.4. Distribution dimensionnelles des éléments structuraux

3.1.4.1. Reproductibilité

Les séparations granulométriques des éléments structuraux ont été précédées, d'une étude de la reproductibilité de la méthode sur des échantillons prélevés dans un horizon du sol de SOULA, dont les caractères sont les suivants :

. Profondeur d'apparition	60 cm
. Epaisseur	30 cm
. Couleur homogène	2,5 YR 4/8
. Structure massive meuble avec éclats polyédriques subanguleux	
. Texture argileuse	53 %
. Racines fines bien réparties, sans orientation préférentielle	
. Nombreuses cavités	
. Humidité	16,8 %
. Période	avril 1979

Dix essais ont été effectués sur les échantillons prélevés et traités suivant le mode opératoire décrit plus haut. Deux jours après ces premiers essais, une pluie orageuse, de courte durée (10 mn environ), est tombée sur la région. Nous avons alors repris la séparation granulométrique des éléments structuraux du même horizon dont l'humidité était alors montée de 16,8 à 27,0 %. On a évalué, pour le pourcentage des éléments structuraux de chaque classe dimensionnelle, l'écart type $\frac{(X_i - \bar{X})^2}{N-1}$, le coefficient de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne multipliée par 100) et l'intervalle de confiance de la moyenne. Les résultats obtenus lors des deux états d'humidité de l'horizon sont consignés dans le tableau 7.

voir page 113

Tableau 7 : Distribution des éléments structuraux d'un horizon B ferrallitique rouge sous 60-90 cm

Classe	10 mm		10-5 mm		5-3,15 mm		3,15 - 2mm		2-1 mm		1 mm	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Taux maximum	37,0	35,0	22,9	19,8	20,5	10,0	7,1	10,8	7,6	11,3	29,6	24,
Taux minimum	30,8	29,2	18,2	14,9	7,5	8,9	6,3	9,2	5,8	9,0	20,6	19,
Taux moyen	34,4	31,5	20,1	16,2	9,2	9,5	6,5	10,0	7,0	10,3	21,7	22,
γ_{n-1}	2,109	2,134	1,510	1,449	0,782	0,306	0,250	0,547	0,610	0,757	1,057	1,77
Coefficient de variation %	6,12	6,77	7,50	8,9	8,45	3,20	3,68	5,43	8,71	7,35	4,86	8,0
Intervalle de confiance	±1,33	1,34	0,95	0,91	0,49	0,19	0,15	0,34	0,38	0,47	0,66	1,1

1 : résultats obtenus à 16,8% d'humidité

2 : résultats obtenus à 27,0% d'humidité

L'analyse statistique montre que les résultats obtenus respectivement à 16,8% et à 27,0% d'humidité ne présentent entre eux aucune différence significative. On peut donc retenir que le taux d'humidité des échantillons n'influence pas la précision de la méthode et que les résultats qui en sont retirés sont reproductibles.

Dans la classe des agglomérats (taille supérieure à 10 mm) par exemple, les deux valeurs de l'intervalle de confiance (1,33 et 1,34) sont égales. Dans la classe des éléments structuraux moyens (3,15-5 mm) l'intervalle de confiance obtenu à 16,8% d'eau est supérieur à celui calculé à 27,0 et c'est l'inverse que l'on observe dans la classe des microagrégats. Il n'y a donc pas de différence systématique dans un sens ou dans l'autre.

Nous retiendrons, en définitive, que les erreurs sont, pour l'essentiel, le fait des manipulations effectuées sur le terrain. Le prélèvement des échantillons doit, en effet, s'opérer manuellement, et par conséquent selon un mode qui ne présente pas de caractère réellement standard. La seconde source principale d'erreur découle du matériel de pesée des échantillons. Pour des raisons évidentes, la balance utilisée doit être robuste et par conséquent, sa précision, qui est de l'ordre de 20 grammes, assez grossière.

La reproductibilité assez satisfaisante de la méthode a donc permis de passer à la première phase essentielle de l'étude de la granulométrie des éléments structuraux, c'est-à-dire l'évaluation de leurs taux respectifs. Cette évaluation s'est fondée sur les résultats obtenus par cinq répétitions.

3.1.4.2. Origine des échantillons

La séparation granulométrique des éléments structuraux a été effectuée sur divers échantillons provenant :

- des horizons des profils creusés, pendant tout le déroulement de l'étude sur le segment pédologique retenu pour sa représentativité dans chacune des deux toposéquences
- de la couche superficielle (0-10 cm) de sol piétiné
- des espaces entre les touffes des graminées
- de la partie la plus dense de la rhizosphère de certaines touffes de graminées.

Ces diverses origines ont été choisies afin de mieux cerner les facteurs susceptibles d'influencer la distribution dimensionnelles des éléments structuraux. On pouvait en effet, penser à priori que l'état structural des sols subit une évolution saisonnière. C'est la raison pour laquelle, la séparation a été effectuée au cours de chacune des six tournées étalées sur trois ans (1979, 1980 et 1981).

3.1.4.3. Les classes d'éléments structuraux

Comme ceci a déjà été mentionné, on obtient après le tamisage des échantillons, six classes d'agrégats ou d'éléments structuraux. Ce sont :

- la classe des "agrégats très grossiers", (GLOSSAIRE DE PEDOLOGIE, 1969) ou agglomérats qui restent après tamisage, sur le fond du tamis de maille 10 mm
- la classe des agrégats "grossiers", constituée d'éléments structuraux de taille comprise entre 5 et 10 mm
- la classe des agrégats "moyens" de taille comprise entre 3,15 et 5 mm

- la classe des agrégats "moyennement fins" : 2-3,15 mm
- la classe des agrégats "fins" : 1-2 mm
- et la classe des agrégats très fins ou "microagrégats" de taill inférieure à 1 mm.

3.1.4.4. Distribution des six classes d'éléments structuraux dans le sol

Les taux d'éléments structuraux (consignés en annexe) varient selon l'horizon et le type de sol considéré, et selon la période de prélèvement. Les variations de ces pourcentages d'agrégat des six classes sont, dans certains cas, plus ou moins marquées. I importe donc de s'assurer dans quelle mesure elles sont statistiqu ment significatives. C'est ainsi que nous avons eu recours au test de Kolmogorov-Smirnov qui est un test indépendant de la fonction d répartition de la variable. Il permet de comparer les fréquences cumulées respectives de deux ou plusieurs groupes de données. On c sidérera dans cette étude la variation des taux d'éléments structu raux obtenus, entre :

- les horizons d'un même profil,
- les horizons homologues des deux types de sols,
- les différentes périodes.

Dans cette partie de l'étude on se contentera de décrire la répartition des éléments structuraux des classes dimensionnelle sans chercher à expliquer d'emblée les causes de leur éventuelle évolution ou changement. On précisera cependant, lorsque le besoir s'imposera plus particulièrement, le taux d'humidité déterminé au moment du tamisage.

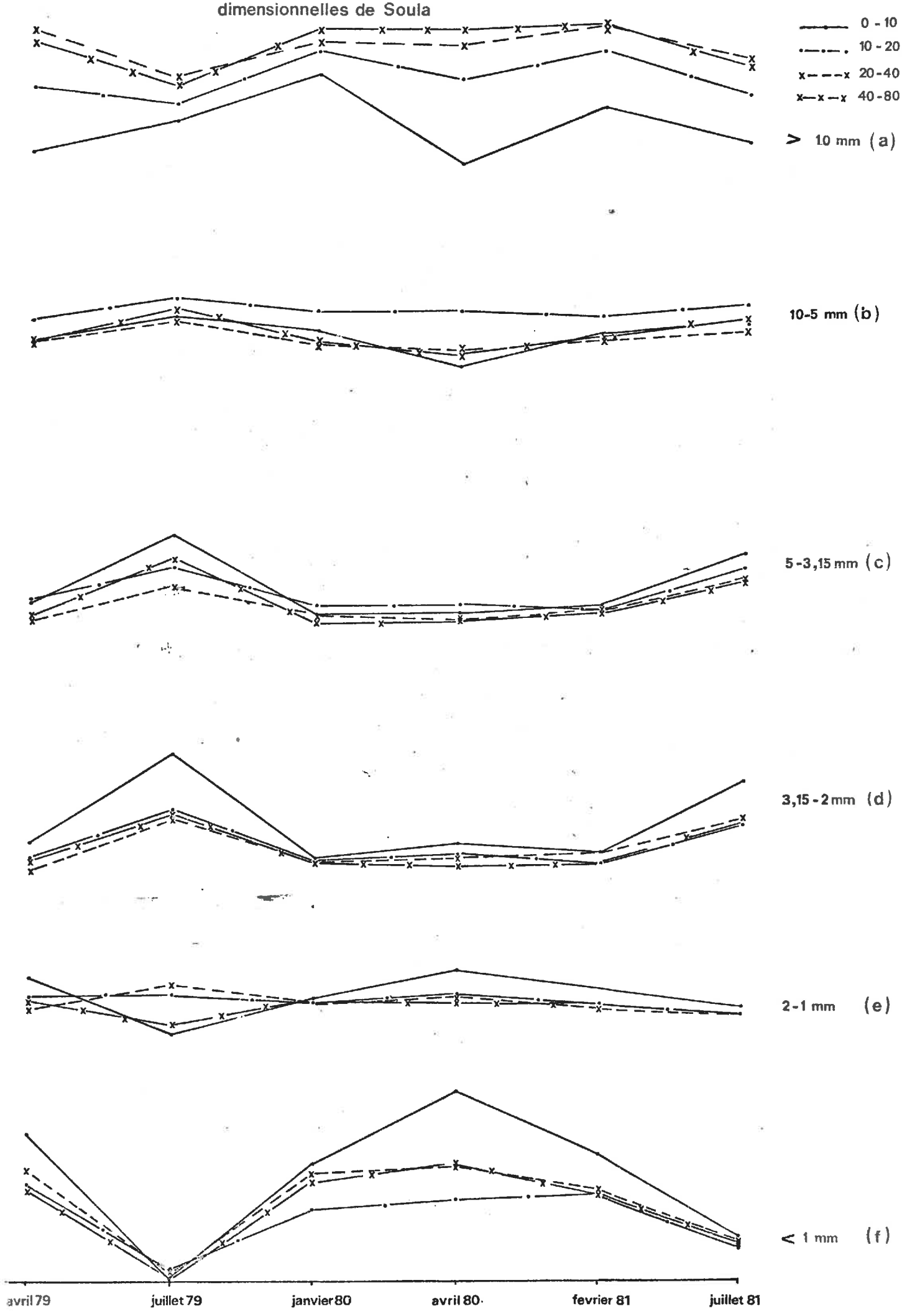
3.1.4.4. A - Distribution dans les sols de SOULA

a) Distribution des agglomérats ou éléments structuraux très grossiers (> 10 mm)

Les distances relatives calculées à partir des résultats du test de Kolmogorov-Smirnov précisent le sens et l'importance de variation des taux des éléments structuraux du profil. Elles sont définies par l'expression Dr = (distance observée/distance critiq au seuil de 5%) x 100. Pour toute valeur de ces distances relative

éléments
uraux

FIG 17 : Variation temporelle des taux des éléments structuraux des classes dimensionnelles de Soula



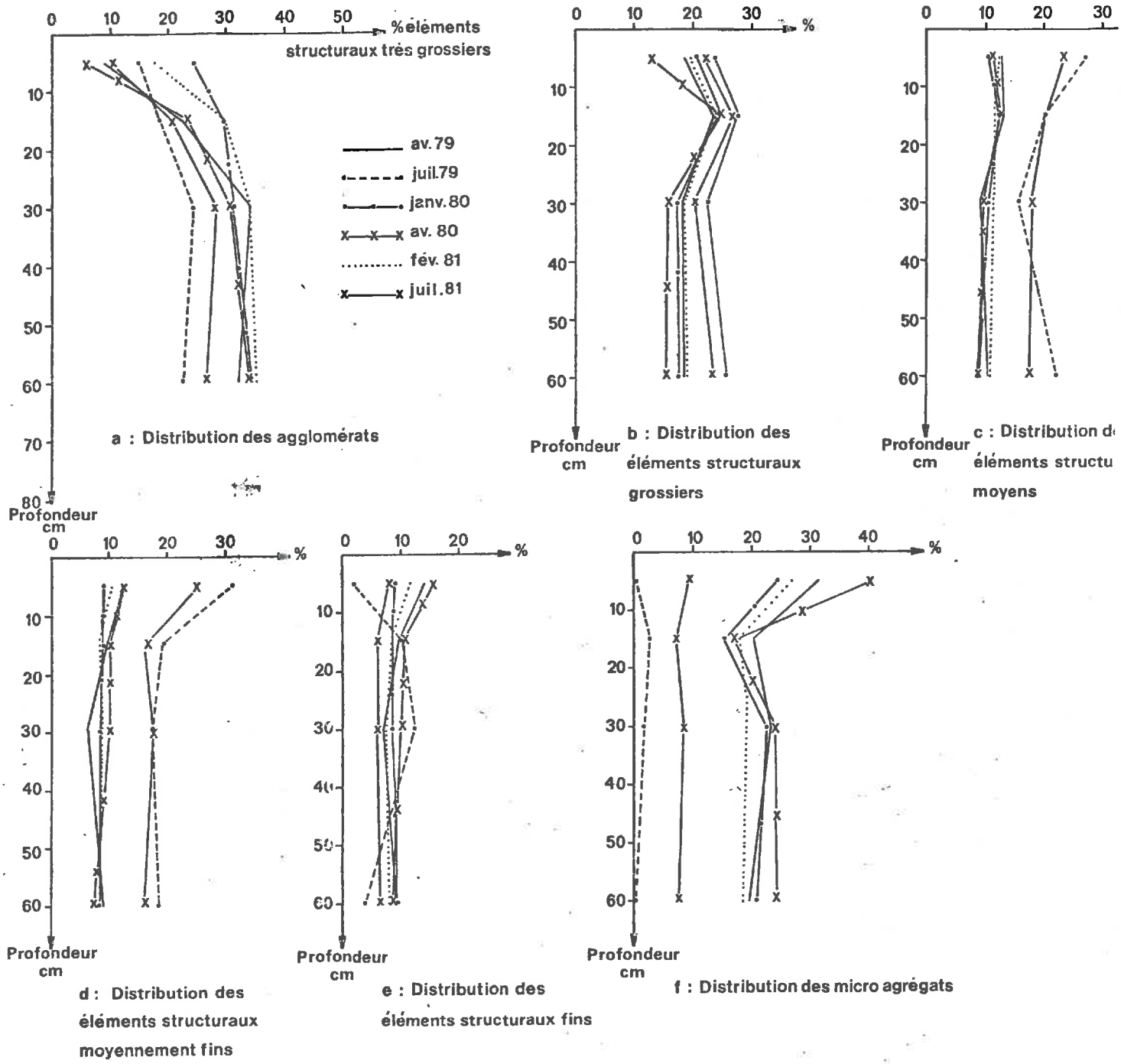


FIG : 16 Distribution verticale des classes d'éléments structuraux dans les sols de SOULA au cours des différentes périodes de mesure

supérieures ou égales à 100, on a une différence significative.

>10 mm

Tableau 8 : Distances relatives entre les taux d'agglomérats des horizons de SOULA

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		179	236	207
10-20			142	179
20-40				56
40-80				

L'examen du tableau 8 montre que les taux d'agglomérats des trois premiers horizons de SOULA (A_{11}, A_{12} et AB) sont significativement distincts les uns des autres quelle que soit la saison. Nous pouvons donc retenir que l'augmentation de la quantité des éléments structuraux très grossiers, observée, du premier au troisième horizon sur les courbes de distribution (fig. 16a), est significative. La variation entre les taux d'agglomérats des deux derniers horizons (AB et B) est, par contre, négligeable car statistiquement insignifiante (distance relative de 56%). Ces deux horizons qui au cours des différentes saisons, possèdent à peu près la même quantité d'éléménts structuraux très grossiers, peuvent être considérés présenter un comportement identique dans l'individualisation de ces agglomérats.

La variation des taux d'agglomérats dans le profil de SOULA fait ainsi distinguer les uns des autres et de façon nette, trois horizons : l'horizon humifère *sensu stricto* (A_{11}), l'horizon de faible pénétration organique et le premier horizon minéral sous-jacent (A B).

Dans chacun de ces trois horizons, le taux d'agglomérats varie cependant, au cours du temps (fig. 17a). Cette variation n'est pas seulement intersaisonnière, mais également interannuelle. Un exemple de ce dernier cas est donné par la comparaison des données respectives de juillet 1979 et de juillet 1981, qui met en évidence une distance significative (tabl. 9). Aussi, à titre exploratoire, le calcul a été effectué de la fréquence relative de variation significative, dans les 15 cas de possibilités de comparaisons

Tableau 9 : Appréciation de la variation temporelle des agglomérats

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	75	125	75
juil.79			125	125	50	125
janv.80				125	125	125
av. 80		73%*			125	75
fév. 81						125
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	50	125	75
juil.79			125	125	125	100
janv.80				100	25	75
av. 80					100	50
févr. 81		60%*				75
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	50	75	50	25
juil.79			125	125	125	125
janv.80				75	100	50
av. 80					100	100
fév. 81		53% *				25
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	50	75	125	50
juil. 79			125	125	125	125
janv. 80				25	100	50
av. 80		53% *			100	75
fév. 81						75
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps.

offertes entre les diverses périodes de prélèvement quelle que soit l'année. Ce calcul nous donne les résultats suivants :

73 % des cas pour l'horizon 0-10 cm
60 % des cas pour l'horizon 10-20 cm
53 % des cas pour les horizons situés entre 20-40 et 40-80 cm de profondeur.

D'une année à l'autre le taux d'agglomérats varie donc plus fréquemment dans les horizons humifères que dans les horizons sous-jacents. Il faut noter, par ailleurs, qu'en périodes humides (juillet) la quantité d'agglomérats de chacun des trois derniers horizons (A_{12}, AB et B) diminue sensiblement par rapport à celle qui est évaluée en saison sèche. Nous observons en effet que le taux maximum de ces éléments structuraux très grossiers est pour ces trois horizons, respectivement de 20,8%, 28,4% et 26,8% en saisons pluvieuses et de 22,3%, 30,8% et 32,4% en saisons sèches.

Ce qui précède autorise à retenir que la détermination du taux d'agglomérats fournit un indice assez spécifique de la caractérisation de l'état structural.

b) Distribution des éléments structuraux grossiers (5-10 cm)

Le taux des éléments sutructuraux grossiers augmente de façon significative du premier au second horizon, toutes saisons confondues. En effet, la distance relative calculée à partir de l'ensemble des résultats respectifs obtenus dans chacun des deux horizons humifères (A_{11} et A_{12}) aux cours des six tournées est de 189%. Ce taux diminue ensuite, de manière très nette et significative, dans le troisième horizon par rapport au second (Dr : 199%). Mais la variation observée entre les deux horizons non humifères (AB et B : 20-40 et 40-80) n'est pas significative. Dans le dernier cas, elle peut même être considérée comme négligeable, la distance relative étant de 28% (tableau 10).

Tableau 10 : Distances relatives entre les horizons de SOU pour la classe d'agrégats 10-5 mm

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		189	47	37
10-20			199	207
20-40				28

Les éléments structuraux grossiers apparaissent donc pl abondants dans l'horizon de faible pénétration organique (A_{12}) qu dans tout le reste du profil. Entre A_{11} et A_{12} (0-10 et 10-20 cm) leurs taux évoluent dans le même sens que ceux des agglomérats. O peut schématiser l'allure générale des courbes de distribution ve cale (fig. 16b), de la façon suivante : croissance dans le seconc horizon, décroissance dans le troisième et stabilisation ou légèr croissance dans le quatrième.

En ce qui concerne l'évolution de ces éléments structur grossiers dans chacun des horizons, au cours des différentes péri des de tamisage, les distances relatives, consignées dans les ta- bleaux 11, montrent que la variation dans le temps est :

- dans 73% des cas, significative au niveau des horizons humifères *sensu stricto* (A_{11} : 0-10 cm) ;
- jamais significative au niveau des horizons A_{12} : 10-20 cm) ;
- rarement significative (3% des cas) entre 20 et 40 cr
- et dans 60% des cas, significative entre 40 et 80 cm (profondeur.

Les taux évalués en périodes humides (juillet) dans chac des horizons, sont plus élevés que ceux que l'on obtient en saisc sèches (fig. 17b). La proportion des éléments structuraux grossi(aurait donc tendance à augmenter avec l'humidité du sol, c'est-à- dire, en saison pluvieuse, alors que dans le même temps, celle d(agglomérats tendrait à baisser.

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	125	75	75
juil.79			125	125	100	125
janv.80				125	50	100
av. 80			73%*		125	100
fév. 81						75
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		50	50	50	50	50
juil.79			75	50	50	75
janv.80				50	25	50
av. 80					50	25
févr. 81				0% *		50
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		100	50	75	50	25
juil.79			100	100	75	100
janv.80				100	50	50
av. 80		3% *			75	75
fév. 81						25
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	50	100	100	50
juil. 79			125	125	125	100
janv. 80				75	25	50
av. 80			60%*		75	100
fév. 81					75	100
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

On remarquera que la variation au cours d'une saison dans une même année ou d'une année à l'autre, peut être aussi significative que celle qui s'effectue entre deux saisons contrastée. Cette dynamique structurale semble, en effet, conditionnée par de nombreux facteurs (évolution du taux et de la nature de la matière organique, abondance de l'enracinement, teneurs en eau du sol...) que nous aurons à mettre en évidence plus loin.

L'étude de la répartition verticale des éléments structuraux grossiers permet donc d'assigner à l'horizon de pénétration humifère (10-20 cm), une assez nette particularité. Il n'est pas invraisemblable que celle-ci soit liée à diverses caractéristiques de la matière organique.

c) Distribution des éléments structuraux moyens (3,15-5 mm)

Le taux des éléments structuraux moyens, considérés sur l'ensemble des résultats acquis au cours des différentes époques de prélèvement, ne varie pas significativement entre les deux horizons humifères (0-10 et 10-20 cm), la distance relative (tableau 12) étant de 37%. On remarque cependant qu'en périodes humides (juillet) l'horizon superficiel (0-10 cm) renferme sensiblement plus d'éléments structuraux moyens que l'horizon sous-jacent (10-20 cm) (fig. 16c). Il est plausible que cette différence de comportement structural entre les deux horizons humifères ne puisse se révéler qu'à un taux d'humidité assez élevé.

Tableau 12 : Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe 3,15-5 mm

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		37	114	161
10-20			142	189
20-40				75
40-80				

moyens (5-3,15 mm) de SOULA

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		75	100	100	50	50
juil.79			125	125	100	100
janv.80				25	100	125
av. 80			66%*		100	125
fév. 81						75
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	75	50	75	75
juil.79			125	125	125	125
janv.80				75	50	25
av. 80			33%*		75	75
févr. 81						50
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	75	50	100	50
juil.79			75	125	100	100
janv.80				75	75	50
av. 80			40%*		100	50
fév. 81						75
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	100	100	50	50
juil. 79			125	125	125	125
janv. 80				25	75	100
av. 80			60%*		75	100
fév. 81						25
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

Du deuxième au troisième horizon, la quantité des éléments structuraux moyens baisse de façon significative avant de se stabiliser dans le quatrième. Il ressort donc de l'étude des différences significatives observées entre les divers horizons que ceux-ci se répartissent en deux ensembles distincts quant à l'individualisation des éléments structuraux moyens : d'une part, les horizons humifères et d'autre part, les horizons minéraux sous-jacents, ceux-ci présentant en général, des taux plus faibles que les premiers.

L'allure générale des courbes de distribution du sommet vers la base du profil peut être ainsi schématisée : constance, décroissance, constance. Exception faite de l'allure observée en juillet 1979.

L'examen du tableau 13 montre que le taux des éléments structuraux moyens varie de manière significative, au cours du temps :

- dans 66% des cas entre 0-10 cm
- dans 33% des cas au niveau de l'horizon A12 (10-20 cm)
- dans 40% des cas entre 20-40 cm
- et dans 60% des cas entre 40-80 cm de profondeur.

Ce même tableau montre que les pourcentages de ces éléments structuraux peuvent varier entre saison sèche et saison humide mais également au cours d'une même saison (juillet 1979 et juillet 1981). Ces taux ont tendance à croître en périodes humides, comme ceux des éléments structuraux grossiers (fig. 17c).

La distribution verticale des éléments structuraux moyens (3,15-5 mm) ne permet pas de distinguer, du point de vue structural, les horizons humifères l'un de l'autre, ni les horizons minéraux entre eux.

d) Distribution des éléments structuraux moyennement fins (2-3,15 mm)

L'examen des courbes de distribution verticale (fig. 16d) et des distances relatives consignées dans le tableau 14 montre que

- les teneurs en éléments structuraux moyennement fins diminuent, de manière significative, du premier au second horizon. Cette diminution apparaît principalement en saisons humides pendant lesquelles elle atteint 36%, alors qu'en périodes sèches elle n'excède pas 22% de la valeur enregistrée dans l'horizon supérieur ;

- la variation de ces taux n'est pas significative entre les horizons 10-20, 20-40 et 40-80 cm. Ceci peut s'expliquer par le fait que le taux des éléments structuraux moyennement fins croît ou décroît tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre des trois horizons. En effet, en avril 1979, on note une croissance relative du taux du troisième au quatrième horizon alors qu'en avril 1980 c'est plutôt une décroissance que l'on observe entre ces deux niveaux en fonction de la profondeur.

Tableau 14 : Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe d'agrégats 3,15-2 mm

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		102	142	142
10-20			56	85
20-40				37
40-80				

Les courbes de distribution verticale indiquent, en moyenne, une décroissance en fonction de la profondeur dans les trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12} et AB). Entre les niveaux 20-40 et 40-80 cm (AB et B), les variations sont beaucoup moins nettes et nous pouvons retenir que les taux apparaissent se stabiliser.

Les variations significatives dans le temps (fig. 17d) des taux d'éléments structuraux moyennement fins, observées à chaque niveau étudié dans le profil, apparaissent en général, plus fréquentes que pour les classes dimensionnelles précédentes. On observe, en effet, que ces variations sont significatives dans :

Tableau 15 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux moyennement fins (3 15 ÷ 2 mm)

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	50	75	50
juil.79			125	125	125	100
janv.80				100	50	125
av. 80			66%*		100	75
fév. 81						100
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	75	50	75	100
juil.79			125	125	125	125
janv.80				75	50	75
av. 80					75	50
févr. 81		53%*				125
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	125	125	125
juil.79			125	125	125	25
janv.80			66%*	100	25	75
av. 80					100	75
fév. 81						50
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	100	100	100	75
juil. 79			125	125	125	100
janv. 80			80%*	75	100	100
av. 80					75	100
fév. 81						125
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

66% des cas entre 0-10 cm
53% des cas entre 10-20 cm
66% des cas entre 20-40 cm
et 80% des cas entre 40-80 cm de profondeur.

Il est à remarquer que les variations les plus significatives sont observées en avril 1979 et surtout, en juillet de la même année (tableau 15). Les valeurs respectives obtenues au cours de ces deux périodes se distinguent d'une façon très nette, non seulement l'une de l'autre, c'est-à-dire entre deux saisons d'une même année, mais également, par rapport à celles qui sont déterminées à la même période de l'autre année de mesure. On note, comme pour les deux classes précédentes, une tendance à l'augmentation des éléments structuraux moyennement fins, en périodes humides.

e) Distribution des éléments structuraux fins (1-2 mm)

Excepté pour juillet 1979 où les valeurs obtenues passent de 2,0% dans l'horizon humifère (A_{11}) à 10,5% dans l'horizon de pénétration humifère (A_{12}), le taux d'éléments structuraux fins décroît du premier au second de ces deux horizons. Cette différence est d'ailleurs confirmée par le test de Kolmogorov-Smirnov (tableau 16). Ce même tableau 16 révèle que la variation est négligeable entre les niveaux 10-20 et 20-40 cm, alors qu'elle est significative entre le troisième (AB) et le quatrième horizon (B).

Tableau 16 : Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe d'éléments structuraux 1-2 mm

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		159	114	159
10-20			65	57
20-40				114
40-80				

Tableau 17 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux fins (1-2 mm)

	av. 79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Jull.81
av. 79		25	100	125	100	50
Jull.79			100	100	75	25
Janv.80				125	75	125
av. 80					125	100
fév. 81			66%*			100
Jull.81	*					

0-10 cm

	av.79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Jull.81
av. 79		125	100	50	125	75
Jull.79			125	125	125	125
Janv.80		66%*		75	25	125
av. 80					100	25
févr. 81						125
Jull. 81		..				

10-20 cm

	av. 79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Jull.81
av. 79		125	100	125	50	125
Jull.79			125	125	125	50
Janv.80				75	100	125
av. 80			80%*		125	125
fév. 81						125
Jull.81						

20-40 cm

	av. 79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév.81	Jull.81
av. 79		125	50	25	50	125
Jull. 79			125	100	125	125
Janv. 80				50	100	125
av. 80			66% *		50	125
fév. 81						125
Jull. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

La distribution verticale des éléments structuraux fins (fig. 16e) permet donc de distinguer, d'une part, les horizons humifères entre eux, et le plus superficiel de ceux-ci (A_{11}) par rapport à tous les autres et, d'autre part, les deux horizons minéraux étudiés, entre eux. L'allure des courbes de répartition le long du profil, la plus fréquente est : décroissance du premier au second horizon, stabilité dans le troisième puis légère croissance en profondeur. On remarquera que les éléments structuraux fins apparaissent, en saison sèche, plus abondants dans l'horizon humifère *sensu stricto* que dans le reste du profil (fig. 17e).

Comme précédemment, les fréquences de variations significatives entre les différentes périodes de prélèvement ont été calculées, niveau par niveau. Les résultats montrent que ces fréquences sont de :

66% de 0 à 10 cm,
66% de 10 à 20 cm,
80% de 20 à 40 cm,
et 66% de 40 à 80 cm (tableau 17).

Nous noterons,enfin, que pour le niveau le plus profond (40-80 cm) les variations enregistrées au cours d'une même période humide s'avèrent systématiquement significatives, quelle que soit la période de référence (fig. 17e).

f) Distribution des éléments structuraux très fins ou micro-agrégats (<1 mm)

Le taux des microagrégats varie d'une manière significative (tableau 18) entre l'horizon superficiel et chacun des trois autres horizons sous-jacents. En périodes sèches, il diminue très nettement de l'horizon humifère (A_{11}) à l'horizon de pénétration humifère (A_{12}), pour croître assez sensiblement dans le premier horizon minéral (AB), sous-jacent et rester en moyenne, à peu près constant en B (40-80 cm). En juillet 1981, on note la même variation verticale, avec ici, une atténuation des écarts entre les pourcentages des horizons successifs. En juillet 1979, ces écarts, tout en restant atténués, avaient par contre, présenté un sens inverse

se traduisant par une augmentation du taux de l'horizon de surface à l'horizon faiblement humifère, suivie d'une baisse plus ou moins rapide dans les couches inférieures.

La tendance évolutive dominante de la quantité de microagrégats dans le profil peut être schématisée de la manière suivante baisse significative dans le second horizon, remontée également significative dans le troisième et stabilité en profondeur (fig. 16f

Tableau 18 : Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe des microagrégats <1 mm

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		207	142	200
10-20			122	74
20-40				56

Les fréquences de variations significatives dans le temps (tableau 19) sont de :

87% pour l'horizon 0-10 cm,
53% pour l'horizon 10-20 cm,
80% pour l'horizon 20-40 cm,
et 93% pour l'horizon 40-80 cm.

Les variations temporelles les plus importantes s'observent entre la saison sèche et la saison humide, les taux de microargégats diminuant très fortement de la première à la seconde (fig. 17f). Cette diminution affecte encore plus nettement que les autres, l'horizon superficiel. Dans celui-ci le taux de microagrégat ne représente plus, en juillet, que 14 à 19% de celui que nous obtenons en saison sèche. Pour les horizons sous-jacents, cette proportion varie, en moyenne de 18 à 30%, les valeurs les plus élevées correspondant à l'horizon de pénétration humifère (10-20 cm).

Nous devons remarquer que les faibles taux obtenus en saison pluvieuse s'expliquent par le fait que les échantillons prélevés à cette période sont humides et que, sous l'effet des mouvements du tamisage , les ensembles structuraux s'agglomèrent plus ou moins entre eux. Cette agglomération affecte les éléments structuraux en

	av.. 79	Juil.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Juil.81
av. 79		125	100	100	125	50
Juil.79			125	125	125	125
Janv.80				125	25	100
av. 80					125	125
fév. 81			86,6%*			125
Juil.81						

0-10 cm

	av.79	Juil.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	100	75	100
Juil.79			125	125	125	125
Janv.80				75	75	50
av. 80					50	75
févr. 81				53,3%*		75
Juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	Juil.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Juil.81
av. 79		125	25	50	100	125
Juil.79			125	125	125	125
janv.80				50	100	125
av. 80			80% *		100	125
fév. 81						125
Juil.81						

20-40 cm

	av. 79	Juil.79	Janv.80	av. 80	fév.81	Juil.81
av. 79		125	100	125	50	125
Juil. 79			125	125	125	125
janv. 80				100	100	125
av. 80		93,3%*			125	125
fév. 81						125
Juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

fonction inverse de leur dimension, d'où une sousestimation du pourcentage qu'ils représentent effectivement. C'est sur les microagrégats que cette sous-estimation est la plus sensible, mais elle porte également sur les éléments de la classe dimensionnelle 2-1 mm. Corrélativement, les éléments structuraux de dimensions supérieures (2 - 3,15 et 3,15 - 5) sont surestimés. L'étude de la distribution dans le sol, des éléments structuraux de taille inférieure à 5 mm, ne peut donc prendre toute sa signification qu'en saison sèche.

g) Conclusion : Observations générales sur la distribution des éléments structuraux des classes dimensionnelles dans les sols de SOULA

La séparation granulométrique des agrégats effectuée selon la méthodologie exposée plus haut, permet de mettre en évidence les points suivants :

- Tout horizon présente une association d'éléments structuraux appartenant à plusieurs classes dimensionnelles.
- La distribution dimensionnelle des éléments structuraux d'un même horizon varie d'une période à l'autre. Cette variation est la plus fréquente dans l'horizon humifère *sensu stricto* (A_{11}).
- Dans un même profil, la quantité d'éléments structuraux de chaque classe varie d'un horizon à l'autre mais cette variation n'est pas toujours significative.
- Les éléments structuraux de taille inférieure ou égale à 10 mm sont, en général, plus abondants dans les horizons humifères que dans les horizons minéraux, sous-jacents.
- L'horizon superficiel et l'horizon de faible pénétration organique se distinguent souvent nettement, l'un de l'autre, par la proportion respective des divers éléments structuraux. Ce sont principalement les agglomérats et les éléments structuraux grossiers qui les différencient. Les valeurs obtenues pour ces deux classes dimensionnelles font d'ailleurs apparaître des différences de l'un à l'autre des trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12} et AB).
- Les taux d'agglomérats augmentent assez régulièrement du premier au troisième horizon, alors que ceux des éléments structuraux grossiers présentent un maximum entre 10 et 20 cm de profondeur.

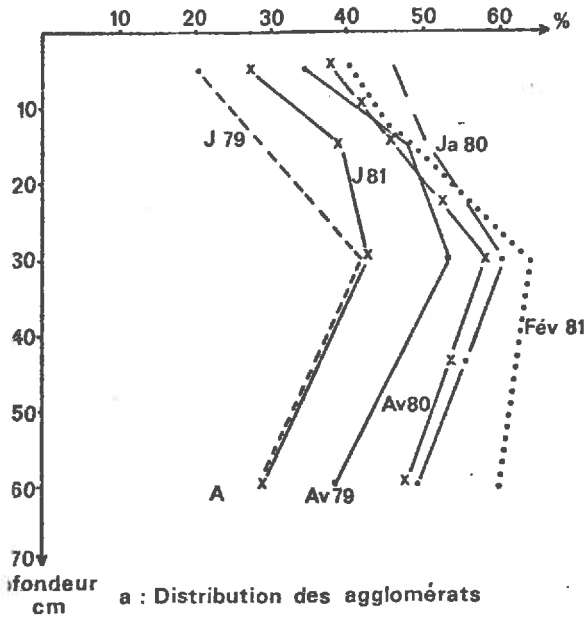
- Les deux horizons minéraux (AB et B) contiennent fréquemment des taux d'éléments structuraux assez voisins, quelle que soit la classe dimensionnelle. Ils peuvent donc, du point de vue structural, être considérés comme identiques.
- Les taux de microagrégats diminuent très fortement en saison humide mais il s'agit, pour une grande part, d'une sous-estimation due à l'agglomération au cours du tamisage.

La caractéristique assez constante qui se dégage de ce qui précède est que la distribution verticale des éléments structuraux du sol de SOULA confirme la spécificité pédogénétique des horizons humifères (A_{11}), faiblement humifères (A_{12}) et minéraux (AB et B). Le taux des éléments structuraux et principalement de ceux des classes dimensionnelles supérieures à 3,15 mm peut donc être utilisé, entre autres, comme un indice de la caractérisation structurale des horizons. Toutefois, dans cette caractérisation, la méthode de séparation par tamisage ne fait ressortir, des différences marquées entre les taux respectifs obtenus, que lorsque la différenciation morphologique du profil est elle-même accusée. Elle devra par conséquent être couplée à d'autres méthodes pour atteindre une précision plus fine.

3.1.4.4. B - Distribution des éléments structuraux dans les sols de TOHA

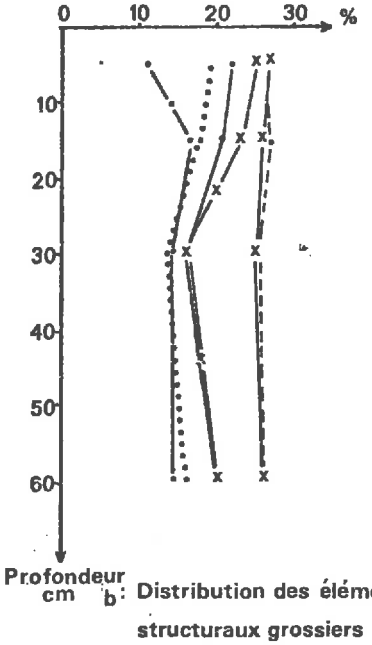
a) Distribution des agglomérats ou éléments structuraux très grossiers

Le taux des agglomérats croît assez régulièrement de 0 à 40 cm pour décroître d'une façon significative au moins jusqu'à 80 cm de profondeur (fig. 18a). Les taux concernant l'horizon le plus profond (B) étudié, se rapprochent de ceux qui sont obtenus pour les deux horizons humifères (A_{11} et A_{12}). Le test de Kolmogorov-Smirnov (tableau 20) ne fait d'ailleurs pas ressortir de différences significatives entre les taux des horizons humifères et ceux de l'horizon B.



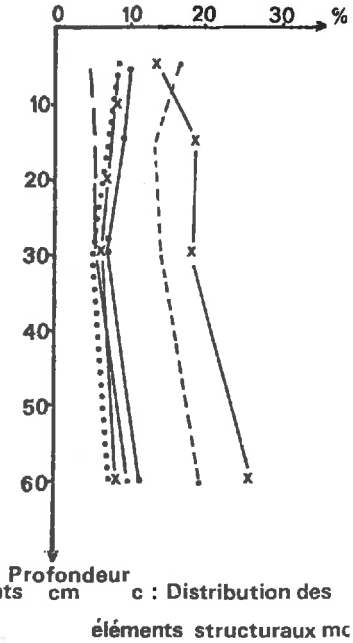
ofondeur cm

a : Distribution des agglomérats



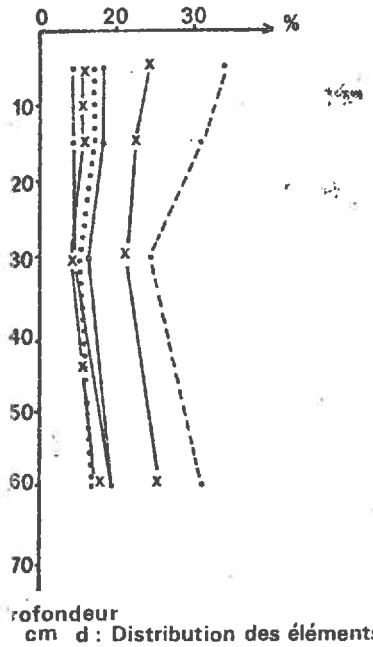
Profondeur cm

b : Distribution des éléments structuraux grossiers



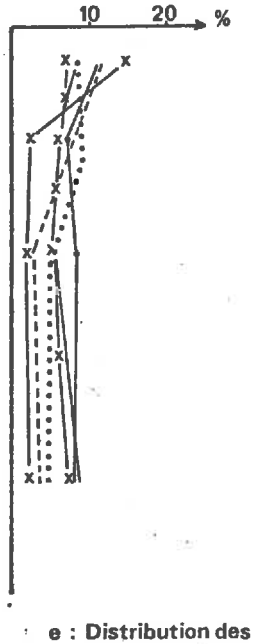
Profondeur cm

c : Distribution des éléments structuraux mc

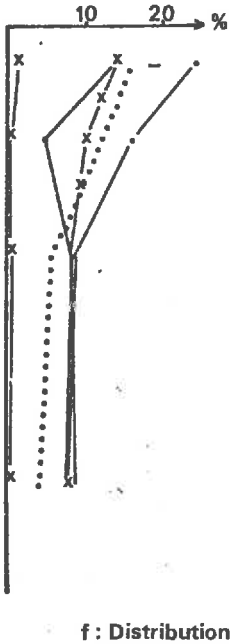


rofondeur cm

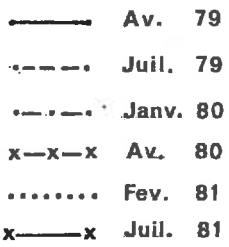
d : Distribution des éléments structuraux moyennement fins



e : Distribution des éléments structuraux fins



f : Distribution des microagrégats



TOHA

FIG.18 : DISTRIBUTION VERTICALE DES CLASSES D'ELEMENTS STRUCTURAUX DANS LES SOLS DE TOHA AU COURS DE DIFFERENTES PERIODES DE MESURE

Tableau 20 : Distances relatives entre les taux d'agglomérats des horizons de TOHA

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		114	170	74
10-20			159	85
20-40				131
40-80				

Par contre, les comparaisons bilatérales effectuées entre l'un ou l'autre des trois premiers horizons (A11, A12 et AB) montrent dans chaque cas, une différence significative. La distribution des agglomérats permet donc de souligner la spécificité de chacun de ces trois horizons et vient ainsi à l'appui de la distinction morphologique relevée au simple examen du profil.

D'une saison à l'autre, les taux d'agglomérats déterminés au niveau de chaque horizon varient assez largement (tableau 21). En effet, les valeurs obtenues en juillet, c'est-à-dire en saison humide, sont largement inférieures à celles qui concernent les périodes sèches. Ces taux évoluent également quelque peu au cours d'une même saison d'une année à l'autre. Par exemple, ceux qui correspondent à juillet 1979, d'une part, et juillet 1981, d'autre part, dans les horizons humifères, sont très nettement distincts les uns des autres. De même, ceux que l'on obtient respectivement en avril 1979 et février 1981 entre 20 et 40 cm de profondeur, accusent des différences significatives (fig. 19a).

Ces variations temporelles sont un peu plus fréquemment significatives dans les horizons minéraux (80% des cas) que dans les horizons humifères (60 à 73% des cas).

La distribution des agglomérats dans les profils de TOHA présente de nombreuses similitudes avec celle des profils de SOULA. Dans l'un comme dans l'autre type de sol, elle contribue à quantifier la différenciation pédogénétique verticale. D'autre part, la variabilité des taux d'une période à l'autre, fait ressortir le même type d'évolution structurale des horizons, dans le temps.

Tableau 21 : Appréciation de la variation temporelle des agglomérats de TOHA

	av. 79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Jull.81
av. 79		125	100	75	100	100
Jull.79			125	100	125	100
janv.80				75	75	125
av. 80					50	100
fév. 81				73,3%*		125
Jull.81						

0-10 cm

	av.79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Jull.81
av. 79		125	75	25	75	125
Jull.79			125	125	125	125
Janv.80				50	75	125
av. 80					50	100
févr. 81				60%*		125
Jull. 81						

10-20 cm

	av. 79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév. 81	Jull.81
av. 79		125	75	100	125	125
Jull.79			125	125	125	50
janv.80				50	100	125
av. 80					100	125
fév. 81				80%*		125
Jull.81						

20-40 cm

	av. 79	Jull.79	Janv.80	av. 80	fév.81	Jull.81
av. 79		125	50	125	125	125
Jull. 79			75	125	125	25
Janv. 80				100	125	100
av. 80					125	125
fév. 81				80%*		125
Jull. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

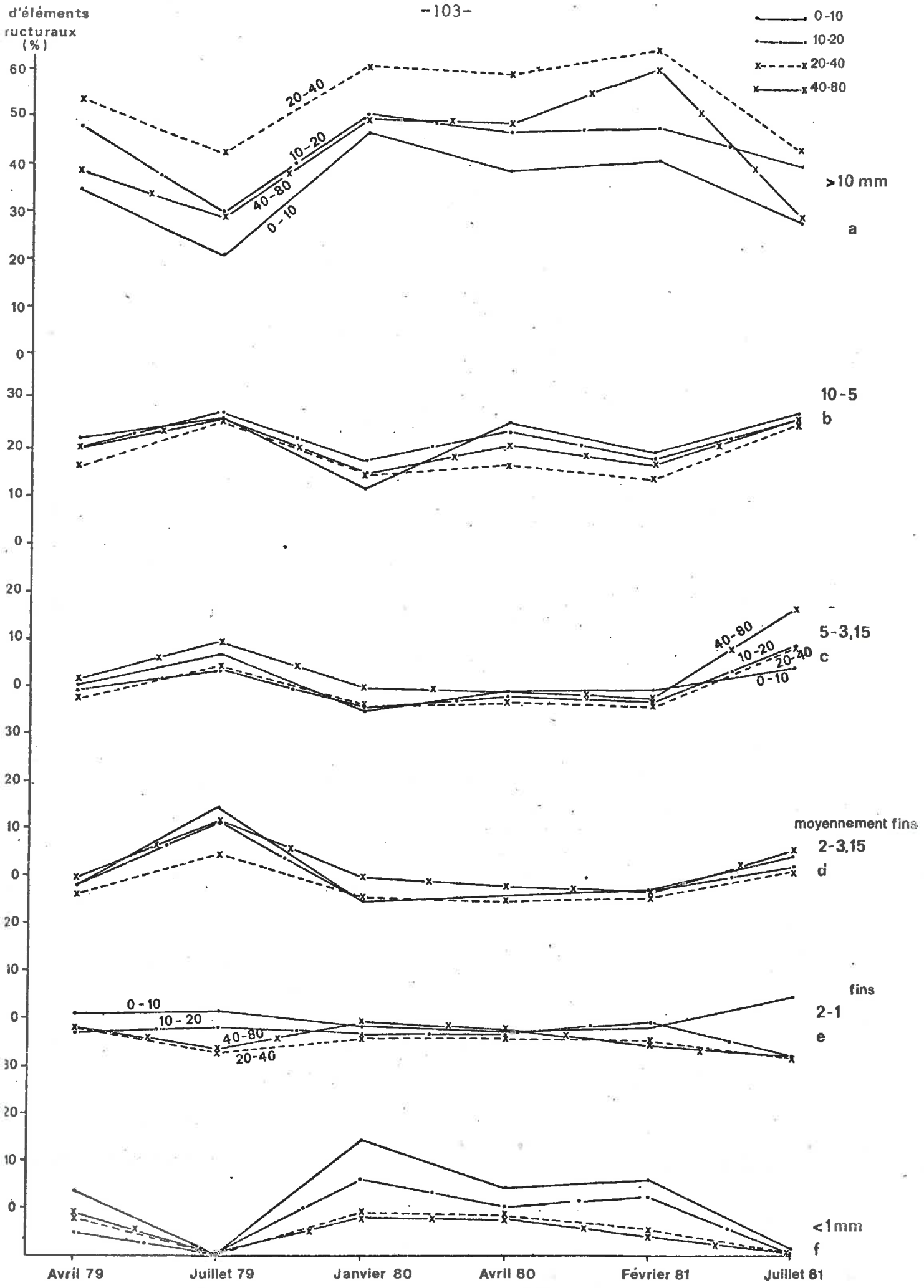


FIG. 19 : VARIATION DES TAUX D'ELEMENTS STRUCTURAUX POUR LES HORIZONS DE TOHA AU COURS DU TEMPS

b) Distribution des éléments structuraux grossiers

La variation des taux d'éléments structuraux grossiers à l'échelle profil (fig. 18b), est en général modérée, les distances relatives (tableau 22) étant, en majorité, nettement inférieures à 100%. C'est en saison des pluies que l'écart entre les pourcentages respectifs des divers horizons est le plus réduit : il est en effet inférieur à 2% en valeur absolue, pour une moyenne générale de 26% calculée sur toute la partie du profil étudié. En saison sèche, la variation la plus nette, toujours à l'échelle du profil, est principalement le fait du premier horizon minéral (20-40 cm).

Tableau 22 : Distances relatives entre les éléments structuraux grossiers des horizons de TOHA.

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		45,6	94,0	45,6
10-20			65,5	65,5
20-40				94,0
40-80				

On relève par contre des variations significatives des taux au cours du temps (tableau 23). Dans l'horizon humifère *sensu stricto* (A_{11}), ces pourcentages sont, dans 86% des cas significativement distincts les uns des autres. Dans l'horizon sous-jacent (10-20 cm), ils diffèrent moins fréquemment (66%). Du troisième au quatrième horizon, la fréquence de variation temporelle passe de 86 à 80%. Ces variations sont surtout marquées entre saison sèche et saison humide, celle-ci se caractérisant par une tendance à l'augmentation des taux d'éléments structuraux grossiers, comme dans les sols de SOULA (fig. 19b).

Tableau 23 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux grossiers (10 - 5 mm) de TOHA

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	100	100	125
juil.79			125	75	125	50
janv.80				125	125	125
av. 80					100	100
fév. 81				86,6%*		125
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	25	125	50	125
juil.79			100	50	125	125
janv.80				100	50	125
av. 80					75	100
févr. 81				66,6%*		125
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	125	125	125
juil.79			125	100	125	50
janv.80				125	50	125
av. 80					125	125
fév. 81				86,6%*		125
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	125	25	125	125
juil. 79			75	125	125	100
janv. 80				125	125	75
av. 80					125	125
fév. 81				86,6%*		125
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

c) Distribution des éléments structuraux moyens

La variation du taux des éléments structuraux moyens, considérée sur l'ensemble des résultats, est significative entre les deux horizons humifères d'une part, et entre les deux horizons minéraux d'autre part (tableau 24). Elle est modérée entre les niveaux 10-20 et 20-40 cm. L'allure des courbes de distribution verticale peut alors se schématiser de la façon suivante : abaissement du premier au second horizon, stabilité entre le deuxième et le troisième puis accroissement en profondeur (fig. 18c). On remarque néanmoins, en juillet 1981 une abondance relative des éléments structuraux moyens dans l'horizon faiblement humifère par rapport à l'horizon de surface (0-10cm).

La quantité de ces éléments structuraux recueillis au niveau de chaque horizon au cours des six périodes de tamisage présente une variation temporelle sensible (fig. 19c). Nous relevo en effet, au moins dans 80% des cas, une variation significative (tableau 25) dans chacun des horizons étudiés. Les taux de l'horizon 0-10 cm apparaissent plus sensibles aux changements de saisons ou de périodes que ceux des niveaux inférieurs (10-20 ; 20-40 et 40-80 cm). Comme pour les éléments structuraux grossiers (5-10 mm) ceux de cette classe dimensionnelle moyenne atteignent leurs valeu les plus élevées en saison humide, ainsi que nous l'avons vu à propos du sol de SOULA d'ailleurs.

Tableau 24 : Distances relatives entre les taux des éléments structuraux moyens des horizons de TOHA

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		102	85	85
10-20			37	114
20-40				122
40-80				

Si nous nous fondons sur les résultats des comparaisons effectuées à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov, la variation es quelque peu différente d'un type de sol à l'autre : à TOHA les deux horizons humifères se distinguent significativement l'un de

Tableau 25 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux moyens (5 - 3,15) de TOHA

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	100	100	125
juil.79			125	125	125	100
janv.80				125	125	125
av. 80			93,3%*		50	125
fév. 81						125
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	25	75	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				125	125	125
av. 80					75	125
févr. 81			80%*			125
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	125	125	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				25	75	125
av. 80			80%*		75	125
fév. 81						125
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	50	125	125	125
juil. 79			125	125	125	125
janv. 80				100	125	125
av. 80			86%*		75	125
fév. 81						125
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

l'autre, alors que ce n'est pas le cas pour le sol de SOULA. Il en est de même pour la comparaison réciproque des deux horizons minéraux.

d) Distribution des éléments structuraux moyennement fin

Les pourcentages des éléments structuraux moyennement fin décroissent, en moyenne, d'une façon très modérée mais régulière du premier (0-10 cm) au troisième horizon (20-40 cm) avant d'augmenter de manière significative en profondeur (40-80 cm) (fig. 18d). C'est en saison des pluies que leur variation, sur toute la partie étudié du profil, est la plus nette (tableau 26).

Tableau 26 : Distances relatives entre les taux des éléments structuraux moyennement fins des horizons de TOHA

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		37	56	85
10-20			45	122
20-40				122
40-80				

La distribution verticale des éléments structuraux moyennement fins présente quelque différence du type de sol de TOHA à celui de SOULA. Dans ce dernier, l'horizon humifère (0-10 cm), dont la valeur moyenne (16,8%) des pourcentages des éléments structuraux moyennement fins est la plus élevée, se distingue significativement de tous les autres horizons. Pour le type de sol de TOHA, par contre, les différences significatives concernent l'horizon le plus profond étudié (40-80) par rapport au premier horizon minéral (20-40 cm), sus-jacent et à l'horizon de pénétration humifère, les valeurs moyennes étant respectivement, de 11,8%, 7,8% et 9,9%.

En ce qui concerne l'évolution de la quantité de ces éléments structuraux au cours du temps, on relève que :

moyennement fins (3,15 - 2 mm)

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	100	100	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				50	125	125
av. 80					100	125
fév. 81				93,3% *		125
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	75	75	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				100	125	125
av. 80					100	125
févr. 81			86,6%*			125
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	125	125	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				50	25	125
av. 80					100	125
fév. 81				86,6%*		125
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	50	125	125	125
juil. 79			125	125	125	125
janv. 80				75	75	100
av. 80					100	125
fév. 81				80%*		125
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

- dans l'horizon humifère *sensu stricto*, la variation des taux est dans 93% des cas significative,
- entre 10-20 et 20-40 cm, elle est significative dans 86% des cas,
- en profondeur, les variations significatives sont légèrement moins fréquentes (80%) (tableau 27).

C'est entre la saison sèche et la saison humide que la variation est la plus marquée (fig. 19d) mais comme cela a été signalé pour le type de sol de SOULA, nous avons, en partie du moins, une surestimation des pourcentages obtenus en juillet.

e) Distribution des éléments structuraux fins

En février 1981, les teneurs en éléments structuraux fins croissent légèrement de l'horizon de surface (0-10 cm) à l'horizon faiblement humifère (10-20 cm). Pendant les cinq autres périodes on observe, par contre, le phénomène inverse, c'est-à-dire une diminution des taux de 0 à 20 cm de profondeur. L'horizon de pénétratio humifère, lui-même, s'avère, dans la majorité des cas, plus riche e agrégats et éclats fins que l'horizon sous-jacent (20-40 cm) dont les taux sont aussi inférieurs à ceux évalués dans l'horizon de profondeur (40-80 cm) (fig. 18e).

Les données du tableau 28 révèlent que toutes ces variations sont significatives si l'on excepte la comparaison des horizons 10-20 et 40-80 cm entre eux. Ainsi les taux des éléments structuraux fins permettent de souligner la différenciation morphologiqu du profil. Cette distribution verticale se rapproche de celle qui a été mise en évidence dans les sols de SOULA et qui a permis de confirmer la différenciation réciproque des horizons humifères d'une part, et celle des horizons minéraux d'autre part.

(2 - 1 mm) de TOHA.

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		50	100	125	125	100
juil.79			100	125	100	100
janv.80				75	25	125
av. 80			80%*		100	125
fév. 81						125
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		25	100	100	50	125
juil.79			75	75	75	125
janv.80				25	125	125
av. 80			60%*		125	125
févr. 81						125
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	125	125	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				50	75	125
av. 80			80%*		50	125
fév. 81						125
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	50	100	125	125
juil. 79			125	125	125	75
janv. 80				75	125	125
av. 80			80%*		125	125
fév. 81						125
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

Tableau 28 : Distances relatives des taux d'éléments structuraux fins des horizons de TOHA

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		122	236	142
10-20			142	94
20-40				114
40-80				

Le taux des éléments structuraux fins dans chacun des horizons, évolue assez souvent au cours du temps (fig. 19e). On constate, en effet, dans le tableau 29 que la fréquence de variations significatives atteint 80% dans les niveaux 0-10, 20-40 et 40-80 cm, et 60% dans l'horizon de faible pénétration humifère (10-20 cm).

La variation temporelle, comme pour les deux classes précédentes (3,15 - 5 mm et 2 - 3,15 mm), s'affirme principalement entre saison humide et saison sèche ; les raisons invoquées pour le sol de SOULA peuvent être reprises pour celui de TOHA. Ici c'est surtout la sous-estimation des taux en saison humide qui fait apparaître, lors du tamisage, les différences entre les deux saisons.

f) Distribution des microagrégats (< 1 mm)

En saisons des pluies (juillet) les taux des microagrégats évalués dans chacun des horizons de TOHA sont presque tous inférieurs à 1% (fig. 18f). Ceci étant dû au colmatage du tamis, par l'agglomération des microagrégats qui sont alors très humides. En périodes sèches les valeurs obtenues sont nettement plus élevées et, pratiquement dans tous les cas, supérieurs à 5%, dépassant même 23% dans l'horizon de surface; Pour l'essentiel, nous avons du sommet du profil jusqu'à l'horizon le plus profond étudié une décroissance régulière assez générale.

Tableau 30 : Distances relatives entre les taux de micro-agrégats des horizons de TOHA

	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		114	179	188
10-20			102	122
20-40				65
40-80				

Les données du test de Kolmogorov-Smirnov (tableau 30) montrent que :

- les trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12} et AB) se différencient réciproquement d'une manière significative, tout du moins en périodes sèches,
- par contre, les deux horizons minéraux (dont les valeurs moyennes générales sont de 5,3 et 4,9%) ne présentent pas, entre eux de différence significative.

Sur ces deux points, le type de sol de TOHA présente un caractère semblable à celui de SOULA. Cependant, l'allure de la distribution verticale n'est pas la même dans l'un et dans l'autre. En effet, on observe en saison sèche, à SOULA, une décroissance analogue à celle relevée du premier au second horizon de TOHA, mais une remontée assez nette des taux des microagrégats ont, à SOULA, dépassé, en juillet 1981, 7% à tous les niveaux alors qu'elles sont restées négligeables à TOHA.

Les taux des microagrégats accusent des variations fréquentes d'une période à l'autre et principalement entre saison sèche et saison humide (fig. 19f). On constate, en effet, dans le tableau 31, que dans 80% des cas au moins, les pourcentages estimés dans chacun des horizons, au cours du temps, diffèrent de manière significative, les uns des autres.

Tableau 31 : Appréciation de la variation temporelle des microagrégats (< 1 mm) de TOHA

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	25	25	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				125	125	125
av. 80			80%*		50	125
fév. 81						125
juil.81						

0-10 cm

	av.79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	125	75	125	125
juil.79			125	125	125	125
janv.80				125	125	125
av. 80			86%*		100	125
févr. 81						125
juil. 81						

10-20 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév. 81	juil.81
av. 79		125	100	125	75	125
juil.79			125	125	125	50
janv.80				75	100	125
av. 80			80%*		125	125
fév. 81						125
juil.81						

20-40 cm

	av. 79	juil.79	janv.80	av. 80	fév.81	juil.81
av. 79		125	125	125	125	125
juil. 79			125	125	125	0
janv. 80				0	125	125
av. 80			86%*		125	125
fév. 81						125
juil. 81						

40-80 cm

* Fréquence de variation significative dans le temps

g) Conclusion : Observations générales sur la distribution des éléments structuraux des classes dimensionnelles dans les sols de TOHA

L'examen des résultats de la séparation granulométrique des éléments structuraux dans les sols de TOHA nous conduit aux constatations qui ont été déjà faites pour les sols de SOULA, à savoir que :

- dans un horizon, on a une association d'éléments structuraux dont la gamme de granulométrie est assez large ;
- les proportions respectives des divers ensembles structuraux définis par leur dimension varient, pour un même horizon, plus ou moins d'une période à l'autre, principalement entre saison sèche et saison humide ;
- cette variation temporelle est fréquemment, la plus marquée au niveau des horizons humifères ;
- à l'échelle du profil, on observe, d'une manière générale, d'un horizon à l'autre, des variations du taux des diverses classes dimensionnelles d'éléments structuraux. Entre les différents horizons, les comparaisons bilatérales montrent que ces variations sont les plus fréquemment significatives pour les classes dimensionnelles les plus fines : <1 mm et 1-2 mm, ainsi que pour la classe des agglomérats (>10 mm). Par contre, la classe des éléments structuraux grossiers (5-10 mm) ne présente, dans les variations verticales des taux, pas de différence significative. Les différenciations les plus fréquentes dans l'éventail dimensionnel des éléments structuraux s'observent d'une part entre l'horizon humifère et l'horizon de pénétration humifère et, d'autre part, entre les deux horizons minéraux étudiés ;
- les taux d'agglomérats, comme dans le type de sol de SOULA, augmentent assez régulièrement du premier au troisième horizon ;
- les taux des éléments structuraux des classes dimensionnelles <1 mm, 1-2 mm et 2-3,15 mm subissent des variations saisonnières très sensibles, comme dans le type de sol de SOULA. Ceux des éléments structuraux 2-3,15 mm, évalués en juillet, au niveau de chacun des horizons étudiés, représentent, en moyenne, le double de ceux qui sont enregistrés en saison sèche. Pour les

éléments structuraux 2-1 mm le rapport des taux entre saison humid et saison sèche, dans l'horizon 0-10 cm est de 1,5. Par contre, po les horizons sous-jacents (A_{12}, AB et B), les taux des éléments de cette classe (2-1 mm) en juillet, représentent, en moyenne, 33 à 70% de leurs valeurs en saison sèche. Quant aux microagrégats, on estime, en moyenne, en saison des pluies, qu'ils sont nettement en dessous de leur quantité évaluée en périodes sèches, dans chacun d horizons étudiés. Les variations saisonnières des taux respectifs ces trois classes dimensionnelles sont principalement le fait de surestimation ou de sous-estimation déjà évoquées plus haut à prop du tamisage.

On retiendra, enfin, que les variations verticales ou te porelles des pourcentages d'éléments structuraux de certaines clas ses dimensionnelles ne conduisent pas, souvent, aux mêmes conclusions d'un type de sol à l'autre. Par exemple, les taux d'agglomérats de TOHA diminuent encore plus nettement en saisons des pluies que ceux du type de sol de SOULA. En effet, le rapport des taux entre saison humide et saison sèche équivaut, en moyenne, pour le sol de TOHA à 5% entre 0-10 cm, 2% entre 10-20 cm, 32% entre 20-40 cm et 2,7% entre 40-80 cm de profondeur, alors que pour celu de SOULA, on a respecitvement 28% pour le niveau 10-20 cm, 22,8% pour le niveau 20-40 cm et 19% pour le niveau 40-80 cm. L'évolutio verticale de cette classe dimensionnelle souligne la différenciati pédogénétique réciproque des horizons minéraux de TOHA (dont l'un est gravillonnaire), alors qu'elle ne permet de mettre en évidence aucune différence significative entre ies horizons AB et B de SOUL Les taux d'éléments structuraux grossiers des horizons humifères (A_{11} et A_{12}) de SOULA sont significativement distincts, les uns de autres, par contre ceux des deux horizons supérieurs (A_{11} et A_{12}) TOHA sont statistiquement identiques.

Des analyses précédentes, il ressort que le taux des élé ments structuraux des classes dimensionnelles peut être utilisé, entre autres, comme cela a été déjà signalé pour le type de sol de SOULA, comme un indice de caractérisation structurale des horizons Cependant, les classes dimensionnelles les plus fines (1 à 3,15 mm ne devront être prises en compte qu'en périodes sèches.

En fait, c'est lorsque les différenciations morphologiques des profils apparaissent accusées, que la séparation granulométrique des éléments structuraux permet au mieux de mettre en évidence les différences structurales entre les horizons successifs. Les enseignements recueillis grâce à l'utilisation de cette méthode doivent en fait être complétés, dans la plupart des cas, par ce que peuvent apporter d'autres approches.

3.1.4.5. Valeur diagnostique des résultats de la séparation dimensionnelle des éléments structuraux

Le but de l'étude est de faire de la séparation granulométrique des éléments structuraux une méthode de terrain permettant de caractériser l'état structural des horizons. Les résultats de celle-ci doivent, par conséquent, être fiables, c'est-à-dire ne doivent pas varier de façon aléatoire d'une saison à l'autre et d'un type de sol à l'autre. Nous allons donc examiner l'évolution des éléments structuraux de chacune des six classes dimensionnelles, dans les deux types de sols, afin de retenir ceux dont la variation des taux n'est pas le fait d'un hasard.

a) Classe des agglomérats ou éléments structuraux très grossiers

Les taux d'agglomérats, dans les sols de SOULA comme dans ceux de TOHA, augmentent du premier (0-10 cm) au troisième horizon (20-40 cm). A partir de ce dernier, ils deviennent constants dans le premier site alors qu'à TOHA, ils diminuent. Cette différence d'évolution, dans les horizons inférieurs (AB et B), semble pouvoir s'expliquer par le fait que les horizons 20-40 cm et 40-80 cm des sols de SOULA présentent des caractéristiques morphologiques très proches (structure, cohésion, absence d'éléments grossiers), contrairement à ceux de TOHA qui se distinguent, l'un de l'autre, par le taux de nodules ferrugineux et des graviers de quartz. Ce taux passe, en effet, de 6% entre 20-40 cm à 30% environ entre 40-80 cm.

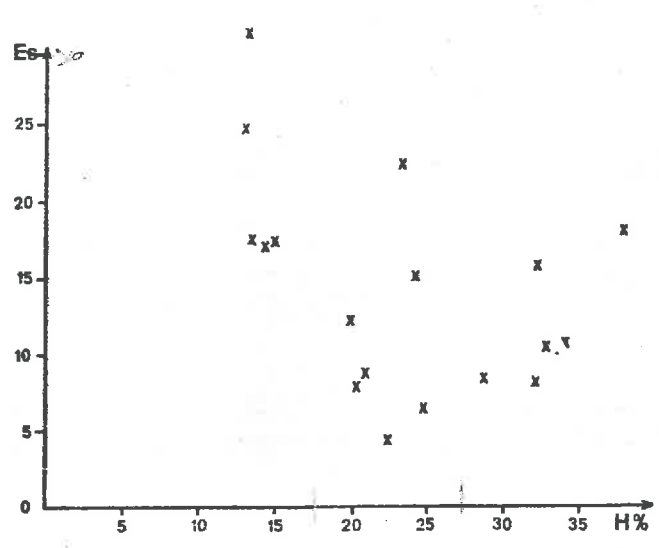
Les pourcentages des agglomérats permettent donc de distinguer, à l'échelle du profil, des horizons dont les différenciations morphologiques sont apparentes. Ils sont, dans chacun des types de sols, corrélés négativement aux teneurs en eau du sol (tableau 32, fig. 20 et 21). Ainsi l'humidité du sol favoriserait

Tableau 32 : Corrélation entre l'humidité du sol et les taux des éléments structuraux des classes dimensionnelles.

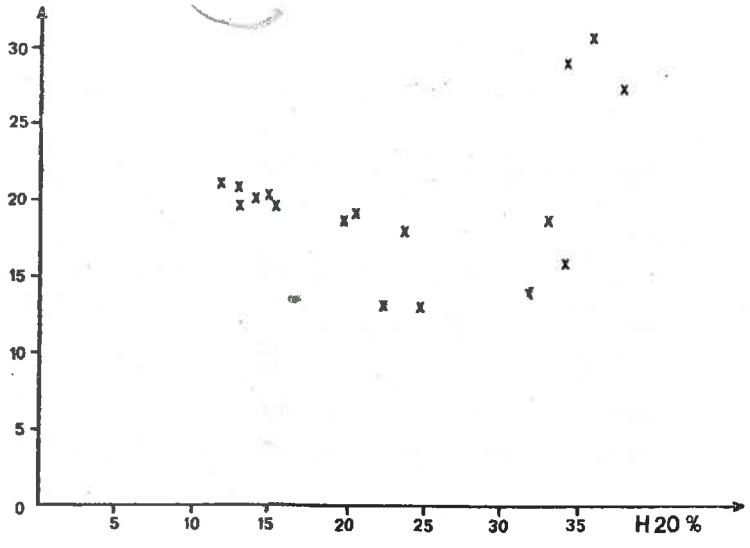
Sols	Horizons	Classes : >10mm	10-5	5-3,15	3,15-2	2-1	1-0
SOULA	1	rs = 0,399	rs = 0,262*	rs = 0,706	rs = 0,925	RS = 0,362*	rs = 0,911
	2	rs =-0,562	rs = 0,320*	rs = 0,640	rs = 0,720	rs =-0,384*	rs =-0,990
	3	rs =-0,604	rs = 0,402	rs = 0,775	rs = 0,775	rs =-0,812	rs =-0,782
	4	rs =-0,627	rs = 0,484	rs = 0,579	rs = 0,618	rs =-0,421	rs =-0,745
TOHA	1	rs =-0,888	rs = 0,800	rs = 0,887	rs = 0,922	rs = 0,660	rs =-0,920
	2	rs =-0,831	rs = 0,832	rs = 0,638	rs = 0,914	rs =-0,09*	rs =-0,847
	3	rs =-0,670	rs = 0,747	rs = 0,638	rs = 0,890	rs =-0,631	rs =-0,827
	4	rs =-0,685	rs = 0,476	rs = 0,562	rs = 0,874	rs =-0,584	rs =-0,716

* non significatif ; N = 18 ; $R_{0,05}$ = 389

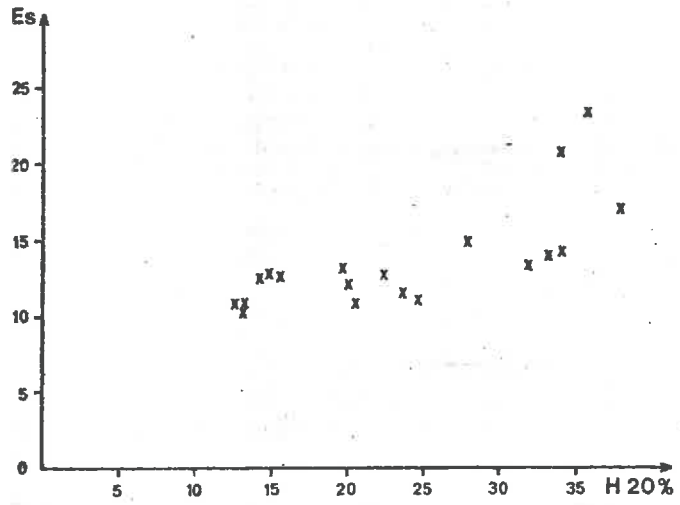
FIG. 20 : CORRELATION ENTRE L'HUMIDITE ET LES TAUX D'ELEMENTS STRUCTURAUX DES CLASSES DIMENSIONNELLES DES HORIZONS A11 (0-10cm) DE SOULA



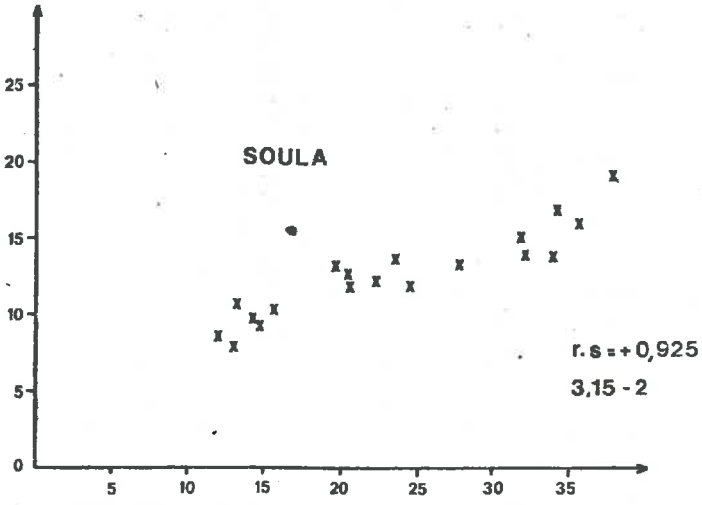
(a) >10mm
r.s = -0,399



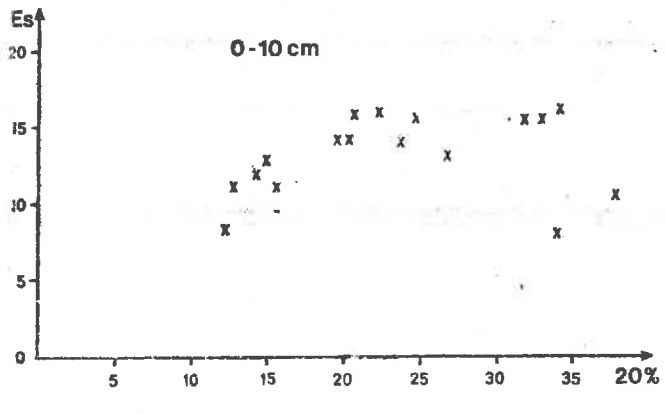
10-5mm
r.s = 0,262 (b)



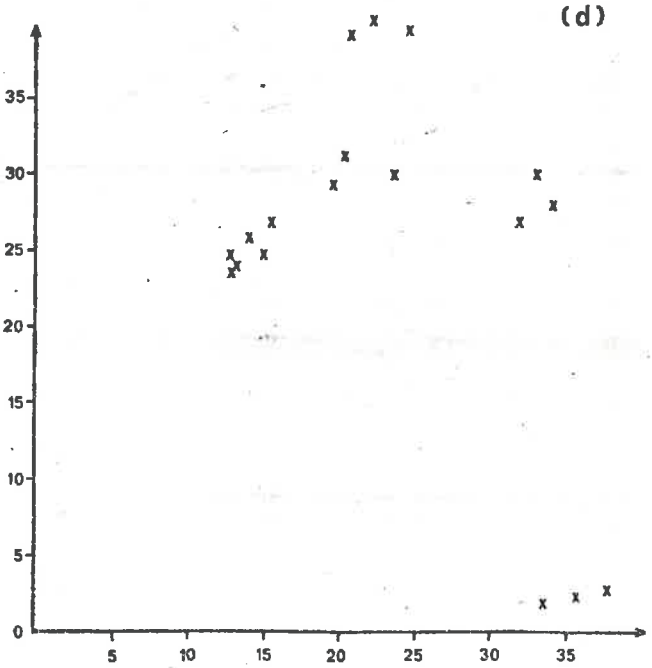
(c) 5-3,15mm
r.s = +0,706



(d)



2-1mm
(e) r.s = +0,362



<1mm
r.s = -0,911 (f)

voir page 78

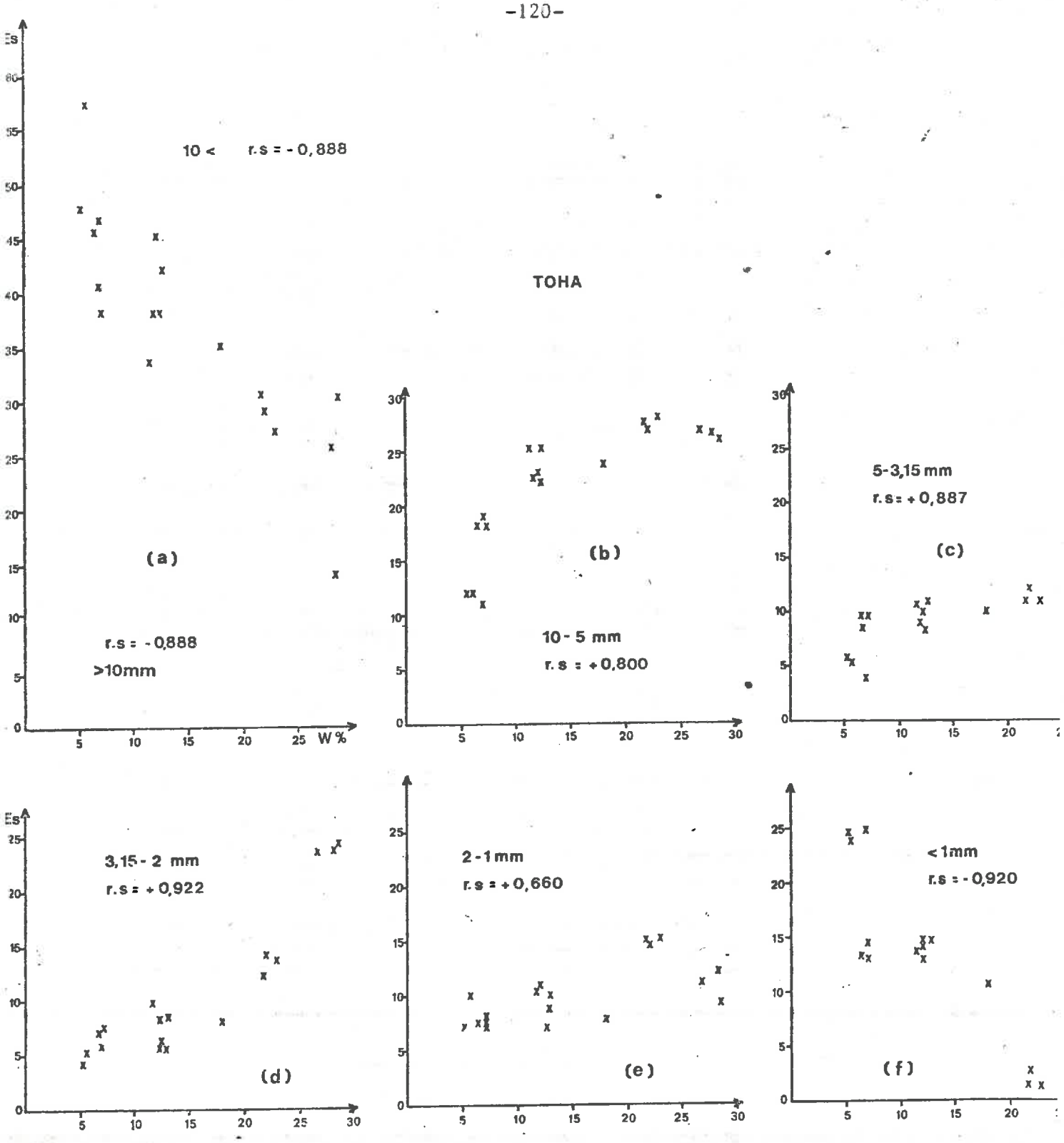


FIG. 21 : CORRELATION ENTRE L'HUMIDITE ET LES TAUX D'ELEMENTS STRUCTURAUX DES CLASSES DIMENSIONNELLES DES HORIZONS A11 (0-10cm) DE TOHA

l'émiettement des agglomérats et des mottes contrairement à la "dessication qui provoque une prise en masse des éléments structuraux" (HUTTER, 1966).

b) Classe des éléments structuraux grossiers

La distribution verticale des éléments structuraux grossiers est monotone dans le type de sols de TOHA et ne permet pas de différencier les horizons. Dans les sols de SOULA, elle fait cependant distinguer, comme nous l'avons noté antérieurement, les niveaux 0-10 cm, 10-20 cm et 20-40 cm entre eux. Elle nous fournit donc un élément d'appréciation assez spécifique de l'état structural de chaque type de sols.

L'influence des teneurs en eau sur les pourcentages de ces ensembles structuraux confirme la spécificité des informations fournies par la variation de ceux-ci. En effet, dans chaque horizon du type de sols de TOHA, les taux croissent avec les humdités (tableau 32), alors que dans le type de sols de SOULA, la quantité d'éléments structuraux grossiers des horizons A_{11} et A_{12} apparaît indépendante de celles-ci. Dans un cas l'humidité du sol, en favorisant la fragmentation des agglomérats et des mottes par la "destruction de leur structure" (HENIN et *al.*, 1969), permet l'accroissement de la quantité d'éléments structuraux grossiers. Dans l'autre cas, cette humidité n'a pas d'effet sur la variation saisonnière ou temporelle. Cette divergence donne à penser que les horizons à structure fragmentaire grumeleuse dominante contiennent des éléments structuraux 10-5 mm rarement influençables par des teneurs en eau du sol.

c) Classe des éléments structuraux moyens

Les taux des éléments structuraux moyens varient, de manière significative, d'une part, entre les deux horizons humifères (A_{11} et A_{12}) et, d'autre part, entre les deux horizons minéraux (AB et B) de TOHA. Dans les sols de SOULA la variation n'est significative qu'entre les niveaux 10-20 cm et 20-40 cm. On constate donc que la distribution verticale des éléments structuraux moyens donne, pour chacun des deux types de sols, des éléments d'appréciation différents. Ceux-ci ne correspondent d'ailleurs que partiellement aux différenciations morphologiques des profils.

Il faut cependant souligner que les taux d'éléments structuraux moyens, à un niveau donné, sont liés positivement aux teneur en eau du sol (fig. 20C et 21C).

d) Classe des éléments structuraux moyennement fins

Dans les sols de SOULA les taux des éléments structuraux moyennement fins, décroissent du premier au second horizon avant de se stabiliser dans les horizons plus profonds. Cette variation verticale s'oppose quelque peu à celle qui a été observée dans les sol de TOHA où les taux, constants entre les deux premiers horizons (A_{11} et A_{12}), diffèrent entre les deux derniers (AB et B).

La variation des éléments structuraux de cette classe dépend positivement, pour un horizon donné, de l'humidité du sol. La valeur significative prise par le coefficient de corrélation (tableau 32) traduit la forte influence des teneurs en eau sur la quantité de ces ensembles structuraux surestimés en périodes humides comme nous l'avons déjà signalé.

e) Classe des éléments structuraux fins

Les teneurs en éléments structuraux fins n'évoluent pas d la même manière dans chacun des deux types de sols étudiés. Elles décroissent de 0 à 40 cm dans les sols de TOHA, alors que cette décroissance dans les sols de SOULA s'arrête à 20 cm de profondeur. L'influence de l'humidité du sol se manifeste différemment au niveau de chacun des horizons des deux types de sols (tableau 32). Ceci peut s'expliquer par la difficulté de tamisage de ces éléments structuraux en périodes humides.

f) Classe des éléments structuraux très fins ou microagrégats

En saison humide, les pourcentages de microagrégats sont très faibles et varient rarement, de façon marquée, d'un horizon à l'autre dans le profil. Ils sont sous-évalués et ne permettent pas, en cette période, de se prononcer sur leurs valeurs réelles. En saison sèche, ils confirment cependant les différenciations morphologiques des horizons supérieurs (A11, A12 et AB).

Ces pourcentages de microagrégats, comme ceux des agglomérats, décroissent quand les humidités du sol augmentent. Ceci semble dû, d'une part, à l'agglomération des microagrégats qui forment alors des éléments structuraux de plus grande taille et, d'autre part, au colmatage des mailles de tamis de 1 mm d'ouverture. Ce colmatage s'oppose à la séparation intégrale des éléments structuraux très fins.

Conclusion

Des six classes dimensionnelles obtenues au cours de chacune des différentes périodes de tamisage, seule, celle des agglomérats très grossiers (taille supérieure à 10 mm), de par le caractère assez ordonné de la variation du pourcentage qu'elle représente, paraît pouvoir contribuer à définir l'état structural des divers horizons. C'est donc cette classe que nous prendrons en considération pour approfondir la caractérisation morphologique des modes de structure décrits dans deux types de sols du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Pour faciliter l'interprétation des résultats, en premier lieu, et nous référer aux travaux de MONNIER et TRI (1971), en second lieu, nous considérerons plutôt le taux cumulé des éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm (T.C.E.S. <10). Ce T.C.E.S. <10 s'obtient en retranchant du taux total des classes dimensionnelles, celui des agglomérats.

3.1.4.6. Séparation granulométrique selon la méthode TRI (1968)

a) Conditionnement des échantillons

La méthode TRI a été décrite plus haut. Néanmoins, il n'est pas inutile de rappeler les modes de prélèvement et de conditionnement des échantillons.

"Pour que les résultats obtenus rendent compte le plus fidèlement possible de l'état structural *in situ*, les échantillons doivent être prélevés dans le profil en évitant toute compression ou lissage susceptible de modifier les liaisons entre les éléments structuraux au niveau des faces de moindre résistance" (MONNIER et TRI, 1971). Respectant ces précautions, nous avons prélevé, dans chacun des horizons des deux types de sols étudiés, trois monolithes de 10 x 15 cm de côté. Les profondeurs de prélèvement pour cette méthode sont successivement 0-10 cm, 10-20 cm et 20-40 cm. Les échantillons de la tranche 40-80 cm (de TOHA) ont été rejetés pour mauvais prélèvement dû à l'abondance d'éléments grossiers. Les prélèvements ont été effectués en février 1981 puis en juillet de la même année.

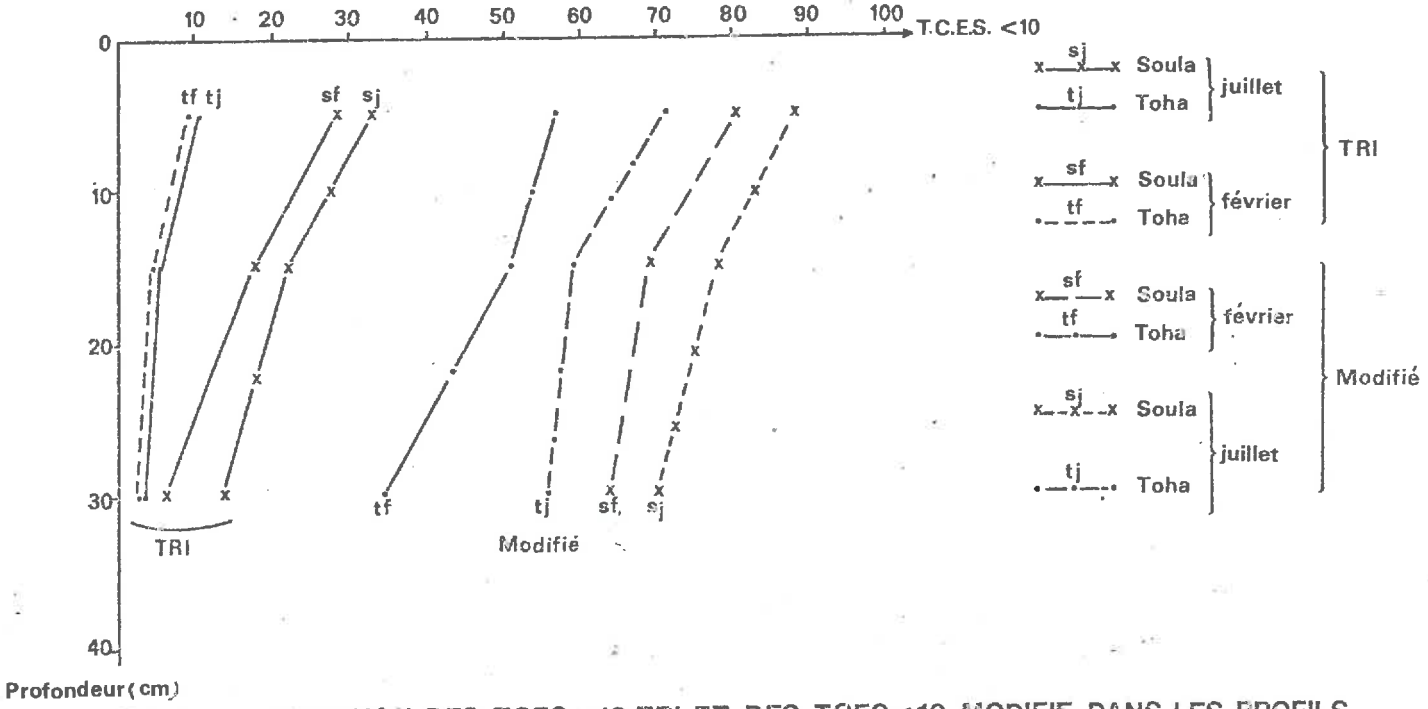


FIG.22 : VARIATION DES TCES<10 TRI ET DES TCES<10 MODIFIE DANS LES PROFILS DE SOLS DE TOHA ET DE SOULA EN FEVRIER ET JUILLET

Sur chacun des monolithes séchés à l'air, "tels qu'ils ont été prélevés" (MONNIER et TRI, 1971), des prises d'essai de 100 g ont été traitées.

b) Les résultats

Pour l'analyse des résultats consignés dans le tableau 33 et représentés sur les courbes de la figure 22, nous considérons uniquement le T.C.E.S <10 comme MONNIER et TRI (1971).

Tableau 33 : Evolution des T.C.E.S. <10 TRI et des T.C.E.S. <10 M dans les profils des sols de TOHA et de SOULA en février et juillet

Horizons (cm)	février				juillet			
	% TRI		% Modifié		% TRI		% Modifié	
	S	T	S	T	S	T	S	T
0-10	28,4	9,3	81,2	58,3	33,2	10,4	88,6	71,3
10-20	18,1	4,8	69,5	51,2	22,1	5,6	78,2	59,2
20-40	6,4	2,9	64,4	34,8	14,1	3,7	70,6	56,1

S = SOULA T = TOHA

En février(1981)le T.C.E.S. <10 TRI diminue du premier au troisième horizon des deux types de sois. Ses valeurs, dans les horizons de sols de SOULA sont respectivement de 28,4%, 18,1% et 6,4%. Elles sont de 9,3 ; 4,8 et 2,9% dans ceux de TOHA. En juillet (1981), on observe également une décroissance du T.C.E.S. <10 TRI en fonction de la profondeur du sol. Ce taux est, pour les sols de SOULA, de 33,2% en A_{11} (0-10 cm), 22,1% en A_{12} (10-20 cm) et 14,1% en AB (20-40 cm). Pour ceux de TOHA, il est de 10,4% entre 0-10 cm, 5,6% entre 10-20 cm et 3,7% entre 20-40 cm. On remarque donc que, quelle que soit la saison, le T.C.E.S. <10 TRI décroît de la surface vers la profondeur. Cette décroissance, entre 0-10 et 10-20 cm d'une part, et entre 10-20 et 20-40 cm d'autre part, correspond :

- dans les sols de SOULA, à 36 et 64% en février et à 33 et 36% en juillet ;

- dans ceux de TOHA, à 48 et 39% en février et à 46 et 33% en juillet. La variation verticale du T.C.E.S. <10 TRI apparaît donc fréquemment plus marquée dans les sols de TOHA que dans ceux de SOULA.

On constate également une variation saisonnière du T.C.E. <10 TRI. Les valeurs estimées en février, dans chacun des horizons étudiés, sont inférieures à celles obtenues en juillet (fig. 22). On estime, de la saison sèche à la saison humide, l'augmentation du T.C.E.S. <10 TRI, à 16,9% au niveau 0-10 cm, à 22,1% au niveau 10-20 cm et à 120,3% au niveau 20-40 cm des sols de SOULA. Pour les sols de TOHA, elle est de 11,8% entre 0-10 cm, 16,7% entre 10-20 cm et 27,6% entre 20-40 cm. La variation saisonnière semble ainsi se manifester un peu plus nettement dans les horizons minéraux que dans les horizons de surface.

La quantité d'agrégats de taille inférieure à 10 mm, estimée par la méthode TRI (1968), varie donc, d'une part, à l'échelle du profil, et d'autre part, avec les saisons. L'importance de cette variation semble dépendre des caractéristiques de différenciation morphologique des horizons étudiés.

c) Signification de la variation du T.C.E.S. <10 TRI

La variation du T.C.E.S. <10 TRI révèle que :

- les horizons humifères, en général, et l'horizon humifère *sensu stricto* (A_{11}), en particulier, des sols étudiés dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, contiennent plus d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm, individualisés naturellement, que les horizons minéraux sous-jacents. Plusieurs auteurs (de BLIC, 1977 ; de LEENHEER, 1958, etc...), sans procéder à la paration dimensionnelle des agrégats, ont également noté que les horizons qui renferment la quasi-totalité des matières organique et des racines fines, se caractérisent par le développement des éléments structuraux grumeleux, de taille généralement inférieur à 10 mm. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle TRI (1968), MONNIER et TRI (1971) avaient limité leur étude granulométrique des agrégats des sols sous prairie, aux 12 premiers centimètres du profil ;

- la variation du taux d'agrégats inférieurs à 10 mm, très sensible d'un horizon à l'autre dans les deux types de sols étudiés, concorde en outre, avec la différenciation verticale de la structure telle qu'on peut l'observer sur le terrain. Elle montre enfin que des horizons dont l'observation, *in situ*, indique une structure assez semblable de l'un à l'autre, peuvent se différencier réciproquement par le T.C.E.S. <10 ;

- la saison des pluies favorise la formation des agrégats de taille inférieure à 10 mm. Ceci s'expliquerait par les "activités biologiques intenses consécutives aux précipitations" (COMBEAU, 1963), en particulier par celles des racines qui, par suite de l'humectation du sol, exerceraient plus facilement "leurs effets de division" (JACQUIN, 1978) sur les ensembles structuraux, surtout sur les mottes et les agglomérats.

De ces observations, il ressort que la séparation granulométrique des agrégats, effectuée sur les échantillons des horizons d'un profil permet, d'une part, de confirmer les différences entre les caractéristiques morphologiques et, d'autre part, d'estimer la quantité d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm qui s'individualisent dans le sol à certaines périodes de l'année.

d) Comparaison des données du T.C.E.S. <10 obtenues respectivement par la méthode TRI et par la méthode modifiée

Nous désignerons les deux séries de données par T.C.E.S. <10 TRI, pour la méthode TRI (1968) et par T.C.E.S. <10 M, pour la méthode modifiée. Nous nous référerons uniquement, dans cette partie de l'étude, aux valeurs enregistrées respectivement en février et juillet 1981, car nous ne disposons pas de T.C.E.S. <10 TRI, antérieurs à ces deux périodes.

Dans les paragraphes précédents, nous avons déjà noté que le taux des éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm, qu'il soit déterminé par la méthode TRI, ou par la méthode modifiée, décroît de 0 à 40 cm de profondeur. La variation verticale des

valeurs cumulées pour chacune de ces deux séries permet donc de différencier les trois horizons supérieurs (A11, A12 et AB) entre eux. L'évolution de chacun de ces deux taux cumulés au cours de l'année révèle une abondance relative des éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm en saison humide. La variation saisonnière de T.C.E.S. <10 TRI, fait, en outre, apparaître une plus grande prédisposition des ensembles structuraux des sols de SOULA à s'émietter naturellement en période pluvieuse. Nous avons, en effet, montré que, de février à juillet, ce taux augmente de 16,9% au niveau de A11, 22,1% au niveau de A12 et 120,3% au niveau de AB. Pour les horizons de TOHA ces augmentations sont respectivement de 11,8%, 16,7% et 27,6%.

Le T.C.E.S. <10 TRI et le T.C.E.S. <10 M bien qu'ils évoluent dans le profil et dans le temps, presque de manière identique, diffèrent par leurs valeurs au niveau d'un horizon donné. En effet, les T.C.E.S. <10 TRI, évalués respectivement en février et juillet, dans chacun des trois horizons (A11 ; A12 ; AB) supérieurs étudiés, sont nettement inférieurs aux T.C.E.S. <10 M estimés en ces mêmes saisons (fig. 22). Par exemple dans l'horizon superficiel (A11) de SOULA, la quantité des éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm évaluée en février 1981 par la méthode modifiée représente presque le triple de celle des agrégats estimée par la méthode TRI. Ces taux sont respectivement 81,2% et 28,4% (tableau 33).

La différence entre ces deux types de taux cumulés d'un même horizon semble provenir essentiellement du mode opératoire. Nous avions, en effet, précisé dans la méthodologie que les élément structuraux recueillis sur le terrain, par le tamisage sans alcool, étaient de deux origines : d'une part, les agrégats résultent de l'individualisation naturelle par le jeu des alternances de dessication et d'humectation (HENIN, 1969), de l'action des facteurs biologiques (matière organique humifiée, racines, faune hypogée) ainsi que de l'influence de la texture (argile). D'autre part les éclats ou débits ou agrégats artificiels plus ou moins émoussés selon les saisons et généralement recouverts de microagrégats, proviennent de l'émiettement et de la fragmentation des mottes sous l'effet des forces de manipulation. Le T.C.E.S. <10 M représente donc la somme

des pourcentages des éléments structuraux des deux origines, alors que le T.C.E.S. <10 TRI concerne seulement les "agrégats naturels". L'écart entre les deux séries de valeurs, pour un horizon donné, définit le seuil de sensibilité à l'émiettement ou à la fargmentation. Plus cet écart sera grand, moins l'horizon contiendra des "agrégats naturels" de taille inférieure à 10 mm, c'est-à-dire que sa structure révèlera peu d'éléments structuraux individualisés et discernables *in situ*.

Les taux cumulés TRI, enregistrés dans les horizons superficiels (0-10 cm) des sols de TOHA et de ceux de SOULA en février et juillet 1981, sont largement inférieurs au pourcentage cumulé déterminé dans "les douze premiers centimètres des sols sous graminées fourragères de Versailles" par MONNIER et TRI (1971). Les sols de Versailles contiennent plus de 80% d'agrégats de taille inférieure à 10 mm alors que ceux du nord-ouest de la Côte d'Ivoire en présentent moins de 35%. L'écart important entre ces deux taux cumulés TRI estimés respectivement dans les sols de Versailles et dans ceux de TOUBA traduit effectivement assez bien la netteté ou l'état du développement de la structure. Dans les pays tempérés, la structure des horizons humifères, est soit "grenue fine, bien développée" soit "grumeleuse moyenne, développée", ou soit "polyédrique moyenne, développée" (BELLIER et MAIGNIEN, 1980). Les éléments structuraux sont individualisés et discernables, *in situ*, sur l'horizon. Dans les pays tropicaux, comme la Côte d'Ivoire, la structure du sol est par contre peu exprimée même au niveau des horizons supérieurs. Ainsi dans toutes les descriptions de sols effectuées en Afrique, au Sud du Sahara, on retrouve cet état de développement de la structure, sous diverses expressions : "la structure élémentaire est à tendance grumeleuse fine" (de BOISSEZON, 1965), "structure non développée, débit grossier à cohésion moyenne" (KALOGA, 1966), "structure peu exprimée, débit facile" (CHATELIN, 1969), "structure polyédrique fine mais peu développée" (ROOSE, 1979) ou "structure fine moyennement développée" (SEGALEN, 1967)... Les éléments structuraux des horizons à semblable structure ne sont pas souvent individualisés, c'est-à-dire n'ont pas de forme ni de taille définies *in situ* sur le profil.

On comprend alors pourquoi le taux cumulé TRI est plus faible dans les sols du nord-ouest de la Côte d'Ivoire que dans ceux de Versailles, France. L'existence des structures bien dévelop-

pées en régions tempérées peut s'expliquer par les taux de matière organique suffisants et par l'abondance des cations bivalents (Ca^{++} et Mg^{++}) car l'absence ou l'insuffisance de l'un ou de l'autre ou des deux, constitue "une cause de dégradation de la structure" (de LEENHEER, 1958). Or les sols tropicaux, reconnus pauvres chimiquement (DUMOND, 1974) contiennent rarement un taux satisfaisant de matière organique (souvent inférieur à 3%) et de calcium alors que "le maintien d'une bonne structure du sol exige la présence en quantité suffisante d'humus et de chaux" (de LEENHEER, 1958).

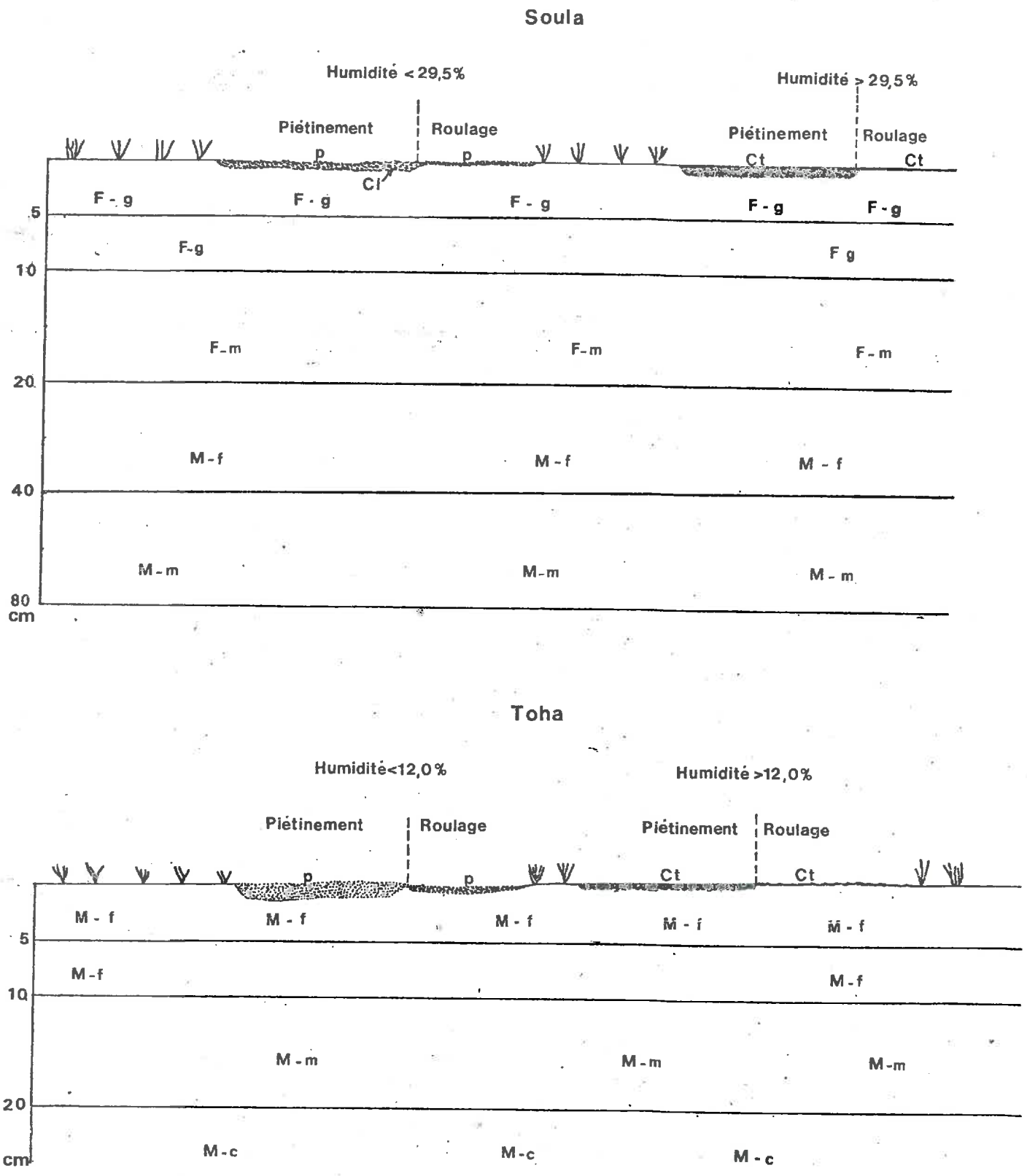
Les deux méthodes de séparation granulométrique des agrégats (TRI et modifiée) permettent, chacune, de caractériser l'état structural des horizons dans les profils et dans le temps. Les valeurs de leurs résultats au niveau d'un horizon donné, diffèrent tout simplement parce que le taux cumulé modifié exprime l'ensemble des éléments structuraux "naturels" et "artificiels" alors que le taux cumulé TRI indique uniquement les "agrégats naturels".

3.1.5. Modifications structurales sous l'effet des contraint

En dehors des techniques de tassement utilisées par les ingénieurs des travaux publics pour accroître la compacité des horizons superficiels "de façon délibérée", les sols peuvent subir des modifications structurales sous l'effet des contraintes mécaniques liées aux interventions culturales (STENGEL, 1976 ; FAURE, 1976).

En Afrique de l'Ouest et en Côte d'Ivoire en particulier, la motorisation agricole n'intervient que pour une faible part. Les modifications subies par la surface du sol sont donc limitées à des façons culturales manuelles ou effectuées à l'aide d'attelages de boeufs. Cependant, ces pratiques ne peuvent éviter aux terres, certaines contraintes entrainées par le piétinement repété du paysan et, plus accessoirement, par la circulation d'engins de transport des récoltes. Dans la mesure où ces contraintes s'avèrent nuisibles, en particulier pour l'aération du sol, il est nécessaire de "rechercher des moyens de prévision de ces déformations en fonctior de la constitution du matériau, de son humidité et de la pression exercée" (FAURE et STENGEL, 1978).

éma 2 : Modifications structurales des horizons de surface sous l'effet du piétinement et du roulage en fonction de l'humidité



F - g : Fragmentaire grumeuleuse
F - m : Fragmentaire - massive
M - f : Massive - fragmentaire
Mm : Massive meuble
Mc : Massive cohésive
P : Poussière : Structure particulaire ou fragmentaire fine
Ct : Croûte de tassement : Structure lamellaire
Cl : Croûte lâche (pseudo croûte) : Structure F-g

Pour mettre en évidence les modifications structurales susceptibles de se produire à la suite de faibles contraintes repétées, nous avons choisi deux méthodes au champ : le piétinement et le roulage, décrites et présentées plus haut.

3.1.5.1. Morphologie des sols

1.A. Morphologie des sols avant l'application des contraintes

La morphologie des sols, avant l'application des contraintes, a été largement abordée lors de la description des "types de structure observés" au nord-ouest de la Côte d'Ivoire. On peut cependant ajouter que les agrégats délités qui recouvrent la surface du sol de SOULA ont une taille généralement inférieure à 10 mm (tablea 34). La porosité est supérieure à 60% dans chacun des horizons de SOULA alors qu'elle diminue progressivement de 0 à 80 cm de profondeur dans le sol de TOHA (51 à 38% en avril 1979).

1.B. Effets immédiats des contraintes exercées à la surface des sols

Afin de mieux apprécier les effets des deux types de contraintes sur les modifications structurales, nous allons grouper et présenter les résultats par saison sèche ou humide, suivant chaqu type de sol.

a) SOULA

a-1. Effets du piétinement

- saison sèche . En saison sèche, on observe, après le piétinement de chacune des parcelles, une couche de poussière à la surface du sol. Des échantillons de celle-ci ont été prélevés et tamisés dans la colonne de cinq tamis, au cours de trois périodes : janvier 198(février et juillet 1981. L'examen des résultats consignés dans le tableau 34 fait ressortir que cette couche de poussière est constituée d'éléments structuraux de classe granulométrique variable. Les taux de ceux-ci, particulièrement ceux des microagrégats , évoluen en fonction du nombre de passages du marcheur (fig. 23).

Tableau 34 : Classes granulométriques des particules de la couche de poussière

ntillon	Contraintes		CLASSES DE PARTICULES 10	5	3,15	2	1	0	Humidité
	P_o	j. 80	17,0	33,5	14,8	18,6	12,6	3,5	13,78
		f. 81	15,6	31,4	16,9	19,4	13,1	3,0	13,95
		j. 81	19,2	28,0	13,7	21,7	17,6	1,8	34,13
	P_{100}	j. 80	11,5	23,8	10,0	10,7	16,0	28,0	14,01
		f. 81	12,2	21,3	10,9	11,5	17,1	26,8	13,
	P_{200}	j. 80	10,0	16,0	11,5	14,5	16,8	34,2	14,43
LA		f. 81	9,7	20,2	14,7	12,0	10,2	33,2	13,36
	P_{300}	j. 80	8,5	13,5	11,2	15,3	16,5	35,0	14,24
		f. 81	7,1	14,0	12,0	15,8	14,8	36,3	13,98
	P_{400}	j. 80	6,0	10,2	11,6	12,2	17,3	42,7	10,83
		f. 81	4,7	13,6	10,8	11,7	19,4	39,8	10,61
	R_2	f. 81	14,5	30,8	13,8	21,0	16,6	3,8	10,38
	R_4	f. 81	14,0	28,5	12,4	20,0	18,4	5,7	10,80
	P_{100}	j. 80	0	5,0	11,0	23,4	31,2	28,4	10,16
		f. 81	0	2,4	6,3	11,3	18,7	61,3	6,95
	P_{200}	j. 80	0	11,3	14,0	10,2	24,7	39,8	10,74
		f. 81	0	1,0	2,9	8,2	20,6	68,3	7,0
HA	P_{300}	j. 80	0	6,5	13,8	12,3	23,7	43,4	10,21
		f. 81	0	1,0	1,3	2,1	18,2	77,4	7,02
	P_{400}	j. 80	0	0	13,6	16,0	22,4	48,0	10,53
		f. 81	0	0	0,8	2,2	15,0	82,0	7,04
	R_2	f. 81	0	7,0	15,6	34,2	24,3	18,9	7,12
	R_4	f. 81	0	6,2	18,8	27,5	20,5	27,0	6,97

P = piétinement

R = roulage

Les chiffres en indice indiquent le nombre de passages.

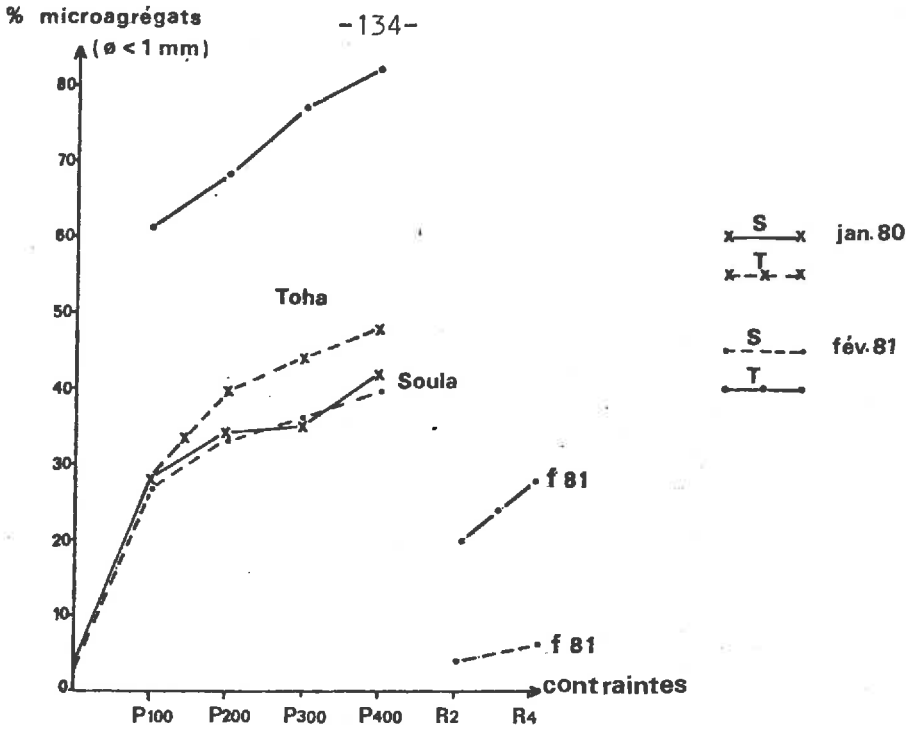


FIG. 23 : EVOLUTION DU POURCENTAGE DE MICRO AGREGATS SUPERFICIELS EN FONCTION DES CONTRAINTES

De P_0 à P_{400} , ils passent successivement de 3,5 à 42,7% en janvier 1980, et de 3,0 à 39,8% en février 1981. On remarque dans ce tablea que, pour une même contrainte, la proportion de microagrégats ne change pas de manière nette, d'une période à l'autre.

On relève cependant dans le tableau 35 que, pour une contrainte donnée, le taux de ces microagrégats varie selon que le sol est couvert ou non de débris végétaux (paille). Pour P_{200}, on a par exemple, respectivement en janvier 80 et février 81, 13,4 et 11,1% sous paille, et 34,2 et 33,2% sur les surfaces nues.

Tableau 35 : Effets des débris végétaux sur l'écrasement des agrégats (déliés) à la surface des sols de SOULA

Echantillons	Contraintes		Taux de microagrégats		Humidité
			sous débris	espaces nus	
SOULA	P_{200}	j.80	13,4	34,2	14,43
		f.81	11,1	33,2	10,36
	P_{400}	j.80	19,9	42,7	10,83
		f.81	18,4	39,8	10,61

Quelles que soient les conditions de l'expérimentation, on constate que les pourcentages des microagrégats croissent largement par rapport à leurs valeurs avant piétinement (fig. 23). Le piétinement provoque donc un écrasement des agrégats de surface. Cet écrasement s'explique d'abord par l'état sec du sol qui "se caractérise par une rupture sous l'effet de la pression" (HENIN, 1977) et ensuite par la répétition des passages du marcheur.

La structure de l'horizon superficiel, dans les zones piétinées en saison sèche, est fragmentaire fine à tendance particulaire. Les éléments structuraux sont plus ou moins arrondis (photo n° 9).

La couche de poussière repose sur un semblant de "croûte de tassement" lâche, constitué d'éléments structuraux plus ou moins fins, très denses, qui se détachent au moindre contact du couteau. Les agrégats en-dessous de cette croûte, ne paraissent pas différents de ce qu'ils étaient initialement. Suivant les périodes on estime entre 6,5 et 18% ceux qui ont plus de 10 mm de taille.

- saison humide. En saison humide, après piétinement, on ne perçoit plus, dans les espaces nus, les agrégats déliés et les microagrégats. Mais on observe, plutôt, une surface lissée, légèrement luisante. Les surfaces recouvertes de paille paraissent, quant à elles, moins luisantes et portent des empreintes plus ou moins nettes des débris végétaux. L'observation, à la loupe, de ces différentes surfaces piétinées, montre qu'elles constituent la face supérieure d'une couche fortement tassée résultant de la prise en masse des agrégats superficiels. En effet, "sous la pression exercée, les agrégats terreux s'agglomèrent pour former des éléments structuraux de plus grandes dimensions, le phénomène pouvant aller jusqu'à la reprise en masse d'une certaine couche de sol" (HUTTER, 1966). Cette prise en masse explique la disparition des agrégats déliés, observés avant le piétinement. Ils sont noyés dans cette "croûte de tassement". Sous les débris végétaux on en reconnait quelques rares, étirés et enfoncés.

La structure de cette "croûte de tassement" a été déterminée suivant la méthode préconisée par HENIN, GRAS et MONNIER (1969). Des échantillons ont été prélevés, séchés à l'air et plongés ensuite

dans l'eau. Ils se débitent alors en lamelles ou plaquettes. Le piétinement aboutit donc à la formation d'une nouvelle structure plus ou moins litée, très différente de ce qu'elle était initialement (photo n° 10).

La formation de cette structure lamellaire, sous l'effet du piétinement, est rendue possible par la présence "d'un film d'eau continu entre les particules qui sont à la fois rapprochées et orientées" (HENIN, 1979). HENIN, GRAS et MONNIER (1969) ont signalé que ces plaquettes, résultant du tassement, opposent parfois un obstacle à la pénétration des racines.

Nous avons mesuré à titre indicatif, l'épaisseur de ces croûtes. Elle varie avec le nombre de passages du marcheur en passant de 1 mm pour P_{100} à 8 et 12 mm environ pour P_{400} sur les surfaces non recouvertes de débris végétaux. Sous paillage, elle est sensiblement moins épaisse que dans les espaces nus (tableau 36). Il faut souligner que les débris végétaux observés à la surface du sol sont clairsemés et discontinus. En saison des pluies nous les avons réduits pour essayer de nous rapprocher de la couverture du sol en périodes sèches.

Les agrégats situés juste en-dessous de la croûte (sur une épaisseur de 1 à 2 cm) sont grumeleux et très serrés. La photo n° 10 indique ce resserrement.

Au-delà de 5 cm de profondeur on n'observe pas de modifications notables bien que le taux des agrégats très grossiers, déterminé après tamisage, ait baissé.

a-2. Effets du roulage

- saison sèche. La couche de poussière formée lors du roulage a une très faible épaisseur par rapport à celle qui est observée après piétinement. Elle est constituée de moins de 10% de microagrégats (taille inférieure à 1 mm) (tableau 34). Le roulage du véhicule ne semble pas provoquer, dans le cas ici présent, un réel écrasement des agrégats de surface. Il paraît, plutôt, favoriser le contact entre les particules de terre comme les rouleaux après un labour (HENIN, 1969). On note cependant une légère différence entre les modifications observées après 2 roulages (R_2) et 4 roula-

Tableau 36 : Variation de l'épaisseur de la croûte de tassement en fonction des contraintes à la surface des sols de TOHA et de SOULA.

SOLS DE SOULA

Contraintes	Humidité du sol	Epaisseur de la croûte de tassement	
		nu	sous paille
P_{100}	32,55	1 mm	≃ 1 mm
P_{200}	41,80 32,98 34,82	5 mm 3-4 mm 3-4 mm	3 mm 2 mm 2 mm
P_{400}	29,65	8-12mm	6 mm
R_2	30,59	1 mm	lâche
R_4	31,32	1-2 mm	≃ 1 mm

SOLS DE TOHA

P_{100}	14,3 13,37	≃ 1 mm ≃ 1 mm	
P_{200}	14,62	1-2 mm	≃ 1 mm
P_{300}	14,22 18,30	2-3 mm 3 mm	≃ 2 mm 2 mm
P_{400}	14,07 24,60	3-4 mm 4 mm	2-3 mm ≃ 3 mm
R_2	24,62	croûte lâche	-
R_4	24,85	≃ 1 mm	-

ges (R_4). Le pourcentage de microagrégats passe respectivement de 3,8 à 5,7. L'effet de R_2 sur l'écrasement des éléments structuraux superficiels apparaît très discret, la couche de poussière formée étant assez difficilement perceptible. Ceci s'explique par le fait que les agrégats déliés sont peu écrasés et plus ou moins enfoncés à la surface du sol. Après R_4 on observe par contre un "semblant de couche de poussière" constituée de 74,9% d'éléments structuraux de taille supérieure à 2 mm.

La structure en surface est fragmentaire, grumeleuse. Les agrégats paraissent plus serrés et plus denses qu'initialement, et communiquent avec ceux des horizons sous-jacents sans l'intermédiaire d'une croûte lâche observée dans le cas du piétinement.

- saison humide. Les "pellicules ou les croûtes de tassement" résultant de l'agglomération ou de la "reprise en masse" des éléments structuraux sous l'effet de roulages de véhicule, ne présentent pas de surfaces lissées. Les agrégats déliés observés avant les passages du véhicule se sont déformés sans se noyer entièrement dans la couche superficielle. Certains d'entre eux apparaissent aplatis et d'autres étirés. Cette faible "reprise en masse" explique la structure des débits ou des éclats provenant de la destruction de la "pellicule de roulage". Ces éclats ne sont pas de véritables lamelles. Ils sont légèrement étirés et leurs faces sont peu planes avec des arêtes émoussées. Ils paraissent plus polyédriques que lamellaires surtout après R_2.

Les nombres de passages du véhicule retenus dans notre étude ne semblent peut-être pas suffisants pour provoquer, comme un tracteur (HENIN, 1969), la formation d'une structure lamellaire et un enfoncement du sol. Suivant les humidités, les épaisseurs de "croûtes de roulage" passent de moins à plus de 1 mm.

La structure en-dessous des croûtes est fragmentaire, grumeleuse.

b) TOHA

b-1. Effets du piétinement

- saison sèche. Après le piétinement en saison sèche, on observe également une couche de poussière à la surface des parcelles de

TOHA. Cette couche de poussière est composée, comme celle de SOULA, de microagrégats dont les taux varient avec l'intensité du piétinément, c'est-à-dire avec le nombre de passages du marcheur. On a, en effet, respectivement pour P_{100}, P_{200}, P_{300} et P_{400}, 61,3 , 68,3 , 77,4 et 82,0% de microagrégats en février 1981. Il faut noter que les microagrégats (taille inférieure à 1 mm) n'ont pas été estimés avant le piétinément. En effet, des dépôts discontinus de sables superficiels, recouvrent naturellement ce type de sol. Et ces formations ne peuvent pas être "prises en compte" au titre de poussière ou d'éléments structuraux déliés comme à SOULA.

La structure de la couche de poussière formée après piétinement est particulaire. En-dessous de cette couche la structure du sol est massive-fragmentaire. Les éléments structuraux, grumeleux ou polyédriques, paraissent un peu plus denses immédiatement sous la couche de poussière, constituée principalement de microagrégats, que plus en profondeur (au-delà de 5 cm). On ne décèle pas de croûte lâche entre la couche de poussière et l'horizon sous-jacent, comme pour les sols de SOULA.

- saison humide. La surface de la pellicule de tassement, formée à la suite du piétinement des parcelles de TOHA, est terne. Elle porte, par endroits, des empreintes plus ou moins marquées de débris végétaux. L'épaisseur de la croûte passe de 1 mm environ pour P_{100} à 4 mm pour P_{400}. Elle est donc liée au nombre de passages lorsque les teneurs en eau du sol sont voisines. Sous les débris végétaux, elle est légèrement plus mince que celle qui est observée sur les espaces nus.

La structure lamellaire n'apparaît pas de façon nette (photo n° 12) comme à la surface du type de sol de SOULA. Ceci peut être rapproché de la texture grossière des horizons superficiels de TOHA.

En-dessous de la croûte de tassement, la structure est massive-fragmentaire. Les éléments structuraux sont en majorité polyédriques et quelques uns, grumeleux. On observe à la loupe, comme dans les cas précédents, une réduction du nombre de volume des macroporés par resserrement des particules sur 2 à 3 cm.

b-2. Effets du roulage

- saison sèche : En saison sèche le roulage effectué sur les parcelles de TOHA, provoque également l'écrasement des éléments structuraux de surface. Le pourcentage de microagrégats, nul au départ, passe de 19% après R_2 à 27% après R_4. Il est donc lié, comme dans le cas du piétinement, à la variation du nombre de roulages.

La présence des débris végétaux ou de paille et la variation d'humidité du sol au moment de l'application des contraintes, modifient, toutefois, et de façon plus ou moins marquée, les effets du piétinement et du roulage.

La structure de la couche écrasée est fragmentaire, grumeleuse fine à tendance particulaire dans les deux cas de roulage. Cette modification morphologique perceptible de la structure se limite environ aux 5 mm supérieurs du sol. En-dessous, l'arrangement de ensembles structuraux ne diffèrent apparemment pas de l'état initia bien qu'on observe à la loupe une diminution des macropores.

- saison humide : Les roulages effectués en saison des pluies à la surface des sols de TOHA ne donnent pas de transformations structurales très visibles. Les éléments structuraux superficiels, observés à la loupe après R_2, apparaissent plus ou moins aplatis et serrés. Ils ne sont pas repris en masse de façon à donner naissance à une croûte comme à SOULA. Ils sont généralement polyédriques mais quelques uns sont grumeleux.

Après R_4 on observe un semblant de croûte lâche, très fragile présentant une épaisseur inférieure à 1 mm. La structure des débits de celle-ci est polyédrique très grossière et non lamellaire, comme on l'a déjà souligné antérieurement, car les éléments structuraux se sont agglomérés sans réellement se reprendre en mass ni s'orienter. Hormis l'insuffisance de pression exercée par le véhicule, l'absence de pellicule à structure lamellaire peut s'expliquer aussi par la texture sableuse des horizons superficiels de TOHA. En effet, l'abondance de sables (68%) réduit la plasticité (HENIN, 1969).

3.1.5.2. L'humidité et la nature des modifications

Nous savons, par les travaux de ATTERBERG (1912), HENIN, GRAS et MONNIER (1969), FAURE (1976), GRIMALDI (1981), que les variations des humidités définissent, d'une part, des états de sol (état cohérent, état plastique, état liquide) et, d'autre part, des modifications structurales. Ce sont ces variations d'humidité qui expliquent que les mêmes façons culturales sur un même type de sol font apparaître des structures différentes.

Dans le cas de notre étude, les constatations faites précédemment sur la morphologie des horizons superficiels après l'application des contraintes, montrent que, pour une même pression, on a, selon les teneurs en eau, un écrasement ou une prise en masse des agrégats de surface.

Nous avons alors cherché à définir le taux d'humidité à partir duquel, les sols de SOULA et ceux de TOHA, se comportent différemment, les uns des autres, pour une contrainte donnée. C'est ainsi que les teneurs en eau du sol de chaque parcelle furent relevées au cours des expérimentations successives et comparées à celles qui correspondent à diverses valeurs du pF.

L'examen de ces résultats a permis de nous rendre compte que l'écrasement se produit à la surface des sols de SOULA quand l'humidité du sol, au moment de l'application des contraintes, est inférieure à 29,5%. Au-dessus de ce pourcentage, le piétinement ou le roulage provoque la formation d'une croûte de tassement. Dans les sols de TOHA, "l'humidité seuil" est de 12,0%. Ces deux humidités correspondent à la teneur en eau à pF 3,0. Elles diffèrent simplement pour des raisons texturales car "la quantité d'eau retenue dans un sol varie fortement avec la composition granulométrique du matériau (GRAS, 1962 et MERIAUX, 1979).

Les humidité à pF 3,0, dans les deux types de sols étudiés dans le nourd-ouest de la Côte d'Ivoire, constituent des limitent de référence qui déterminent la nature des modifications structurales sous l'effet des contraintes physiques.

Les modifications s'intensifient au fur et à mesure qu'on s'éloigne de ces humidités caractéristiques. Par exemple à SOULA où, dans la période la plus humide, l'horizon superficiel du sol présentait 41,8% d'eau, l'épaisseur de la croûte de tassement a été

de 5 mm après P_{200}, alors que pour la même pression, mais à 32,9% d'humidité, elle oscillait entre 3 et 4 mm. A TOHA P_{200} donne respectivement à 10,7 et 7% d'eau, 39,4 et 68,3% de microagrégats.

3.1.5.3. Paramètre structural

Les paramètres qui permettent de caractériser la structure des sols sont assez nombreux et variés. Ceux qui sont les plus utilisés sur le terrain sont la perméabilité, la pénétrométrie, l'infiltrométrie (VALENTIN, 1978), la densité apparente. Parmi ceux ci nous ne retiendrons, dans cette étude, que le dernier paramètre. Les travaux de CHARREAU (1970), de BLIC (1977), VALENTIN (1978), VALENTIN et MONG-GINE (1979) montrent, en effet, que les valeurs de la porosité totale, calculées à partir de la densité apparente, donnent de bonnes indications sur le comportement du sol vis-à-vis de l'eau et de l'enracinement des plantes.

Les mesures de densité apparente ont été effectuées à l'aide d'un voluménomètre à membrane, avant et après l'application des contraintes sur chacune des parcelles délimitées au cours des différentes périodes. Nous ne disposons cependant que des résultats obtenus pendant quatre tournées pour les horizons inférieurs et cinq pour les horizons superficiels, car certains échantillons ont subi des pertes pendant le transport, ou lors des pesées et séchages à l'étuve.

Il faut souligner que la mesure de densité apparente sur les parcelles soumises à P_{200} a été effectuée à chaque campagne d'étude sur terrain. Pour les parcelles soumises à P_{100}, P_{300} et P_{400} les déterminations ont été faites à l'occasion de quelques tournées. Les roulages (R_2 et R_4) ont été appliqués seulement au cours des deux dernières campagnes (en février et en juillet 81) pour servir à la fois de référence et de complément au piétinement.

Pour calculer la porosité, exprimée par la relation $P\% = 1 - \frac{da}{ds} \times 100$ nous avons fait déterminer la densité de solide des matériaux (ds) des différents horizons étudiés dans chaque type de sol (tableau 37). Cette densité de solide ou densité réelle et la densité apparente (da) sont sans dimension (GRIMALDI, 1980).

Tableau 37 : Densité réelle des horizons étudiés

Horizons	densité réelle (ds)
SOU (0-10 cm)	2,73
SOU (10-20 cm)	2,75
SOU (20-40 cm)	2,78
SOU (40-80)	2,78
TO (0-10 cm)	2,70
TO (10-20 cm)	2,70
TO (20-40 cm)	2,69
TO (40-80 cm)	2,65

a) SOULA

L'analyse des différentes valeurs obtenues montre que :

- la porosité des sols de SOULA évolue fréquemment en dents de scie, du moins de 0 à 80 cm, et oscille entre 60 et 64% (fig. 24) ;

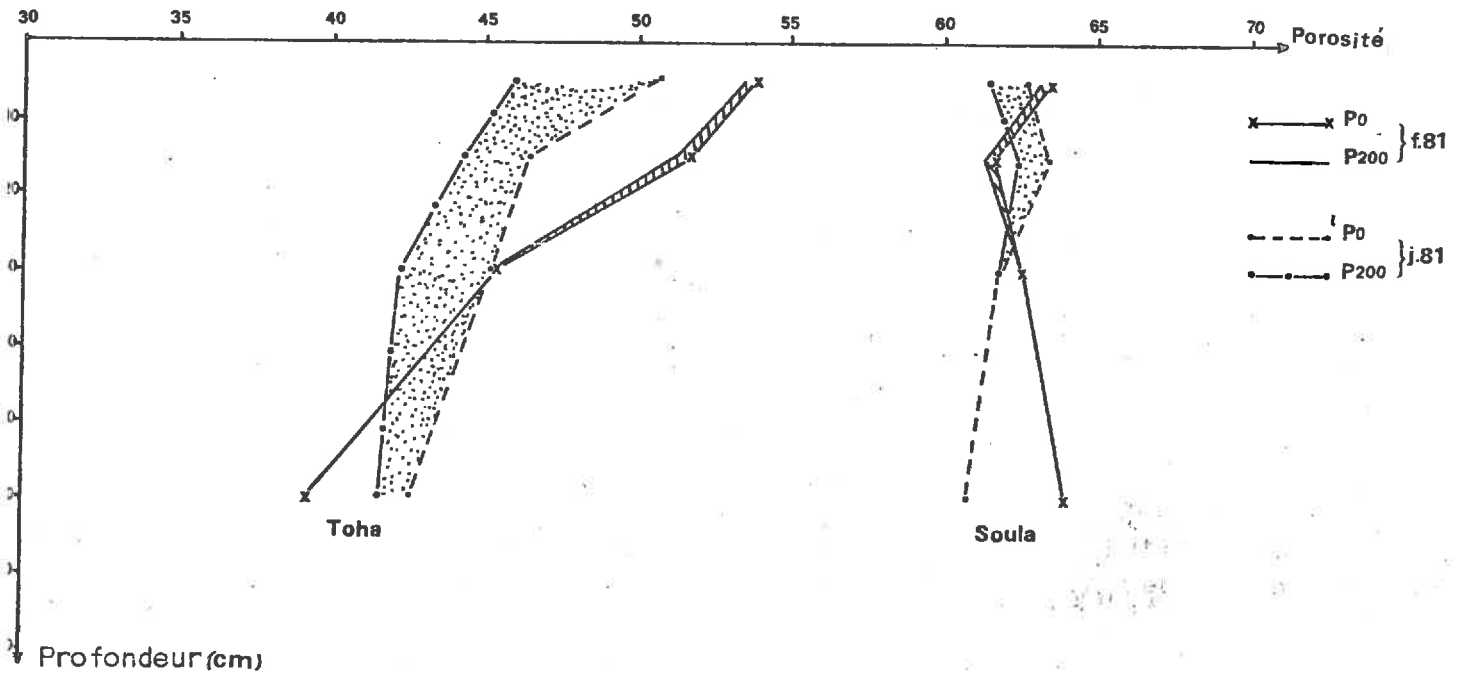
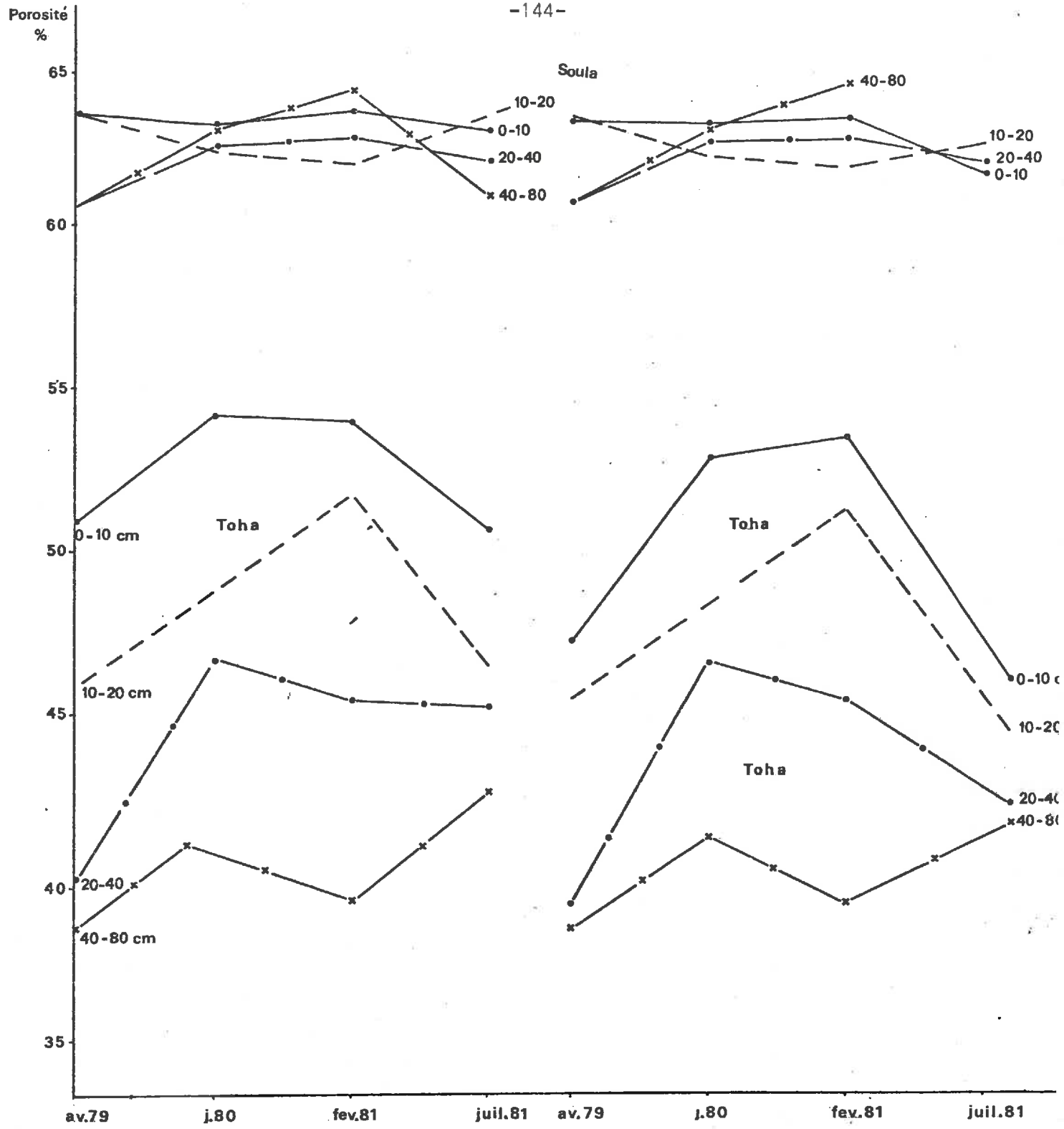


FIG. 24 : VARIATION DE LA POROSITE DANS LES PROFILS DE TOHA ET DE SOULA

- la variation de ces porosités entre deux horizons consécutifs n'est pas toujours très nette. Dans 50% des cas, elle parait significative d'une part, entre les deux horizons humifères et,



Avant piétinement

Après piétinement

FIG 25 : Variation temporelle des porosités des sols de Soula et de ceux de Toha avant et après piétineme

d'autre part, entre le deuxième (10-20 cm) et le troisième (20-40 cm) horizon, alors qu'entre ce dernier et le quatrième (40-80 cm), elle ne l'est que dans 25% des cas (tableau annexé) ;

- au niveau d'un même horizon, ces porosités varient plus ou moins, d'une période de mesure à l'autre (fig. 25). Aucune variation marquée n'a été constatée dans l'horizon humifère *sensu stricto* (A_{11}) où la porosité a constamment oscillé autour de 63%. On a, par contre, relevé des variations assez nettes dans les trois horizons inférieurs où les écarts, entre les valeurs extrêmes, sont successivement de 1,5% pour A_{12}, de 2% pour AB et de 3,4% pour l'horizon B. La variation temporelle de la porosité totale des sols de SOULA s'accentue en profondeur. Ceci signifierait donc que l'action des facteurs physiques (gonflement et retrait) et des facteurs biologiques (racines, faune) décrits par HENIN, GRAS et MONNIER (1969) sur le volume des macropores (galeries, fissures, cavités, canaux. ...) serait moins variable dans les horizons superficiels de SOULA tout au cours de l'année ;

- les porosités de ces horizons de surface diminuent dès qu'on les soumet à des contraintes physiques : piétinement ou roulage. Cette diminution s'accentue plus ou moins légèrement quand le nombre de passages augmente. De P_0 à P_{400}, les porosités s'abaissent de 63,3 à 60% en avril 79, et de 63,0 à 60,9% en janvier 80. On fait également les mêmes constatations au cours des autres périodes de mesure (avril 80, février et juillet 81) (fig. 26);

- les variations des porosités en fonction des contraintes sont largement influencées par les teneurs en eau du sol (STENGEL, 1976 ; STENGEL et FAURE, 1978). On constate, en effet, en avril 1979, que la porosité (58,6%) évaluée après P_{200} est inférieure à celle qui est déterminée après P_{400} (60,0%). Ce phénomène quelque peu paradoxal est dû essentiellement à l'humidité plus élevée (41,80%) lors de l'application de P_{200} que pendant l'application de P_{400} à 27,6% d'eau ;

Tableau 38 : Variation des porosités totales des horizons superficiels en fonction des contraintes physiques et de l'humidité du sol

Echantillons	Période	CONTRAINTES						
		P_0	P_{100}	P_{200}	P_{300}	P_{400}	R_2	R_4
SOULA	avril 79	63,3 24,41	62,4 22,60	58,6 41,80	61,0 27,46	60,0 27,60	-	-
	janvier 80	63,0 14,01	62,6 14,00	62,2 14,43	62,0 14,24	60,9 10,83		
	avril 80	64,1 27,60	62,1 31,55	61,4 32,98				
	février 81	64,3 13,95	-	63,1 10,36		60,2 10,61	62,6 10,88	60,5 10,80
	juillet 81	62,8 37,77		61,5 34,82		59,6 29,65	60,6 30,59	59,5 31,32
TOHA	avril 79	50,9 14,54	48,6 14,13	47,2 14,62	46,1 14,22	44,5 14,07		
	janvier 80	54,2 12,05	53,7 10,25	52,8 10,74	51,8 11,19	51,9 10,53		
	avril 80	51,7 13,62	50,0 12,12	48,8 11,79				
	février 81	53,8 6,96		53,5 7,00		52,4 7,04	52,0 7,02	51,7 6,97
	juillet 881	50,6 23,14		46,0 22,87		43,3 24,59	45,2 24,62	43,0 24,85

N.B. : Le deuxième chiffre de chaque colonne indique l'humidité (%)

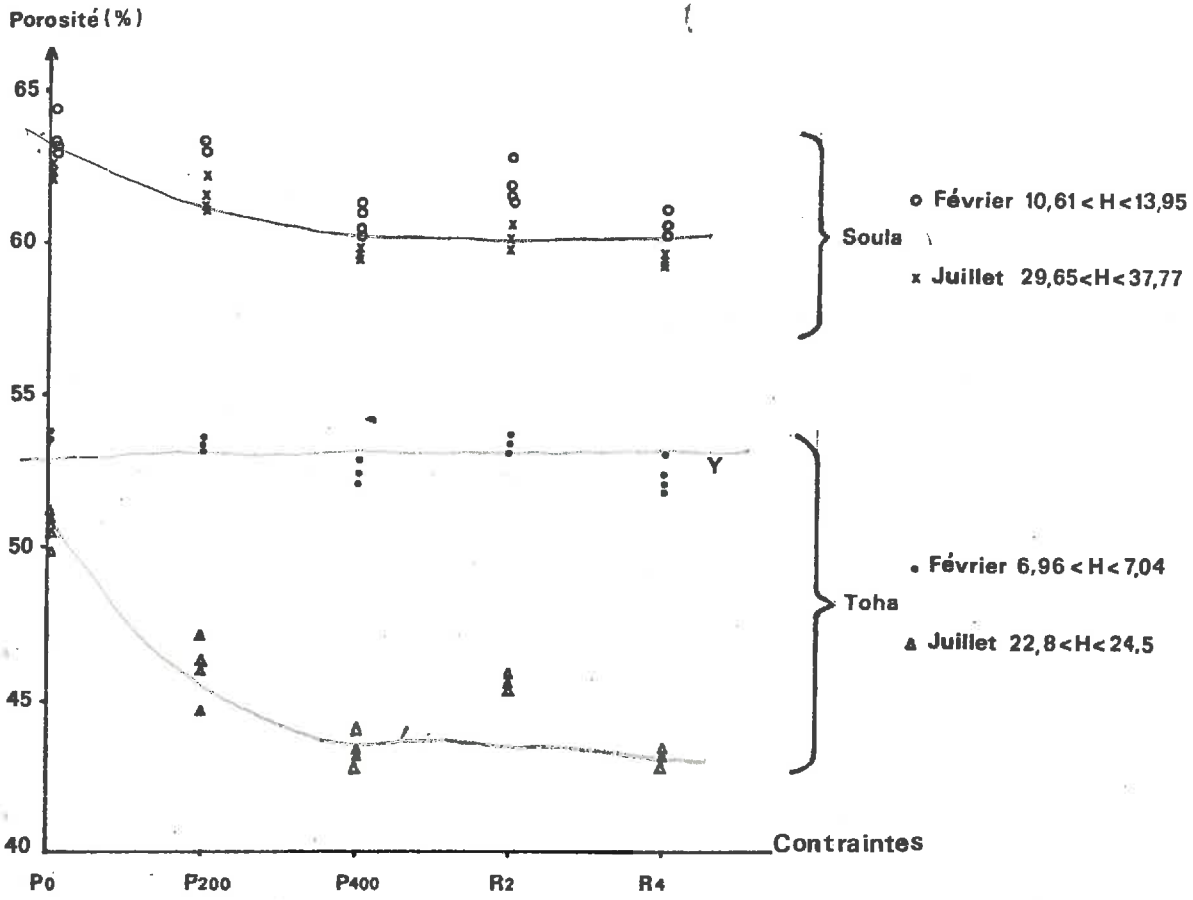


FIG.26 : VARIATION DE LA POROSITE DES HORIZONS DE SURFACE EN FONCTION DES CONTRAINTES APPLIQUEES

- pour une contrainte donnée (P_{200}), la diminution des porosités apparait un peu plus marquée en saison humide qu'en saison sèche, c'est-à-dire lorsque les teneurs en eau avoisinent ou dépassent 29,5%. Ceci explique les porosités de 58,6% et de 61,5% (tableau 38) calculées respectivement en avril 79 et juillet 81, alors qu'en février 81 et janvier 80, pendant lesquels les humidités n'excèdent pas 15% toujours dans les sols de SOULA, les porosités (63,1 et 62,2) après P_{200} sont très proches des porosités initiales ;

- l'application de P_{200} à la surface des sols de SOULA entraine un abaissement de la porosité totale du sol jusqu'à 30 cm de profondeur (cf. fig. 24). Cet abaissement est très faible, voire négligeable, en périodes sèches (avril 79, janvier 80 et février 81 cf. fig. 25), alors qu'en période humide (juillet 81), il est légèrement plus sensible dans les deux horizons humifères, où l'écart, entre les porosités initiales et les porosités après

P_{200}, avoisine 1%, que dans les horizons minéraux. L'effet du piétinement sur le tassement des horizons des sols de SOULA apparaît donc très discret ;

- le rouglage du véhicule (R_2 et R_4) provoque également une diminution des porosités des horizons superficiels (fig. 26). Les effets de R_2 sur la compacité de ces horizons de surface, sont très proches de ceux de P_{200}. Les porosités calculées au cours des deux périodes (février et juillet 81) après P_{200} et R_2 ne présentent pas de différence significative (63,1 ≃ 62,6 et 61,5 ≃ 60,6). Il en est de même pour P_{400} et R_4 qui donnent des porosités identiques (tableau 38). Celles-ci sont respectivement de 60,2 et 60,5% en février 81, et de 59,6% et 59,5% en juillet 81. Les deux types de contraintes appliquées à la surface des sols de SOULA provoquent donc un tassement de même ordre.

Il faut souligner que les effets de ces contraintes physiques, sur l'abaissement des porosités totales, peuvent être atténués plus ou moins par la présence de débris végétaux à la surface du sol. GUERIF (1979), GUERIF et FAURE (1979) ont d'ailleurs largement mis en évidence, le rôle modérateur de la matière organique libre et liée sur la compacité. Dans le cas de notre étude ici, on constate que les densités apparentes déterminées dans les espaces nus apparaissent effectivement plus élevées que celles qui concernent les espaces recouverts de débris végétaux (tableau 39). L'écart entre les deux densités est généralement très faible et de l'ordre du centième.

b) TOHA

Les porosités totales à l'état naturel décroissent de 0 à 80 cm de profondeur des sols de TOHA. La décroissance entre deux horizons consécutifs est fréquemment marquée, surtout du premier au second horizon humifère qui présentent entre eux une différence de porosité totale variant de 2,1 à 5,40 selon les saisons (cf. fig. 24).

La variation verticale des porosités totales dans les sols de TOHA se distingue donc nettement de celle que l'on relève à SOULA sur deux points : d'abord par la diminution régulière des

Tableau 39 : Effet de la paille sur le tassement des horizons superficiels

Echantillon	Contrainte		da_o	da espace nu (1)	da sous paille (2)	Humidité		Ecart (1)-(2)
						nu	paille	
SOULA (0-10)	P_{200}	av. 79	1,000	1,129	1,127	41,80	46,80	0,002
		j. 80	1,008	1,032	1,028	14,43	14,48	0,004
	P_{100}	j. 80	1,008	1,021	1,018	14,00	15,12	0,003
	P_{400}	av. 79	1,000	1,092	1,069	27,6	27,7	0,003
TOHA (0-10)	P_{100}	av. 79	1,325	1,387	1,324	14,13	13,37	0,063
		j. 80	1,237	1,248	1,242	10,25	10,16	0,006
	P_{200}	fév.81	1,246	1,254	1,252	7,006	7,013	0,002
		av. 79	1,325	1,426	1,429	14,62	15,76	-0,003
		j. 80	1,237	1,285	1,282	10,74	12,03	0,003
		av. 79	1,325	1,558	1,497	14,31	14,07	0,061
		j. 80	1,237	1,297	1,288	10,53	10,40	0,009

porosités de la surface vers la profondeur, ensuite par les différences assez sensibles entre les porosités de deux horizons consécutifs. Cette divergence semble devoir s'expliquer par les compositions granulométriques des deux types de sols. En effet, les sols de SOULA possèdent une texture équilibrée dès la surface, alors que ceux de TOHA présentent une texture sableuse (déséquilibrée). Dans les premiers, l'augmentation de la fraction argileuse n'a plus d'incidences significatives sur la porosité (MONG GINE, 1979). Par contre, dans les derniers, la porosité diminue avec le taux d'argile en profondeur (LATHAM, 1975 ; ROOSE, 1978).

Ces porosités, au niveau d'un horizon donné de TOHA, varient plus ou moins au cours du temps. Pour l'horizon humifère, les valeurs respectives relevées en avril 1979 et juillet 1981, sont de 50,9% et 50,6%, donc à peu près égales, mais elles passent à 54,1% en janvier 1980 et à 53,8% en février 1981. La différence relative moyenne est donc de 6,3% entre le premier et le second de ces deux ensembles de valeurs. Contrairement à l'horizon superficiel de SOULA, celui de TOHA semble sensible à l'action des facteurs physiques et biologiques (cf. fig. 25).

Les différences entre les valeurs extrêmes des porosités dans les horizons sous-jacents sont respectivement de 5,9 pour A_{12}, de 6,9 pour AB et de 4,2 pour B. Ces écarts sont largement supérieurs à ceux calculés à SOULA (moins cependant au niveau du 4ème horizon). On peut donc penser que les sols de SOULA dont le volume de macropores varie très peu au cours du temps, ont atteint leur équilibre ou "qu'ils vivent leur âge mûr" (BOULAINE, 1980), par contre ceux de TOHA dont les porosités sont variables d'une saison à l'autre, sont encore en évolution.

Les horizons superficiels de ces sols de TOHA, soumis à des contraintes physiques, subissent une décroissance de leur porosité totale comme ceux de SOULA. Pour une pression déterminée, la baisse est relativement plus importante dans les sols de TOHA que dans ceux de SOULA. Après P_{200} par exemple, les porosités passent de 50,9 à 47,2% en avril 79, de 54,2 à 52,8% en janvier 80, de 51,7 à 48,8 en avril 80 et de 50,6 à 46,0% en juillet 81 (cf. tableau 38).

L'évolution de ces porosités totales apparait liée à la pression et aux teneurs en eau du sol, comme nous l'avons déjà souligné précédemment. C'est ce qui explique, d'une part, la faible différence calculée entre 53,8 et 53,5% évaluées après P_{200} en février 1981 au moment où les humidités du sol avoisinaient 7%, et d'autre part, l'abaissement des porosités quand on passe de P_0 à P_{400} (cf. fig.26). En avril 79, par exemple, la porosité initiale diminue de 50,9 à 48,6 après P_{100}, à 47,2 après P_{200}, à 44,5 après P_{400}. Il est à noter également que la variation devient relativement accentuée quand les humidités du sol dépassent 12,0%, comme on peut le constater en avril 1979 et en juillet 1981 (cf. tableau 38).

Les effets du piétinement (P_{200}) sont également ressentis jusqu'à 30 cm de profondeur (cf. fig. 24). Il faut cependant préciser qu'ils affectent surtout l'horizon humifère *sensu stricto* (A_{11}) et accessoirement l'horizon de faible pénétration organique quand les teneurs en eau du sol sont supérieures à 12,0%. Ces effets de piétinement sur le tassement paraissent relativement plus perceptibles dans les horizons inférieurs (AB et B) de TOHA que dans ceux de SOULA (cf. fig. 24). La différence entre les porosités initiales et les porosités après P_{200} en juillet 1981 dépasse 2% en valeur absolue au niveau de AB.

Pour le roulage du véhicule, on constate, comme à SOULA, que les effets de R_4, sur la compacité des horizons superficiels, sont très voisins de ceux de P_{400}. Par contre, le tassement provoqué par P_{200} est supérieur à celui de R_2 en février 1981, les porosités totales respectives étant 53,5 et 52,0%. En juillet 1981, la différence après R_2 et P_{200} est peu importante et n'atteint pas 1% de porosité totale. Les deux types de contraintes entraineraient donc des effets différents dans les horizons de surface de TOHA, en certains moments de l'année.

Ces effets à la surface du sol peuvent être réduits, comme on l'a déjà dit plus haut, par la présence de débris végétaux. Dans les sols de TOHA ceux-ci atténuent la baisse des porosités totales (cf. tableau 39).

3.1.5.4. Les facteurs des modifications structurales des sols en place

L'analyse des précédents résultats a fait ressortir que les modifications morphologiques et le tassement des horizons des deux types de sols (SOULA et TOHA) présentent une ampleur variable en fonction de différents facteurs qui sont, entre autres : la nature et l'intensité de la pression exercée sur le sol, le taux d'humidité du sol au moment de l'application de la contrainte, la composition granulométrique, la présence ou l'absence de débris végétaux à la surface du sol.

a) La nature ou l'intensité des contraintes

Dans les essais Proctor conduits pour étudier le tassement des sols (FAURE, 1976 ; YORO, 1976 ; FAURE et STENGEL, 1978) on sait que les modifications de l'état physique du matériau sont en liaison directe avec l'énergie appliquée. En particulier, la porosité totale du matériau décroît lorsque, maintenu à une humidité constante celui-ci est soumis à des pressions croissantes. Ces résultats, acquis au laboratoire, se rapprochent de ceux qu'on a trouvés sur le terrain, dans les sols étudiés au nord-ouest de la Côte d'Ivoire, et qui se rapportent à des modifications comme la variation du taux de microagrégats, l'épaisseur de la croûte de tassement et la variation de la compacité.

Ces modifications dépendent, d'une part, de la nature de la contrainte et, d'autre part, de l'intensité de chaque type de contrainte. C'est ainsi qu'on a relevé des différences entre les effets produits par le piétinement et ceux qui sont provoqués par le roulage. Les taux de microagrégats résultant de l'écrasement et les épaisseurs des croûtes de tassement apparaissent nettement plus importants après piétinement qu'après roulage. On peut d'ailleurs considérer que le roulage, tel qu'il a été effectué dans cette étude, ne provoque pas de réelles transformations structurales visibles (REMY, 1971; FAURE, 1976 ; HENIN, GRAS et MONNIER, 1969) mais aboutit seulement à un réarrangement des éléments structuraux ou des particules. Ces effets du piétinement et du roulage sont liés au nombre de passages du marcheur ou du véhicule. De P_{100} à P_{400} ou de R_2 à R_4 les transformations structurales s'amplifient progressivement tant à SOULA qu'à TOHA.

En ce qui concerne le tassement, on a surtout relevé que la porosité totale décroît quand on passe de P_{100} à P_{400} ou de R_2 à R_4 (cf. fig. 26) pour des humidités de sol égales ou très voisines. La décroissance de la porosité totale après P_{200} est souvent peu distincte de celle estimée après R_2. P_{400} et R_4 provoquent presque toujours, le même ordre de compaction dans les horizons superficiels des sols étudiés.

Le roulage du véhicule, tel que nous l'avons appliqué, même s'il ne produit pas des modifications structurales souvent perceptibles à l'oeil, demeure toutefois, comme le piétinement, un risque par le fait qu'il réduit la porosité totale.

b) L'humidité du sol

L'humidité du sol semble, de loin, être le facteur le plus important qui conditionne les modifications structurales. Au laboratoire son influence a été étudiée dans les essais Proctor (GRIMALDI, 1981). Sur le terrain, on a constaté que les modifications varient en fonction de son taux dans le sol. Les teneurs en eau à pF 3,0 constituent, dans les sols étudiés, des limites de part et d'autre desquelles les transformations structurales, sous l'effet des contraintes sont totalement opposées. Ces transformations s'amplifient progressivement quand on s'éloigne de ce seuil à pF 3,0. Elles sont surtout importantes en saison des pluies, c'est-à-dire lorsque les humidités sont supérieures à celles qui équivalent à pF 3,0 (cf. photo n°10). En saison sèche, par contre, la compaction des sols est relativement faible (cf. fig. 26) bien que l'écrasement des éléments structuraux des horizons superficiels, paraisse, dans certains cas, prononcé.

Les effets négatifs des contraintes appliquées à la surface des sols étudiés sont donc plus sensibles quand les teneurs en eau excèdent celles qui correspondent au pF 3,0. La chute de la porosité totale de 8% à 41,80% d'eau, après P_{200} en avril 1979, est un exemple concret, car après l'application de cette même contrainte (P_{200}) sur une autre parcelle de SOULA dont le sol était à 14,43% d'humidité en janvier 80, la porosité totale a seulement diminué de 1,2%.

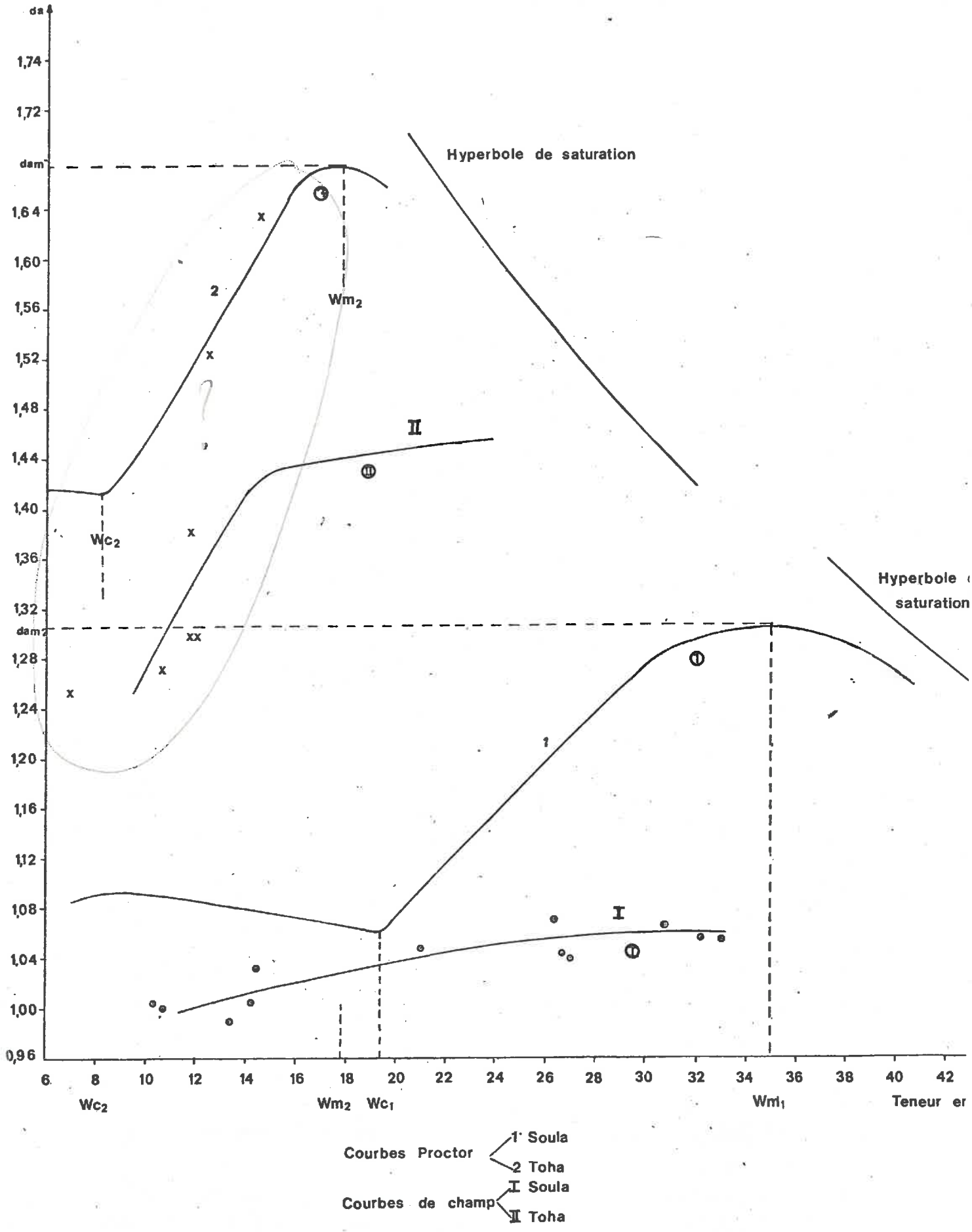


Figure 27 : Variation des densités sèches en fonction des teneurs en eau

On sait, par les travaux de laboratoire (GRIMALDI, 1981, FAURE, 1976) que pour une énergie définie, la densité apparente croît en fonction de l'humidité jusqu'à un maximum, puis baisse. Sur le terrain, nous avons, à partir des sols en place (SOULA et TOHA), essayé d'étudier cette influence des teneurs en eau sur l'accroissement des densités apparentes. Nous avons pour cela, repris P_{200} au cours des différentes périodes de façon à nous fonder sur une gamme d'humidité étendue pour chaque type de sol. Les résultats sont traduits en graphes sur la figure 27.

Dans les sols de SOULA comme dans ceux de TOHA, on note une augmentation des densités apparentes en fonction de l'humidité. Cette augmentation dans les deux cas, tend vers un pallier. Ceci signifie que la relation entre les densités et les teneurs en eau n'est pas linéaire. En effet, les courbes Proctor permettent de déterminer pour chaque matériau, deux humidités caractéristiques (FAURE, 1978): Wc teneur eau pondérale au seuil de sensibilité au compactage, et Wm teneur eau pondérale au maximum de compacité. Celles-ci permettent, à leur tour, de distinguer trois phases : solide, plastique et liquide. Chacune d'elles traduit une modification profonde du comportement du matériau vis-à-vis du tassement. W étant la teneur en eau pondérale au moment du compactage du matériau, GUERIF et FAURE (1979) ont défini les trois phases comme il suit :

- W < Wc : dans cette partie de la courbe l'accroissement de la compacité est faible et il "résulte du concassage des agrégats d'une part, et de leur gonflement d'autre part". GRIMALDI (1981) rapporte que, ce gonflement, lorsqu'il est important "a au contraire, tendance à diminuer la densité du matériau. La première partie de la courbe est alors décroissante".

- Wc < W < Wm : la densité est une fonction croissante de W jusqu'à un maximum proche de la courbe de saturation, obtenu pour Wm. Dans cette partie de la courbe "La pente traduit l'efficacité de l'argile comme lubrifiant dans l'arrangement des grains au compactage" (GUERIF et FAURE, 1979).

. W > Wm : la densité décroit et tend asymptotiquement vers l'hyperbole de saturation dont l'équation est :

$\frac{1}{da} = W + \frac{1}{ds}$ où da est la densité apparente
ds la densité de solide du matériau.

Le comportement du matériau en fonction de l'humidité au cours des trois phases confirme bien que la relation entre la densité apparente et les teneurs en eau pondérales n'est pas linéaire.

Les courbes Proctor 1 et 2 de la figure 27 traduisent nettement le type de relation. Les résultats obtenus au champ ne permettent pas de distinguer, d'une façon aussi nette, ces trois phases, surtout la dernière (W > Wm) bien que la gamme des humidités naturelles relevées inclue les valeurs Wc et Wm. L'absence de cette troisième partie sur les courbes de "champ" s'explique par le fait que les énergies, impliquées dans le piétinement et le roulage, sont faibles pour provoquer les phénomènes de saturation, dans l'un ou l'autre sol étudié. En effet, les hyperboles de saturation sont très au-dessus des courbes de "champ", alors qu'elles sont proches des courbes Proctor. Ceci signifie quele tassement réalisé au laboratoire sur des échantillons remaniés est beaucoup plus important que celui quel'on obtient au champ, sur le sol en place. Ceci nous amène à faire deux remarques :

- le sol en place, non travaillé, parait moins sensible au tassement que les échantillons remaniés, quelle que soit l'humidité ;
- les contraintes, mêmes les plus énergiques (P400 à 30,0% d'eau pour SOULA, et à 24,6% pour TOHA) laissent les sols loin de leur saturation. Cette remarque rejoint celle de STENGEL et FAURE (1978) qui ont étudié le comportement mécanique d'un sol argileux soumis au roulage d'engins agricoles.

c) La texture

La texture joue un rôle important dans le comportement des sols. Elle intervient surtout dans la rétention d' eau (PERIGAUD, 1963) et dans la sensibilité au compactage (FAURE, 1976 YORO, 1976). Mais elle apparait également conditionner les modifica

tions structurales des horizons soumis à des contraintes physiques. Elle est fréquemment à l'origine des différences observées entre les propriétés physico-chimiques respectives des types de sol (DUCHAUFOUR, 1970 ; PEDRO, 1980).

Dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire, les divergences de comportement relevées entre les sols étudiés proviennent aussi et surtout de la composition granulométrique. En effet, on a constaté que les humidités à pF 3,0, dans les sols de SOULA qui contiennent près de 40% d'argile en surface, sont voisines de 30%, alors que dans ceux de TOHA, riches en sables (68%), elles n'atteignent pas 13%. Ces liaisons sont d'ailleurs conformes à ce que plusieurs auteurs ont mis en évidence (HENIN et *al.*, 1969 ; MARSHALL, 1949 ; BONNEAU, 1961 ; COMBEAU, 1963).

A l'état sec, c'est-à-dire à des teneurs en eau largement inférieures à celles qui correspondent à pF 3,0, les manifestations de l'écrasement (taux de microagrégats) sont plus marquées à la surface des sols de TOHA qu'à celle des sols de SOULA. L'insuffisance de "ciment" entre les particules apparait comme une cause de la désagrégation rapide des éléments structuraux de TOHA, lorsqu'ils sont soumis à des contraintes physiques.

A l'état humide, la croûte de tassement se forme beaucoup plus facilement à la surface des sols de SOULA, riches en éléments fins, qu'à celle des sols de TOHA, sableux. En effet, "la fraction argileuse confère, non seulement, au sol sa capacité pour l'eau et sa cohésion, mais sa plasticité (HENIN et *al.*, 1969). C'est cette pasticité qui favorise la déformation des ensembles structuraux à l'état humide dès qu'on exerce une pression à la surface du sol (GREENE-KELLY et McKNEY, 1970 ; FERRY et OLSEN, 1965).

La composition granulométrique, comme on le constate, influence donc le comportement des sols en fonction du taux d'humidité et des contraintes physiques. Elle explique le fait que les porosités totales sont plus faibles et la sensibilité au tassement, plus forte , à TOHA qu'à SOULA. Ceci rejoint les travaux de GUERIF et FAURE (1979) qui, effectivement, ont montré que les matériaux riches en sables sont plus sensibles au compactage que les échantillons argileux.

De ce qui précède il faut retenir, en priorité, que chaq type de sol, quelle que soit sa texture, présente, sous l'effet de contraintes exercées à sa surface, des modifications structurales plus ou moins marquées qui peuvent être atténuées si l'on travaill ce sol à des humidités proches de pF 3,0.

d) La paille ou les débris végétaux

La paille ou les débris végétaux à la surface du sol att nue les modifications structurales provoquées par des contraintes mécaniques ou physiques. Elle a un effet protecteur vis-à-vis du compactage au champ (HOWARD et *al.*, 1959). Cette indication se vér fie dans la présente étude par le fait que les densités apparentes mesurées sous paille ou débris végétaux de graminées après piétine ment, sont légèrement plus faibles que celles que l'on a déterminée dans les espaces nus (cf. tableau 39). Le rôle "déterminant" de "la matière organique libre" (HENIN et TURC, 1949) sur le comporte ment des sols au compactage (test Proctor) et plus particulièremer sur les seuils hydriques de changement d'état et le degré de compacité", a été mis en évidence par GUERIF et FAURE (1979). Les den sités apparentes et le "pouvoir lubrifiant" baissent donc.

Si l'action des résidus végétaux est peu perceptible dar la modération du tassement, elle est cependant nette dans les trar formations structurales immédiates observées après piétinement. En effet, les taux de microagrégats calculés à la surface des deux types de sols après piétinement, sont plus élevés dans les espaces nus que sous les résidus végétaux (cf. tableau 35). Les épaisseurs de la croûte de tassement sous la paille sont très discrètes par rapport à celles des espaces non recouverts.

Conclusion

L'étude du piétinement d'un sol en place a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- De faibles contraintes physiques peuvent provoquer, selon les humidités du sol, deux sortes de modifications structurales. La première est la création d'une structure particulaire lorsque

le sol est tassé à une humidité inférieure à celle qui correspond à pF 3,0. La seconde est la formation d'une structure lamellaire lorsque ce même sol est compacté à une humidité supérieure à celle qui équivaut à pF 3,0.

- La porosité totale d'un sol diminue lorsqu'il est soumis à des contraintes.

- La nature et l'importance des modifications dépendent de l'intensité d'énergie de compactage, de la composition granulométrique, de la matière organique et des teneurs en eau du sol.

- Ces modifications interviennent principalement dans les horizons superficiels (0-10 cm) et sont moins marquées que celles provoquées au laboratoire sur des échantillons remaniés.

STENGEL (1976) rapporte que ces transformations structurales sont rapidement réversibles sous l'action des facteurs climatiques. Il n'en demeure pas moins que la prudence élémentaire consistera à éviter des travaux mécaniques ou toute autre contrainte physique lorsque les teneurs en eau du sol dépassent celles qui correspondent à pF 3,0.

3.2. Caractérisation analytique

3.2.1. Caractérisation granulométrique des sols

Les résultats granulométriques ont été dans cette étude, prises en considération, non pour tenter d'expliquer la genèse des sols en question, mais pour essayer de comprendre la morphologie et le comportement physico-chimique liés à la structure. C'est dans cet objectif que la composition granulométrique des échantillons des sols de SOULA et de ceux de TOHA a été déterminée à partir de deux traitements différents (DB - H_2O_2 électro et Tamm obscurité), en plus de celui qui est habituellement utilisé.

a) Les données de la granulométrie déterminée après traitement classique des échantillons

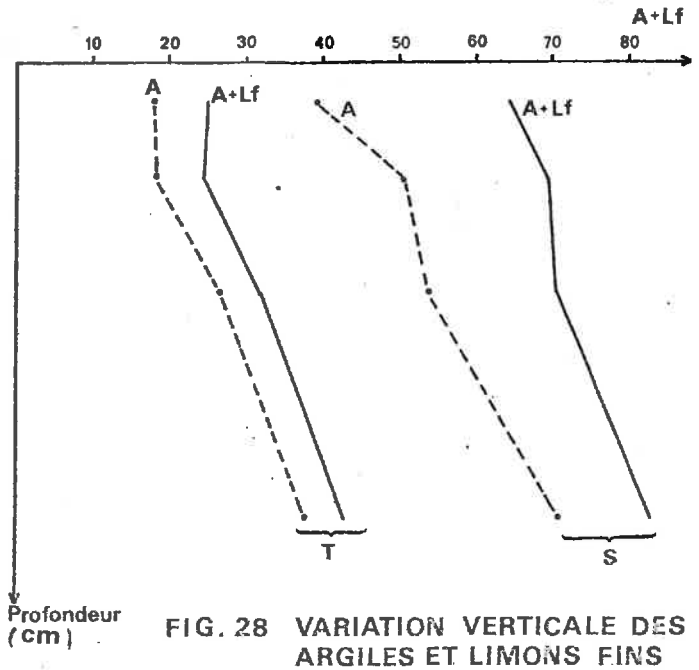


FIG. 28 VARIATION VERTICALE DES ARGILES ET LIMONS FINS

L'examen des courbes de la granulométrie (fig. 28) montre que les deux types de sols se distinguent, l'un de l'autre par leurs teneurs en éléments fins (A + Lf) et en sables. En effet, les sols de SOULA renferment dès la surface 64% d'argile et de limons fins, alors que ceux de TOHA n'en contiennent que 25% de 0 à 10 cm de profondeur. Ces taux augmentent plus ou moins du premier (A_{11}) au quatrième horizon (B) de chaque type de sols. Ils sont respectivement, entre 40-80 cm de 82,9% pour le premier type et de 43,1% pour le second.

Cette différence entre les distributions dimensionnelles des particules élémentaires des deux types de sols est à imputer à la nature de la roche-mère. Il est, en effet, reconnu que les sols issus de roche acide (granite), comme ceux de TOHA, sont sableux à sablo-argileux, alors que ceux qui dérivent de roche basique (dolérite), comme les sols de SOULA, ont une texture argilo-sableuse ou argileuse dès la surface, ou du moins à partir d'une faible profondeur.

b) Les données de la granulométrie déterminée après traitements spéciaux

Nous nous intéresserons, ici, uniquement aux taux d'argile (0-2µ) comme PEDRO, CHAUVEL et MELFI (1976).

Les deux traitements (DB-H_2O_2 électro et Tamm obscurité) donnent, dans chaque cas, des taux d'argile distincts. La différence entre ceux-ci représente le pourcentage "d'argile masquée" ou "immobilisée", déjà définie plus haut. Ce pourcentage augmente progressivement de l'horizon A_{11} à l'horizon B des sols de SOULA. Les valeurs sont respectivement de 8,4 ; 9,8 ; 16,3 et 18,9% dans les quatre horizons successifs étudiés. Dans les deux horizons humifères (A_{11} et A_{12}) de TOHA, ces taux d'argile masquée sont inférieurs à 1%. Ils augmentent en AB (1,8%) et en B (4,8%) (fig. 29).

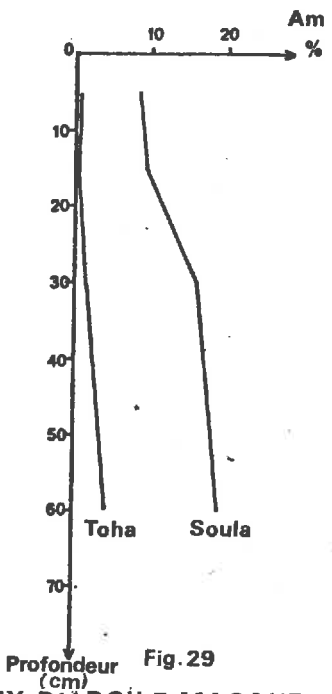


FIG.29 VARIATION DU TAUX D'ARGILE MASQUEE DANS LES PROFILS DE SOLS DE TOHA ET DE SOULA

On notera que les teneurs en argile estimées à partir de la méthode habituelle (H_2O_2 technique) d'une part, et du réactif de Tamm (obscurité), d'autre part, sont identiques pour chaque horizon des sols de TOHA. Ceci signifierait que leurs argiles sont facilement dispersables (PEDRO, CHAUVEL et MELFI, 1976). Les faibles valeurs de leurs taux d'argile masquée semblent, d'ailleurs, confirmer cette hypothèse.

PEDRO et ses collègues ont montré que l'argile masquée influe sur les caractéristiques physico-chimiques des sols. Elle

est constituée, en effet, de "pseudoparticules" grossières et sta bles qui "gonflent peu" et "fixent peu" de cations basiques. On p donc penser que sa forte proportion dans les matériaux de SOULA, jouera sur le pH, le taux de saturation et la réserve en eau de ceux-ci.

3.2.2. Caractéristiques chimiques

a) Teneurs en matière organique

Les taux de carbone et ceux d'azote diminuent de 0 à 80 de profondeur de chacun des deux types de sols (fig. 30). Le rapp C/N dépasse 16 dans les trois premiers horizons de SOULA (A_{11}, A_1

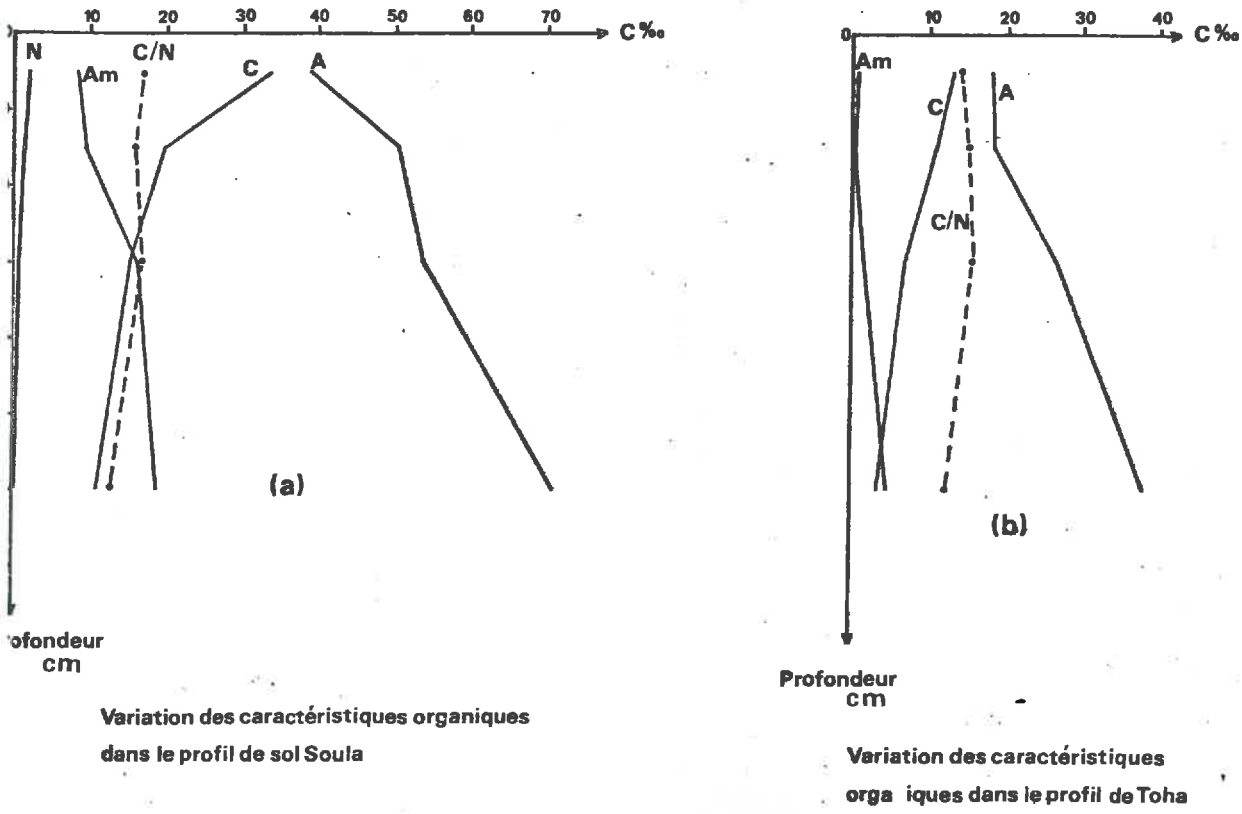


FIG. 30 : VARIATION VERTICALE DES CARACTERISTIQUES ORGANIQUES DES SOLS DE SOULA ET DE CEUX DE

et AB), et oscille autour de 15 dans ceux de TOHA. La matière org nique de ces sols présente, par conséquent, une évolution relativ ment incomplète (DUCHAUFOUR, 1970) mais cependant un peu plus ava cée dans les derniers que dans les premiers.

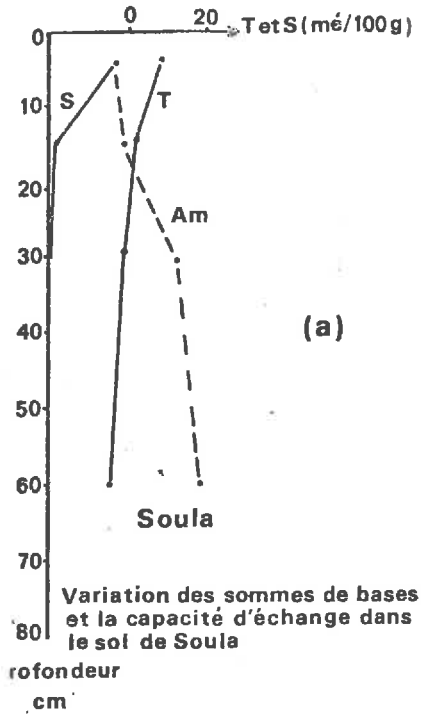
Les teneurs en matière organique pour chacun des deux types de sols semblent être liées aux pourcentages d'éléments fi (A + Lf). Ceci expliquerait leurs valeurs plus élevées à SOULA q TOHA. De BLIC (1975) a, d'ailleurs établi une corrélation positiv très étroite entre ces deux constituants. Les éléments fins joue- raient, ainsi, un rôle important dans la fixation de la matière organique.

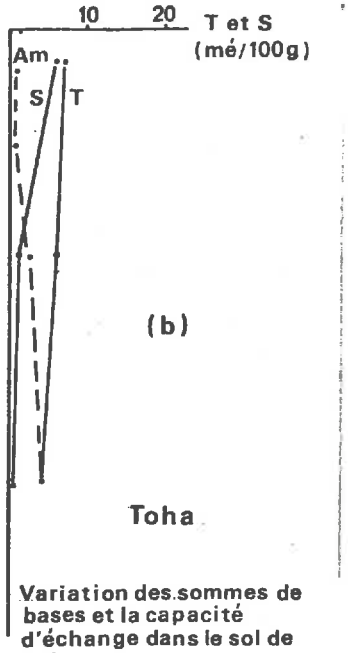
b) Complexe absorbant

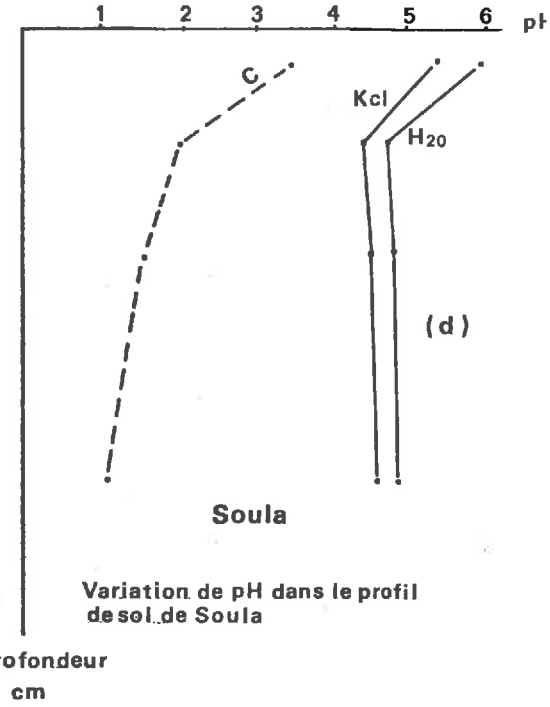
La capacité d'échange décroît, d'une façon plus ou moins régulière, du premier au quatrième horizon de chacun des deux types de sols. La décroissance apparaît la plus marquée dans le profil de SOULA (fig. 31). Dans celui-ci, les bases échangeables sont concentrées (Ca^{++}, Mg^{++} et K^{+}) en surface (0-10 cm) avec 89% du total. Dans les sols de TOHA, par contre, la distribution verticale de ces bases échangeables est relativement homogène. Si l'on considère les horizons homologues successifs, le taux de saturation est systématiquement plus élevé dans les sols de TOHA que dans ceux de SOULA (fig. 31c). Dans ces derniers, les valeurs du pH eau et du pH-Kcl s'abaissent assez fortement de l'horizon humifère (A_{11}) à l'horizon de pénétration humifère sous-jacent (A_{12}). Elles croissent ensuite, très légèrement jusqu'à 80 cm de profondeur (fig. 31d). A TOHA, cette décroissance, un peu moins prononcée que dans le cas précédent, entre les deux horizons humifères (A_{11} et A_{12}), se poursuit et s'accentue même jusqu'au premier horizon minéral (AB). De celui-ci au second horizon minéral (B), le pH eau décroît légèrement alors que le pH-Kcl présente la tendance inverse (fig. 31e). L'acidité des deux sols est la même en profondeur.

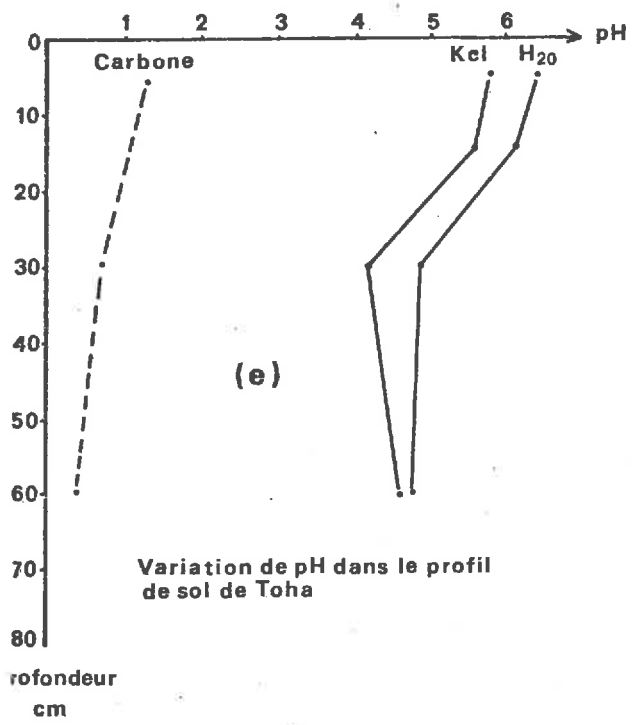
La variation verticale de ces caractéristiques du complexe absorbant correspond, dans chacun des sols, à celle de la matière organique. La capacité d'échange et la somme des bases échangeables dépendent généralement, pour un horizon donné, des taux de carbone (de BLIC, 1975 ; DAMIO, 1981). Mais la baisse du taux de matière organique de la surface vers la profondeur, dans les deux sols, n'explique pas à elle seule, celle des bases échangeables et de la capacité d'échange. Nous avons déjà remarqué, en effet, que le taux de carbone est plus élevé dans les sols de SOULA que dans ceux de TOHA. Or, dans les premiers, le taux des ions Ca^{++}, Mg^{++} et K^{+} décroît très fortement à partir de 10 cm de profondeur. Cette baisse brutale semble devoir s'expliquer par l'augmentation non moins rapide des teneurs en argile masquée à partir de 20 cm de profondeur (PEDRO et *al.*, 1976).

On sait que la valeur du pH est, assez généralement, liée à celle du taux de saturation (S/T) (DECKERS et VANSTALLEN, 1955 ; DUCHAUFOUR, 1970). C'est effectivement ce que nous observons dans chacun des deux types de sols étudiés. Les sols de TOHA, relative-









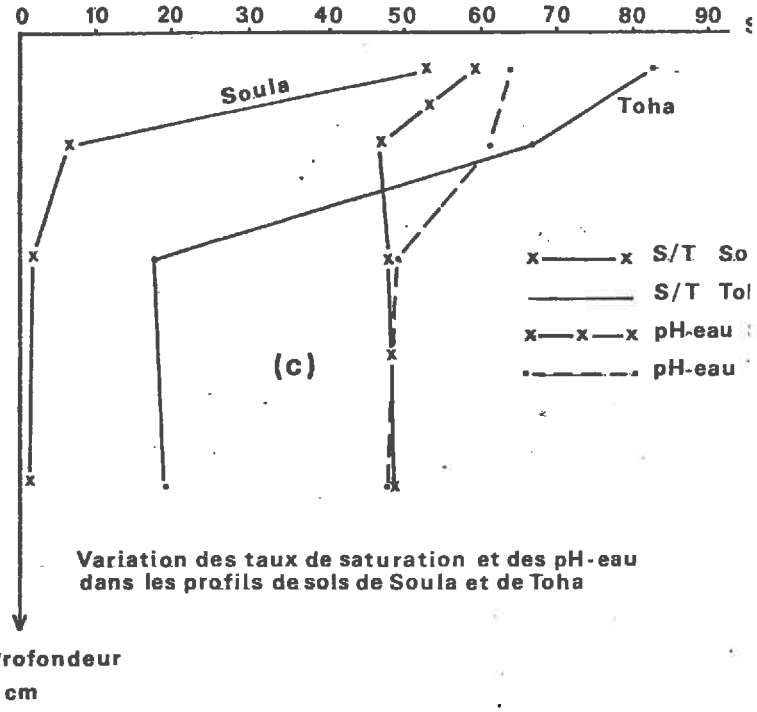


FIG. 31 : VARIATION DES CARACTERISTIQUES DU COMPLEXE ABSORBANT DES SOLS DE SOULA ET DE CEUX DE TOHA

ment saturés (82,6% entre 0-10 cm et 19,15% entre 40-80 cm) ont des pH eau supérieurs à ceux de SOULA dont la saturation est seulement de 53,74% et de 1,35% aux mêmes profondeurs respectives. Nous retrouvons ici,une conséquence que PEDRO et *al.*, (1976) avaient notée, de la corrélation négative entretenue entre la charge en cations basiques et le taux d'argile masquée : "La très forte désaturation constatée dans le cas des échantillons à argile masquée, qui correspond en fait à une absence de cations basiques, implique nécessairement une compensation par des cations plus acides qui se fixent alors énergiquement à la surface des particules".

Nous retiendrons de ce qui précède que les variations verticales des caractéristiques du complexe absorbant ne semblent pas dépendre uniquement des taux de matière organique et d'éléments fins car, malgré une texture nettement argileuse et des pourcentages de carbone élevés, les horizons A_{12} et AB de SOULA sont relativement pauvres en cations basiques.

c) Le fer total

Dans les sols de SOULA les pourcentages de fer total passent de 29,2% entre 0-10 cm à 20,2% entre 10-20 cm, puis présentent à peu près la même valeur dans les horizons sous-jacents (fig. 32). Dans ceux de TOHA ils augmentent légèrement avec la profondeur en prenant respectivement les valeurs suivantes : 5,6% entre 0-10 cm, 5,54 entre 10-20 cm, 6,88 entre 20-40 cm et 7,34 entre 40-80 cm. Nous avons donc des pourcentages de fer total nettement plus élevés dans le premier type de sol que dans le second. Et nous retrouvons ici ce que l'on peut noter dans la plupart des cas, à savoir que les teneurs en fer vont de pair avec celles que l'on détermine pour l'argile. Le tableau 40, consignant les résultats d'une autre étude

Tableau 40 : Teneurs en fer total et en argile des horizons superficiels (0-10 cm) de trois types de sols

	BAM	GUI	SOU
A %	17	22	37
Fer total	3	8	20

menée dans la même région (MONG GINE, 1979) nous donne un exemple de cette relation. Il est à préciser que l'abondance du fer dans les sols de SOULA est essentiellement liée à la nature de la roche-mère qui est une dolérite.

On sait que le fer joue un rôle important dans la formation de la structure (DUCHAUFOUR, 1970 ; JACQUIN, 1978, etc..) et qu'en milieu bien drainé, il est un des facteurs principaux du développement de liaisons généralement très stables entre les particule élémentaires. Le développement particulièrement net de la structure fragmentaire grumeleuse des horizons humifères, A_{11} et A_{12}, des sol de SOULA confirme cette action du fer, spécialement dans la résistance (pression des doigts) des agrégats libres et dans l'absence c dépôts superficiels de sables. Mais l'un des rôles du fer "serait aussi de s'associer aux silicates argileux pour immobiliser et masquer une quantité d'argile plus ou moins importante" (PEDRO, CHAUVE et MELFI, 1976). Ce rôle du fer se détecte dans les sols étudiés du nord-ouest de Côte d'Ivoire. Les sols de TOHA, pauvres en fer total renferment moins d'argile masquée que ceux de SOULA. Ce n'est cepen dant pas toute la quantité du fer total qui détermine la teneur en argile masquée, mais une "infime fraction" de celui-ci (PEDRO et *al.*, 1976). Les courbes de la figure 33 montrent, d'ailleurs, qu'u faible variation du taux de fer total, en-dessous de l'horizon A11, provoque une très forte augmentation des pourcentages d'argile immobilisée.

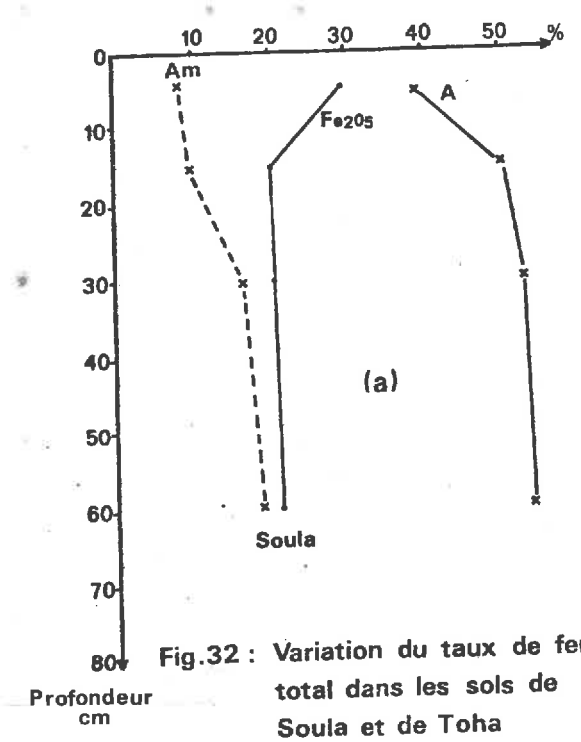


Fig.32 : Variation du taux de fer total dans les sols de Soula et de Toha

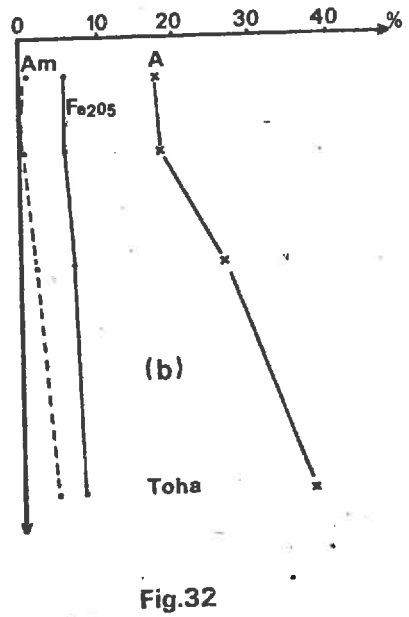
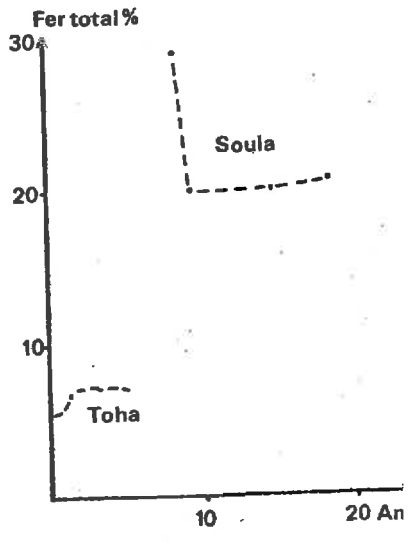


Fig.32



rig.33 : Evolution du fer tot en fonction de l'ar masquée

3.2.3. Caractéristiques physiques

a) pF

L'examen des courbes des figures 34a et 34b montre que :

- au point de flétrissement c'est-à-dire à l'état de dessiccation naturelle, les horizons des sols de SOULA contiennent plus d'eau que ceux de TOHA ;
- la gamme d'humidité correspondant aux diverses valeurs de pF est cependant plus étendue dans les sols de TOHA que dans ceux de SOULA (fig. 34b).

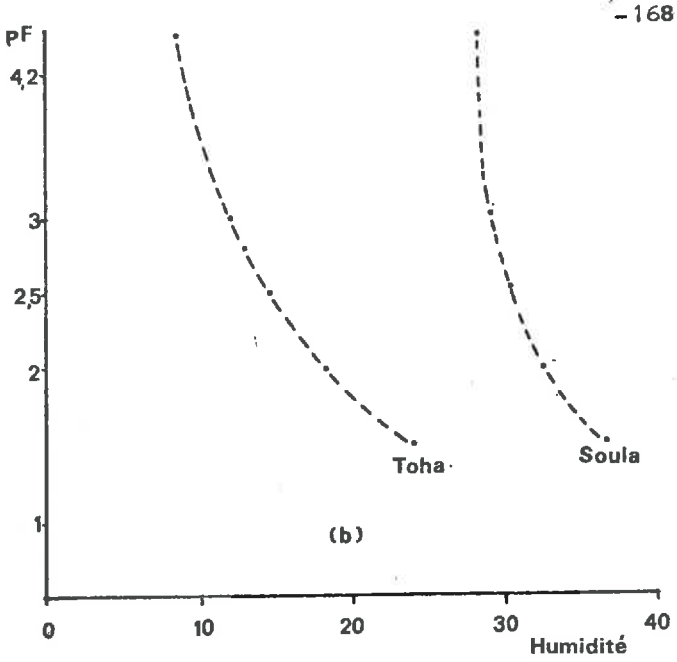
On peut donc expliquer ces différences par :

- les pourcentages d'éléments fins (A + Lf) nettement plus élevés dans les sols de SOULA que dans ceux de TOHA, ceci par référence aux travaux de PERIGAUD (1963) et de HENIN (1977), travaux qui mettent en évidence des corrélations positives entre la finesse de la texture et les teneurs en eau à différents pF ;
- l'abondance de fer total dans les matériaux de SOULA étant donné que "le ressuyage du sol est d'autant plus rapide que la teneur en fer est plus élevée" (PEDRO, CHAUVEL et TESSIER, 1976).

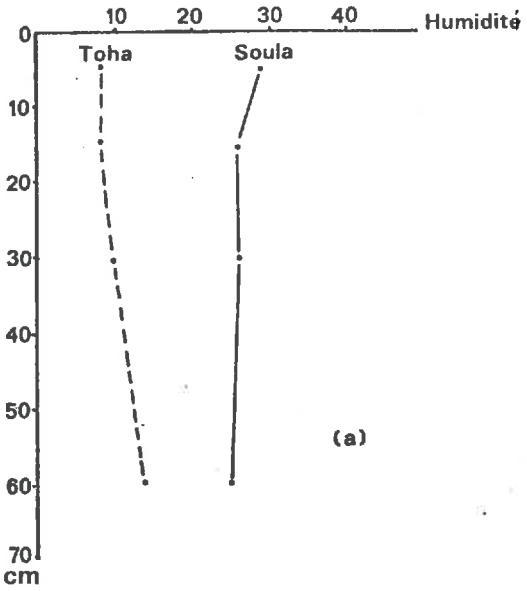
La faible gamme d'humidité des horizons superficiels des sols de SOULA pour les diverses valeurs de pF, peut être rapprochée de leur taux d'argile masquée, celle-ci étant constituée de "pseudo-particules" qui "gonflent peu" (PEDRO et *al.*, 1976).

b) Instabilité structurale

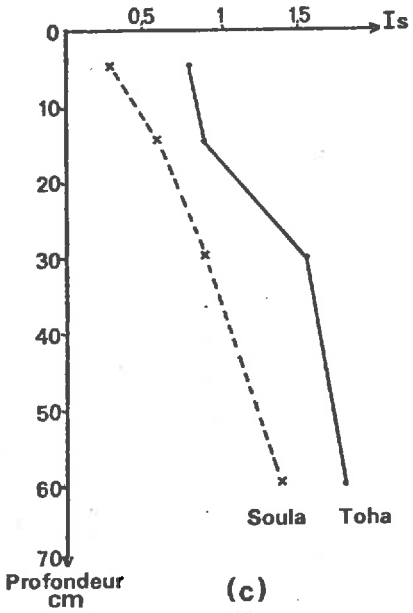
L'indice d'instabilité structurale Is a été déterminé sur des échantillons prélevés à différentes périodes. L'examen des résultats rassemblés dans le tableau 41 fait apparaître que :



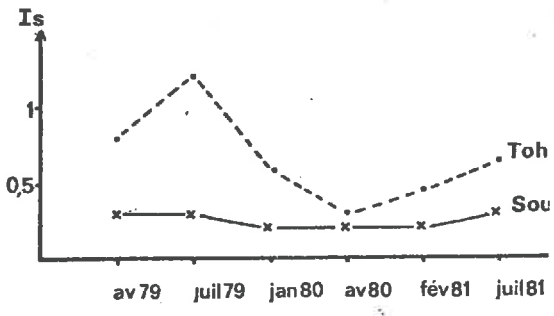
COURBES DE pF DES HORIZONS SUPERFICIELS (0-10cm)



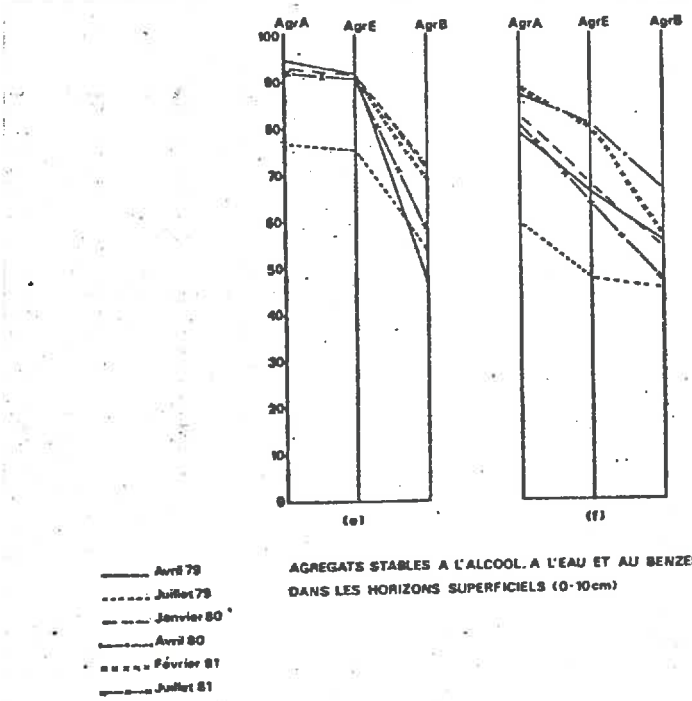
VARIATION VERTICALE DES HUMIDITES A pF 4,2



Variation verticale de Is



Variation temporelle de Is



AGREGATS STABLES A L'ALCOOL, A L'EAU ET AU BENZENE DANS LES HORIZONS SUPERFICIELS (0-10cm)

FIG. 34 : VARIATION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES DEUX TYPES DE SOLS ETUDIES

Tableau 41 : Variation des valeurs de l'indice d'instabilité structurale dans les profils au cours de trois années (1979-1981)

Horizons \ Périodes		avril 79	juill. 79	janv. 80	avril 80	fév. 80	juil. 81
SOU	(0-10)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
SOU	(10-20)	0,6	1,0	0,6	0,3	0,3	0,8
SOU	(20-40)	0,9	1,5	1,5	0,9	1,1	1,3
SOU	(40-80)	1,4	1,8	1,7	1,3	1,3	1,4
TO	(0-10)	0,7	1,2	0,6	0,3	0,4	0,7
TO	(10-20)	0,8	1,3	0,7	0,3	0,8	0,9
TO	(20-40)	1,6	2,4	1,1	1,1	1,6	1,6
TO	(40-80)	1,4	2,2	1,4	1,4	1,5	1,8

- à l'échelle du profil :

  . l'indice d'instabilité structurale (Is) (HENIN, 1938) augmente de la surface vers la profondeur des deux types de sols quelle que soit la période (fig. 34c),

  . les valeurs de Is des horizons de SOULA sont faibles par rapport à celles des horizons de TOHA, en toute période ;

- au cours du temps :

  . les Is déterminés en périodes sèches sont inférieurs à ceux qui le sont en saisons humides, et ceci quels que soient l'horizon et le type de sol ;

  . la variation temporelle de ces Is est très faible, voire négligeable dans l'horizon superficiel de SOULA où l'écart entre les valeurs extrêmes est de 0,1 unité (fig. 34d) ;

  . cette variation est, par contre, irrégulière et très importante dans l'horizon superficiel (0-10 cm) de TOHA. La différence entre les valeurs extrêmes obtenues dans cet horizon humifère est de 0,9.

Ces divers résultats confirment :

- la relation entre l'indice d'instabilité et les teneurs en matière organique (MOREAU, 1978 ; COMBEAU et QUANTIN, 1963), les valeurs de Is augmentant lorsque les taux de carbone baissent dans chacun des deux sols et apparaissant, en outre, relativement élevées dans les horizons des sols de TOHA qui contiennent moins de matière organique que ceux de SOULA ;

- la stabilité plus élevée des éléments structuraux en périodes sèches ;

- la liaison entre Is et la granulation (MONNIER et TRI, 1973), les horizons de surface des sols de SOULA, à structure fragmentaire grumeleuse permanente, possédant des éléments structuraux plus stables que ceux des horizons superficiels de TOHA, à structure massive-fragmentaire.

La différence entre les valeurs de Is respectives des deux types de sols semble devoir être attribuée pour l'essentiel à l'action conjuguée des teneurs en matière organique, en argile et en fer total. En effet, de nombreuses études ont montré que chacun de ces trois paramètres exercent une action favorable sur la stabilité des agrégats (DUCHAUFOUR, 1970 ; MONNIER, 1965 ; KHEYRABI et MONNIER, 1968). C'est ce qui explique que les sols de SOULA, beaucoup mieux pourvus en ces éléments que ceux de TOHA, donnent en surface des indices d'instabilité faibles, ne dépassant pas 0,3 en périodes humides.

Les taux des agrégats stables à l'alcool et à l'eau (fig. 34e et f) sont voisins les uns des autres pour les échantillons des horizons superficiels de SOULA. Ils sont, pour cinq des six périodes d'étude, supérieurs à 90%, et confirment également la bonne structuration de ces sols. Par contre le taux des agrégats stables au benzène varie d'une période à l'autre dans les deux typ de sols. En se référant aux travaux de SEBILLOTTE (1968) ; MONNIER et KONAN (1968), on peut, dans ces conditions, supposer une variation temporelle des teneurs en matière organique ou du moins, des formes de celle-ci, ou une influence du taux d'humidité du sol au moment du prélèvement, influence mise en évidence par PERIGAUD (1963) pour ce qui concerne le prétraitement au benzène.

Conclusion

La variation des caractéristiques analytiques et celle des traits morphologiques présentent une concordance assez nette quand nous passons d'un type de sol à l'autre; ceux-ci se différencient réciproquement par la nature de la roche-mère et le couvert végétal.

La roche-mère exerce, en effet, un rôle significatif par la nature et la quantité d'éléments chimiques que son altération libère. Son importance est absolument déterminante dans les taux d'argile et de sesquioxydes des sols qui en dérivent. Et de ces deux ensembles de constituants (argile et fer), dépendent étroitement nombre de caractères tels que l'individualisation des agrégats et leur stabilité structurale, le taux d'argile masquée, le taux d'humidité correspondant aux différents pF, la couleur, etc...

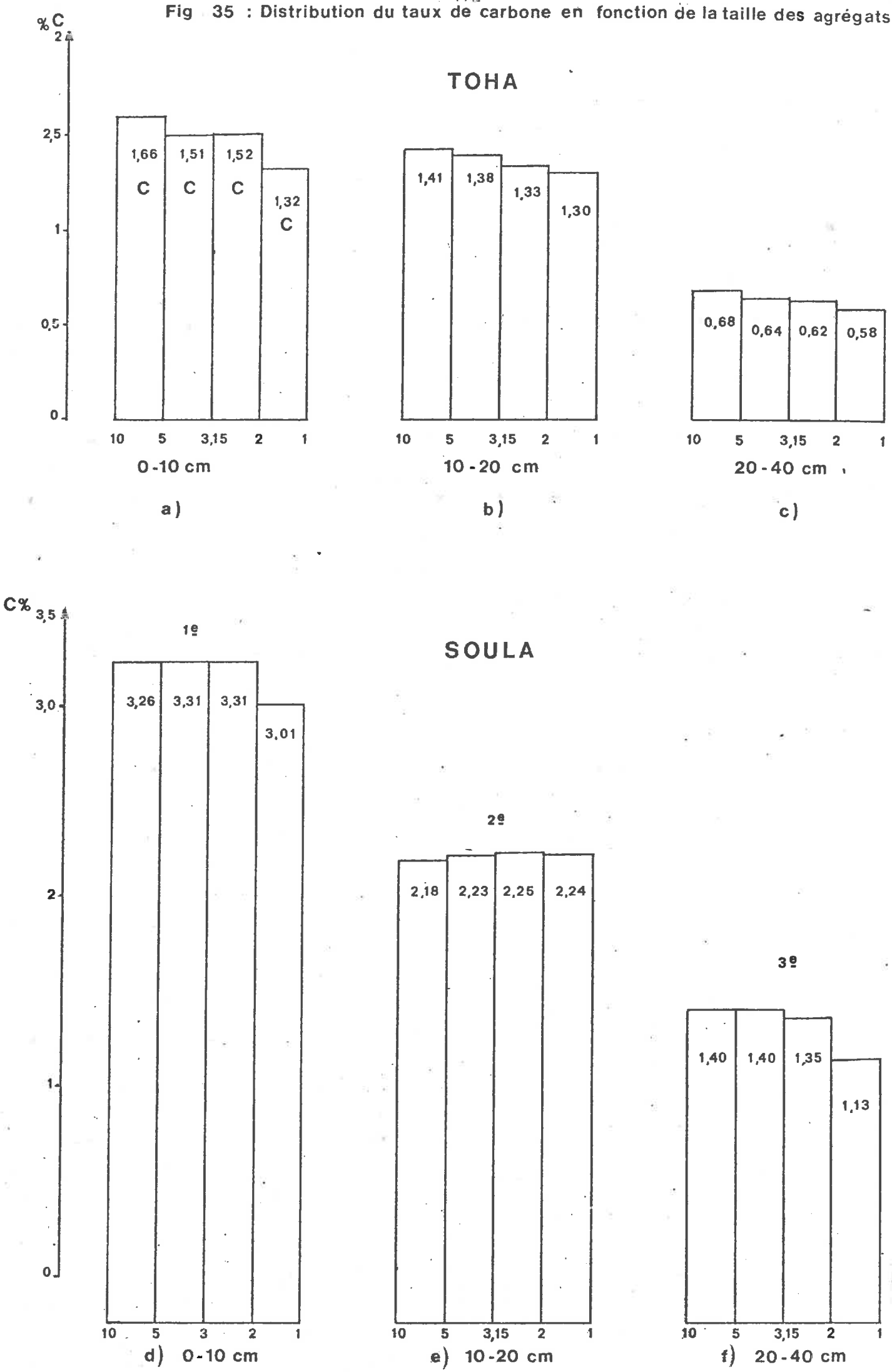
La végétation, quant à elle, joue indirectement, par les taux de matière organique qui est incorporée au sol, sur la morphologie des horizons (couleur, structure), sur l'indice d'instabilité structurale et sur la capacité d'échange.

3.3. Propriétés physico-chimiques et mécaniques des éléments structuraux de certaines classes dimensionnelles

Les propriétés physico-chimiques des sols sont généralement mises en évidence sur des échantillons tamisés à 2 mm. Or nous avons vu que tout horizon présente des éléments structuraux de taille variable, qui se répartissent en une gamme plus ou moins large de classes dimensionnelles. On peut supposer à priori que chacune de celles-ci possède des caractéristiques analytiques particulières vis-à-vis des autres.

Pour tenter d'étayer cette supposition les éléments structuraux de quatre classes dimensionnelles (10-5 ; 5-3,15 ; 3,15-2 et 2-1 mm) ont été soumis à des analyses portant essentiellement sur les teneurs en matière organique et en fer total, l'indice d'instabilité structurale, la résistance des agrégats à l'impact des gout-

Fig 35 : Distribution du taux de carbone en fonction de la taille des agrégats



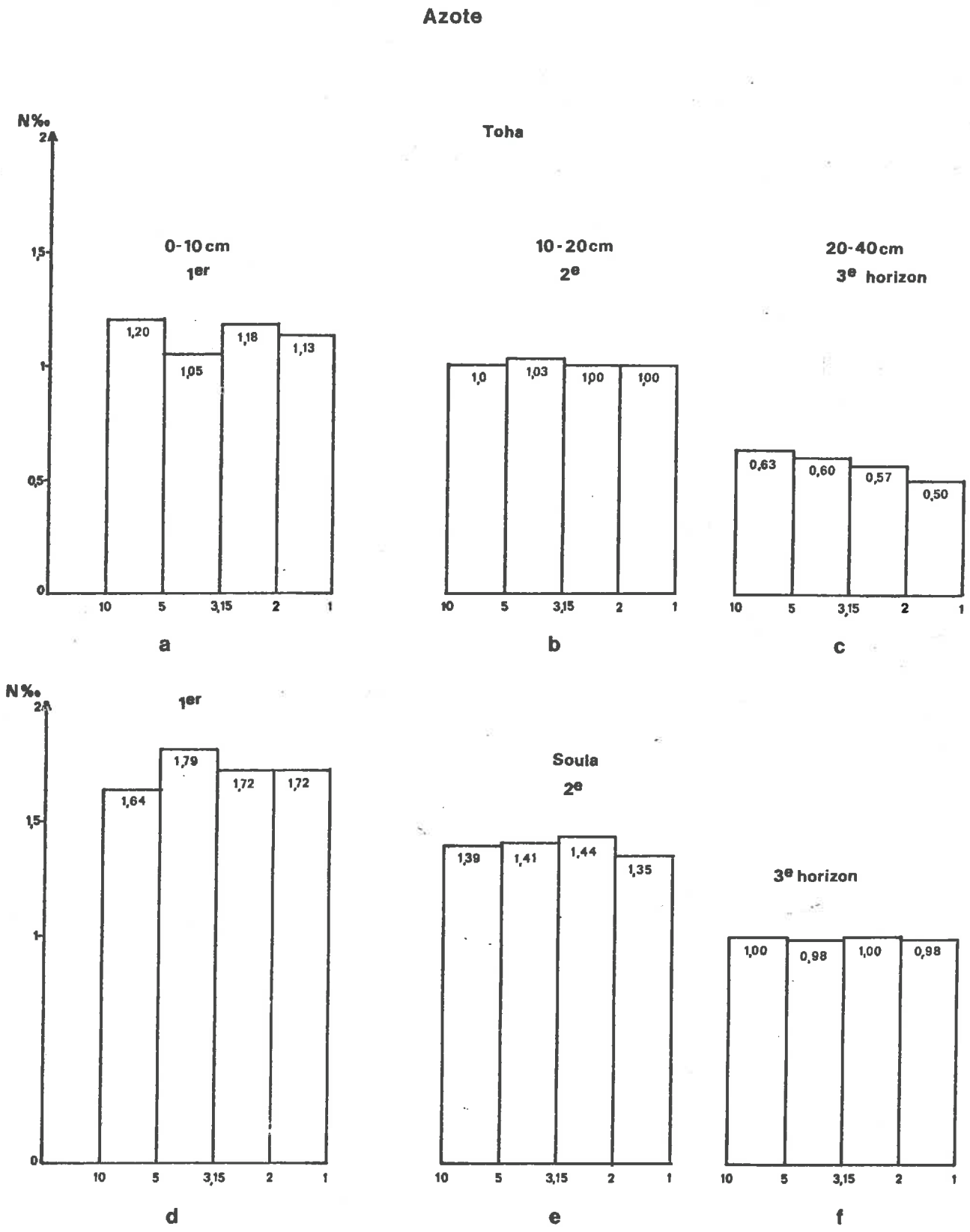
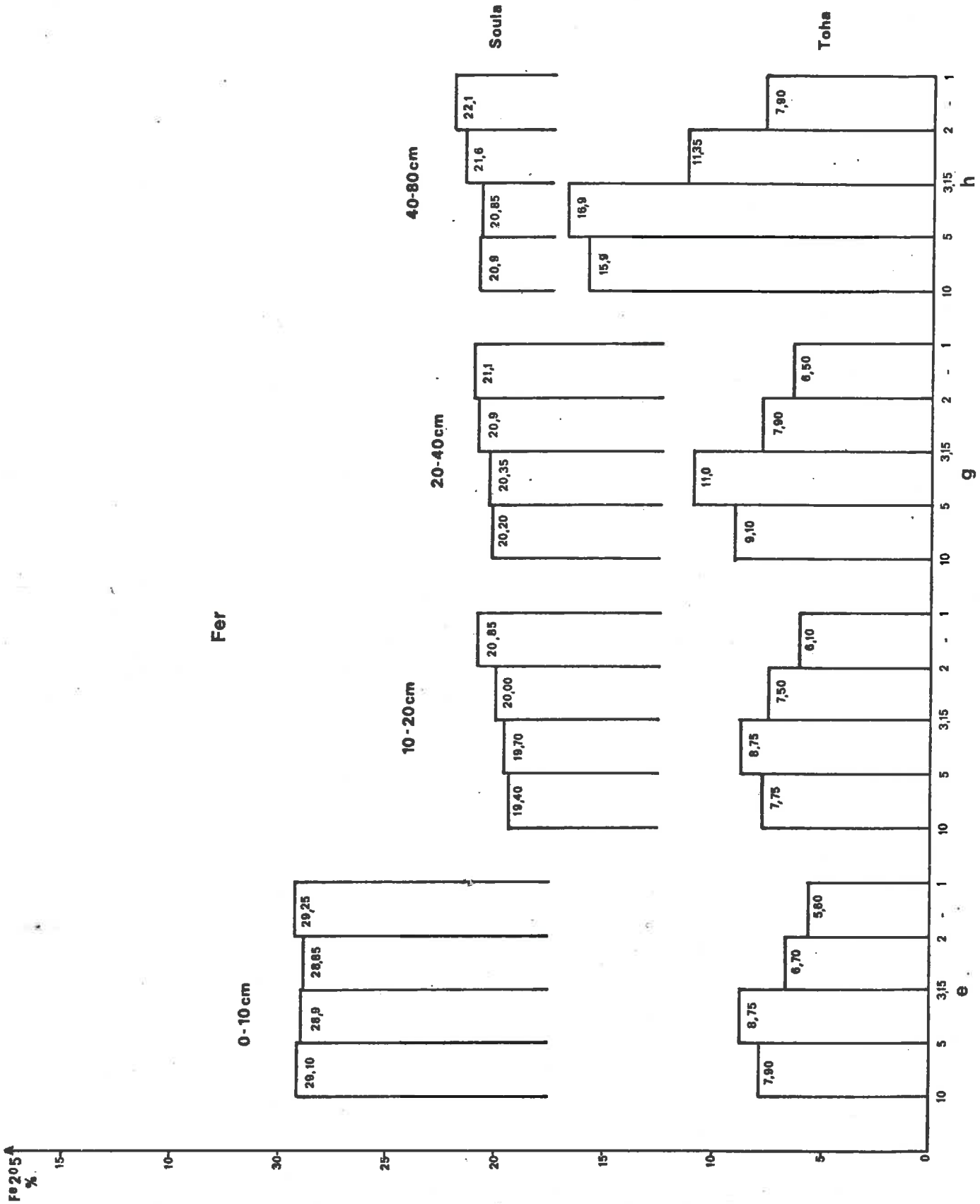
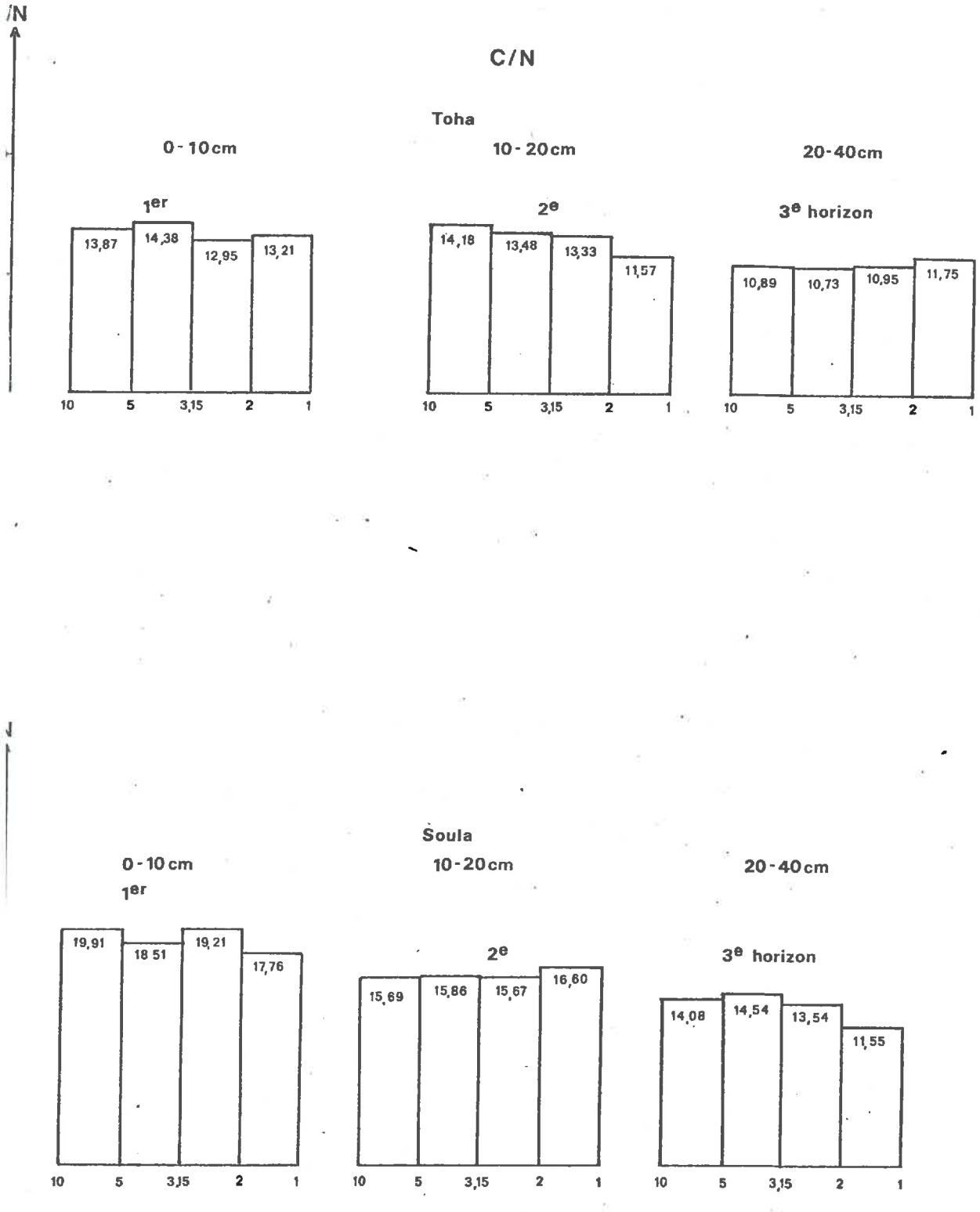


FIG.36 : DISTRIBUTION DU TAUX D'AZOTE DANS LES CLASSES D'AGREGATS DES SOLS ETUDIES


Fe2O5 %
Fer
0-10cm
20,10
28,9
28,85
29,25
10-20cm
19,40
19,70
20,00
20,85
20-40cm
20,20
20,35
20,9
21,1
40-80cm
20,9
20,85
21,6
22,1
Soula
e
8,75
6,70
5,60
7,90
8,75
7,75
10
5
3,15
2
1
g
9,10
11,0
7,90
6,50
h
15,9
16,9
11,35
7,90
Toha



IG.38 : VARIATION DU RAPPORT C/N DANS LES CLASSES D'AGREGATS DES SOLS ETUDIES

tes d'eau, la porosité texturale et le comportement mécanique (ess Proctor).

Afin de mieux apprécier l'influence de la taille des éléments structuraux nous avons utilisé le test de Spearman de corrélation de rangs et quelquefois le test de Kolmogorov-Smirnov.

3.3.1. Caractéristiques organiques et taux de fer total des classes dimensionnelles

a) Variation verticale

Les résultats des analyses sont représentés sur les figures 35, 36, 37 et 38. Leur examen fait apparaître que la variation des teneurs en matière organique et en fer total déterminées sur les échantillons de chaque classe dimensionnelle, confirme :

- l'évolution du taux de carbone et d'azote habituelleme appréciée sur les agrégats de 2 mm. En effet, les pourcentages de matière organique pour chaque classe d'agrégats, diminuent de 0 à 40 cm de profondeur des deux types de sols (fig. 35) ;

- la plus grande richesse en matière organique et en fer total des sols de SOULA par rapport à ceux de TOHA. Les éléments structuraux des classes dimensionnelles de SOULA contiennent, en effet, plus de carbone, d'azote et de fer que ceux de TOHA (fig. 3 et 37) ;

- le rapport C/N assez élevé (supérieur à 15) dans les horizons supérieurs (A_{11} et A_{12}) de SOULA (fig. 38) ;

- l'abaissement rapide du taux de fer du premier (A_{11}) a second (A_{12}) horizon des sols de SOULA ;

- l'accroissement du taux de fer de A_{12} à B des sols de TOHA.

b) Variation en fonction de la taille

Quatre couples de données constituent l'échantillon minimum sur lequel le test de corrélation de rangs de Spearman est

applicable. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé ici, cette approche statistique rapide pour tenter de dégager les corrélations existant éventuellement entre la dimension des agrégats (dont nous avons précisément quatre classes) et les valeurs des pourcentages respectifs pour le carbone, l'azote et le fer total. Les données du tableau 42 nous permettent d'effectuer les remarques suivantes :

Tableau 42 : Coefficient de corrélation(r.s.) en fonction des classes dimensionnelles

Horizon	C		N		Fe		C/N	
	SOULA	TOHA	SOULA	TOHA	SOULA	TOHA	SOULA	TOHA
0-10	+0,316	+0,800	-0,316	+0,400	-0,200	+0,800	+8,800	+0,600
10-20	-0,800	+1,000	+0,200	+0,400	-1,000	+0,800	-0,400	+1,000
20-40	+0,949	+1,000	+0,447	+1,000	-1,000	+0,800	+0,800	-0,800

- Le carbone

Pour les sols de SOULA aucune liaison significative n'apparaît, seule une tendance positive caractérise assez nettement le premier horizon minéral (20-40 cm) et beaucoup plus faiblement le premier horizon humifère. Nous noterons, par contre, que l'horizon de pénétration humifère (A_{12}) présente une tendance à une liaison négative assez nette. Les sols de TOHA montrent une liaison systématiquement positive pour les trois horizons successifs analysés (de 0 à 40 cm) liaison qui est significative pour l'horizon A_{12} et l'horizon AB. On retiendra que, sauf pour l'horizon de pénétration humifère (A_{12}) de SOULA, l'augmentation du taux de carbone total et celle de la dimension des éléments structuraux (dans la gamme 1-10 mm du moins) varient généralement dans le même sens. Le fait que cette liaison soit beaucoup plus nette dans les sols de TOHA correspond à ce que d'autres auteurs (de LEENHEER, 1958 ; MULLER, 1974) signalent à propos du rôle prépondérant de la matière

organique des sols sableux, dans l'agrégation des particules minérales. Dans les sols de SOULA, les taux d'argile, beaucoup plus élevé que dans les sols précédents, assurent vraisemblablement en grande partie la liaison des particules sableuses.

- L'azote

Le taux d'azote et la taille des éléments structuraux présentent une tendance à une liaison positive assez générale. Cette tendance est plus nette à TOHA (où le coefficient de corrélation toujours positif, atteint +1 dans l'horizon 20-40 cm (AB) qu'à SOULA où nous notons une valeur négative dans l'horizon A11.

La liaison apparaît plus lâche pour l'azote que le carbone avec la dimension des unités structurales. Ceci peut s'interpréter par le fait que, pour ce second élément, la liaison présente un caractère fonctionnel alors que pour l'azote, cette liaison traduirait, en grande partie, une concomitance. En effet, au-delà des variations dues à l'évolution plus ou moins poussée des résidus végétaux, il n'en reste pas moins que, globalement, les valeurs du pourcentage d'azote et celles qui concernent le carbone entretiennent mutuellement une certaine liaison positive.

- Le fer

Les valeurs respectives du coefficient de corrélation indiquent que le rôle de sesquioxydes de fer sur la dimension des ensembles structuraux s'inverse d'une catégorie de sol à l'autre. En effet, alors qu'à TOHA une nette tendance positive se dégage pour chacun des horizons étudiés, à SOULA, nous avons tout aussi systématiquement, une tendance négative, faible dans le premier horizon (A_{11}), mais beaucoup plus nette dans les niveaux sous-jacents. Les valeurs du coefficient sont même significatives au seuil de $p = 0,05$ dans l'horizon de pénétration humifère A_{12} et dans le premier horizon minéral, sous-jacent. Autrement dit, si nous considérons l'ensemble des deux types de sols, on peut penser que le phénomène d'agrégation (traduit en termes de volume des édifices structuraux) passe par une valeur maximum correspondant à une gamme de pourcentages de fer, intermédiaires entre ceux de TOHA d'une part et ceux de SOULA d'autre part. Dans ce second site, nous

passons dans le domaine de la formation des "pseudoparticules" (PEDRO, CHAUVEL et MELFI, 1976 ; CHAUVEL, 1976) qui représentent l'une des formes les plus stables des liaisons ferrugineuses. On ne doit pas perdre de vue que les sols de SOULA sont par rapport à ceux de TOHA, plus riches en argile ainsi qu'en matière organique. Et ceci renforce le caractère de stabilité par la formation de complexes argile - fer - humus (DUCHAUFOUR, 1970 ; JAMBU, DUPUIS T. et DUPUIS J., 1972).

En conclusion, nous pouvons retenir de ces différences de composition des éléments structuraux que la matière organique et le fer, entre autres, ne se répartissent pas, à l'échelle d'un même horizon, d'une façon homogène. Et nous pouvons penser que cette hétérogénéité des volumes individualisés se répercute par une certaine irrégularité de l'exploitation racinaire.

3.3.2. Porosité texturale des éléments structuraux des classes dimensionnelles

Nous rappellerons ici, que par porosité texturale, il faut entendre la porosité développée à l'intérieur des éléments structuraux (MONNIER, STENGEL et FIES, 1973). Cette porosité texturale qui dépend de la disposition relative des particules argileuses, limoneuses, sableuses ou organiques, diffère de la porosité totale de l'horizon pris dans son ensemble. Comme pour la porosité totale, la porosité texturale se calcule selon la formule

$$n^t = 1 - \frac{da}{ds}$$ où da est la densité apparente des éléments structuraux d'une classe donnée

ds la densité de solide (densité réelle) de ces mêmes éléments.

Nous examinerons successivement la variation des valeurs obtenues à l'échelle des profils puis celle qui se dégage de la comparaison des éléments structuraux en fonction de leur taille.

a) Variation de la porosité texturale en fonction de la différenciation pédologique

Les résultats regroupés dans les figures 39 et 40 font ressortir les faits suivants :

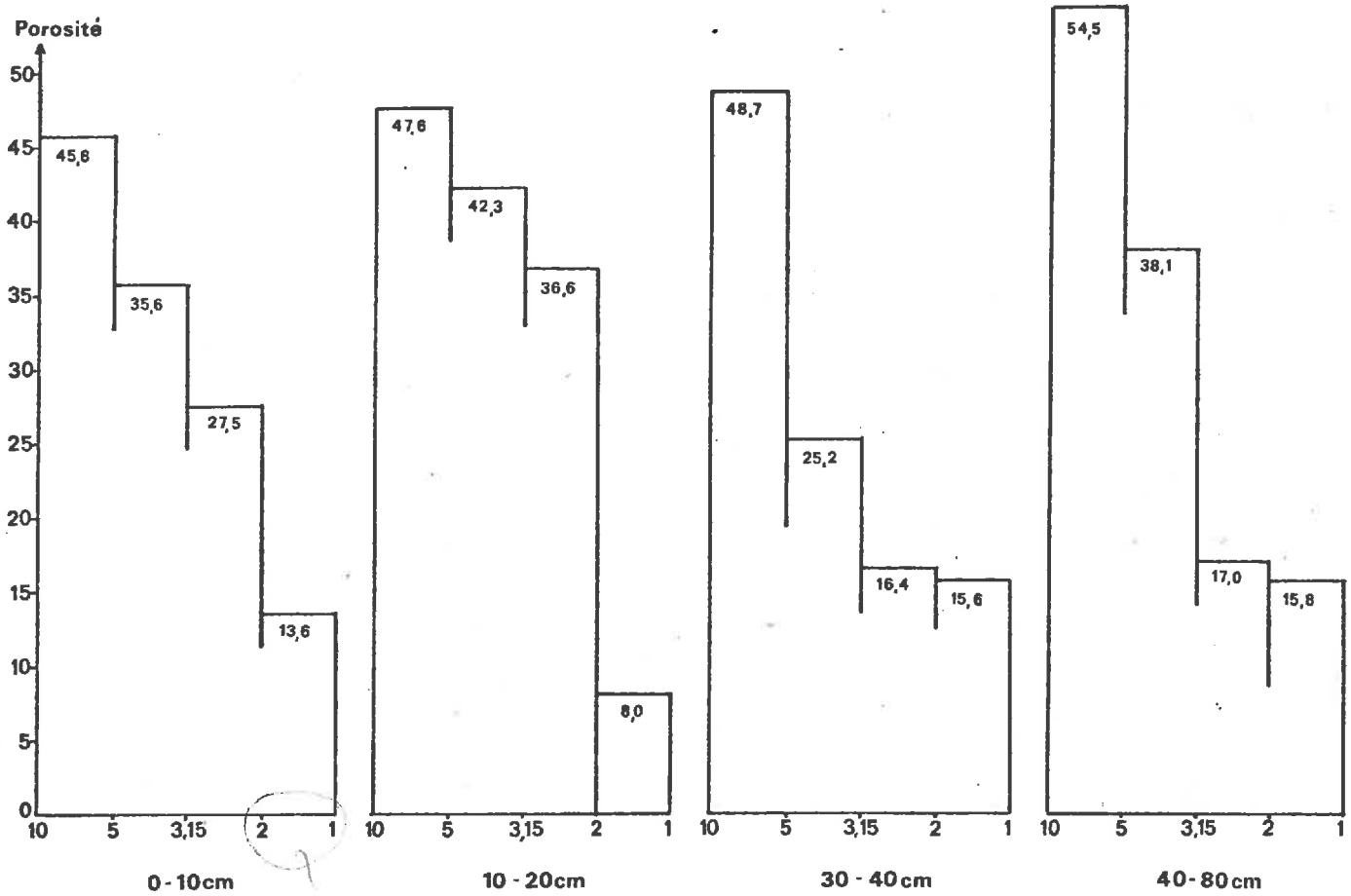


FIG.39 : POROSITE TEXTURALE DES AGREGATS DE QUATRE CLASSES DIMENSIONNELLES DES HORIZONS DE SOULA

- Dans les sols de SOULA

. Les éléments structuraux de la classe 10-5 mm présentent une porosité texturale régulièrement croissante du premier au quatrième horizon, passant de 45,8% à 54,5%.

. Pour les deux classes 5-3,15 et 3,15-2 mm, les valeurs obtenues croissent du premier au second horizon humifère, pour décroître d'une façon très sensible dans l'horizon AB (20-40 cm). De celui-ci au second horizon minéral (B : 40-80 cm), sous-jacent, la porosité texturale croît de nouveau assez fortement pour la première de ces deux classes, et d'une façon peu sensible pour la seconde.

. Enfin, pour la classe 2-1 mm, les variations de la porosité texturale sont, dans l'ensemble beaucoup moins sensibles que pour les classes précédentes. Elles sont cependant très nettes dans l'horizon de faible pénétration humifère (A_{12}) où la porosité texturale est de 8%, alors qu'elle est respectivement de 13,6 entre 0-10 cm, de 15,8 entre 20-40 cm et 40-80 cm.

- Dans les sols de TOHA

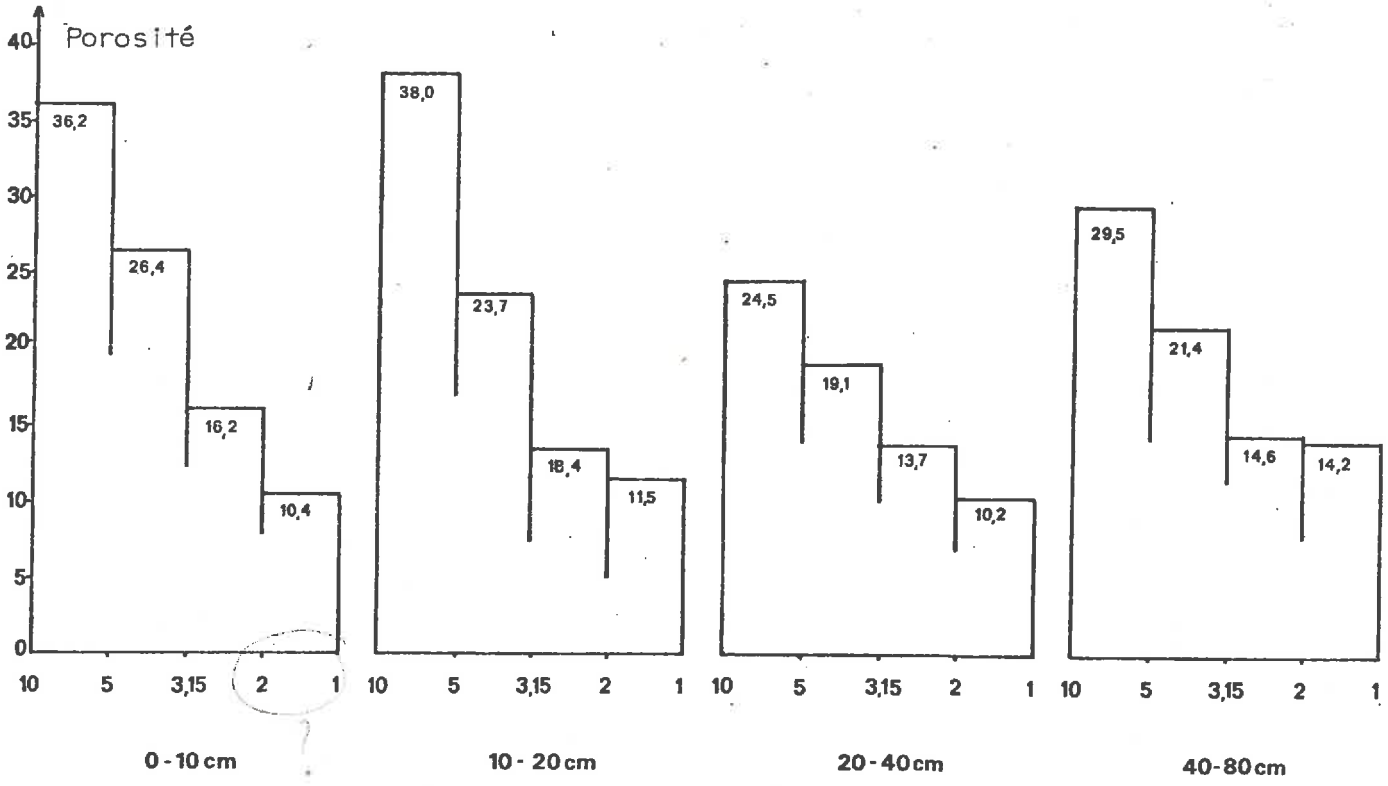


FIG.40 : POROSITE TEXTURALE DES AGREGATS DE QUATRE CLASSES DIMENSIONNELLES DES HORIZONS DE TOHA

. Une seule constante apparaît, qui est l'abaissement de la porosité texturale à sa valeur minimale, dans le premier horizon minéral (AB), ceci pour les quatre classes dimensionnelles considérées.

. Si nous considérons l'ensemble des résultats relatifs aux diverses classes dimensionnelles, les valeurs maxima de la porosité texturale tendent à se regrouper dans l'horizon superficiel (A_{11}). Toujours par approche globale et par ordre de valeurs décroissantes, viennent ensuite, l'horizon A_{12}, l'horizon minéral B (40-80 cm) et enfin l'horizon AB (20-40 cm).

De ces données, nous pouvons souligner les caractères suivants :

. Les porosités texturales présentent plusieurs types de variations à partir du sommet des profils. Le type le plus fréquen est l'accroissement des valeurs du premier au second horizon humifère, puis une décroissance dans le premier horizon minéral et enf de nouveau, un relèvement dans l'horizon B. Il caractérise à SOULA les deux classes 5-3,15 mm et 3,15-2 mm, et à TOHA les classes 10-5 mm et 2-1 mm.

. Le second type de variation des valeurs, par ordre de fréquence, consiste en une décroissance de A_{11} à A_{12} et un accroissement de AB à B. Il caractérise les deux classes 5-3,15 et 3,15-2 mm des sols de TOHA, mais pour la première classe nous observons une décroissance de la porosité texturale au passage de l'horizon A_{12} (10-20) à l'horizon AB (20-40 cm) et l'inverse pour la seconde classe. Enfin, nous avons observé que pour la classe 10-5 mm les valeurs croissent régulièrement de A_{11} (0-10 cm) à B (40-80 cm) de sols de SOULA.

. Il apparaît donc en général, que les variations des vale de la porosité texturale ne sont guère liées dans un sens ou dans autre à celles du pourcentage d'argile, tout au moins, à l'échelle du profil.

. Si nous comparons les deux types de sols entre eux, nous observons que les valeurs obtenues pour chaque classe dimensionnel le sont plus élevées à SOULA qu'à TOHA et ceci pour les quatre horizons étudiés. Une seule exception concerne la classe 2-1 mm dans l'horizon de pénétration humifère (10-20 cm). Si nous notons par ailleurs que le premier type de sol est nettement plus argileu que le second, ce fait vient donc quelque peu à l'encontre de ce que le point précédent mentionne. Mais il semble que nous ayons à faire, en la matière, à une question de gammes de valeurs. Ces gammes, très différentes d'un type de sols à l'autre, ne présenteraient pas entre leurs deux limites respectives, une variation suffisante pour déterminer des gradients réguliers en fonction de la différenciation verticale d'un même type de sols. Nous ne devons pas, d'autre part, perdre de vue que conjointement au taux d'argil

de nombreux autres paramètres, comme le pourcentage respectif des autres fractions granulométriques (limons, sables) et ceux des sesquioxydes de fer et de matière organique, en particulier, interviennent.

b) Variation de la porosité texturale en fonction de la classe dimensionnelle

Les histogrammes des figures 39 et 40 indiquent une variation très ordonnée des valeurs de la porosité texturale en fonction de la classe dimensionnelle des éléments structuraux. Cet ordonnancement se trouve confirmé par le test de corrélation de rangs de Spearman. Pratiqué pour chacun des horizons des deux types de sols étudiés, ce test nous donne systématiquement, pour le coefficient de corrélation, la valeur +1, qui est en l'occurence significative à une probabilité de 0,95. Autrement dit, la porosité texturale est fonction directe de la taille des éléments structuraux. Nous notons, par exemple, que dans l'horizon A_{11} les valeurs décroissent progressivement de 45,8% pour la classe 10-5 mm à 13,6% pour la classe 2-1 mm dans les sols de SOULA, et de 36,2% à 10,4% dans ceux de TOHA. Le rapport entre les deux valeurs extrêmes apparait donc très élevé puisqu'il est, environ de 3,4/1. Il est d'ailleurs systématiquement supérieur à 3/1 dans les divers horizons des sols de SOULA et dans les deux horizons humifères de TOHA. Ces résultats s'accordent avec les travaux de MONNIER, STENGEL et FIES(1973).

Les modalités de la diminution de la porosité texturale sont, cependant, variables selon les horizons et d'une classe dimensionnelle à l'autre. On notera, pour les points les plus marquants, que de la classe dimensionnelle 10-5 mm à celle de 3,15-2 mm la décroissance moyenne est, en effet, respectivement de 40% et 23% dans le premier type de sol et de 55 à 65% dans le second type. Par contre, dans les horizons minéraux (AB et B), la décroissance entre les deux classes (10-5 et 3,15-2 mm) est, la plus rapide à SOULA (66% et 69% respectivement) qu'à TOHA (44% et 50% respectivement). Enfin entre les deux classes des plus petites dimensions (3,15-2 mm et 2-1 mm) la décroissance, dans les A_{11} et A_{12} est, au contraire, plus forte à SOULA (respectivement : 50% et 78%) qu'à TOHA (respectivement 34 et 32%).

Nous remarquerons d'autre part que toutes les valeurs obtenues dans ces déterminations de la porosité texturale des diverses classes dimensionnelles d'agrégats ou d'éclats, sont inférieures à celles de la porosité totale des horizons correspondants. HENIN (1976), citant entre autres, les travaux de SCHLOESING avait d'ailleurs effectué la même remarque. Cette augmentation de l porosité en fonction directe du volume des éléments structuraux, puis lorsque l'on considère l'ensemble de l'horizon en place apparaît tout à fait logique. En effet, au fur et à mesure que l'on considère des édifices pédologiques de plus en plus volumineux, on prend en compte une proportion croissante des fissures, cavités, galeries et autres vides, qui caractérisent le sol en place et qui délimitent les ensembles structuraux à structure continue. La porosité texturale au sens strict est donc la porosité des plus petits éléments structuraux qui peuvent s'individualiser au débit. Elle dépend ainsi grandement de la nature des particules élémentaires qui constituent le matériau, comme l'a noté STENGEL (1976) et comme nous venons de le constater.

3.3.3. Stabilité des agrégats des classes dimensionnelles

a) Variation dans le profil

Les résultats mentionnés dans le tableau 43 représentent les valeurs obtenues pour l'indice d'instabilité structurale (HENIN 1938). Les déterminations ont porté sur les éléments structuraux de quatre classes dimensionnelles (10-5, 5-3,15, 3,15-2 et 2-1 mm) des trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12} et AB) décrits dans chacun des deux types de sols. Ces résultats ont été obtenus sur cinq périodes. Leur examen fait ressortir les points suivants :

- Dans les sols de SOULA

. Dans l'horizon A_{11} (0-10 cm), les valeurs de Is varient selon les périodes, entre 0,1 et 0,2 pour les trois classes dimensionnelles 10-5 ; 5-3,15 et 3,15-2 mm. La valeur médiane passe toutefois de 0,1 dans les deux premières à 0,2 dans la troisième. Pour la classe dimensionnelle 2-1 mm la gamme des valeurs est légèrement supérieure, mais la médiane est de 0,2 comme pour la classe 3,15-2

Tableau 43 : Variation de l'indice d'instabilité en fonction de la taille des agrégats au cours de trois années (1979-81)

Echantillons	Périodes / Taille des agrégats	avril 79	janvier 80	avril 80	février 81	juillet 81
SOULA	10-5 mm	0,1 0,3 0,8	0,1 0,3 1,2	0,1 0,1 0,6	0,1 0,2 1,0	0,1 0,4 1,2
	5-3,15 mm	0,1 0,5 0,8	0,1 0,4 1,2	0,1 0,1 0,7	0,1 0,2 0,9	0,2 0,6 1,3
	3,15-2 mm	0,2 0,5 0,8	0,2 0,5 1,4	0,1 0,2 0,8	0,1 0,3 1,0	0,2 0,7 1,2
	2 - 1 mm	0,3 0,6 0,9	0,2 0,6 1,5	0,2 0,3 0,9	0,2 0,3 1,1	0,3 0,8 1,3
TOHA	10-5 mm	0,5 0,6 1,3	0,4 0,5 0,9	0,3 0,2 0,9	0,3 0,7 1,2	0,8 0,7 1,4
	5-3,15 mm	0,5 0,7 1,3	0,5 0,6 1,0	0,3 0,3 1,0	0,4 0,7 1,2	0,8 0,7 1,5
	3,15-2 mm	0,6 0,7 1,4	0,6 0,7 1,3	0,3 0,3 1,1	0,4 0,8 1,4	0,8 0,9 1,6
	2 - 1 mm	0,7 0,8 1,6	0,6 0,7 1,1	0,3 0,3 1,1	0,4 0,8 1,6	0,8 0,9 1,6

Les trois nombres de chaque case représentent les couches 0-10, 10-20 et 20-40 cm.

. Dans l'horizon A_{12} (10-20 cm), les valeurs extrêmes de Is sont généralement supérieures à celles qui caractérisent l'horizon précédent. La médiane passe progressivement de 0,3 pour la classe 10-5 mm à 0,6 pour la classe 2-1 mm. L'indice d'instabilité structurale croît donc de l'horizon A_{11} à A_{12}.

. Dans l'horizon AB (20-40 cm), l'accroissement des valeur de Is se poursuit. Les valeurs médianes oscillent entre 0,9 et 1,1 selon la classe dimensionnelle.

- Dans les sols de TOHA

. Dans l'horizon A_{11}, les valeurs de Is varient, selon les périodes, entre 0,3 et 0,8 pour toutes les classes dimensionnelles, mais la médiane croît progressivement de 0,4 pour 10-5 mm à 0,6 pour 3,15-2 et 2-1 mm.

. Dans l'horizon A_{12} les valeurs extrêmes de Is ne sont guère différentes de celles de l'horizon précédent mais les valeur médianes passent assez progressivement de 0,6 pour la classe dimensionnelle 10-5 à 0,8 pour 2-1 mm.

. Dans l'horizon AB, les valeurs minima varient entre 0,9 et 1,1 et les maxima de 1,4 à 1,6. Les médianes passent d'une manière assez progressive de 1,2 pour les deux classes 10-5 et 5-3,15 mm à 1,4 pour la classe 3,15-2 mm et à 1,6 pour la dernière (2-1 mm).

On peut retenir, en règle générale, que l'instabilité structurale croît en profondeur et quel que soit le type de sol, ceci rejoint les résultats mentionnés par divers auteurs (QUANTIN et COMBEAU, 1963 ; KOHNKE, 1968 ; MOREAU, 1978, etc...). Pour les sols qui nous concernent, les rares exceptions à cette règle caractérisent principalement ceux de TOHA. Pour les classes 10-5 et 5-3,15 mm, les valeurs de Is de l'horizon A_{12} sont un peu plus faibles que celles de l'horizon A_{11}, en juillet 81. Il en est de même, mais seulement pour la classe 10-5 mm, en avril 80. On notera que pendant cette dernière période, les valeurs de Is sont identiques dans les deux horizons humifères pour les trois classes dimensionnelles 5-3,15 ; 3,15-2 et 2-1 mm de TOHA, et seulement pour deux classes 10-5 et 5-3,15 mm de SOULA.

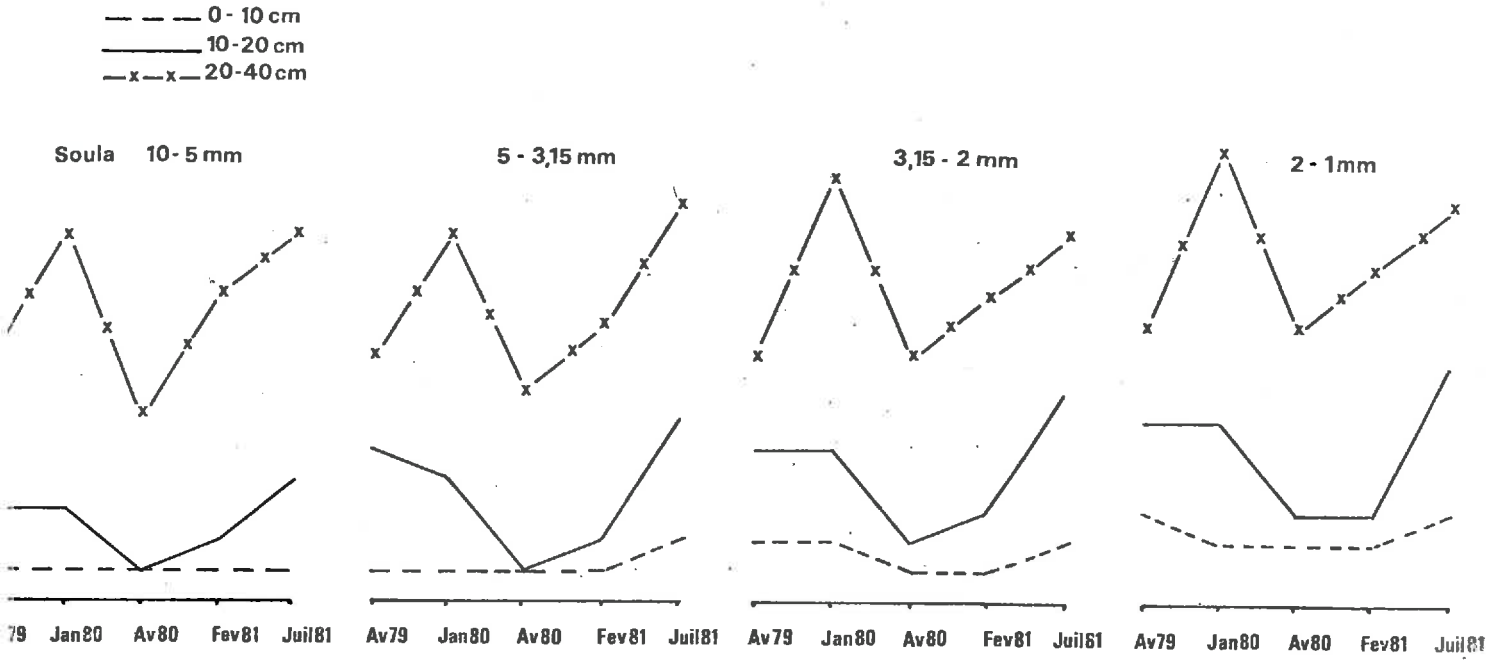
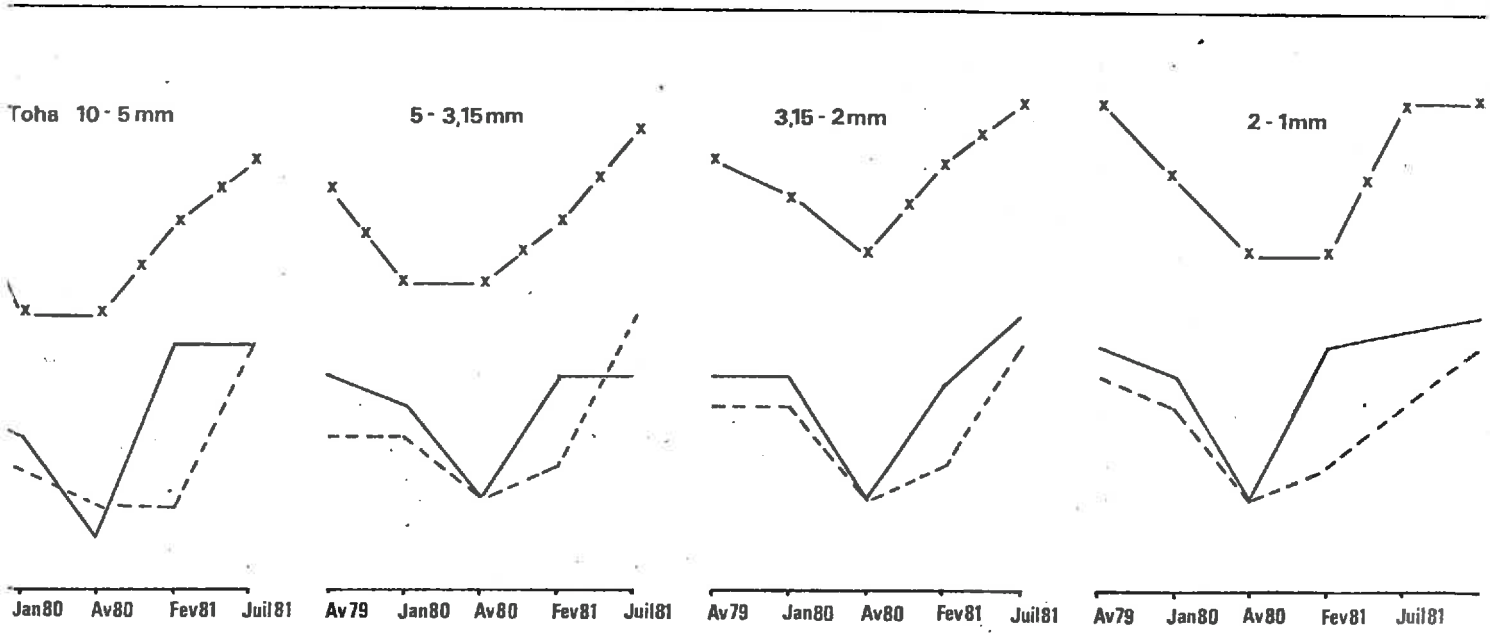


FIG.41 : VARIATION TEMPORELLE DE Is DETERMINE SUR DES AGREGATS DE QUATRE CLASSES DIMENSIONNELLES DE SOULA



0 - 10 cm
10-20 cm
20-40 cm

FIG.42 : VARIATION TEMPORELLE DE Is DETERMINE SUR DES AGREGATS DE QUATRE CLASSES DIMENSIONNELLES DE TOHA

Les valeurs médianes générales de Is (toutes périodes et toutes classes confondues) calculées, pour chacun des trois horizons des deux types de sols, sont respectivement pour SOULA et TOHA 0,1 et 0,5 dans l'horizon A11 ; 0,35 et 0,70 dans l'horizon A12 et 1,00 et 1,30 dans l'horizon AB. On constate donc que l'instabilité structurale est sensiblement plus élevée dans les sols de TOHA que dans ceux de SOULA. Cette différence caractérise principalement l'horizon A11, un peu moins fortement l'horizon A12 avant de s'estomper dans l'horizon AB. Ainsi la stabilité structurale présente de très fortes variations non seulement à l'échelle d'un même profil, mais également en fonction du type de sol.

b) Variation temporelle

Les figures 41 et 42 nous permettent d'observer que les valeurs de l'indice d'instabilité structurale présentent une variation très sensible dans le temps pour un horizon et un profil donnés. Pour chacun des horizons, nous allons comparer les valeurs extrêmes (Max/Min) et préciser par le calcul du coefficient de variation (c.v.%), l'ampleur de la variabilité propre à ce paramètre.

Tableau 44 : Appréciation de la variation temporelle de Is des différentes classes dimentionnelles dans chacun des horizons des deux types de sols étudiés

Horizons	Types de sols	Classes dimensionnelles							
		10-5 mm		5-3,15 mm		3,15-2 mm		2-1 mm	
		Max/Min	c.v.%	Max/Min	c.v.%	Max/Min	c.v.%	Max/Min	c.v.%
A_{11}	SOULA	1,0	0	2,0	0,9	2,0	1,5	1,5	1,0
	TOHA	2,7	2,4	2,7	5,6	2	5,6	2,7	6,2
A_{12}	SOULA	4,0	4,0	6,0	7,0	3,5	6,9	2,7	7,2
	TOHA	3,5	3,6	2,3	4,0	3,0	6,1	3,0	6,3
AB	SOULA	2,0	5,7	1,9	5,5	1,8	5,2	1,7	4,8
	TOHA	1,6	3,7	1,5	3,0	1,4	1,9	1,4	4,3

- Dans les sols de SOULA

. Dans l'horizon A_{11}, le rapport des valeurs extrêmes de ls varie de 1 (constance) à 2, selon la classe dimensionnelle, sans que se dessine un net gradient dans un sens ou dans l'autre, de la plus grossière à la plus fine. Le coefficient de variation varie de 0 à 1,5%.

. Dans l'horizon A_{12}, ce rapport des valeurs extrêmes croît de 4 à 6, de la classe 10-5 mm à la classe 5-3,15 mm, puis décroît progressivement à 2,7 pour la classe 2-1 mm. Le coefficient de variation est de 4,0% pour 10 - 5 mm et de 6,9 à 7,2% pour les autres classes.

. Dans l'horizon AB, le rapport des valeurs extrêmes passe progressivement de 2 à 1,7 de la classe 10-5 mm à la classe 2-1 mm. Parallèlement, le coefficient de variation décroît d'une façon progressive de la classe la plus grossière (5,7%) à la plus fine (4,8%).

On retiendra donc, pour les sols de SOULA, que l'horizon A_{12} présente entre les valeurs extrêmes de ls l'écart relatif le plus élevé (2,7 à 6,0 selon les classes dimensionnelles) et, sauf pour la classe 10-5 mm où le coefficient de variation est de 4%, la variabilité la plus importante (c.v. de 6,9 à 7,2%). Les horizons A_{11} et AB présentent, quant à eux, toujours entre les valeurs extrêmes, un écart relatif sensiblement du même ordre : de 1 à 2 pour le premier et de 1,7 à 2 pour le second. Cependant les valeurs du coefficient de variation sont nettement plus élevées (4,8 à 5,7%) dans l'horizon AB que dans l'horizon A_{11} (0 à 1,5%).

- Dans les sols de TOHA

. Dans l'horizon A_{11}, les valeurs respectives du rapport des extrêmes et du coefficient de variation varient de 2,0 à 2,7 et de 2,4 à 6,2%, ce qui traduit une variabilité nettement plus forte que pour les sols de SOULA.

. Dans l'horizon A_{12}, les valeurs obtenues sont, exception faite de la classe 5-3,15 mm, supérieures à celles qui concernent l'horizon précédent. Elles sont, en effet, de 2,3 à 3,5 pour le rapport Max/Min et de 3,6 à 6,3% pour le coefficient de variation.

. L'horizon AB présente les plus faibles valeurs, tant pour le rapport Max/Min (1,4 à 1,6) que pour le coefficient de variation (1,9 à 4,3%) sauf, pour ce dernier cas, dans la classe la plus grossière.

Pour l'essentiel, on notera donc que dans les sols de TOHA, l'horizon A_{12} présente la plus grande variabilité comme pour les sols de SOULA. Cependant, à la différence de ces derniers, l'indice d'instabilité structurale est beaucoup moins affecté par les variations temporelles dans l'horizon AB que dans l'horizon A_{11}.

Si, d'autre part, nous comparons les valeurs respectives obtenues pour SOULA et pour TOHA, on remarquera que dans l'horizon A_{11}, le rapport Max./Min. et le coefficient sont plus élevés dans le second que dans le premier et inversement dans les horizons A12 et AB, quelle que soit la classe dimensionnelle. Toutes ces différences sont une indication supplémentaire de l'influence présentée par le pourcentage des constituants faisant office de ciment : matière organique, argile et sesquioxydes de fer (FIES, 1971 ; CHAUVEL, PEDRO et TESSIER, 1976 ; PEDRO et *al.*, 1976). Il n'en reste pas moins que cette influence apparaît grandement modulée en fonction de la profondeur considérée dans les sols.

Enfin, si nous nous reportons aux courbes des figures 41 et 42 (page 187) la variation temporelle des valeurs de l'indice d'instabilité structurale laisse apparaître un ordonnancement certain. En effet, sauf pour avril 79 et pour le seul horizon AB de SOULA, les valeurs obtenues d'avril 79 à juillet 81 s'organisent en général selon un gradient de décroissance jusqu'en avril 1980, puis selon un gradient de croissance jusqu'en juillet 81 et ceci quelle que soit la classe dimensionnelle. En d'autres termes, la variation dans le temps de la stabilité structurale ne s'effectue pas d'une façon aléatoire et nous pouvons penser qu'elle traduit des modifications bioclimatiques qui se répercutent d'une façon

plus ou moins durable dans le comportement du sol. Et nous remarquerons par ailleurs que pour chacun des deux types de sols, les plus faibles valeurs de Is sont obtenues principalement en avril 80 c'est-à-dire à la fin d'une saison sèche, et les plus fortes en juillet 81, période qui correspond à une saison pluvieuse.

c) Variation de Is en fonction de la taille des agrégats

Pour saisir les liaisons existant éventuellement entre l'indice d'instabilité structurale et la taille des éléments structuraux, deux tests statistiques ont été pratiqués. Le premier est le test de Kolmogorov-Smirnov (K.S.) permettant la comparaison réciproque de deux ou plusieurs groupes de données. Le second est le test de corrélation de rangs de Spearman.

Le tableau 45 consigne la valeur des distances observées entre les quatre groupes de valeurs de Is correspondant aux diverses classes dimensionnelles d'agrégats, tous horizons et périodes confondus.

Tableau 45 : Distances observées entre les valeurs de Is des quatre classes dimensionnelles

	10-5	5-3,15	3,15-2	2 - 1
10-5		10	13,3	20
5-3,15			10	16,6
3,15-2				10
2-1				

N = 30 $D_{c\ 0,05}$ = 35,1

Ces distances observées sont inférieures à la valeur de la distance critique (Dc = 35,1). Ceci signifie qu'il n'existe pas de relation étroite entre les valeurs de Is et la taille des agrégats. Le test de Kolmogorov révèle néanmoins une tendance à une liaison

entre les deux paramètres. En effet, les distances observées croissent quand on passe d'une classe d'agrégats de taille élevée à des classes d'agrégats de taille de plus en plus réduite. Ainsi, par rapport à la classe 10-5 mm, les distances observées sont respectivement de 10% ; 13,3% et 20% pour les classes 5-3,15, 3,15-2 et 2-1 mm. Ce gradient des distances observées signifie que les valeur de Is ont tendance à augmenter en fonction inverse de la taille des agrégats.

Le test de Spearman a, pour sa part, été appliqué après regroupement des données par horizon et par type de sol, c'est-à-dire sur des échantillons n= 20 dans chaque cas. Le tableau 46 mentionne les résultats de ce test.

Tableau 46 : Valeurs du coefficient de corrélation de rangs de Spearman : liaison Is - taille des agrégats

	SOULA	TOHA
A_{11}	-0,784 $p < 0,001$	-0,458 $p \simeq 0,025$
A_{12}	-0,479 $0,025 > p > 0,01$	-0,467 $p \simeq 0,025$
AB	-0,266 n.s.	-0,447 $p \simeq 0,025$

L'examen de ce tableau révèle que l'instabilité structurale est, d'une façon généralement significative, d'autant plus élevée que les agrégats sont de petites dimensions. Ces résultats confirment donc nettement, la tendance que le test de Kolmogorov avait laissé entrevoir.

La résistance des agrégats, testée suivant la méthode de HENIN (1938), est donc influencée aussi par la taille des éléments structuraux soumis à l'analyse physique.

3.3.4. Résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau

Nous effectuerons tout d'abord, l'analyse comparée des résultats en fonction du type de l'horizon, de la taille des agrégats et du taux d'humidité naturelle de ces derniers. Nous nous attacherons ensuite, au processus de désagrégation pour terminer par l'étude des produits de celle-ci.

a) Résistance des agrégats en fonction de leurs horizons de prélèvement

L'examen des histogrammes des figures 43 et 44 montre que :

- la résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau diminue progressivement quand on passe des horizons A_{11} à AB des deux types de sols. Exception faite toutefois de la variation verticale de l'énergie potentielle (Ep) des agrégats 2-1 mm de TOHA. En effet, la valeur de l'Ep de cette classe est constante entre A_{12} et AB (fig. 44) ;

- les énergies potentielles, calculées pour chaque classe d'agrégats de SOULA, sont relativement plus élevées que celles des classes de TOHA ;

- les écarts entre les valeurs extrêmes de Ep d'une classe dimensionnelle d'un même horizon, sont souvent très élevés surtout pour les sols de TOHA où la valeur maximum peut être plus du double de la valeur minimum.

Les principaux points qui ressortent de ces observations sont les suivants :

- Les agrégats des horizons humifères sont plus résistants à l'impact des gouttes d'eau que ceux des horizons sous-jacents nettement plus pauvres en matière organique.

- Les éléments structuraux des sols de SOULA, riches en éléments fins (A + Lf) et en fer, se désagrègent moins rapidement que ceux des sols de TOHA, très sableux.

- La résistance, dans les limites d'une classe donnée est très variable.

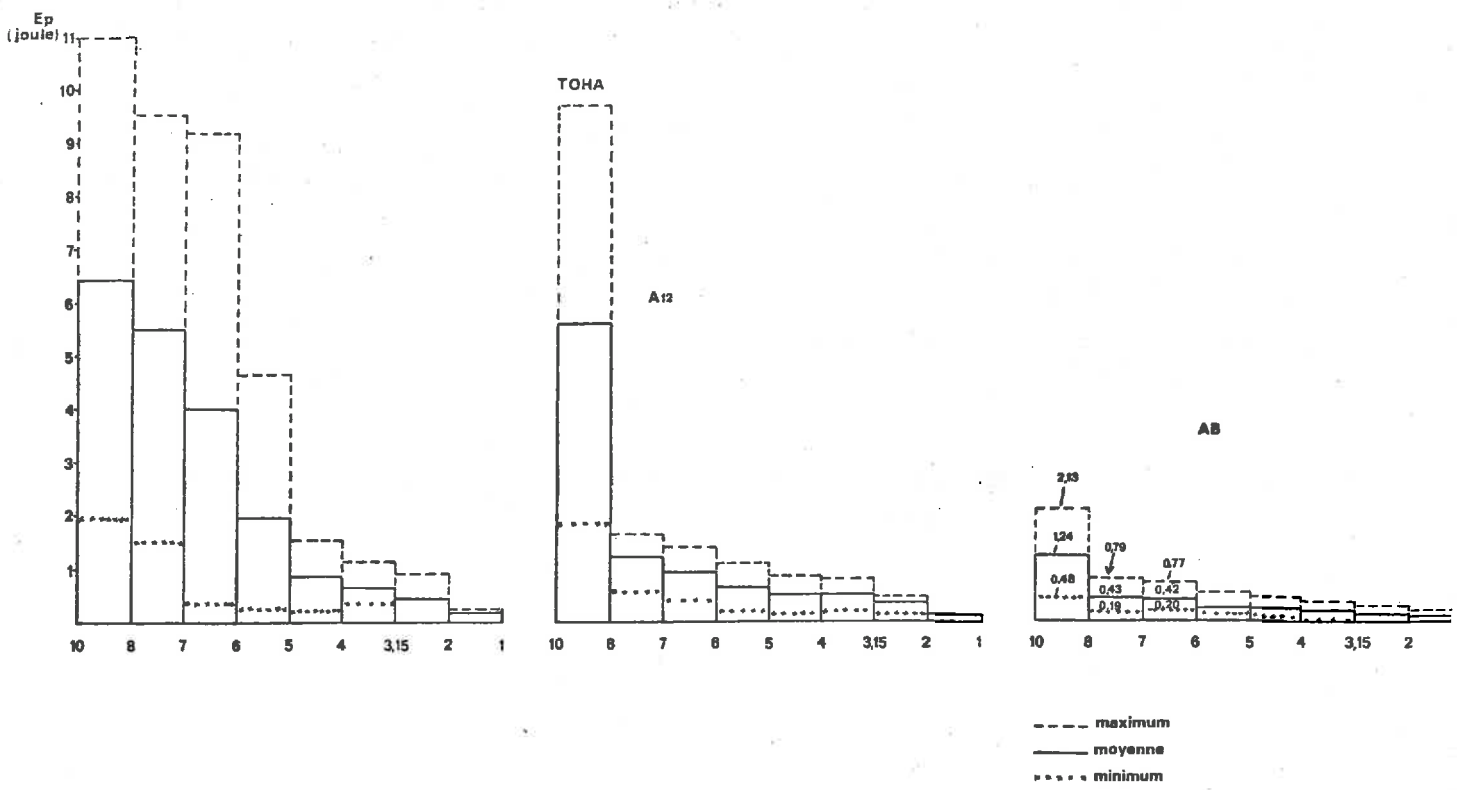


FIG.44 : VARIATION DE LA RESISTANCE DES AGREGATS DE TOHA EN FONCTION DE LEUR TAILLE

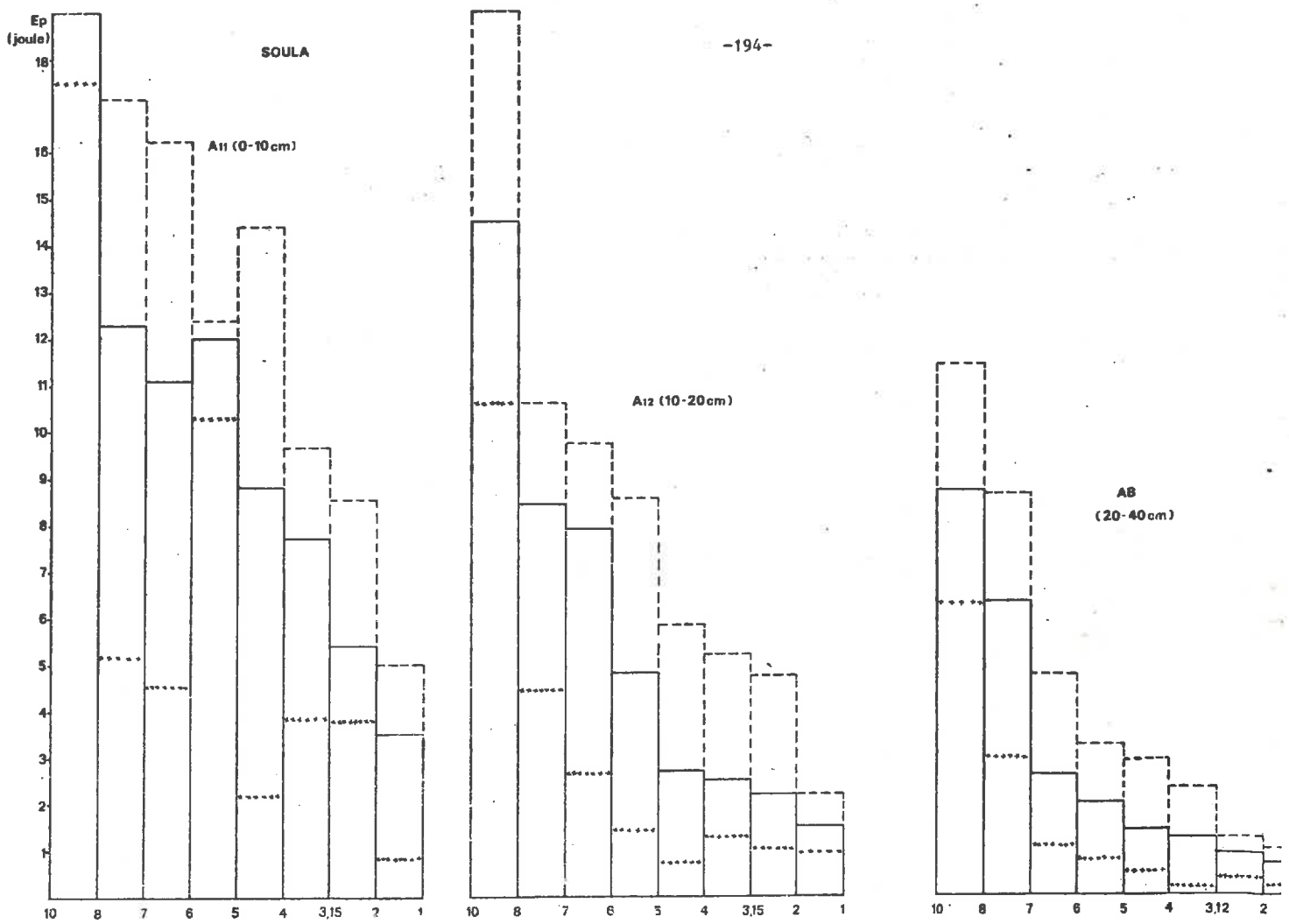


FIG.43 : VARIATION DE LA RESISTANCE DES AGREGATS DE SOULA EN FONCTION DE LEUR TAILLE

Les deux premières conclusions s'accordent avec celles qui sont généralement retirées de l'étude de la variation de Is dans divers types de sols (MONNIER, 1965 ; QUIRK, 1978 ; LUK, 1979, etc.). La résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau semble donc dépendre, comme l'indice d'instabilité structurale (HENIN, 1938), de leurs teneurs en matière organique, en argile et en sesquioxydes de fer.

La troisième conclusion s'attache à la diversité des caractères particuliers des agrégats d'une même classe. On peut, en effet, distinguer dans chaque classe dimensionnelle, des éléments structuraux de forme arrondie (grumeleux) et d'autres de forme légèrement étirée ou allongée. On peut également reconnaître deux types d'agrégats selon le mode d'assemblage des particules fines qui les constituent :

- agrégats à assemblage uniforme ou continu : les particules fines constitutives sont bien liées les unes aux autres. Elles forment un tout et donnent un aspect d'ensemble homogène ;

- agrégats à assemblage discontinu : les particules sont reliées entre elles par de faibles surfaces de contact, à peu près comme des billes entassées. L'aspect de l'agrégat rappelle celui d'un pain d'épice.

Schéma 3: Agrégats à assemblage uniforme

Schéma 4 Agrégats à assemblage discontinu

L'étude de l'impact des gouttes d'eau sur la résistance des éléments structuraux a tenu compte de ces deux paramètres que sont la forme et le mode d'assemblage. En combinant les deux formes et les deux modes d'assemblage on peut regrouper les agrégats en quatre types :

Schéma 5 : Types d'agrégats suivant leur forme et le mode d'assemblage de leurs particules

. agrégats arrondis (grumeleux) à assemblage continu (AC)
. agrégats arrondis à assemblage discontinu (Ad)
. agrégats étirés (allongés) à assemblage continu (EC)
. agrégats étirés à assemblage discontinu (Ed).

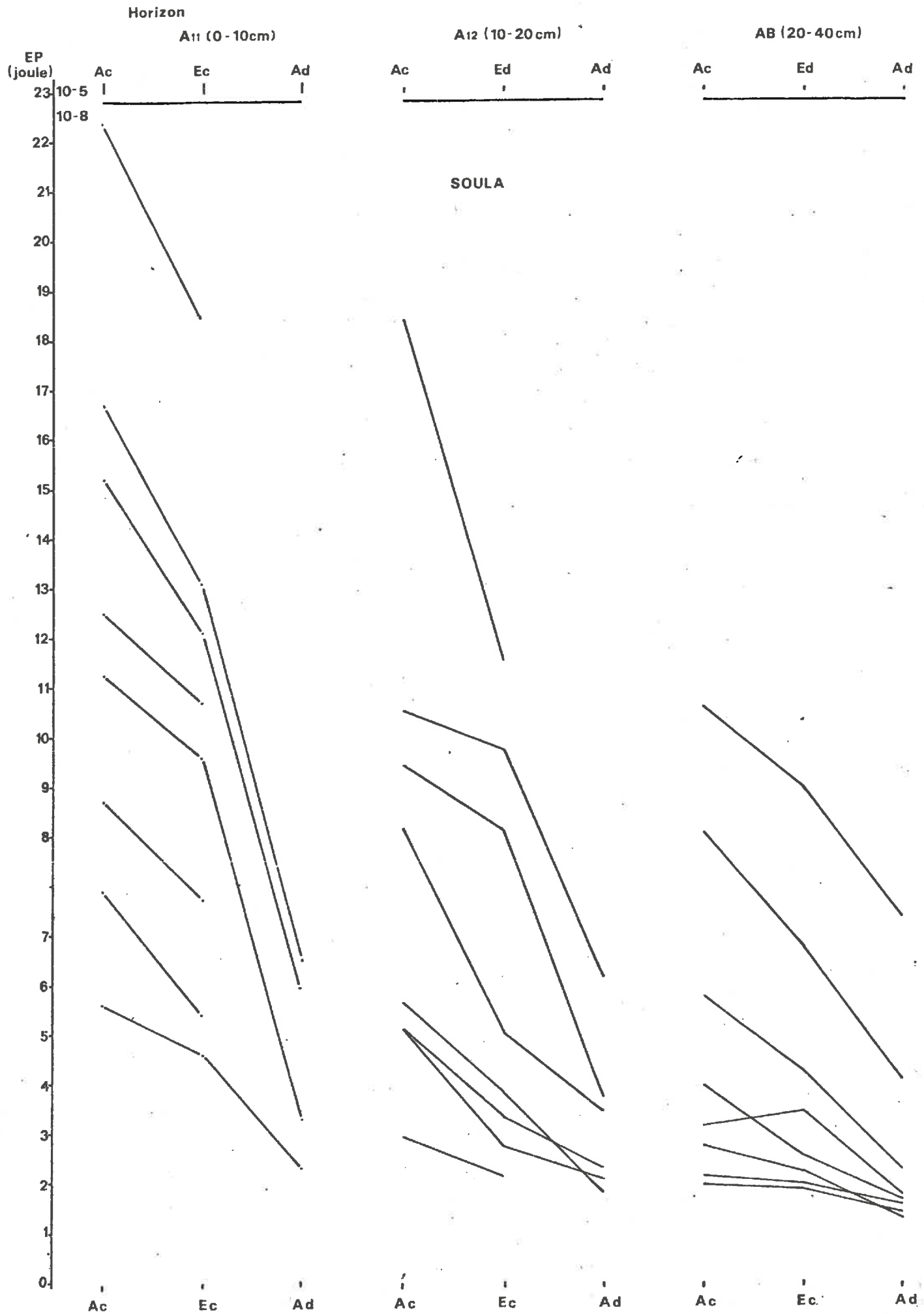


FIG. 45 : RESISTANCE A L'IMPACT DES GOUTTES D'EAU SUIVANT LA TAILLE ET LA FORME DES AGREGATS ET LE MODE D'ASSEMBLAGE DE LEURS PARTICULES CONSTITUTIVES

TOHA

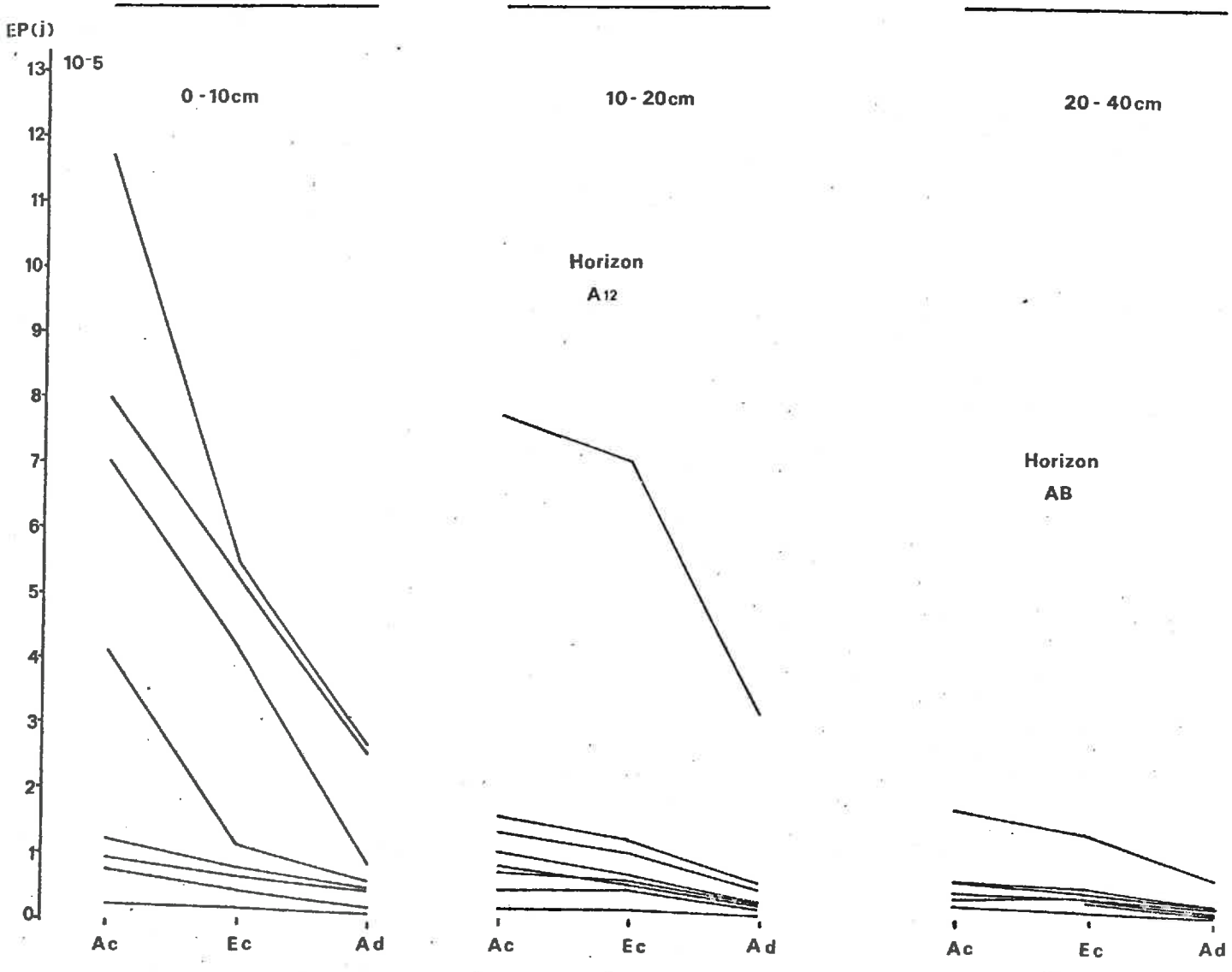


FIG. 46 : RESISTANCE A L'IMPACT DES GOUTTES D'EAU SUIVANT LA TAILLE ET LA FORME DES AGREGATS ET LE MODE D'ASSEMBLAGE DE LEURS PARTICULES CONSTITUTIVES

Ce dernier type n'a pas été observé parmi les échantillo traités. Le deuxième est moins fréquent que les deux autres qui abo dent dans les horizons. Ces résultats du test d'impact de gouttes d'eau sur la résistance de ces trois types d'agrégats sont représen tés sur les figures 45 et 46. L'analyse de ceux-ci permet de noter les points suivants :

- Les agrégats arrondis à assemblage continu (AC) sont relativement plus résistants que les agrégats étirés à assemblage également continu (EC). Ces derniers présentent eux-mêmes une résis tance plus grande que celle des agrégats arrondis à assemblage dis- continu (Ad). La différence de résistance entre AC et EC peut être essentiellement rapprochée de la forme allongée des derniers. En eff selon LEEVE (1954) la forme allongée présente moins de résistance q la forme globuleuse.

- La variation des énergies potentielles pour une même classe d'un type donné d'agrégats est plus faible que celle qui est mise en évidence pour l'ensemble des trois types d'éléments structu raux. Les valeurs extrêmes sont fréquemment proches.

La résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau varie donc non seulement avec le taux de matière organique, les teneurs en argile et les composés ferrugineux (MONNIER, 1965 ; CALL 1944) mais également avec la forme des agrégats et le mode d'assem- blage de leurs particules constitutives. Elle dépend aussi de la présence ou non des racines fines, de cavité et de fissures dans l' agrégat. Les racines, surtout fines contribuent à lier les parti cules entre elles. Le détachement de l'une de celles-ci se produit lorsque les radicelles la libèrent. La destruction est donc d'autar plus retardée que l'enracinement est abondant. Ceci explique en partie la forte résistance des agrégats des horizons superficiels de SOULA qui possèdent une densité d'enracinement fin supérieure à celle des horizons de TOHA.

Les fissures ou les cavités constituent le point de départ de toute désagrégation. Leur individualisation précède le détachement des particules. En effet, dans le cas d'un agrégat non fissuré, les premières gouttes provoquent la destruction par créat d'une fine fente. Celle-ci s'agrandit progressivement à chaque gou

d'eau. L'agrégat qui présente des fissures au départ, est, pour sa part, déjà à un stade avancé de la destruction. Il résiste donc moins à l'impact des gouttes d'eau que celui qui ne possède aucun pore visible.

Pour mieux résister à l'impact des gouttes d'eau, les agrégats doivent donc avoir les caractéristiques suivantes :

- arrondi à assemblage continu
- taux de matière organique et taux d'argile suffisants
- présence de radicelles
- absence de fissures notables.

Certains éléments structuraux des horizons humifères (A_{11}) des sols de SOULA réunissent presque tous ces paramètres positifs et leur destruction nécessite beaucoup plus d'énergie que ceux de TOHA.

b) Influence de la taille des argégats sur leur résistance à l'impact des gouttes d'eau

En nous reportant aux figures 43 et 44 (page 194) on observe que la résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau varie en fonction inverse de leur taille. Le test de corrélation de rangs a été pratiqué pour préciser cette indication. Les résultats, qui sont donnés sur le tableau 47 portent sur les valeurs minimum, maximum et moyenne de l'énergie potentielle, pour chacun des trois premiers horizons de chaque type de sol.

Tableau 47 : Valeurs du coefficient de corrélation entre Ep et la dimension des éléments structuraux

	SOULA	TOHA
A_{11}	+0,857 (1) +0,976 (2) +0,976 (3)	+0,845 (1) +1,000 (2) +1,000 (3)
A_{12}	+0,857 (1) +1,000 (2) +1,000 (3)	+0,958 (1) +0,994 (2) +1,000 (3)
AB	+0,940 (1) +1,000 (2) +1,000 (3)	+0,976 (1) +0,976 (2) +1,000 (3)

(1) sur les valeurs minima de Ep
(2) sur les valeurs moyennes de Ep
(3) sur les valeurs maxima de Ep .

Nous pouvons noter qu'avec un échantillon n = 8 dans chaque cas, la valeur du coefficient de corrélation traduit systématiquement une liaison positive hautement significative. L'énergie potentielle nécessaire pour détruire les agrégats croît donc en fonction directe de la dimension de ces derniers. Ceci concorde, par ailleurs, parfaitement avec la relation dégagée des résultats de la détermination de l'instabilité structurale.

Il faut remarquer que la très nette corrélation positive qui vient d'être mentionnée, est obtenue en utilisant des gouttes d'eau de même diamètre pour toutes les classes d'agrégats. On doit donc garder à l'esprit que si les gouttes d'eau avaient présenté un diamètre proportionnel à la taille respective des agrégats, successivement concernés, cette corrélation n'aurait vraisemblablement pas pu être mise en évidence. Chacune des gouttes utilisées couvre, en effet, partiellement les agrégats des classes 8-10 ; 7-8 ; 6-7 ; 5-6 et 4-5. L'énergie se concentre, par conséquent, sur une partie de leur surface. Et la destruction débute en ce point. Chaqu goutte couvre, par contre, entièrement les agrégats des classes 3,15-4 ; 2-3,15 et 1-2. L'énergie potentielle dela goutte est donc ressentie sur la totalité d'une face ou d'un hémisphère de l'agrégat dont l'émiettement s'amorce alors rapidement, le temps de mouillabilité étant plus réduit pour les petits agrégats que pour ceux qui sont partiellement enrobés par la goutte d'eau.

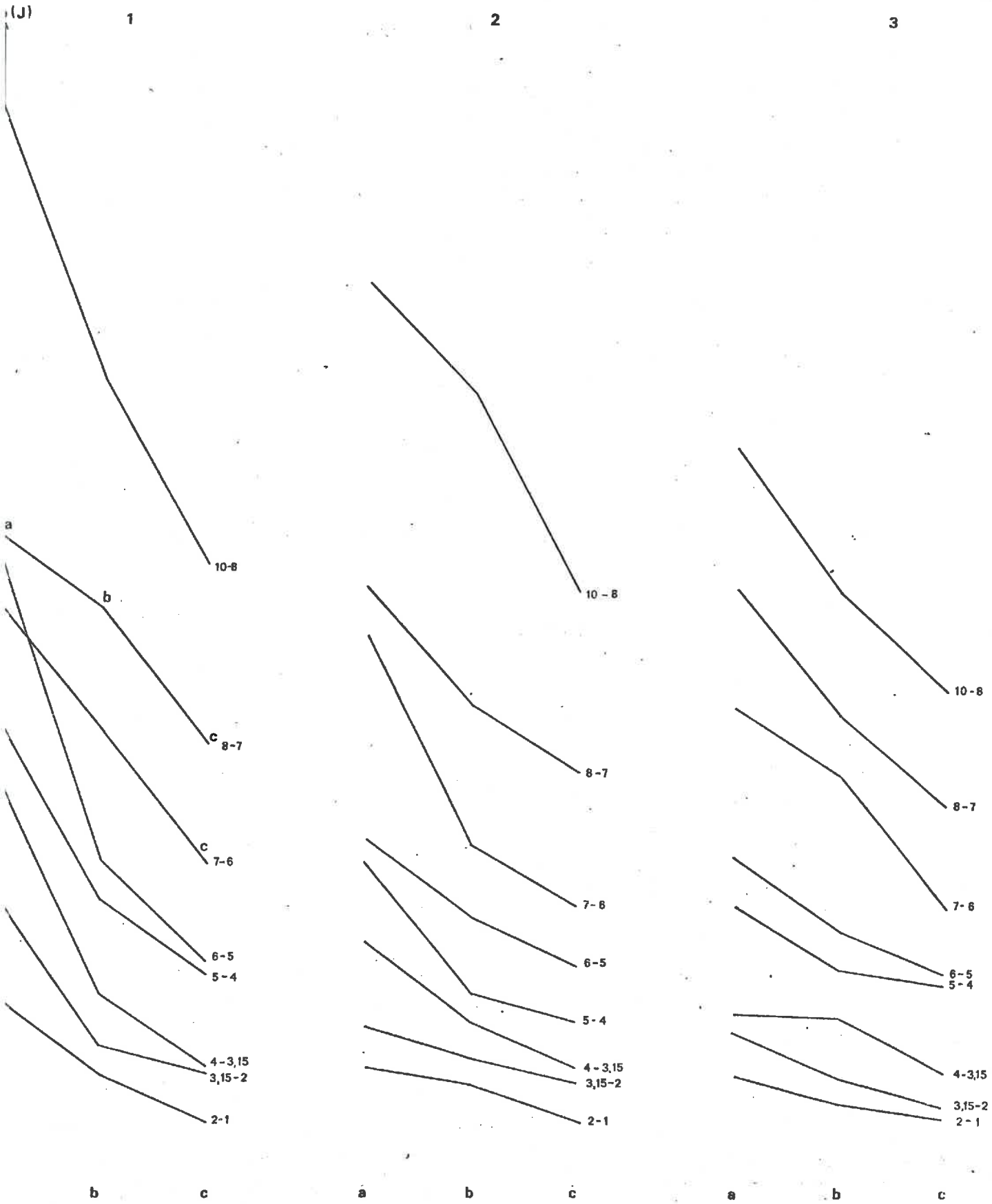
L'influence de la taille peut également être rattachée à la tendance qu'ont les agrégats grossiers ou moyennement grossiers à renfermer relativement plus de matière organique et de fer que les agrégats fins et les microagrégats.

c) Influence du taux d'humidité initiale sur la résistanc des agrégats

SEBILLOTTE (1968), MONNIER et KONAN (1968) ont montré que la stabilité structurale peut être influencée par "les conditions de séchage" d'une part, et par "l'humidité du sol au moment du prélèvement" d'autre part. PERIGAUD (1963) avait quant à lui, mis en évidence la variation très rapide de la stabilité structurale sous l'action de la pluie.

N.B. Les humidités naturelles (a) décroissent de 1 à 3 (période de prélèvement)

a : Humidité naturelle
b : Humidité après séchage
c : Humidité après réhumidification

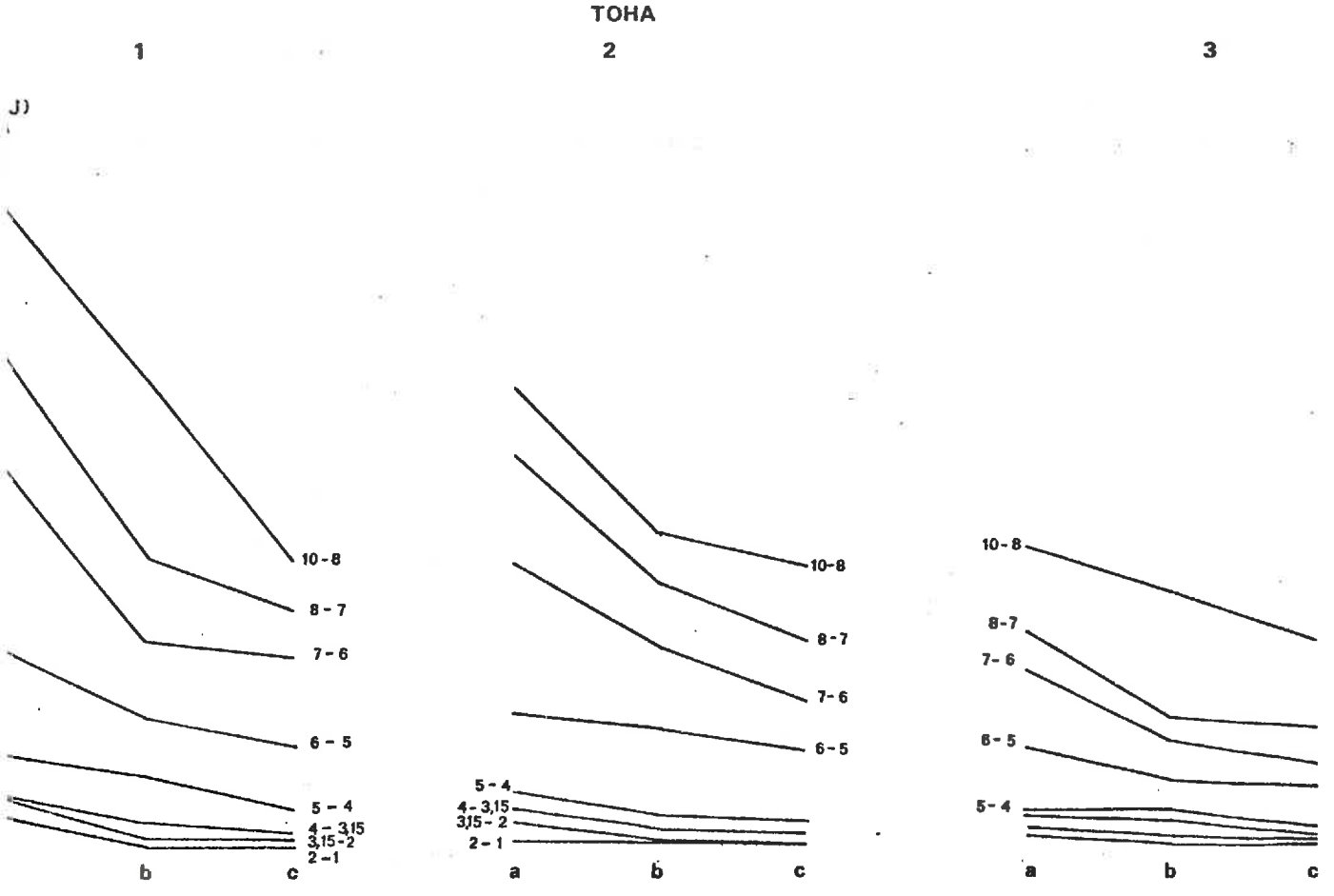


G.47 : VARIATION DE LA RESISTANCE DES CLASSES D'AGREGATS DE SOULA EN FONCTION DE LEURS HUMIDITES

Partant de ces indications, nous avons tenté de précise cette influence de l'humidité initiale sur la résistance des agré gats. Pour ce faire, nous avons soumis au test de l'impact des go tes d'eau, des agrégats d'une même classe provenant uniquement de horizons A_{11} des deux types de sols. Ces éléments structuraux pré sentent trois états hydriques - humidité naturelle c'est-à-dire celle du sol au moment du prélèvement, - humidité après séchage à l'air et - humidité après réhumidification à l'air libre (réhumid fication à l'air libre et non sous vide (HENIN et *al.*, 1969) pour être proche des conditions naturelles d'une part, et d'autre part pour éviter d'agir sur "la proportion d' agrégats stables (HENIN, MONNIER et GRAS, 1969).

Les trois états hydriques ont été déterminés sur des échantillons prélevés à des dates différentes. Ces derniers sont classés (1, 2, 3) par ordre décroissant de leurs teneurs en eau.

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures 47 et 48.



IG. 48 : VARIATION DE LA RESISTANCE DES CLASSES D'AGREGATS EN FONCTION DE LEURS HUMIC

Leur examen permet de noter les points suivants :

- Pour chaque classe dimensionnelle, la résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau décroît quand on passe de l'état d'humidité naturelle (a) à l'état seché à l'air (b) et enfin, à l'état de réhumidification (c). Cet abaissement apparaît fréquemment plus rapide entre a et b qu'entre ce dernier état et c, surtout pour les agrégats de taille comprise entre 5-10 mm.

- La résistance diminue lorsque les teneurs en eau naturelle c'est à dire déterminées au moment des prélèvements, deviennent de plus en plus faibles (1, 2, 3).

- Les agrégats 4-3,15, 3,15-2 et 2-1 mm des sols de TOHA présentent des résistances assez constantes pour les trois états d'humidité (a, b, et c).

Ces constatations nous amènent à noter à la suite de CERNUDA et *al.*, (1954), que la résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau décroît au cours de leur séchage. Cependant les agrégats réhumidifiés à l'air libre par capillarité présentent une résistance plus faible que celle qui se rapporte à l'état sec. L'humidité naturelle aurait donc un effet bénéfique sur la stabilité des éléments structuraux. Cet effet bénéfique pourrait être attribué à l'action de la microfaune qui prolifère particulièrement dans les sols en périodes humides (BACHELIER, 1977 ; BERTHELIN et TOUTAIN, 1979). L'activité microbienne dans les agrégats sechés (DOMMERGUE, 1964 et PERIGAUD, 1969) ne serait donc pas suffisante pour assurer à ceux-ci une résistance ou une stabilité.

La différence de résistance entre les agrégats d'une même classe doit être essentiellement rapprochée du processus d'éclatement. En effet "l'éclatement explique pourquoi les agrégats sont moins résistants à l'eau lorsqu'ils sont secs que lorsqu'ils sont humides" (HANKS, 1960 ; ROSE, 1961 ; BOIFFIN et SEBILLOTTE, 1976 ; VALENTIN, 1981). Ce processus peut également expliquer la destruction rapide des agrégats réhumidifiés (HENIN et *al.*, 1969). La réhumidification prédispose l'élément structural libre à la désagrégation. En effet, celui-ci n'étant plus dans son milieu d'origine où il était en équilibre est plus ou moins affecté par "la

pression de l'air enfermé dans les pores non ouverts (HENIN et al 1969). Et cette pression favorise l'apparition de microfissures par lesquelles s'amorce la désagrégation.

Un gonflement relativement important des agrégats réhumidifiés (GRIMALDI, 1981) pourrait être également une des raisons de leur fragilisation.

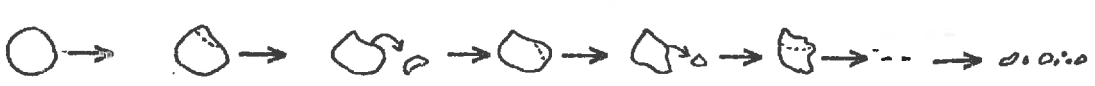
La stabilité de l'agrégat ou sa résistance à l'impact de gouttes d'eau dépend donc, comme l'indice d'instabilité structurale (HENIN, 1938), de l'humidité initiale.

d) Processus de désagrégation

La désagrégation de l'élément structural soumis à l'impact des gouttes d'eau passe par des étapes successives variables selon les teneurs en matière organique, en argile et la présence éventuelle de radicelles incluses. Elle commence toujours par les effets dûs à la mouillabilité plus ou moins aisée (même si l'agrégat au départ était déjà humide). Celle-ci est suivie de l'apparition de microfissures qui s'agrandissent progressivement sous l'effet de l'énergie des gouttes. Ensuite, les particules commencent à se détacher. Il apparait alors d'autres fissures qui précèdent la libération d'autres particules. La désagrégation se poursuit ainsi, petit à petit (VILENSKI, 1934) par la formation de fissures suivi de détachement de particules. Elle s'achève lorsque tout passe à travers la maille de tamis qui sert de support. On peut schématiser cette destruction de la manière suivante :

mouillabilité → apparition de fissures → détachement de particules → apparition de nouvelles fissures → détachement d'autres particules ....

Schéma de destruction n·1



Les divers stades de destruction, surtout ceux qui affectent les agrégats des horizons AB et en particulier dans les sols de TOHA, ne se succèdent pas systématiquement selon ce schéma. En effet, dans les sols de TOHA, si le premier stade comprend toujours les effets de la mouillabilité, nous n'observons, par contre, pas d'apparition de fissures ni de détachement de particules, par la

suite, ceci s'explique par le fait que lorsque l'agrégat est suffisamment humide il se forme une sorte de boue qui glisse le long de celui-ci. Il "fond" ainsi progressivement comme une bougie. Le schéma se résume comme il suit :

mouillabilité → formation de boue → glissement de la boue → formation de boue → glissement...

Schéma de destruction n·2

Certains éléments structuraux se désagrègent en combinant les deux schémas. La fissure apparaît souvent après l'écoulement de la boue. Le second schéma précède donc le premier : mouillabilité → formation de boue → glissement → apparition de fissures → détachement de particules...

Ces trois séquences de destruction permettent de résituer les effets de l'impact des gouttes d'eau sur un agrégat donné. Les gouttes, quel que soit le type d'élément structural, agissent par leur pouvoir mouillant et par leur énergie (ELLISON, 1944 ; HENIN, 1938). Elles provoquent la désagrégation surtout par éclatement (HENIN, 1938 ; CONCARET, 1967 ; KHEIRABI, 1966) ou par gonflement (HENIN et HUTTER, 1964).

La différence entre les deux principaux schémas de destruction doit être rapprochée des teneurs respectives en matière organique, en argile et en fer. Il semble, en effet, que plus les forces de liaisons sont importantes et moins la "détachabilité" des particules est rapide (VALENTIN, 1981). TOOGOOD (1978) a d'ailleurs mis en évidence que les agrégats qui contiennent une forte proportion de sable sont très fragiles au choc des gouttes de pluies, leurs particules étant très peu liées entre elles.

e) Produits de désagrégation

Les produits de désagrégation sont constitués d'une part, d'une suspension de particules "colloïdales" dans l'eau et, d'autre part, de particules plus grossières qui se déposent immédiatement dans la capsule qui les recueille sous le tamis.

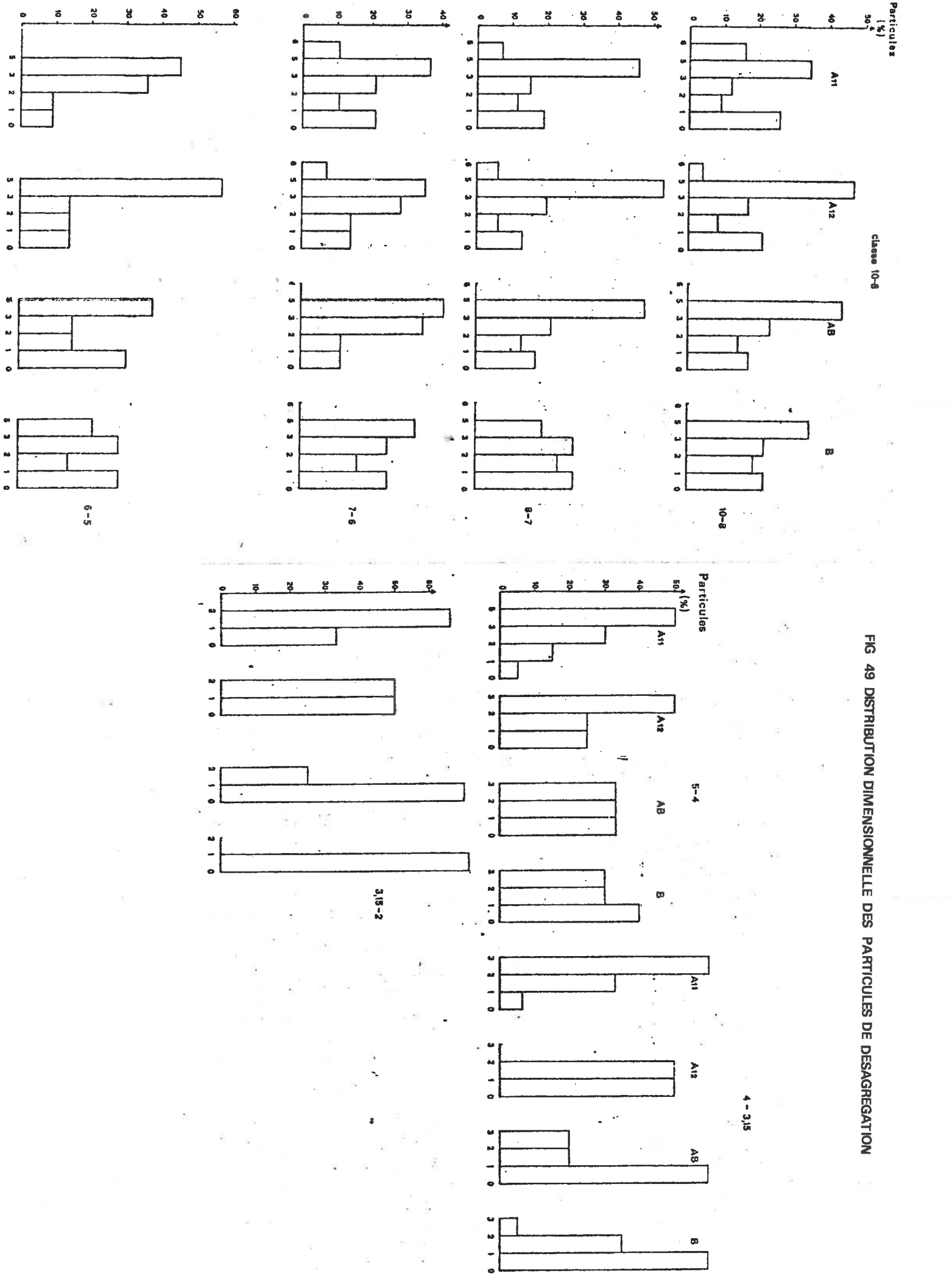


FIG 49 DISTRIBUTION DIMENSIONNELLE DES PARTICULES DE DESAGREGATION

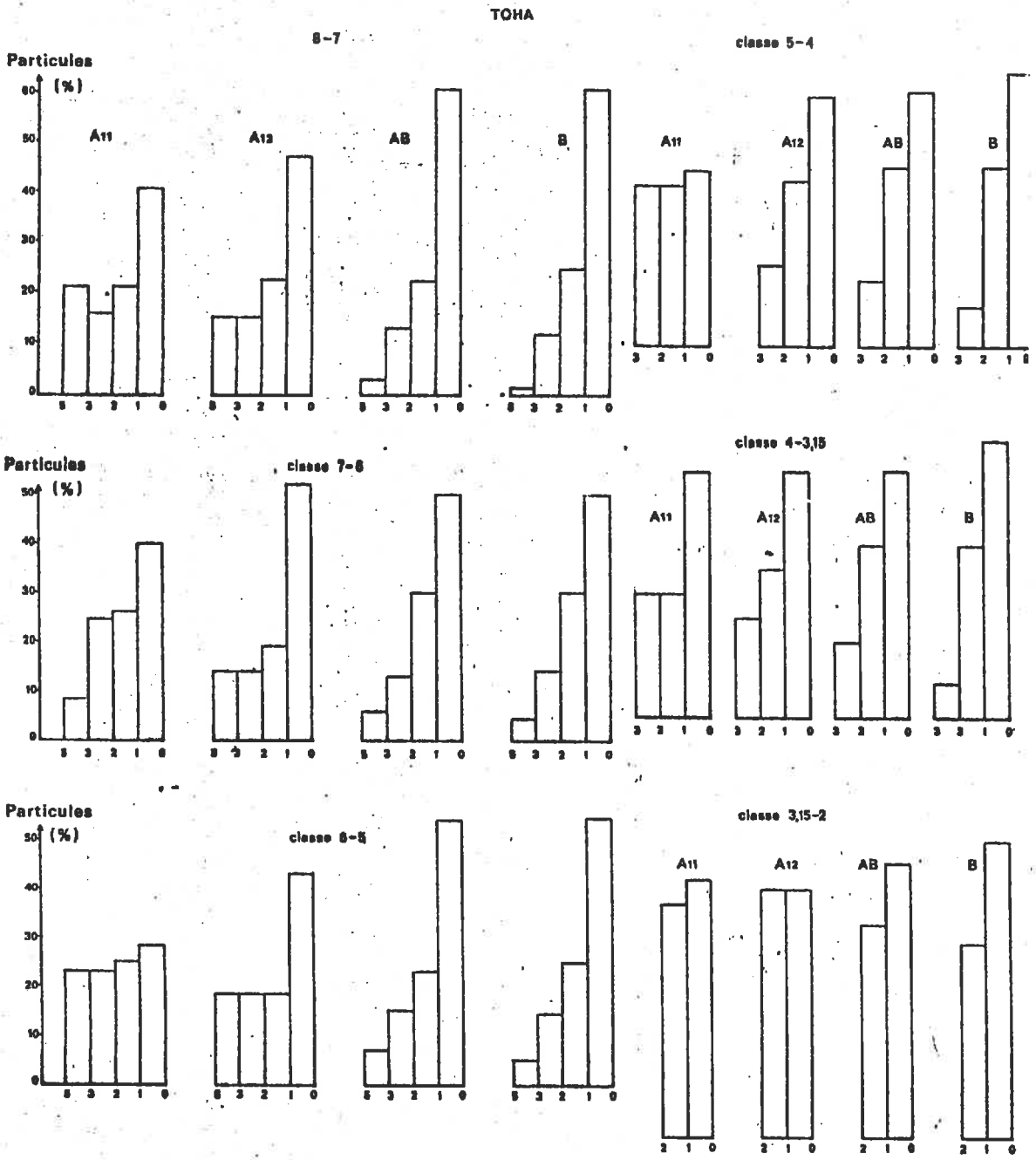


FIG.50 : DISTRIBUTION DIMENSIONNELLE DES PARTICULES DE DESAGREGATIONS

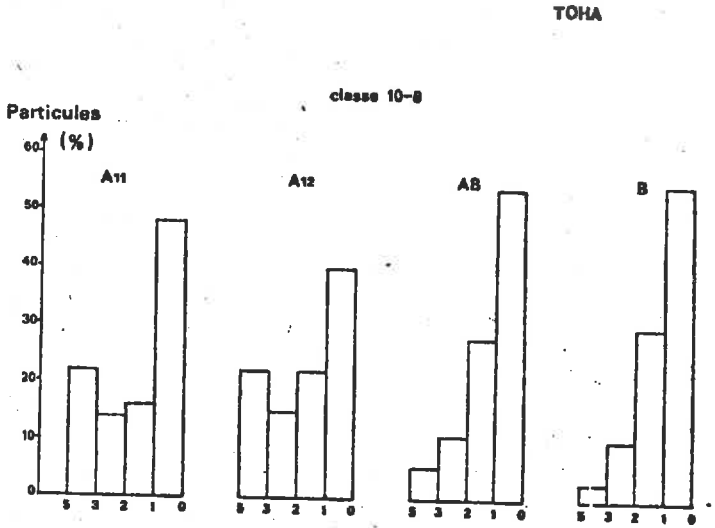


FIG.50

- La suspension

La suspension des particules colloïdales récupérée au cours de la destruction a été observée pour tenter d'apprécier, de façon qualitative, la turbidité. On observe ainsi que la destructi des agrégats des horizons superficiels (A11) donnent des suspensio plus claires que celles que l'on recueille à partir des horizons sous-jacents (A12, AB et B). La turbidité croît donc au fur et à mesure que l'on traite des éléments structuraux d'horizon de plus en plus profond. Les suspensions recueillies après la destruction des agrégats des horizons de SOULA sont relativement moins trouble que dans le cas des sols de TOHA.

Il apparait hautement vraisemblable que la charge des suspensions puisse être corrélée négativement aux teneurs en matiè organique, en sesquioxydes de fer et, peut-être en argile. Ce sont du moins ces trois facteurs qui contribuent le plus à différencier les sols de SOULA de ceux de TOHA. BOLI (1976) a, d'ailleurs, montré que l'état de l'eau est en relation d'une part, avec la tex ture et, d'autre part, avec l'indice d'instabilité. La suspension sera d'autant plus chargée qu'elle provient de la destruction d'él ments dispersables (DUCHAUFOUR, 1970), et ceci est le cas des sols de TOHA.

- Les particules

Les particules de désagrégation sont réparties, après séchage à l'étuve (60°), en classes dimensionnelles inférieures à celles de départ. L'analyse des différents résultats (fig. 49 et 50) fait ressortir les faits suivants.

Dans les sols de SOULA

. Les agrégats de taille 10-8, 8-7 et 7-6 des horizons A11 et A12 se délitent, à l'impact des gouttes d'eau, en des parti cules qui se répartissent en cinq classes dimensionnelles 6-5, 5-3,15, 3,15-2, 2-1 et 1-0 mm.

. Ceux des horizons AB et B se désagrègent en des partic les de taille inférieure à 5 mm.

. Les éléments structuraux de ces trois classes s'émiettent, pour chacun des quatre horizons (surtout pour A_{11}, A_{12} et AB), en une forte proportion de particules ou éclats dont la taille est comprise entre 5-3,15.

. Les agrégats 6-5 des horizons A11, A12 et AB donnent également des pourcentages élevés de résidus 5-3,15.

. La désagrégation des éléments structuraux 5-4 de A_{11} aboutit à l'individualisation d'une importante quantité (80%) de particules 4-3,15, alors que celle des mêmes agrégats mais provenant des horizons sous-jacents donne des résidus répartis dans les classes dimensionnelles 3,15-2, 2-1 et 1-0.

. Les particules résultant de la destruction des agrégats 4-3,15 de l'horizon A_{11} appartiennent surtout à la classe 3,15-2 (qui représente 60%).

. Les agrégats 4-3,15 de A_{12} s'émiettent en des résidus qui se répartissent, en proportions à peu près égales, dans les classes 2-1 et 1-0, alors que ceux des horizons AB et B se délitent en des particules réparties en trois classes 3,15-2, 2-1 et 1-0, cette dernière, la plus importante, représente 60% des résidus.

. La destruction des agrégats moyennement fins (3,15-2) aboutit susccessivement à :

66 % de particules fines (2-1) et 33% de particules très fines (1-0) pour A_{11}

50% de particules des deux classes pour A_{12}

75% de particules très fines (1-0) pour AB

100% de particules très fines pour B

Dans les sols de TOHA

. La désagrégation des éléments structuraux de trois classes (10-8, 8-7 et 7-6) des horizons humifères (A_{11} et A_{12}) ne donne aucune particule de taille 6-5, comme ce fut le cas pour les échantillons de SOULA.

. La proportion des particules 4-3,15 ou 5-3,15 résultant du délitage des agrégats 10-8, 8-7, 7-6 et 6-5 décroît quand on passe de l'horizon A_{11} à l'horizon B.

. Les éléments structuraux de TOHA, quelle que soit leur taille de départ se débitent en une forte proportion de particules très fines (1-0).

Ces constatations montrent que les éléments structuraux des horizons pourvus en matière organique, en argile et limons fins et en fer, comme ceux des sols de SOULA, se délitent, à l'impact des gouttes d'eau, en une forte proportion de particules de taille proche de la taille initiale. Par contre, les matériaux, comme ceux de sols de TOHA, pauvres en ces constituants se résolvent en une forte proportion de particules très fines (1-0). La désagrégation des premiers s'explique par le schéma n°1 et la taille de leurs résidus fréquemment supérieure à 1 mm, s'accorde, d'une part, avec l'absenc d'épillites sableux à la surface des sols de SOULA et, d'autre part, avec l'état plutôt limpide de l'eau intervenue dans leur destruction. Le schéma n° 2 qui aboutit à l'individualisation d'une importante proportion de particules très fines (1-0 mm) explique la destruction des seconds et la formation de dépôts superficiels qui caractérisent fréquemment la surface des sols de TOHA.

Le test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau permet ainsi d'apprécier le comportement à l'érosion des sols car il se rapproche des conditions "de l'action battante de la pluie" (HENIN, MONNIER et GRAS, 1969).

Conclusion

Le test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau a permis de mettre en évidence que :

- la résistance des agrégats dépend non seulement de leurs teneurs en matière organique et de leurs taux en argile, mais également de leur taille et de leur humidité,
- les produits de désagrégation se distinguent d'un horizon et d'un sol à l'autre selon les pourcentages en éléments fins (A + Lf), en fer et en matière organique,

- les sols de TOHA paraissent plus sensibles à l'érosion ou à la battance (VALENTIN, 1981) que ceux de SOULA.

Ce test peut, par conséquent, constituer un complément à la méthode de mesure de l'indice d'instabilité structurale (HENIN, 1938).

3.3.5. Comportement au compactage des matériaux ferrallitiques étudiés

3.3.5.1. Caractéristiques Proctor des échantillons provenant des divers horizons des deux types de sols

Pour la détermination des caractéristiques Proctor des différents horizons des sols de SOULA et de ceux de TOHA, les compactages ont été effectués sur des agrégats de 2 mm. Les courbes obtenues sont représentées sur la figure 51.

Ces courbes admettent, comme celles qui sont obtenues par FAURE (1976), GUERIF (1979) et GRIMALDI (1981), un point singulier de coordonnées (Wc, dac), croissent et passent ensuite par un maximum de compacité de coordonnées (Wm, dam). Ces points particuliers délimitent, comme nous l'avons déjà souligné plus haut, des zones de variation de la densité sèche (da) de matériau, en fonction des teneurs en eau lors du compactage. Selon FAURE (1976) c'est à partir de la teneur en Wc que le matériau devient sensible au compactage. Ainsi elle est appelée "teneur en eau au seuil de sensibilité au compactage".

Wc et Wm constituent des limites de changement d'état du matériau. Nous allons successivement étudier en détail ces deux points et les zones qu'ils délimitent.

a) Seuil hydrique de sensibilité au compactage

Eléments d'interprétation

FAURE (1971 et 1976) a défini sur des mélanges sable-kaolinite la teneur en Wa de la phase argile qui correspond à la

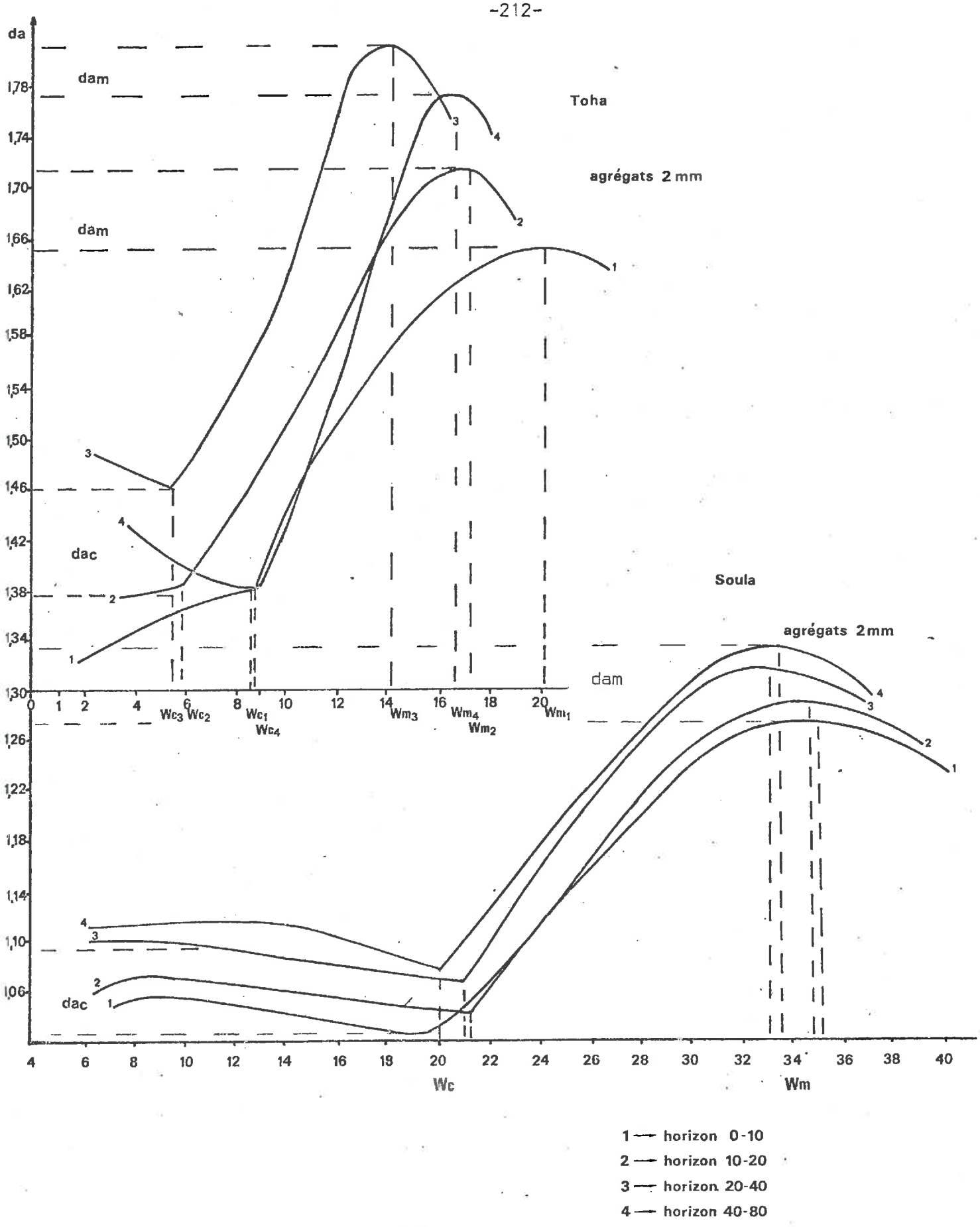


FIG.51 : COURBES PROCTOR DES HORIZONS ETUDIES

limite de plasticité de celle-ci. Il a montré que cette limite de plasticité est une constante pour une énergie de compactage donnée. Elle est égale au rapport Wc/A (Argile %).Ce rapport est constant et est égal à la teneur en eau du constituant argile seul, Wa, à son propre point singulier (GRIMALDI, 1981).

FAURE (1976) a déterminé les limites de plasticité d'une kaolinite calcique Wa = 32% et d'une montmorillonite calcique Wa = 38%. Il a pu ainsi montrer que "la sensibilité au compactage d'une montmorillonite se manifeste, pour une énergie de compactage donnée, a une teneur en eau plus élevée que pour un sol kaolinitique, à teneur en argile égale". GRIMALDI (1981), dans les conditions du test Proctor, a déterminé, sur un même matériau compacté suivant deux protocoles Wa = 31,6% pour le standard et Wa = 35,2% pour le modifié*, soit une différence de 4% environ entre les teneurs en eau Wa, selon le mode de préparation des agrégats. Le protocole d'expérimentation peut donc influencer le seuil hydrique de sensibilité au compactage.

GUERIF (1976 et 1979) a constaté que les coordonnées au seuil de sensibilité sont également liées à la teneur en matière organique du sol. Wc est déplacée vers les fortes teneurs en eau lorsque le pourcentage de matière organique d'un sol augmente. Ceci est un aspect du rôle protecteur des matières organiques vis-à-vis du compactage. Celles-ci peuvent, en effet, agir sur les propriétés lubrifiantes de l'argile mise en évidence par FAURE (1978). Par exemple les acides humiques diminuent l'efficacité de l'argile quant à son effet lubrifiant (GUERIF, 1979).

Résultats et discussion

Les coordonnées du seuil de sensibilité des sols de SOULA et de TOHA déterminées sur chacune des courbes Proctor (cf. fig. 51) sont représentées sur les figures 52 et 53.

---

* Protocole standard : les agrégats sont tamisés après séchage à l'air.

Protocole modifié : les agrégats sont tamisés à l'état d'humidité du prélèvement.

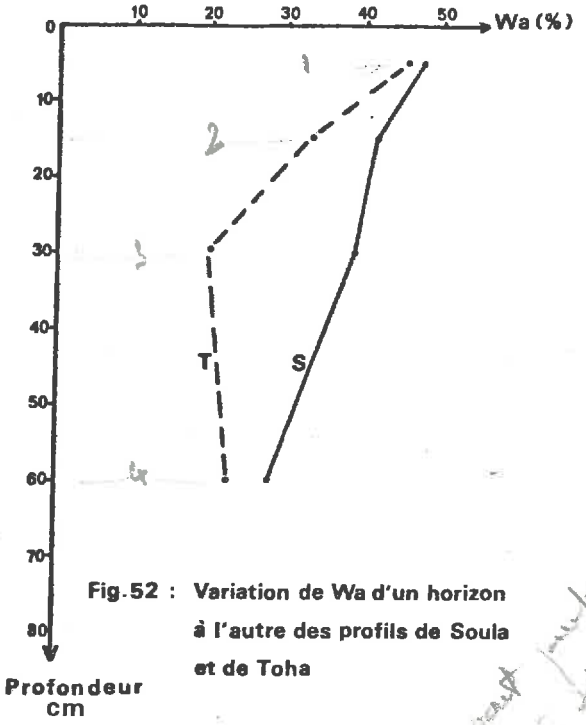


Fig.52 : Variation de Wa d'un horizon à l'autre des profils de Soula et de Toha

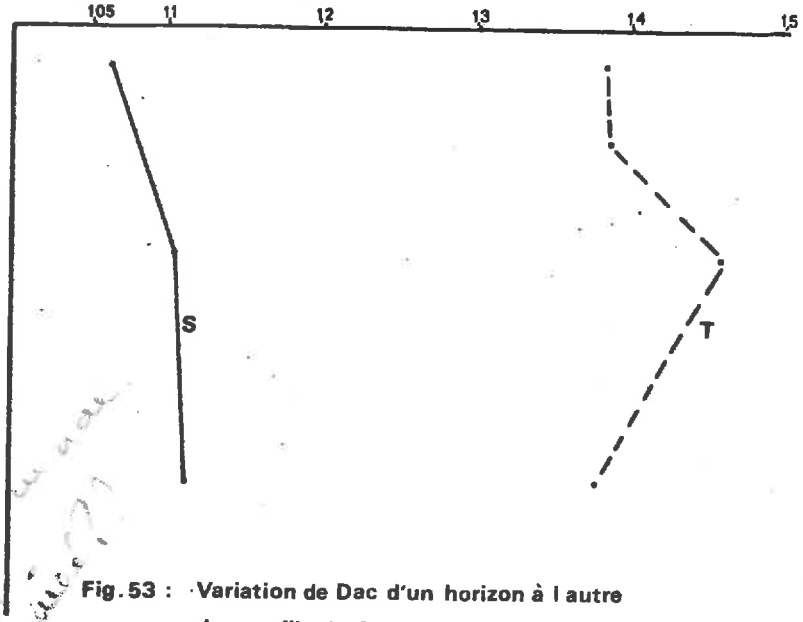


Fig.53 : Variation de Dac d'un horizon à l autre des profils de Soula et de Toha

Leur examen fait apparaître :

- une diminution de Wa au fur et à mesure que l'on passe des matériaux de l'horizon A_{11} à ceux de B. La sensibilité au compactage des matériaux de l'horizon supérieur apparaît donc, pour une énergie donnée, à une teneur en eau plus élevée que celle des matériaux de l'horizon directement sous-jacent. Ceci peut s'expliquer par la décroissance, en profondeur, du taux de matière organique liée (GUERIF, 1979) ;

- un comportement particulier de l'horizon B de TOHA. Sa limite de plasticité Wa (23,1%) est, en effet, supérieure à celle des agrégats de l'horizon AB sus-jacent (Wa = 20,5%). La différenc entre les deux teneurs en eau Wa est de 3% environ. Le matériau de l'horizon B se révèle donc relativement moins sensible au compacta que celui de AB, contrairement à ce que l'on observe pour les maté riaux de SOULA. Le rôle protecteur de la matière organique vis-à-v du compactage (GRIMALDI, 1981) se limiterait donc, dans cette part de la courbe, aux matériaux des deux horizons supérieurs (A_{11} et A_{12}) de TOHA. Ainsi celui de B qui est plus riche en argile (38% environ) et corrélativement plus pauvre en sables fins (40%) et sables grossiers (3%) que le matériau de AB, intègre les propriété de l'argile pour manifester sa sensibilité au compactage à une tene

en eau Wa légèrement plus élevée que celle de l'horizon sus-jacent, car "les seuils hydriques de changement d'état dépendent essentiellement du comportement de la phase argile" (GUERIF, 1979);

- une augmentation de la compacité au seuil de sensibilité en fonction des profondeurs de prélèvement des matériaux de SOULA. En effet, da_c prend successivement les valeurs 1,062, 1,080, 1,104 et 1,112 pour les quatre horizons consécutifs de SOULA. Cette variation de da_c des échantillons prélevés le long d'un profil pourrait également traduire le rôle de la matière organique et de l'argile dans le tassement des sols (STENGEL et FAURE, 1978 ; STENGEL, 1976). MONNIER, STENGEL et BODET (1976), étudiant les conséquences de la répartition des matières organiques sur le comportement des sols, ont établi la régression double suivante :

$$da = -0{,}0400\ C_1 + 0{,}0121\ A + 1{,}603 \qquad r = 0{,}82.$$

Cette régression montre assez bien les interactions entre les deux constituants et leurs effets sur le tassement ;

- dans les sols de TOHA la variation de compacité au seuil de sensibilité rappelle celle de Wa. En effet, la valeur da_c = 1,380 du matériau de l'horizon B, confirme la faible sensibilité au compactage de celui-ci par rapport aux échantillons de AB dont la valeur da_c est égale à 1,462. L'écart entre les deux densités est de 0,082 ;

- une différence entre les limites de plasticité d'une part, et d'autre part entre les densités au seuil de compacité des deux types de sols. Les matériaux de SOULA apparaissent moins sensibles au tassement que ceux de TOHA (cf. fig. 51). Ceci s'accorde avec les teneurs en eau Wa relativement élevées des premiers par rapport à celles des seconds. Le comportement des échantillons de chacun des deux sols semble essentiellement lié à leur constitution granulométrique et à leurs teneurs en matière organique (PHILIPPS et KIRKHAM, 1962 ; FAURE, 1976 ; GUERIF, 1979).

En conclusion, on peut retenir que les différences observées entre les coordonnées du point singulier des huit courbes Proctor résultant du compactage des matériaux des deux types de sols étudiés, peuvent être attribuées à la granulométrie et principalement à la fraction argileuse (FAURE, 1976) et à la matière organique liée.

b) Première partie de la courbe W < Wc

A propos de la première partie de la courbe Proctor, FAURE (1978) et GUERIF (1979) ont montré que l'augmentation de la teneur en eau s'accompagne :

- d'une diminution de la cohésion : la compacité de l'éprouvette dépend alors du réarrangement des agrégats concassés ;
- et du gonflement des agrégats.

Les variations de la compacité sont de faible amplitude et "résultent essentiellement de l'interaction des deux phénomènes. Si la pente est positive, l'effet du gonflement est masqué par le réarrangement des agrégats au fur et à mesure que leur cohésion diminue. Si elle est négative, l'effet du gonflement l'emporte" (GUERIF, 1979).

Sur les courbes Proctor établies pour les sols de SOULA et de TOHA on constate dans la zone 0-Wc :

- une faible variation de la densité apparente (da). Au niveau des matériaux de TOHA elle est au minimum de 0,012 (horizon A_{12}) et au maximum de 0,070 (horizon B), soit une variation de porosité de 0,8% à 4,8%. Au niveau des matériaux de SOULA les écarts extrêmes entre les densités apparentes (da) sont de 0,015 (horizon A_{12}) et de 0,036 (horizon B), ce qui correspond à une variation de porosité de 1,3 à 3,1% ;
- des pentes positives sur les courbes 1 et 2 de TOHA ;
- des pentes négatives sur les courbes 3 et 4 de TOHA et sur toutes celles de SOULA.

Dans les matériaux des deux horizons supérieurs de TOHA (A_{11} et A_{12}) l'effet du gonflement serait par conséquent masqué par l'écrasement des agrégats, alors que dans ceux de SOULA et des deux derniers horizons de TOHA (AB et B), cet effet du gonflement l'emporterait sur le "réarrangement des agrégats" (GRIMALDI, 1981).

Cette divergence de l'allure des courbes dans la zone 0-Wc peut être rapprochée de la variation respective (décroissance progressive dans les sols de SOULA, croissance de A_{11} à A_{12} de TOHA puis décroissance en profondeur) du rapport acides humiques/acides fulviques le long des profils des sols étudiés (fig. 54).

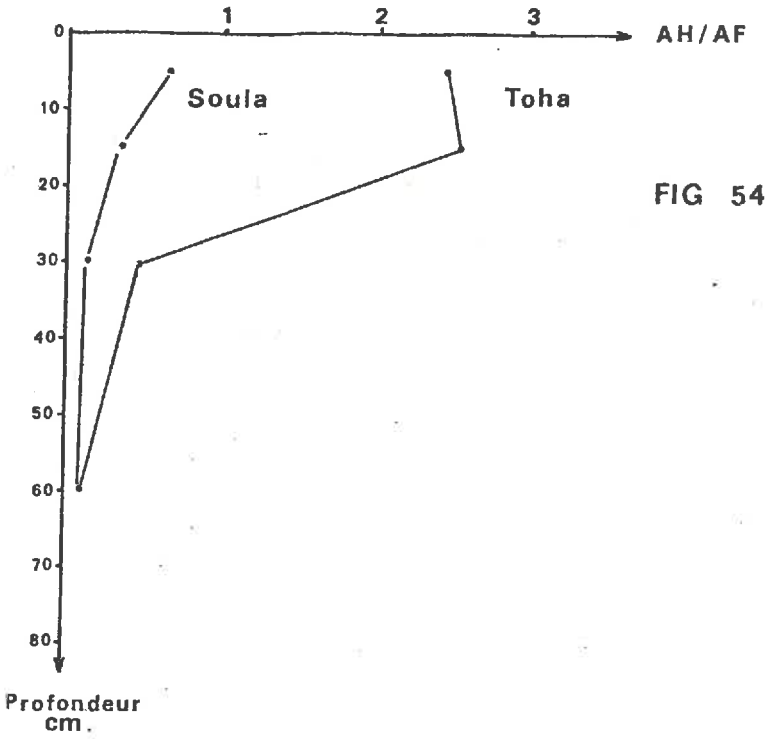


FIG 54 Variation verticale du rapport acides humiques/acides fulviques dans les sols de Soula et de ceux de Toha

Les horizons A_{11} et A_{12} de TOHA renferment deux fois plus d'acides humiques que d'acides fulviques (AH/AF supérieur à 2). Ce rapport tombe en-dessous de 0,50 à partir de 20 cm de profondeur de ce même sol. Les horizons de SOULA contiennent moins d'acides humiques que de fulviques (AH/AF inférieur à 1). Or, selon les travaux de GUERIF (1979) ce sont les acides humiques (AH) qui masqueraient les effets du gonflement et augmenteraient la cohésion des agrégats. C'est ainsi que les matériaux des horizons A_{11} et A_{12} de TOHA, relativement riches en acides humiques, donnent des courbes Proctor à pente positive dans leur première partie.

c) Seconde partie de la courbe $Wc < W < Wm$

A partir du seuil hydrique de sensibilité Wc, toutes les courbes établies accusent une forte croissance. Dans cette seconde zone, en effet, la densité apparente (da) du matériau est une fonction croissante de la teneur en eau W jusqu'à un maximum proche de la courbe de saturation, obtenu pour Wm (FAURE et GUERIF, 1977).

Les courbes présentent un maximum de densité (dam) variable suivant la nature du matériau et son horizon de prélèvement. Pc les sols de SOULA, le maximum croît progressivement quand on passe du matériau de A_{11} à celui de B (fig. 55).

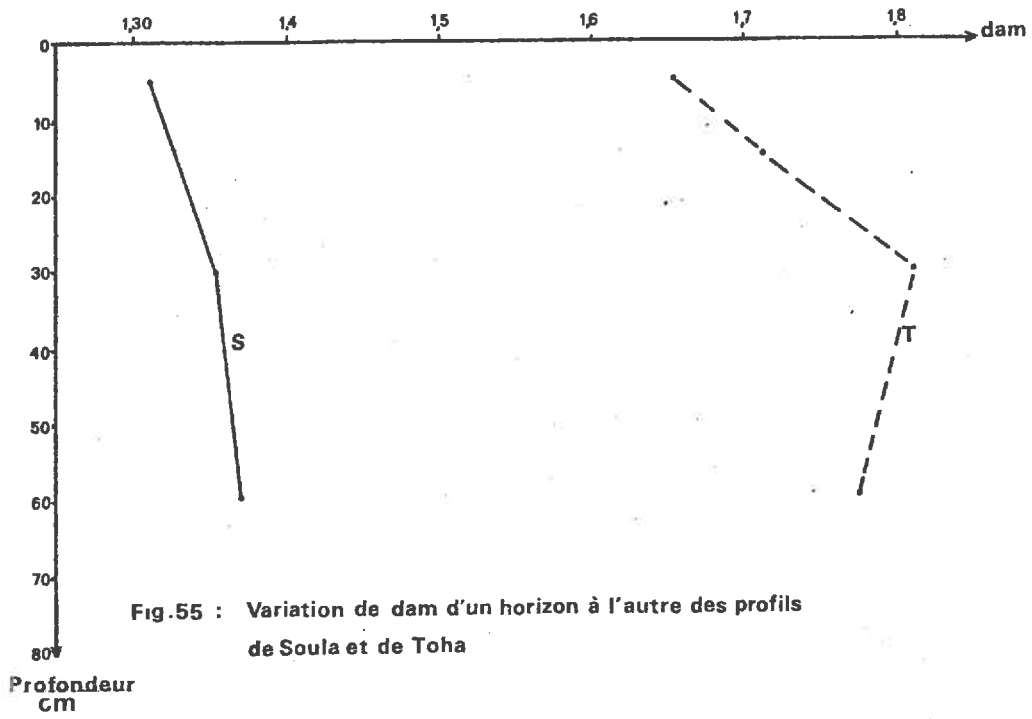


Fig.55 : Variation de dam d'un horizon à l'autre des profils de Soula et de Toha

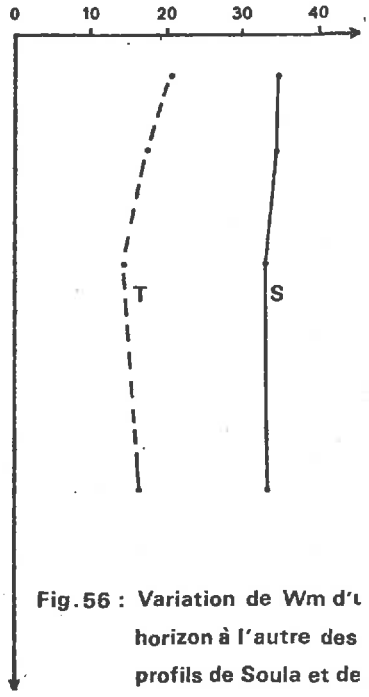


Fig.56 : Variation de Wm d'u horizon à l'autre des profils de Soula et de

L'écart de compacité entre le seuil de sensibilité (dac et le maximum de compacité (dam) est de 0,248 pour chacun des matériaux des trois premiers horizons de SOULA. Il est de 0,258 pour celui de B. Les quatre horizons présentent donc une diminution absolue de porosité totale, comprise entre 14 et 18%.

Pour les sols de TOHA, la décroissance de la porosité est de 20 à 31% et de plus en plus importante en fonction de la profondeur considérée dans le profil.

Ces diminutions de porosité, du seuil de sensibilité au maximum de compacité, montrent que :

- les horizons superficiels résistent mieux aux effets d compactage mécanique que les horizons sous-jacents,

- les divers horizons de SOULA sont moins sensibles au tassement que ceux de TOHA. Ils atteignent leur maximum de compaci (dam) à des teneurs en eau W supérieures à celles des courbes Proct obtenues pour le second type de sols (fig. 56). Pour GRIMALDI (198 l'écart entre le seuil de sensibilité et le maximum de compacité

dépend essentiellement de la densité apparente au seuil de sensibilité. Ceci explique que les baisses de porosité des matériaux des trois premiers horizons de TOHA sont identiques (14,9 et 14,8%).

La pente de cette seconde partie des courbes Proctor dépend des propriétés de l'argile. En effet, elle traduit l'efficacité de l'argile comme lubrifiant dans l'arrangement des grains du squelette pendant le compactage (FAURE, 1976 ; GUERIF, 1979). C'est ainsi qu'elle est faible sur les courbes Proctor des matériaux de SOULA, relativement riches en argile (> 39%).

Les variations de porosité observées entre les deux points critiques dac et dam , pour chaque matériau étudié, sont largement supérieures à celles que GRIMALDI (1981) a enregistrées lors du compactage d'un matériau limoneux (7 et 13%). Les sols du nord-ouest étudiés apparaissent donc relativement sensibles au compactage mécanique. Il faut noter, cependant, que pour apprécier la sensibilité au tassement d'un sol, on doit tenir compte, à la fois de la densité apparente au seuil de sensibilité et de celle qui correspond au maximum de compacité, liées, toutes deux, à la composition granulométrique et aux teneurs en matière organique, pour une énergie de compactage définie (FAURE, 1976 ; GRIMALDI, 1981 et GUERIF, 1979).

d) Maximum de compacité

Les huit courbes établies pour les quatre horizons de chacun des deux types de sols présentent, chacune, un maximum de compacité Proctor, pour une teneur en eau Wm appelée "Optimale Proctor" en génie civil. Les coordonnées de ce maximum de compacité (Wm, dam) diffèrent plus ou moins d'une courbe à l'autre et principalement entre les courbes concernant respectivement les sols de SOULA et TOHA pour chaque horizon. Ces coordonnées sont respectivement comprises entre 33 et 35% d'eau et 1,310 et 1,370 pour les sols de SOULA, 16 et 21% d'eau et 1,652 et 1,812 pour les sols de TOHA.

Les variations respectives de Wm et dam s'expliquent par le fait qu'elles dépendent, comme nous l'avons déjà signalé, pour les coordonnées du point singulier (dac et Wc), de la constitution du matériau c'est-à-dire de la granulométrie et de la matière organique. YORO (1976), FAURE (1976 et 1978), GRIMALDI (1981) ont montré

que ces coordonnées varient également avec la nature de l'argile l'énergie de compactage; dam augmente avec l'intensité d'énergie mise en jeu, mais la teneur en eau Wm diminue.

Il faut souligner que les teneurs en eau Wm des courbes 1 et 2 de SOULA sont très voisines (34,85 et 34,60%) de même que celles des courbes 3 et 4 (33,00 et 33,20%). La teneur en eau Wm confirme donc la distinction déjà faite des deux groupes d'horiz du profil de SOULA : les horizons humifères d'une part (courbes et 2) et les horizons minéraux d'autre part (courbes 3 et 4). Ce distinction n'est cependant pas valable si l'on se fonde sur la densité au maximum de compacité (dam).

A ce point de compacité maximum FAURE (1978) considère d'ailleurs, "que le matériau atteint sa limite de liquidité, rel tive à l'énergie utilisée, au même titre que la teneur en eau au seuil de sensibilité correspond à sa limite de plasticité". Le c portement du matériau au-delà de ce point tend vers celui d'un liquide.

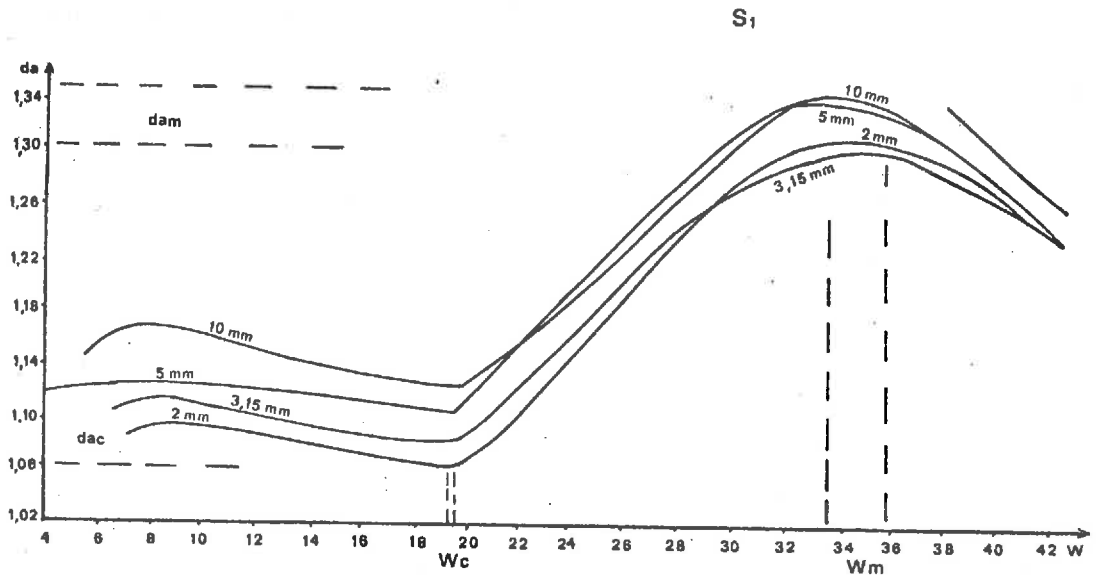
e) Troisième partie de la courbe W > Wm

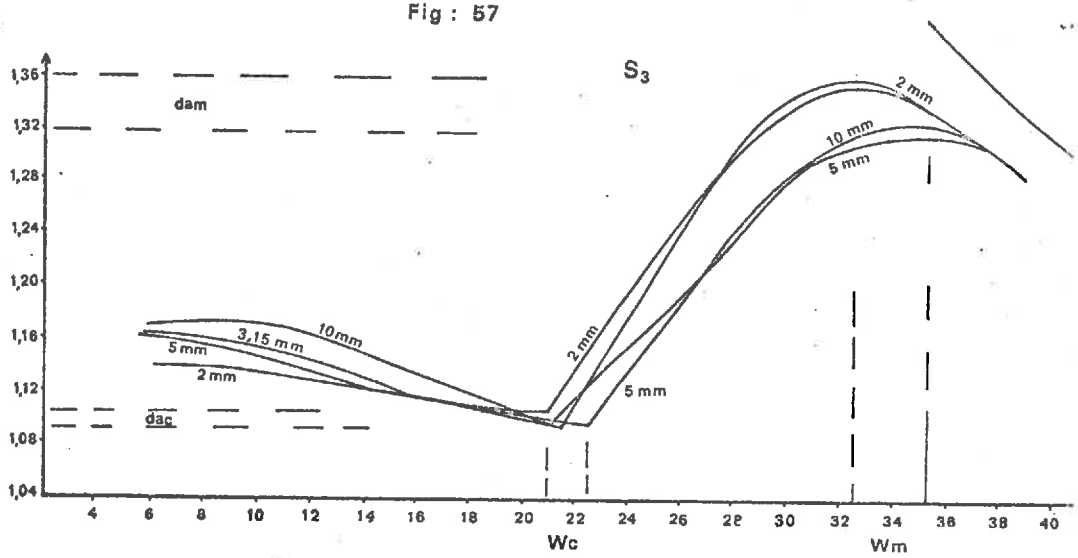
L'examen de la troisième zone des huit courbes Proctor s'accorde avec les résultats de FAURE (1971), GRIMALDI (1981), GUERIF (1979) c'est-à-dire qu' "un accroissement de teneur en ea au-delà de Wm, ne permet pas, même avec une énergie d'intensité plus élevée, d'augmenter la compacité du matériau". Les courbes décroissent et tendent asymptotiquement vers l'hyperbole de satu tion. En effet, au-delà de Wm, le matériau a un comportement liq de c'est-à-dire qu'il est constitué théoriquement par un mélange biphasique de solide et d'eau" (GRIMALDI, 1981).

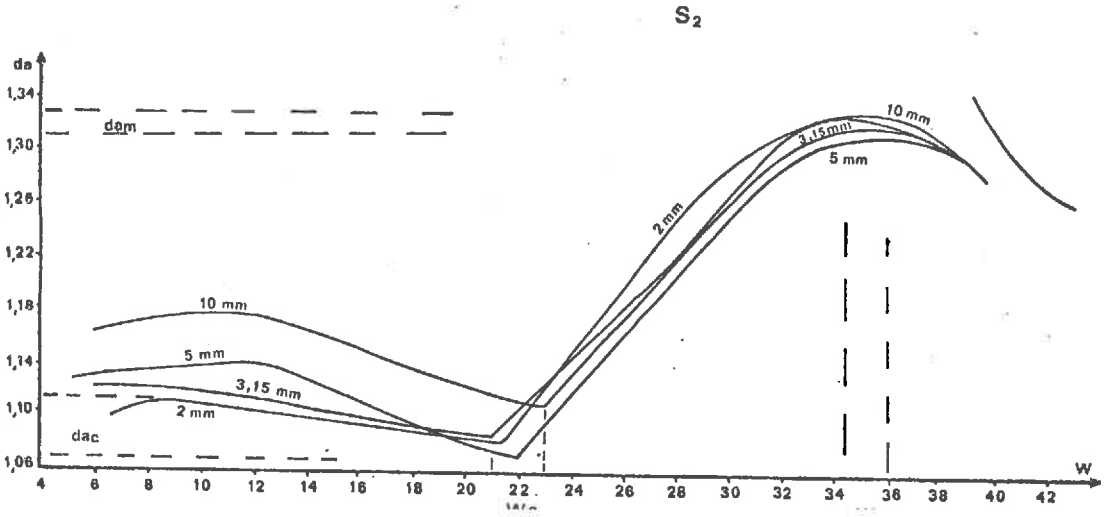
Dans cette troisième partie, les différences subsisten toujours entre les courbes des horizons consécutifs. Ceci signif que l'influence des paramètres caractérisant chaque matériau per siste, dans ce cas, au-delà de la teneur en eau optimale. On con tate, d'autre part, un écart entre l'hyperbole de saturation et courbes Proctor. FAURE (1978), GUERIF et FAURE (1979), GRIMALDI (1981) ont montré que cet écart correspond à la présence de gaz piégés. En effet, le compactage dans un moule Proctor étanche

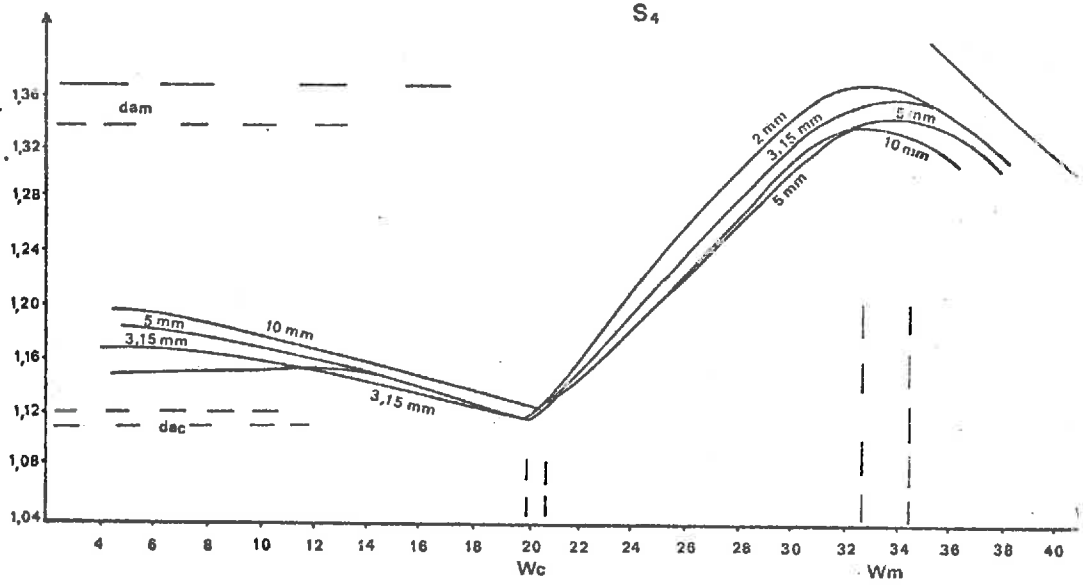
Fig : 57

Fig :57 Courbes Proctor des matériaux de différente taille rangées par horizon du sol de SOULA







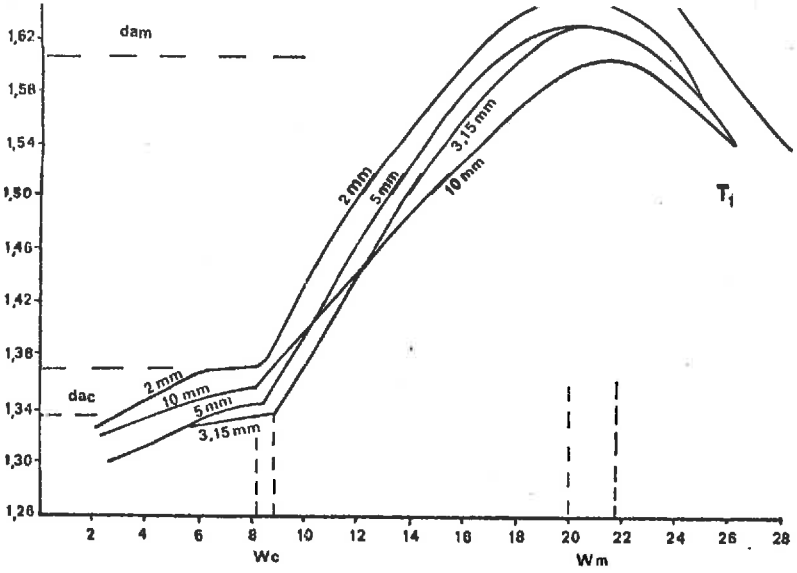


T_1 = S_1 = 0 – 10 cm

T_2 = S_2 = 10 – 20 cm

T_3 = S_3 = 20 – 40 cm

T_4 = S_4 = 30 – 80 cm



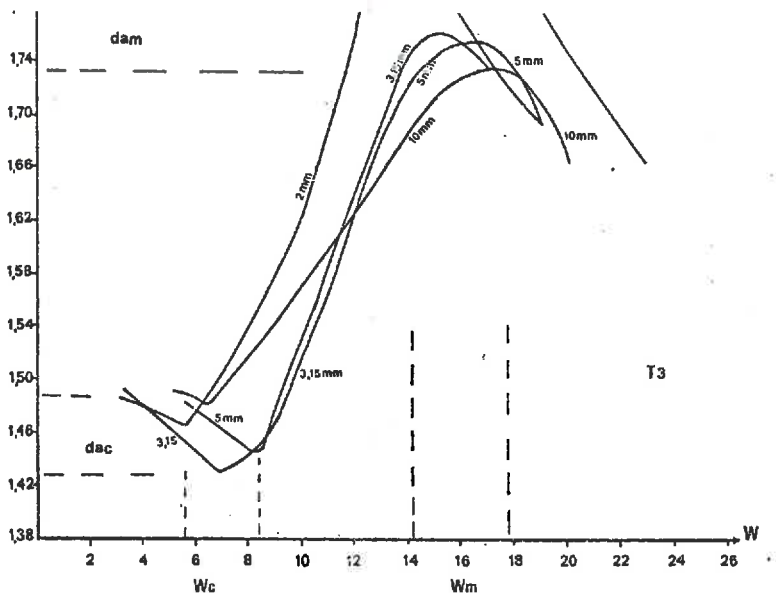
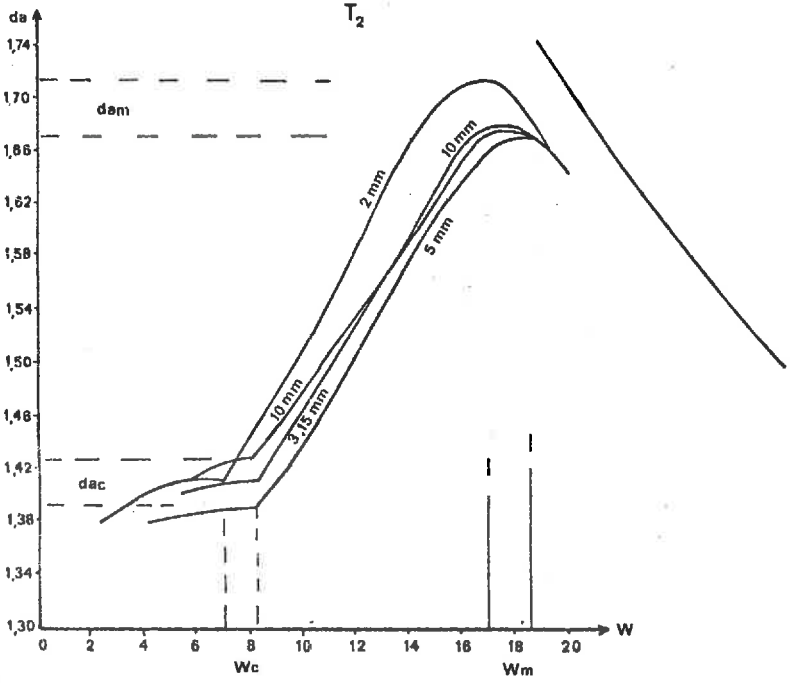
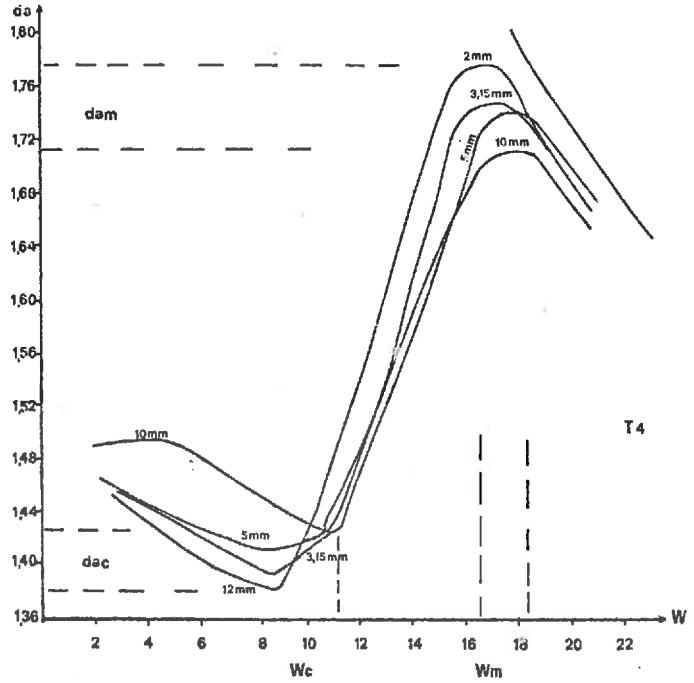


Fig : 58 Courbes proctor des matériaux de différente taille rangées par horizon. TOHA.

FIG. 58 (suite)





(comme celui que nous avons utilisé) ne permet pas l'élimination d'une partie de l'air contenu dans le matériau. Les échantillons compactés sont donc imparfaitement saturés en eau.

3.3.5.2. Caractéristiques Proctor en fonction de la taille des agrégats

Les essais Proctor ont été effectués sur des agrégats de quatre classes dimensionnelles 10-5, 5-3,15, 3,5-2 et 2-1 mm dans le but de saisir l'influence éventuelle de leur taille sur le comportement au compactage. Les quatre essais, correspondant respectivement à ces classes dimensionnelles ont été effectués pour chacun des horizons des deux types de sols étudiés. Les résultats sont représentés sur les courbes des figures 57 et 58.

a) Seuil de sensibilité au compactage

Les coordonnées du point singulier (Wc, dac) des courbes établies varient plus ou moins suivant la taille des agrégats compactés. Le rapport Wc/A = Wa dont l'écart entre son maximum et son minimum atteint 9 pour l'horizon AB de TOHA n'apparaît pas statistiquement lié, sur l'ensemble des matériaux, à la taille des éléments structuraux soumis à l'essai. Le coefficient de corrélation de rangs de Spearman est en effet égal à -0,800, ce qui indique que les variations de Wa observées en fonction de la taille des agrégats sur les divers matériaux ne sont pas significatives. Ceci se remarque sur la figure 59a.

La sensibilité au compactage des matériaux d'un même horizon se révèle à des teneurs en eau très voisines et, ce malgré la diversité de leur structure initiale (grossière, moyenne, moyennement fine et fine). Ces résultats s'accordent avec la conclusion de GRIMALDI (1981) qui a montré que "Wa est indépendante de la structure initiale des agrégats" (0-2 et 2-5 mm).

La densité apparente dac au seuil de sensibilité au compactage ne varie pas non plus de façon significative en fonction de la taille des agrégats d'un même matériau. Le coefficient de corrélation de rangs de Spearman, calculé sur l'ensemble des résultats des deux types de sols et ceci pour tous les horizons confon-

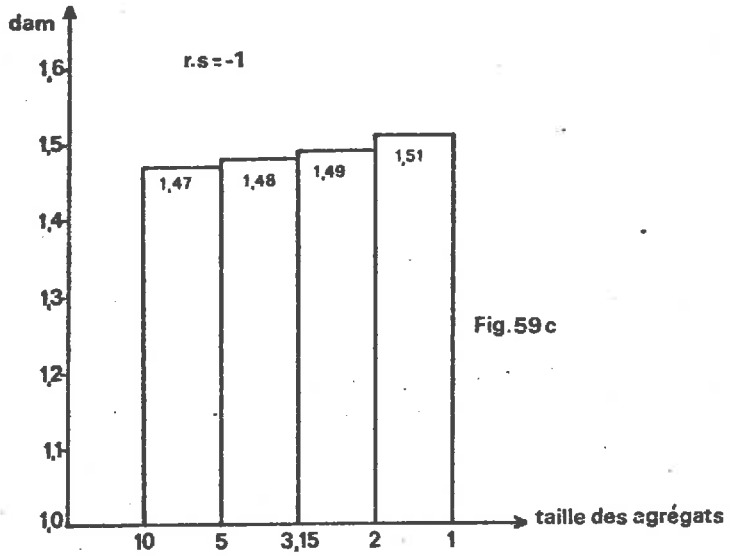


Fig.59c

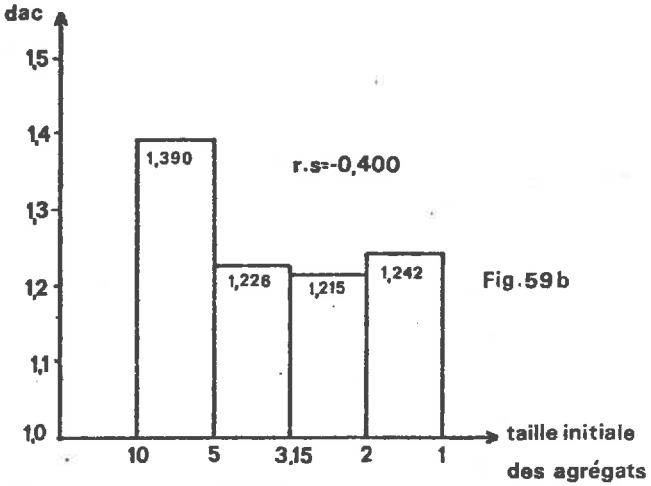


Fig.59b

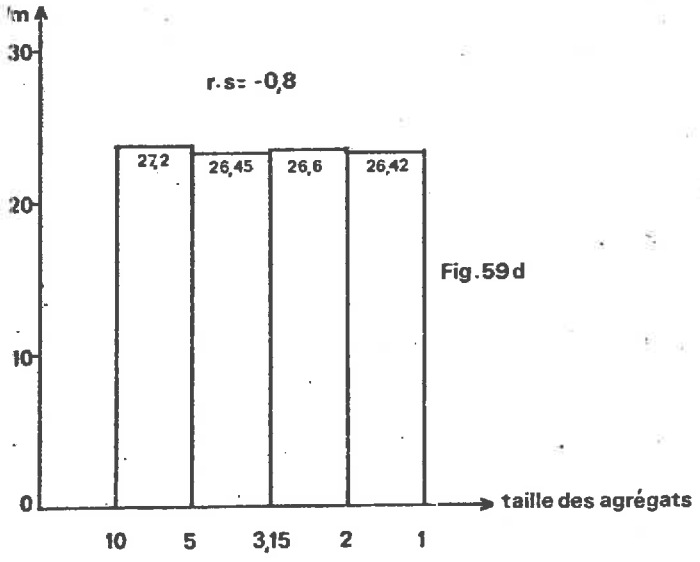


Fig.59d

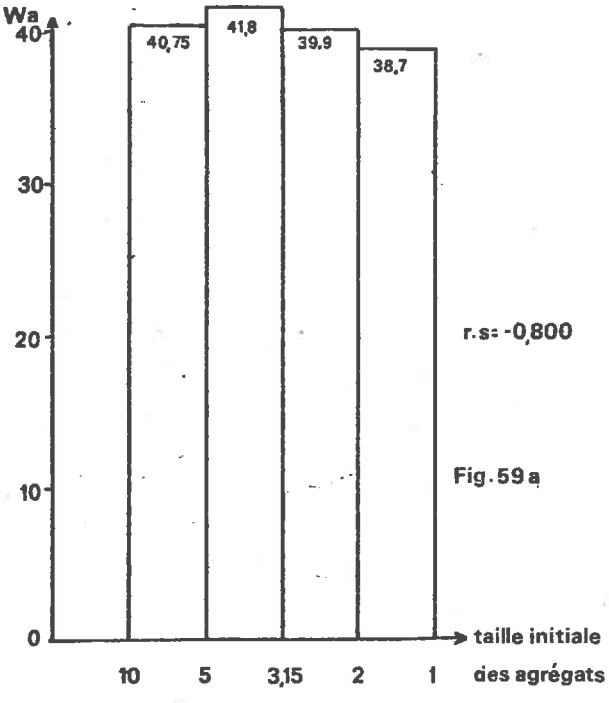


Fig.59a

FIG.59 : VARIATION DES MEDIANES DES CARACTERISTIQUES PROCTOR : dac, Wa, Wm et dam EN FONCTION DE LA TAILLE INITIALE DES AGREGATS COMPACTES

dus, est égal à -0,400. Les différences entre les valeurs extrêmes d'un même horizon oscille entre 0,010 et 0,06 pour les courbes de SOULA, et entre 0,03 et 0,06 pour celles de TOHA (fig. 60).

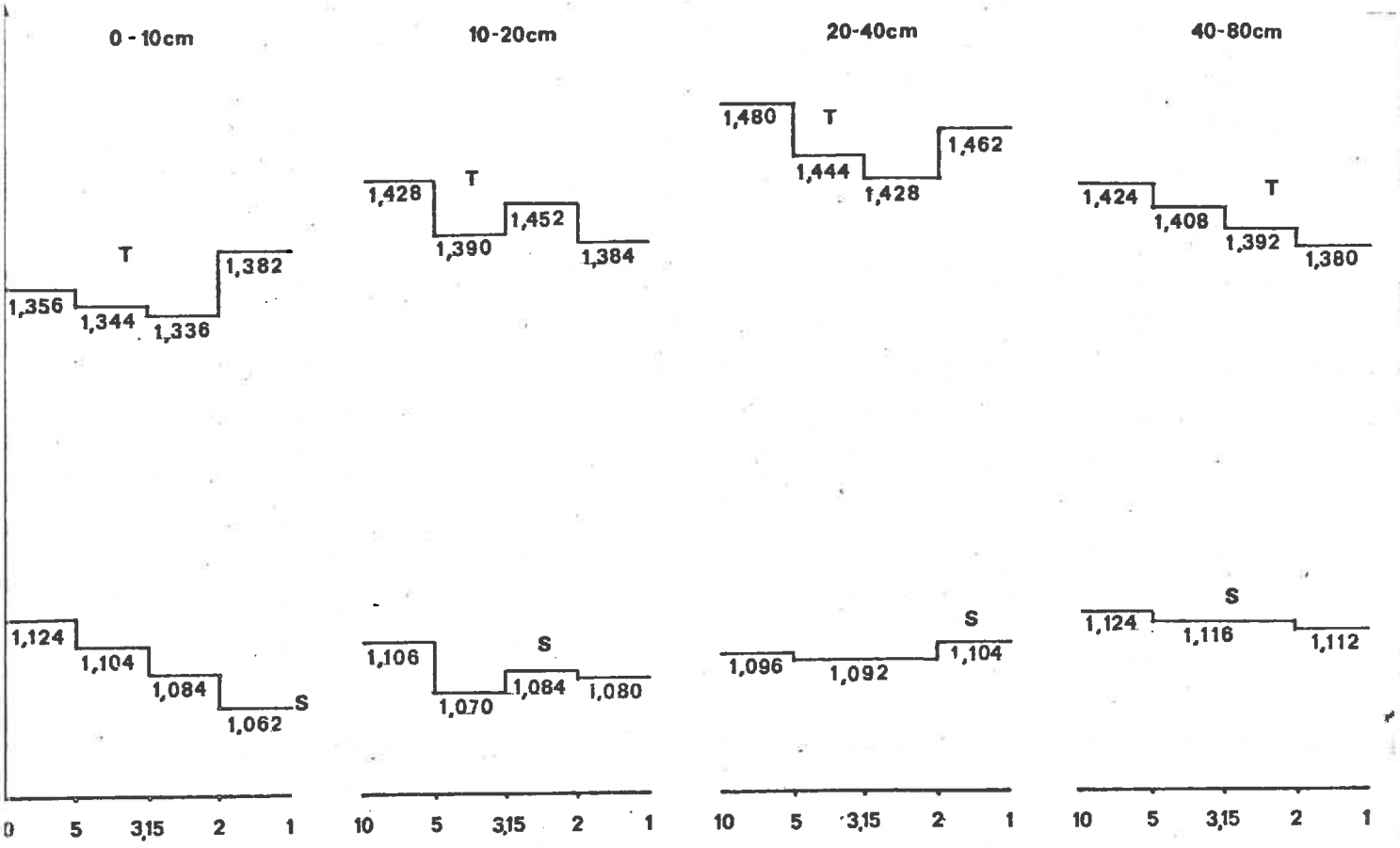


FIG.60 : VARIATION DE DAC EN FONCTION DE LA TAILLE DES DIFFERENTS MATERIAUX DE TOHA ET DE CEUX DE SOULA

On peut retenir, en conclusion, que les coordonnées (Wc, dac) au seuil de sensibilité au compactage varient en fonction de la taille des agrégats mais ces variations ne sont pas significatives ni ordonnées en fonction de la dimension des éléments structuraux.

b) Première partie des courbes W < Wc

L'allure des courbes dans la zone 0-Wc est identique pour un même horizon quelle que soit la structure initiale des agrégats c'est-à-dire de leur taille initiale. Les pentes sont soit positives soit négatives, comme nous l'avons déjà noté antérieurement. Elles ne dépendent pas donc de la taille des agrégats compactés. On remarque toutefois que les courbes relatives à la classe

dimensionnelle 10-5 mm des différents horizons se situent au-dessu de celle des autres classes dimensionnelles, c'est-à-dire qu'elle présentent des densités sèches (da) élevées. Les agrégats 10-5 auraient donc tendance à paraître plus sensibles au compactage mécanique que ceux des autres classes dimensionnelles.

c) Seconde partie des courbes Wc < W < Wm

Les densités apparentes (da) des matériaux sont toutes des fonctions croissantes de la teneur en eau W jusqu'à l'optimal Proctor (Wm). Les courbes des quatre classes d'agrégats d'un même horizon se recoupent. L'écart de compacité entre le seuil de sensibilité et le maximum de compacité varie plus ou moins au sein de chaque groupe de courbes (cf. fig. 57 et 58). Il est fréquemment plus élevé au niveau des courbes relatives à la classe 2-1 mm. En effet, sur les huit groupes de courbes Proctor (répartis suivant les horizons des deux types de sols) on compte cinq dans lesquels les agrégats 2-1 mm donnent l'écart de compacité le plus élevé. C agrégats seraient donc, dans cette seconde partie, relativement plus sensibles au compactage mécanique que les agrégats des trois autres classes dimensionnelles.

d) Maximum de compacité

Les teneurs en eau optimale Proctor Wm des courbes d'un même horizon sont très voisines quelle que soit la taille des agrégats compactés. Le coefficient de corrélation de rangs de Spearma calculé sur l'ensemble des résultats et pour tous les horizons confondus est égal à -0,800. Ceci signifie qu'il n'existe pas de relation étroite entre Wm et la taille des éléments structuraux. Les quelques variations de Wm observées au sein d'un groupe de courbes, surtout de T_1 (cf. fig.57), peuvent, par conséquent, êtr considérées comme statistiquement négligeables.

La densité apparente maximum Proctor (dam) est liée, quant à elle, à la taille des agrégats (rs = 1). Elle augmente lorsque la taille des éléments structuraux compactés diminue (fig. 59c). Cette liaison est très manifeste sur les courbes de TOHA dont l'ordonnée maximum décroit quand on passe de la classe d'agrégats 2-1 à celle des agrégats (0-5 mm (fig. 61).

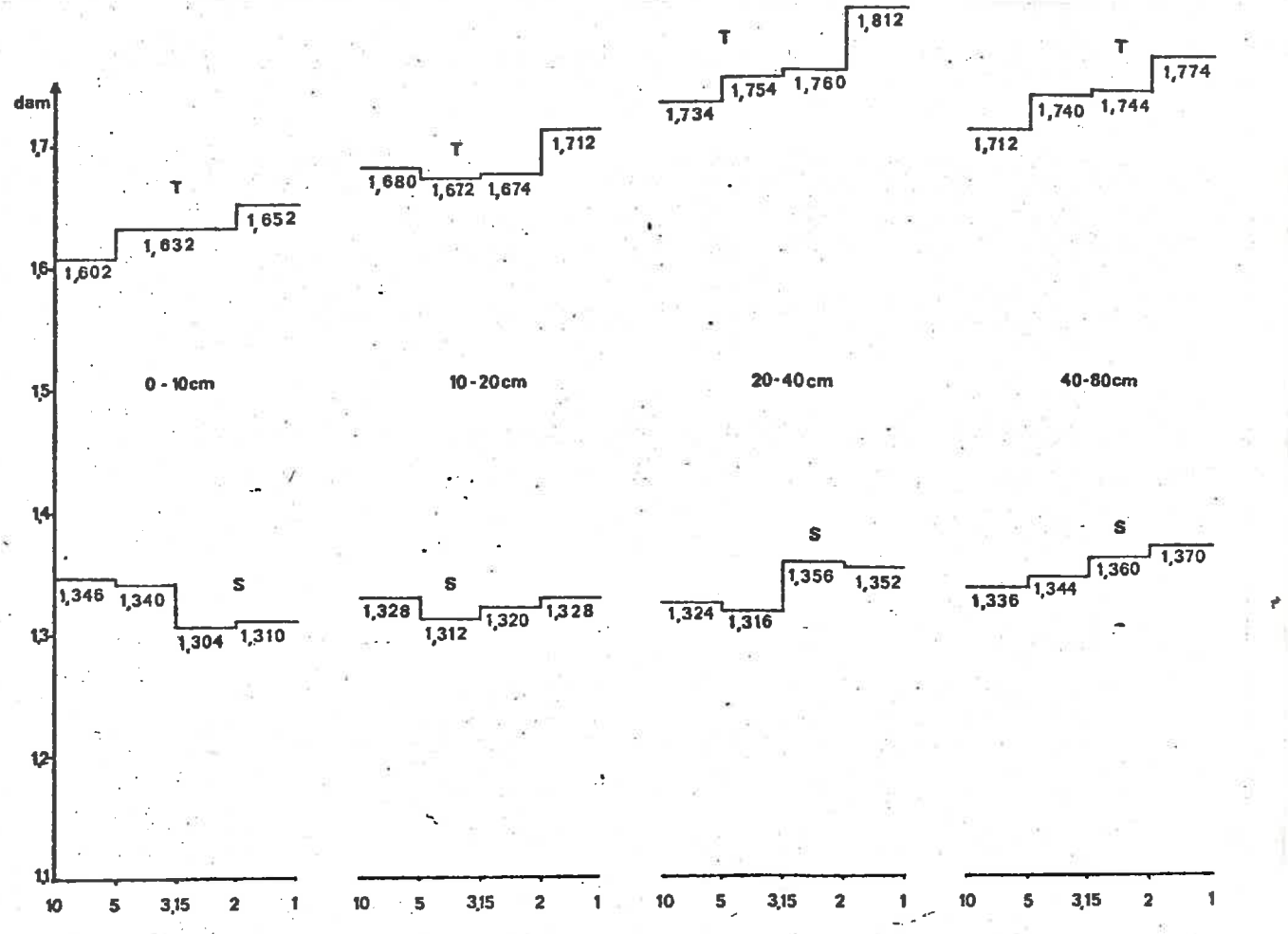


FIG.61 : VARIATION DE DAM EN FONCTION DE LA TAILLE DES DIFFERENTS MATERIAUX DE TOHA ET DE SOULA

Les matériaux constitués d'éléments structuraux fins accuseraient donc, pour une même teneur en eau Wm, et pour une même énergie de compactage, le plus fortement les effets du tassement. Ceci s'explique par la disparition plus rapide des porosités interagrégats et des porosités intraagrégats (GRIMALDI, 1981). En effet, l'arrangement des agrégats apparaît d'autant compact que leur taille est petite et peu étalée.

e) Troisième partie de la courbe W > Wc

Dans cette partie des courbes, l'influence de la structure initiale des agrégats sur le comportement au tassement dispa-

rait pour les matériaux des trois horizons supérieurs (A_{11}, A_{12} e AB) des deux types de sols. En effet, les courbes Proctor de chac de ces trois horizons se rejoignent pour tendre asymptotiquement vers l'hyperbole de saturation. Sur celles qui sont relatives à chacun des horizons B de SOULA et de TOHA (T_4 et S_4) on relève, p contre, de légères différences. La courbe Proctor 10-5 se trouve au-dessus des autres. L'influence de la taille des agrégats sur l compactage ne semble donc pas disparaître, pour les échantillons horizons de profondeur (40-80 cm), lorsque la teneur en eau est s rieure à Wm. Cette persistance relative de l'effet de la structur initiale (10-5 mm) dans la zone $Wm < W$ pourrait être rapprochée de l'absence ou de la forte décroissance du taux de matière organique. GRIMALD (1981), sur les matériaux 0-2 et 2-5 provenant des horizons humifères (5 ‰ environ de matière organique), a en effet noté, dans cette partie de la courbe, l'absence de l'influence de la taille des agrégats, absence d'influence qui a été également relevé sur les courbes relatives aux horizons plus ou moins humifères de SOU ou de TOHA.

Conclusion

L'étude du comportement au tassement réalisée à l'aide test Proctor, a permis de mettre en évidence que les deux types d sols du Nord-ouest de la Côte d'Ivoire présentent une sensibilité certaine au compactage. Elle a permis, en outre, de mettre en évi dence les points suivants :

- Les limites de changement d'état dépendent de la cons titution granulométrique, de la teneur en matière organique et de l'énergie mise en jeu. La densité apparente au maximum de compact Proctor dépend, en plus des précédents paramètres, de la taille d agrégats alors que celle-ci n'a pas d'influence notoire sur la de sité au seuil de sensibilité et les limites hydriques de plastici et de liquidité.

- La matière organique fait disparaître l'influence de structure initiale c'est-à-dire de la taille des agrégats au-delà de la teneur en eau Wm. Les acides humiques masquent le gonflemen et augmentent la cohésion. GRIMALDI (1981) a montré que ces diffé rentes caractéristiques (dac, Wc dam et Wm) dépendent aussi de l'histoire du matériau avant le compactage.

3.3.5.3. Description microscopique des mottes compactées

Nous nous intéresserons surtout, dans cette étude micromorphologique, à la description qualitative, comme nous l'avions déjà signalé plus haut, c'est-à-dire que nous ne quantifierons pas les pores comme JONGERIUS et *al.*, (1972) ; LAWRENCE (1977) ; MURPHY, BULLOCK et TURNER (1977) et GRIMALDI (1981). Notre but consiste uniquement à relever les effets du tassement en général, et ceux du compactage mécanique en particulier sans entrer dans les détails.

Nous étudierons la micromorhologie des mottes compactées uniquement aux humidités caractéristiques que sont Wc et Wm.

a) Observation micromorphologique après compactage à Wc

Sols de SOULA ou mottes de SOULA

Après compactage à Wc, on observe, entre les agrégats, des vides d'entassement (BREWER, 1964) de forme très variable. Ils traduisent l'individualisation partielle des agrégats initiaux. Leur taille et leur importance diminuent avec la strucuture initiale des agrégats, c'est-à-dire plus les agrégats de départ sont grossiers, plus les mottes résultant de leur compactage renferment des pores (photos n° 13 à 16). On observe, en effet, sur la photo n° 13 (qui représente les agrégats 10-5 compactés) de nombreux vides d'entassement compacts. Sur la photo n° 14 (agrégat 5-3,15) on remarque que les vides d'entassement sont compacts, localisés et de taille réduite. Sur la photo n° 15 (agrégats 3,15-2) et n° 16 (agrégat 2-1) les vides sont surtout des cavités, des vésicules et des fentes.

Les agrégats des mottes, quelle que soit leur structure initiale, renferment de petites cavités, de chenaux et de légères fissures. Certains sont opaques c'est-à-dire riches en plasma argileux ; d'autres présentent une faible concentration plasmique. Ils sont également séparés les uns des autres par des fissures de retrait.

Sols de TOHA ou mottes de TOHA

Après le compactage à Wc les échantillons de TOHA présentent également des vides d'entassement mais la structure initiale des agrégats n'est plus discernable (photos n° 17 à 20). Les pores sont essentiellement des fentes, des vésicules et des cavités, de forme très variable. Leur importance diminue avec la taille initiale des agrégats compactés. C'est ainsi qu'ils apparaissent moins nombreux sur la photo n° 20 (agrégats 2-1) que sur la photo 19 (agrégats 3,15-2). Sur la photo n° 18 (agrégats 5-3,15) les vides sont plus ou moins sphériques et localisés. Sur la photo 17 les vides d'entassement sont localisés à la partie supérieure gauche de la motte et sont en nombre réduit. Quelques cavités s'observent à la base. D'autre part les agrégats ont une forte concentration plasmique. On ne distingue pas de fissures de retrait.

b) Observation micromorphologique après compactage à Wm

Après le compactage à Wm, on observe encore dans les différentes mottes compactées (celle de SOULA et de TOHA) quelques vides d'entassement compacts très localisés. Dans les mottes de SOULA (photo n° 21 à 24) on distingue également des cavités, des fentes et des vésicules. Sur les photos 25, 26, 27 et 28 ces vides sont relativement peu nombreux par rapport à ceux des mottes de SOULA, mais ils sont larges (2 mm environ) et répartis de façon aléatoire (photo 25 et 26).

La distribution de ces pores ne semble plus avoir de relation avec la structure initiale des agrégats. Les mottes de TOHA présentent pratiquement les mêmes vides par la taille et l'importance.

La forme des pores est souvent allongée surtout dans les mottes de SOULA. Dans ces derniers, de nombreuses fissures fines, sans orientation préférentielle, s'observent un peu partout. Ces fissures résulteraient de l'action des contraintes hydriques intenses (alternances de dessication - humectation) FIES, 1978) après compactage.

c) Informations fournies par la micromorphologie

L'étude micromorphologique des diverses mottes compactées a permis de mettre en évidence :

- deux sortes de structures : l'une fragmentaire, résulte du compactage des agrégats à Wc, l'autre massive, à tendance lamellaire obtenue après le compactage à Wm. La formation de cette dernière structure a été signalée parmi les effets du piétinement sur un sol en place. Elle est beaucoup plus développée *in situ* que dans les mottes compactées (photos 10 et 21). Ceci serait dû au fait que, dans un moule, l'orientation de l'argile (HENIN, 1969) sous l'effet des contraintes ne s'effectue que partiellement ;

- l'individualisation partielle des agrégats initiaux après compactage à Wc. Cette individualisation dépend, d'une part, de la taille initiale des éléments structuraux compactés et, d'autre part, de leur composition granulométrique (SOULA, TOHA) ;

- la disparition totale de l'identité des agrégats initiaux après compactage à Wm et ceci quelles que soient leur structure et leur constitution granulométrique ;

- la persistance des pores intraagrégats après compactage aux deux taux d'humidité caractéristiques ;

- l'existence de quelques vides d'entassement après compactage à Wm. Ceci signifie que le compactage même le plus énergique n'entraine pas une disparition totale du volume poral interagrégats. GRIMALDI (1981) a tiré une conclusion légèrement différente bien qu'il ait observé dans la partie inférieure de la motte (compactée à Wm), quelques vides d'entassement de taille généralement comprise entre 200 et 500 µm ;

- l'apparition de fissures de retrait après compactage, aux deux teneurs en eau, d'un matériau riche en argile comme celui de SOULA. Cette apparition de fissures concorde avec le fait que les sols argileux réagissent beaucoup fortement aux contraintes hydriques que les sols sableux (HENIN, MONNIER et GRAS, 1969 ; FIES, 1978 ; CHAUVEL, 1976 ; PEDRO, CHAUVEL et MELFI, 1976).

En ce qui concerne les propriétés physiques des mottes compactées, on peut évoquer celles que GRIMALDI (1981) a définies et qui sont contenues dans sa conclusion ci-dessous :

"Au cours de la dessication, le retrait des agrégats (et donc la diminution de porosité des agrégats) est plus import dans les échantillons compactés, et d'autant plus que le compact a été réalisé à une teneur en eau plus élevée. Inversement, au cours des humectations, et quelle que soit l'intensité de la des cation préalable, ce sont les agrégats non compactés qui gonflen le moins. Il en résulte que les agrégats de la motte compactée à sont, tout au long des diverses histoires hydriques, moins poreu que ceux de la motte compactée à Wc, et encore moins poreux que agrégats non compactés".

Conclusion

Le compactage mécanique, quelle que soit la structure initiale des agrégats en présence provoque :

- d'une part, une forte diminution du volume poral à W sans le faire disparaître totalement ;

- et d'autre part une modification de la structure ini tiale qui devient, à Wm, massive à tendance lamellaire.

Il réduit la réserve en eau par la réduction du gonfle ment et par l'intensification du retrait à Wm.

QUATRIÈME PARTIE

4ème PARTIE

IV. RECHERCHE DE RELATION ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES STRUCTURALES ET LES TYPES DE STRUCTURES

1. Paramètres conditionnant le type de structure

La description des horizons a montré que nous avons, ici, à faire à deux grands types de structure : la structure fragmentaire grumeleuse et la structure massive à débit plus ou moins polyédrique. Le premier type s'observe dans les horizons supérieurs (A_{11} et A_{12}) des sols de SOULA. Le second se développe sur la totalité du profil de TOHA et au-delà de 20 centimètres de profondeur de celui de SOULA. L'existence de l'un ou de l'autre, sous le même climat, semble liée à certaines conditions que nous allons essayer de déterminer.

Il semble, en effet, comme pour la granulation ou l'agrégation (TRI, 1968) qu'une structure fragmentaire grumeleuse ne se développe que lorsque certaines conditions, telles que le taux d'argile, le taux de matière organique, la densité de racines, la teneur en fer et en cations bivalents, sont remplies.

Rappelons que la fraction argileuse assure l'agglomération des particules primaires ou secondaires de sols pour donner naissance à des agrégats (ARCA et WEED, 1966 ; BLACKMORE, 1973). Sa faible proportion dans un sol se traduit soit par une absence de cohésion entre les particules élémentaires constituant le matériau (structure particulaire) (CHAUVEL et CHARREAU, 1972 ; FAUCK, 1972), soit par une instabilité des éléments structuraux (KHEYRABI et MONNIER, 1968 ; COMBEAU, 1960) qui se manifeste à la surface du sol par une dégradation rapide aboutissant à l'érosion ou aux phénomènes de battance (TOOGOD, 1978 ; VALENTIN, 1981). Par ailleurs, BREISCH et *al.*, (1975) ont montré le rôle d'enrobage protecteur des feuillets argileux par des gels microbiens et des exsudats racinaires qui renferment des polysaccharides.

Mais l'argile n'est pas le seul ciment susceptible d'agglomérer les particules élémentaires du sol. JACQUIN (1978), MULLER (1974) MONNIER (1965) ont mis en évidence le rôle de la matière or-

ganique dans l'agrégation. Elle forme avec l'argile des complexes argilo-humiques stables (MONNIER, 1965). Le rôle de ces deux constituants dans la formation d'une structure est renforcée par l'action de la microfaune, notamment les lombrics. Cet effet de la microfaune se "traduit par une action de division et de mélange de la terre et par une meilleure association mécanique de la matière organique et des autres éléments du sol" (JACQUIN, 1978). Et ce même auteur fait remarquer que la phase agrégative est liée essentiellement à l'activité des microorganismes qui assurent une cimentation initiale des particules minérales.

Les racines jouent également un rôle important dans la formation d'une structure fragmentaire grumeleuse. Elles agissent par "leur effet de fissuration ou formation d'un filet ou enrobage avec effet granulaire" (JACQUIN, 1978). L'action des racines peut aussi se traduire, dans un sol argileux, par "division ou affinement de la structure, s'il s'agit d'un sol compact" ou par "agrégation des particules isolées en unités plus grosses, si le sol au départ est monoparticulaire" (TRI, 1968 ; MONNIER et TRI, 1971 ; BARLEY et GREACEN 1967).

Plusieurs auteurs, en particulier ARCA et WEED (1966), HARRIS et *al.*, (1963) ; MONNIER (1965) ; TOUTAIN (1974), ont étudié le rôle du fer sur la structure du sol. Cet élément renforce l'action de la matière organique (BEUTELSPACHER, 1955) et peut, dans les sols pauvres en bases, assurer le maintien ou la formation "d'une bonne structure" (FILIPOUICH, 1956).

La présence de cations bivalents en général et celle d'ions calcium en particulier, constitue dans les sols pourvus en argile, en matière organique (libre et liée) et en fer, un élément positif pour la formation des grumeaux (DUCHAUFOUR, 1970 ; DUCHAUFOUR et JACQUIN, 1974 ; JACQUIN, 1978).

L'action conjuguée de ces divers constituants (et microorganismes) est essentielle pour le développement de la structure grumeleuse. Ceci explique la structure des horizons A_{11} et A_{12} des sols de SOULA qui renferment, comme nous l'avons noté antérieurement, ces éléments constitutifs dans des proportions relativement élevées. La structure massive à partir de 20 centimètres de profondeur résulterait du ralentissement des activités biologiques consé-

cutif à la baisse du taux de matière organique et de l'abondance des racines (BACHELIER, 1973). Celle des horizons supérieurs de TOHA peut être rapprochée des faibles teneurs en matière organique et en argile car l'action des racines sur l'agrégation ne se manifeste qu'en présence de ces constituants (TRI, 1968).

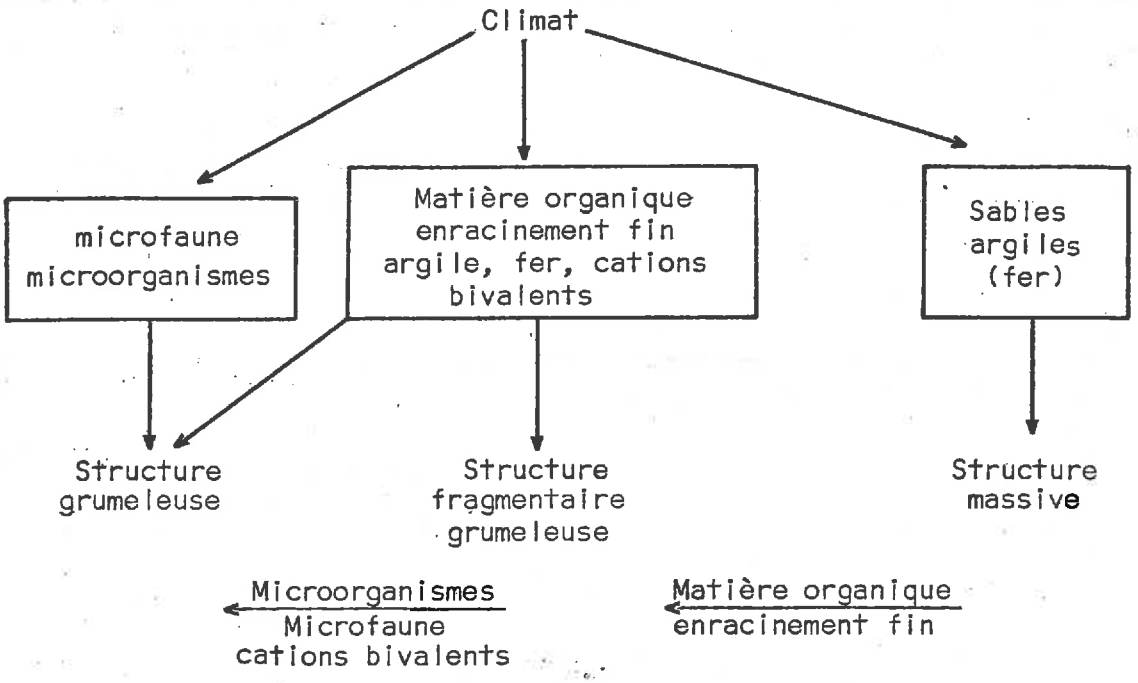
Cette action positive de la matière organique, de l'enracinement et des microorganismes sur la structure du sol pourrait expliquer également le développement particulièrement fréquent de la structure fragmentaire grumeleuse dans les horizons superficiels humifères (A_{11}) à texture équilibrée. C'est, en effet, dans les 10 premiers centimètres du sol que l'enracinement fin est le plus abondant (CHARREAU, 1970 ; TRI, 1968 ; De BLIC, 1975), les taux de matière organique sont élevés et l'activité biologique est intense (MOUREAUX, 1973 ; DOMMERGUES et MANGENOT, 1970 ; BACHELIER, 1963).

A cette action des constituants du sol s'ajoutent les interactions du climat. Les alternances d'humectation et de dessication influent sur la formation ou le développement de la structure soit directement par les phénomènes de retrait et de gonflement (HENIN et *al.*, 1969 ; TESSIER et PEDRO, 1970), soit indirectement par les variations de l'activité biologique (ACTON, PAUL et RENNIE, 1963). Dans un sol à texture équilibrée, mais pauvre en matière organique et en racines fines, l'effet du climat se traduit par la formation d'une structure fragmentaire polyédrique ou d'une structure massive (DUCHAUFOUR, 1970).

Le développement d'un type de structure donné nécessite des conditions plus ou moins spécifiques mais dans lesquelles le climat intervient dans tous les cas. La structure fragmentaire grumeleuse, qui est, en fait, une structure construite (DUCHAUFOUR, 1970) ne se développe que lorsque les conditions précitées sont remplies. La structure massive, quant à elle, se forme dès que ces conditions se dégradent (De LEENHEER, 1958 ; MULLER, 1974).

En conclusion, les indications qui précèdent peuvent être résumées dans le schéma suivant.

Schéma de processus de formation des types de structure



2. Type de structure et taux cumulé d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm (T.C.E.S. < 10)

Le taux cumulé d'éléments structuraux de taille inférieur à 10 mm (T.C.E.S. < 10) diminue, comme nous l'avons déjà montré, de la surface vers la profondeur. Cette variation verticale contribue traduire la modification de la structure d'un horizon à l'autre du profil. En effet, quand on passe des horizons superficiels aux horizons sous-jacents, la structure varie généralement (NALOVIC, 1969 ; MARTIN, 1969 ; SEGALEN, 1969). Et quand on compare deux types de so entre eux, comme ceux de SOULA et de TOHA, la spécificité structura telle que la traduit le T.C.E.S. < 10 mm apparait encore plus nettement. Le tableau 48 (a et b) ci-dessous montre la relation qui exis entre le T.C.E.S. < 10 et les types de structure.

Tableau 48 : T.C.E.S. < 10 en fonction des types de structure

a) SOULA

Horizons	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 80
Type de structure	Fragmentaire grumeleuse	Fragmentaire massive	Massive - fragmentaire	Massive meuble
T.C.E.S. < 10	74 à 93 28 à 33 *	69 à 80 18 à 22 *	64 à 74 6 à 14 *	63 à 76

b) TOHA

Horizons	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 80
Type de structure	Massive - fragmentaire	Massive meuble	Massive cohésive	Massive - fragmentaire
T.C.E.S. < 10	52 à 78 9 à 11*	48 à 69 4 à 6*	34 à 56 2 à 4*	36 à 67

* Valeurs de T.C.E.S. < 10 obtenues par la méthode TRI.

Dans les horizons à structure fragmentaire grumeleuse, le T.C.E.S. < 10 oscille entre 74 et 93 %. Il décroît plus ou moins progressivement en profondeur au fur et à mesure que la structure devient massive. Dans les sols de TOHA dont la structure massive-fragmentaire se révèle typique de nombreux sols ferrallitiques, le T.C.E.S. < 10 le plus élevé varie entre 52 et 78 %. Les valeurs de ce paramètre, pour des horizons caractérisés par le même type de structure, sont assez distinctes (64 à 74 pour SOULA et 36 à 67 pour TOHA), mais concordent avec ce que nous connaissons de la nature des matériaux dans l'un et l'autre de ces deux types de sols. En effet, l'étalement des valeurs de T.C.E.S. < 10 dans les horizons de TOHA est à rapprocher, d'une part, de la grande variation de la stabilité des agrégats, et d'autre part, de l'hétérogénéité de leur structure. Elles peuvent également être rapprochées du taux d'éléments grossiers dans l'horizon B de TOHA.

L'ensemble des données qui viennent d'être mentionnées confirme donc que la variation du T.C.E.S. < 10 d'un horizon et d'un profil à l'autre, est en liaison étroite avec celle du type de structure observé sur le terrain. Les sols à structure fragmentaire gru-

meleuse contiennent plus d'éléments structuraux de taille inférieur à 10 mm que ceux à structure massive ou continue. Ces résultats cor cordent avec ceux de TRI (1968), MONNIER et TRI (1971) qui ont étuc la distribution des agrégats dans un sol sous prairie. Les valeurs T.C.E.S. < 10 correspondent, ainsi aux observations visuelles et tr duisent, par ailleurs, l'action de la matière organique "libre et liée", de l'argile et du fer sur la structure du sol. Et nous retie drons que les horizons les mieux pourvus en ces éléments renferment le plus d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm.

On peut, à partir de ce qui précède, caractériser chaque type de structure par un intervalle de variation des T.C.E.S. < 10 comme l'indique le tableau ci-dessous.

Tableau 49 : Distribution des T.C.E.S. < 10 en fonction des types de structure décrits dans deux types de sols du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Horizons	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 80
Type de structure	Fragmentaire grumeleuse	Fragmentaire massive	Massive - fragmentaire	Massive cohésive
T.C.E.S. < 10	80 < 28 > *	69 à 80 18 à 28 *	56 à 69 4 à 18 *	56 > * 4 >

* Valeurs obtenues par la méthode TRI

Pour toute valeur de T.C.E.S. < 10 supérieure à 80 %, on une structure fragmentaire grumeleuse, alors que pour toute celle férieure à 56 % on a une structure massive. Entre ces deux limites seuils de discrimination se situent les structures intergrades des types fragmentaire et massif.

Les résultats de la méthode de séparation granulométriqu des agrégats nous permettent ainsi de distinguer, comme MONNIER et TRI (1971), deux états structuraux : massif et fragmentaire observ sur le terrain. Ces résultats s'accordent avec ceux que l'on obtie par la méthode TRI (1968).

3. Type de structure et les différentes formes de vides

Dans tout sol, les agrégats sont délimités par des pores ou vides (JACQUIN, 1978 ; TRI 1968 ; BONNEAU et LEVY, 1979) qui se

regroupent en plusieurs catégories dont les plus fréquentes, définies par FEDOROFF (1979), sont les suivantes.

- Les fentes sont des vides très longs par rapport à l'ouverture. Elles peuvent être rectilignes, incurvées, sinueuses, en baïonnette.

- Les cavités sont des vides aussi longs que larges ; toutes les formes de détail étant possibles.

- Les vésicules sont des vides de forme circulaire, sans communication d'autres vides.

- Les vides d'entassement sont des vides entre des grains, des agrégats, des débris végétaux. Ils se subdivisent en vides d'entassement libres (V.E.L.) (les individus sont posés les uns sur les autres) et en vides d'entassement compacts (V.E.C.) (les agrégats sont soudés les uns aux autres).

La présence d'agrégats dans un sol semble donc dépendre grandement de la nature et de l'importance des vides. Ceci laisse supposer, en premier lieu, que les horizons de SOULA contiennent plus de pores que ceux de TOHA, et en second lieu, que le volume de ces vides diminue au fur et à mesure que l'on descend dans le profil. Une étude micromorphologique des horizons des deux types de sols, portant essentiellement sur la description des pores ou vides, au microscope optique, donne les indications rassemblées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 50 : Répartition des types de vides dans les horizons des sols de SOULA et de ceux de TOHA.

rizons	% Total de vides	V.E. (%) L	V.E. (%) C	Cavités %	Fentes (%)	Vésicules (%)
- 10	35,5 5,*	25,7 -	6,4 -	3,0 0,9*	0,3 1,1*	- 3,0*
- 20	26,7 4,6*	13,7 -	11,4 -	0,7 0,3*	0,9 0,7*	- 3,6*
- 40	23,7 3,1*	8,4 -	12,3 -	2,6 0,3*	0,2 0,6*	- 2,2*
- 80	12,0 2,8*	2,2 -	2,8 -	2,5 0,2*	2,8 0,9*	1,6 1,7*

* Valeurs pour les sols de TOHA.

Ce tableau permet de noter que l'horizon humifère (A_{11}) de SOULA présente 35,5 % de vides. Ce pourcentage s'abaisse progressivement en profondeur pour atteindre 12 % en B (40-80 cm). Les vides d'entassement libres (V.E.L.) décroissent également de 0 à 80 cm.

Leur volume passe de 25,7 en A_{11} à 2,2 % en B. Le pourcentage de vic d'entassement compacts (V.E.C.), quant à lui, augmente du premier au troisième horizon (de 6,4 à 12,3 %) avant de chuter à 2,8 % dans l'horizon sous-jacent. L'ensemble des cavités et des fentes représer moins de 4 % dans chacun des trois niveaux supérieurs de SOULA. Dans l'horizon B le volume de ces deux types de vides dépasse 5 % et s'ajoute à celui des vésicules (1,6 %) observées uniquement à ce niveau

Dans les sols de TOHA, le volume de l'ensemble des vides, beaucoup plus faible que celui des sols de SOULA, décroit également de A_{11} à B en prenant des valeurs successives 5 ; 4,6 ; 3,1 et 2,8 % Les proportions restreintes peuvent s'expliquer par l'absence de vic d'entassement et par la rareté de cavités. Le pourcentage de ces der nières décroît le long du profil en passant de 0,9 en A_{11} à 0,2 % er B. En fait, dans chacun des horizons de TOHA, les vésicules représer tent avec les fentes l'essentiel des vides, les premières l'emportar de très loin sur les secondes.

Ces observations font ressortir que les horizons à structi fragmentaire grumeleuse (photo n° 1) renferment le plus de vides et principalement des vides d'entassement libres. Ces derniers constitu raient ainsi une manifestation de l'existence des agrégats à l'état naturel. Ceci concorde avec le fait que dans les sols de SOULA, le T.C.E.S. < 10 atteint sa valeur maximum dans l'horizon A_{11}. Plus gé ralement, le pourcentage de vides d'entassement libres et le T.C.E.S. décroissent parallèlement lorsque dans un profil on passe à des hor zons qui tendent vers une structure massive. Les vides d'entassemen compacts, les cavités, les fentes et les vésicules caractériseraien donc les horizons à structure massive-fragmentaire ou massive, très peu pourvus en éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm.

A partir de ce qui précède, on peut effectuer un rapproch ment entre les types de structure, la nature des vides et le T.C.E.S. DUCHAUFOUR (1970) et les auteurs du Glossaire de Pédologie (1969) o d'ailleurs procédé à ce rapprochement. En ce qui concerne les sols étudiés dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, on peut établir les relations transcrites dans le tableau suivant.

Tableau 51 : Relation entre le type de structure, la nature des vides et le T.C.E.S. < 10.

Type de structure	Fragmentaire grumeleuse	Massive
Nature des vides	V.E.L ; V.E.C ; C et F	V, F, C et V.E.C.
T.C.E.S. < 10	> 80	< 56

En conclusion, on peut retenir les points suivants.

- Dans un horizon (sol) à structure fragmentaire grumeleuse, on observe un volume important de vides d'entassement libres auxquels sont associés des vides d'entassement compacts, des cavités et des fentes.

- Dans un horizon à structure massive ou continue, les vides d'entassement sont rares ou absents. Le plasma forme un ensemble continu parcouru par des vésicules, des fentes et des cavités très discrètes.

- Le type de structure traduit la nature des vides et la proportion approximative d'agrégats ou d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm.

4. Les facteurs de variation du T.C.E.S. < 10

Nous avons déjà montré plus haut que les taux des éléments structuraux des différentes classes dimensionnelles sont liés aux teneurs en eau du sol. Ceci signifie que le T.C.E.S. < 10 qui est corrélé négativement au taux des agglomérats (taille supérieure à 10 mm) dépend également des teneurs en eau des horizons. Les valeurs du coefficient de corrélation de Spearman regroupées dans le tableau ci-dessous, montrent d'ailleurs, pour chacun des horizons étudiés, que le T.C.E.S. < 10 entretient avec l'humidité une liaison positive, hautement significative dans la presque totalité des cas.

Tableau 52 : Relation entre le T.C.E.S. < 10 et l'humidité dans les divers horizons étudiés

Horizons	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 80	
SOULA	+ 0,399	+ 0,562	+ 0,604	+ 0,627	N = 18 (P = 0,05 pour rs = 0,389)
TOHA	+ 0,888	+ 0,831	+ 0,670	+ 0,685	

La relation apparait la plus étroite dans les horizons à structure massive pour des raisons déjà évoquées (cf. III. 3.5) et qui concernent le type de structure d'une part et la composition granulométrique d'autre part.

Il est, également, à noter que le taux d'éléments structuraux est lié au pourcentage d'éléments grossiers par la relation $E_s = \frac{Z - Y}{X} \times 100$. Cette relation signifie que lorsque le pourcentage des éléments grossiers (2 mm) d'une classe d'agrégats croît, celui des éléments structuraux réels de cette classe diminue et, par voie de conséquence, le T.C.E.S. < 10 décroît également. Pour illustrer ce fait le tableau 53 rassemble les différentes valeurs de E_s déterminées dans l'horizon B gravillonnaire de TOHA au cours des diverses périodes d'étude.

Tableau 53 : Distribution des taux d'éléments structuraux réels dans l'horizon B gravillonnaire de TOHA.

Classes / Périodes	5 - 10	3,15 - 5	2 - 3,15	7 - 2	T.C.E.S. < 10
Avril 79	19,1 20,0 *	10,7 11,5 *	9,0 9,5 *	7,3 8,1 *	55,0 58,8 *
Juillet 79	24,8 26,2 *	18,5 19,4 *	20,6 21,4 *	2,7 3,5 *	66,8 70,4 *
Janvier 80	23,2 24,5 *	11,3 11,8 *	9,2 9,6 *	6,8 8,9 *	58,4 61,8 *
Avril 80	19,30 20,4 *	7,9 8,3 *	7,4 7,7 *	5,7 7,5 *	48,2 50,9 *
Février 81	15,5 16,4 *	6,9 7,3 *	6,6 6,8 *	3,5 4,6 *	36,7 39,1 *
Juillet 81	25,8 27,4 *	25,1 26,2 *	14,9 15,5 *	1,6 2,2 *	67,4 71,3 *

* Ensemble des éléments grossiers et des agrégats de toutes les classes.

Les données de ce tableau montrent que l'écart entre le T.C.E.S. < 10 et l'ensemble (taux d'éléments grossiers - T.C.E.S. < 1 varie de 2,4 à 3,9. L'influence des éléments grossiers qui représentent environ 30 % en poids de l'horizon B est donc peu marquée. Elle apparaîtra, par conséquent, négligeable pour des taux de gravillons et/ou de quartz nettement inférieurs à 30 %.

Le type de structure constitue également un facteur de variation du T.C.E.S. < 10. Nous avons, en effet, montré, comme TRI (1968), MONNIER et TRI (1971), que le T.C.E.S. < 10 est plus élevé dans les horizons à structure fragmentaire grumeleuse que dans ceux dont la structure est continue ou massive (fig. 62). L'intervention de ce dernier facteur implique l'indication d'une liaison entre le

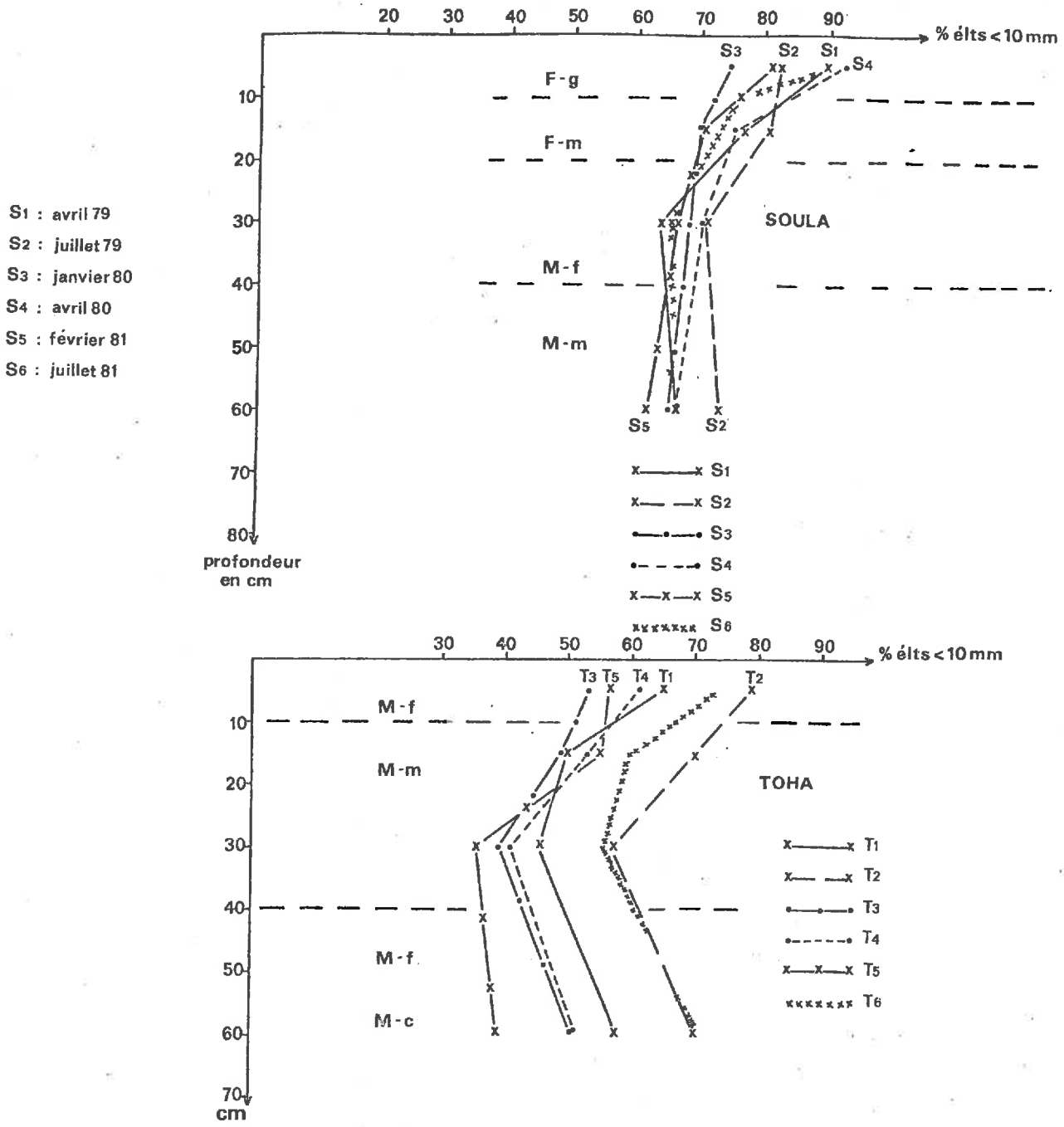


FIG.62 : DISTRIBUTION VERTICALE DE TCES <10 DANS LES SOLS DE SOULA ET DE CEUX DE TOHA

T.C.E.S. < 10, d'unepart, et les taux de matière organique, d'argile et de fer, d'autre part (MARTEL et DESCHENES, 1976 ; HARTMANN et

BOODT de M., 1974). L'influence de ces paramètres a, d'ailleurs, été déjà plus ou moins relevée soit au niveau du profil (T.C.E.S. < 10 baisse le long du profil au fur et à mesure que le taux de matière organique libre et liée diminue), soit dans la comparaison réciproqu des deux types de sols (les sols de TOHA relativement pauvres en matière organique, en argile et en fer présentent des T.C.E.S. < 10 pl faibles que ceux des sols de SOULA).

Un autre facteur à prendre en compte dans le développement de la structure du sol, est la présence de racines. De nombreux travaux ont porté sur le rôle que celles-ci exercent dans la granulati (HENIN et *al.*, 1960 ; PHILIPS et DON KIRKHAM, 1962 ; NICOU et TRIROU 1968 ; TRI, 1968 ; TAYLOR et RATTLIFF 1969 ; CHARREAU 1970 ; TRI et MONNIER, 1971 ; JACQUIN, 1978, etc.). MOREL et QUANTIN (1964) en particulier, ont montré qu'au cours de l'évolution de la jachère compos de graminées, dans les pays tropicaux, "se produit une évolution du profil cultural ; le sol massif au départ reforme des agrégats de ty polyédrique d'abord, puis nuciforme et enfin grumeleux". Il est donc intéressant pour ce qui nous concerne, de tenter d'appréhender l'influence des racines sur le T.C.E.S. < 10. Dans ce but, le tableau 54 regroupe les valeurs du coefficient de corrélation de rangs de Spearman, traduisant les liaisons entre ce paramètre structural et la densité de racines, dans les horizons A_{11} et A_{12} de SOULA et de TOHA,.

Tableau 54 : Relation entre le T.C.E.S. < 10 et la densité de racines des horizons humifères (A_{11} et A_{12}).

Horizons	0 - 10	10 - 20	
Densité des racines RT	r.s. = 0,224 r.s. = 0,310	- 0,582 * - 0,491 *	SOULA TOHA
Densité des racines R_C	r.s. = - 0,122 - 0,339	- 0,500 * - 0,483 *	SOULA TOHA
Densité des racines R_a	- 0,515 * - 0,054	- 0,063 - 0,064	SOULA TOHA

N = 18 (P = 0,05 pour r.s. = 0389)

R_T = ensemble des racines

R_c = racines conductrices (Ø > 1 mm)

R_a = racines assimilatrices (Ø < 1 mm)

* : Significatif

L'ensemble de ces données nous permet denoter les points suivants :

- Dans les horizons humifères A_{11}, le T.C.E.S. < 10 n'est influencé d'une façon significative, ni par le taux des racines totales (R_T) ni par celui des conductrices (R_c).

- Par contre, dans les horizons A_{12}, une liaison négative significative, s'établit entre le taux de racines conductrices (R_c) et le T.C.E.S. < 10 d'une part, et entre ce dernier et le taux de racines totales (R_T), d'autre part (r.s. < -0,389).

- L'influence de la densité des racines assimilatrices (diamètre inférieur à 1 mm) se limite au T.C.E.S. < 10 de l'horizon A_{11} de SOULA (r.s. < -0,389).

On constate donc que l'action des racines en général ou des conductrices (R_c diamètre supérieur à 1 mm) et des assimilatrices en particulier, ne présente pas de caractère systématique sur la granulation. Ceci signifierait que les racines agissent sur la granulation avec le concours d'autres facteurs et que leur action ne doit pas être isolée. CHARREAU (1970) a, d'ailleurs, fait allusion à cette action conjuguée des facteurs de la structuration quand il note que "l'efficacité de l'action racinaire dépendrait non seulement de la nature de la plante, mais aussi et surtout de la granulométrie du sol et de son état structural initial". MONNIER et TRI (1971) font également remarquer que "la densité d'enracinement ne détermine pas l'apparition du phénomène de granulation si certaines conditions ne sont pas remplies. Les résultats de notre étude s'accordent donc avec ceux de nombreux travaux.

Dans les sols étudiés, les conditions ne seraient donc pas suffisamment remplies pour que l'effet bénéfique des racines, tant conductrices qu'assimilatrices, se manifestât de façon positive. De BLIC et MOREAU (1977) ont cependant relevé, dans les sols du Centre de Côte d'Ivoire, le rôle positif de l'enracinement fin sur la structure.

Le T.C.E.S. < 10 des différents horizons et surtout celui des horizons superficiels peuvent, évidemment, être modifiés par des activités humaines, essentiellement par des labours et des pulvérisages (HENIN, GRAS et MONNIER, 1969 ; De BLIC, 1975). Le piétinement de l'homme semble lui aussi, avoir un effet sur l'évolution des

T.C.E.S. < 10. Son action sur les valeurs prises par ce paramètre a donc fait l'objet d'une étude pour les horizons de surface (A_{11}) de sols de SOULA et de ceux de TOHA, au cours des différentes périodes Les résultats sont mentionnés dans le tableau 55.

Tableau 55 : T.C.E.S. < 10 avant et après piétinement au cours des différentes périodes d'étude.

Périodes	T.C.E.S. < 10				HUMIDITE			
	Avant piétinement		Après piétinement		Avant piétinement		Après piétinemen	
	SOULA	TOHA	SOULA	TOHA	SOULA	TOHA	SOULA	TOHA
Avril 79	89,7	64,8	92,0	52,2	20,32	13,02	19,24	14,6
Janvier 80	74,3	53,0	80,2	68,6	13,02	6,08	14,34	6,5
Avril 80	92,4	61,1	85,0	53,9	32,28	12,48	33,05	14,9
Février 81	81,7	59,3	84,3	68,8	13,95	7,00	13,72	6,7
Juillet 81	89,2	73,7	82,0	69,0	32,95	21,81	32,83	22,1

L'examen de ce tableau montre qu'après piétinement,

- le T.C.E.S. < 10 des horizons superficiels (A_{11}) de SOULA augmente plus ou moins en avril 79, janvier 80 et février 81 ;

- il baisse par contre en avril 80 et juillet 81,

- dans les horizons de TOHA, le T.C.E.S. < 10 croît en janvier et février 81 mais diminue en avril 79, avril 80 et juillet 81.

Le T.C.E.S. < 10 des horizons de surface varie donc sous l'effet du piétinement de l'homme. Ses variations, pour un même piétinement, sont liées aux teneurs en eau du sol au moment de l'expérimentation. Nous avons, en effet, montré plus haut que cette contrai provoque un écrasement ou une réduction de la taille des agrégats lorsque l'humidité du sol est inférieure à celle qui correspond à pF 3,0. Elle se traduit, par contre, par une prise en masse ou une glomération des agrégats quand l'humidité du sol dépasse celle du pF 3,0, humidité qui est respectivement de 29,5 et de 12,0 % pour l horizons A_{11} de SOULA et ceux de TOHA. Ces seuils d'humidité jalonn donc les deux types de modifications structurales qui se manifester l'un (écrasement) par une augmentation et l'autre (agglomération) p une diminution du T.C.E.S. < 10.

En conclusion, on peut noter que le T.C.E.S. < 10 apparaît dépendre :

- directement, des teneurs en eau du sol, des taux d'éléments grossiers, du type de structure et des activités humaines,
- indirectement, de l'action conjuguée de la matière organique liée, de la densité de racines, de l'argile, du fer et des cations bivalents.

5. Densité apparente et type de structure

La densité apparente est l'un des paramètres le plus utilisé dans les études concernant la structure du sol. Elle permet de calculer la porosité et d'acquérir ainsi une information sur la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines (MAERTENS, 1964) et la réserve en eau du sol (HENIN, MONNIER et GRAS, 1969 ; BOUMA et *al.*, 1977).

Sa valeur dépend de nombreux facteurs, en particulier, le taux de matière organique (MONNIER, 1966) et la composition granulométrique (BRYSSINE, 1960 ; CHAUVEL, 1976). Elle est également liée au type de structure qui définit généralement l'état de cohésion de tel ou tel horizon (HENIN et *al.*, 1969). DUCHAUFOUR (1970) signale, en effet, l'existence d'une relation directe entre la porosité et le type de structure en notant que "les sols à structure grumeleuse stable offrent toujours uneporosité totale élevée : 70 % dans un chernozem à structure en grumeaux, 60 % dans l'horizon A_1 d'un sol brun. La porosité est beaucoup plus faible, souvent de l'ordre de 40 % au moins, dans les sols à structure dégradée (particulaire ou fondue)".

Les sols à structure fragmentaire grumeleuse, riches en vides d'entassement libres, sont plus meubles que ceux dont la structure est massive et dans lesquels les agrégats sont soudés les uns aux autres. La pénétration des racines dans ces derniers est souvent difficile (HENIN et *al.*, 1969 ; CHARREAU, 1970). Cependant l'accroissement de leur porosité par un travail du sol favorise l'enracinement (NICOU, 1964-65). Il semble donc exister une relation étroite entre la porosité et la cohésion qui sont toutes les deux liées au type de structure. En effet, les sols qui présentent une cohésion marquée ont presque toujours une structure massive et une faible porosité (MARTIN, 1935 ; HUMBEL, 1975) et leur mise en valeur nécessite des travaux de labour et de pulvérisage (FAURE J., 1953).

En ce qui concerne les deux types de sols étudiés ici, c relève également une certaine relation entre la porosité et les st tures décrites. La porosité des horizons humifères (A_{11} et A_{12}) de SOULA qui possèdent une structure fragmentaire grumeleuse est larg ment supérieure à celle des horizons superficiels (A_{11}) de TOHA qu sont massifs-fragmentaires. Elle est en moyenne de 63 % dans les p miers et de 51 % dans les derniers.

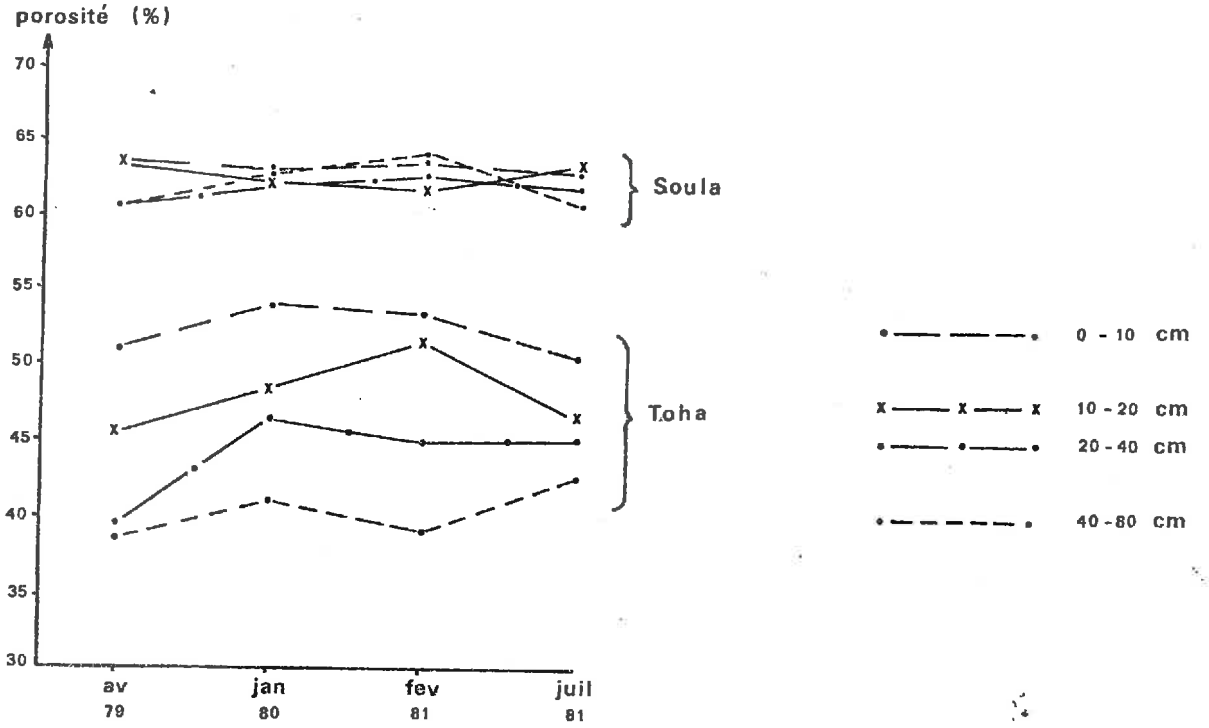


FIG 63 **Variation verticale et temporelle de la porosité totale dans les sols de Soula et de ceux de Toha**

Verticalement, on remarque que la porosité baisse (tableau 56 et figure 63) lorsque la structure devient massive et la cohésion plus marquée.

Tableau 56 : Variation de la porosité dans les profils de SOULA et de TOHA.

Périodes / Horizons	Avril 79.	Décembre 80	Février 81	Juillet 81
0 - 10	63,3 / 50,9 *	63,0 / 54,1 *	63,4 / 53,8 *	62,8 / 50,6 *
10 - 20	63,3 / 45,8 *	62,2 / 48,7 *	61,8 / 51,7 *	63,3 / 46,5 *
20 - 40	60,6 / 39,8 *	62,3 / 46,7 *	62,6 / 45,4 *	61,8 / 45,2 *
40 - 80	60,6 / 38,4 *	62,9 / 41,1 *	64,0 / 39,2 *	60,8 / 42,6 *

* TOHA

Cette diminution en profondeur est moins sensible dans les sols de SOULA que dans ceux de TOHA. Ceci peut s'expliquer par la différence de structure peu marquée entre 0 et 80 cm de profondeur dans les profils de SOULA, alors que le changement est rapide (0-8 cm) dans les sols de TOHA.

Le type de structure apparaît ainsi pouvoir fournir une indication non négligeable de la porosité du sol et celle-ci peut donc être rapprochée de la valeur du T.C.E.S. < 10. En effet, le type de structure, comme nous l'avons montré, peut être caractérisé par le T.C.E.S. < 10 et vice-versa. Or celui-ci dépend du volume, de la forme et de la nature des pores. Par exemple un sol qui renferme beaucoup de vides d'entassement libres, contient également de nombreux agrégats de taille réduite. La porosité et le T.C.E.S. < 10, dans ce cas précis, semblent aller de pair. Si l'on compare les deux types de sols on retrouve, d'ailleurs, cette même indication : les sols de SOULA, très poreux, contiennent beaucoup plus d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm que ceux de TOHA peu poreux (fig. 64). Il faut cependant souligner que pour un même type de sol, la variation du T.C.E.S. < 10 n'entretient pas de liaison systématique avec l'évolution temporelle de la porosité totale.

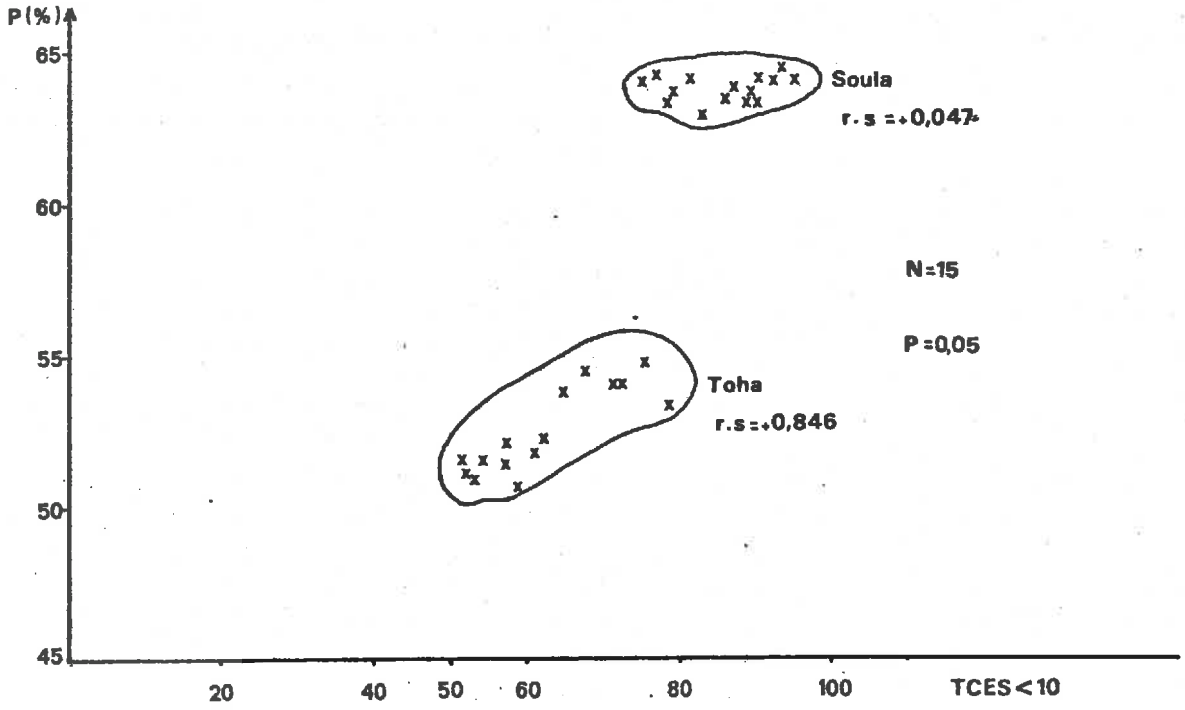


FIG.64 : VARIATION DE TCES<10 EN FONCTION DE LA POROSITE TOTALE

6. Conclusion

L'étude des relations entre les caractéristiques structurales et les types de structure, nous permet, en définitive, de souligner les points suivants :

- Le type de structure et diverses autres caractéristiques physiques du sol sont plus ou moins interdépendants. Les sols à structure fragmentaire grumeleuse sont meubles, possèdent une meilleure porosité et contiennent de nombreux éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm. Les sols compacts et massifs renferment, par contre, très peu d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm. Ils se caractérisent, en outre, par rapport aux précédents, par une porosité sensiblement faible et une cohésion fréquemment marquée.

- La porosité et la cohésion sont liées l'une à l'autre et conditionnent ensemble le T.C.E.S. < 10. On ne peut pas, en effet, agir sur la cohésion d'un sol sans modifier la porosité ni le T.C.E.S. < 10. De même, réduire la taille des éléments structuraux constitutifs et accroître leur quantité revient à améliorer la cohésion et la porosité.

L'ensemble des indications qui viennent d'être mentionnées nous amènent à souligner la nécessité d'adapter les travaux de préparation du sol aux caractères physiques de celui-ci et, en tout premier lieu, à sa porosité totale. En effet, dans un sol où la porosité est naturellement élevée (supérieure à 60 % par exemple) le labour, le pulvérisage et le hersage en provoquant l'émiettement des éléments structuraux et la création d'un excès de macropores, posent deux problèmes. Le premier, qui découle de l'infiltration très rapide des eaux de pluie (MONG-GINE, 1979), est la rétention d'eau. Le second est le contact sol-plante devenu insuffisant par suite d'un foisonnement excessif du matériau. Les particules terreuses ne peuvent pas resserrer de manière efficace la graine ou les racines de la plante. La germination ou la nutrition minérale est ainsi compromise (HENIN et *al.*, 1960).

Il ne faut, en effet, pas oublier que les travaux du sol sont réalisés dans le but, non seulement d'améliorer les caractéristiques physiques, mais aussi et surtout d'accroître la productivité.

CINQUIÈME PARTIE

5ème PARTIE

V. INCIDENCES AGRONOMIQUES DE L'ÉTUDE

L'étude sur la caractérisation structurale a été entreprise selon deux approches : sur le terrain et en laboratoire. Chacune d'elles a permis d'aboutir à des résultats qui ont été exploités et commentés dans les précédents chapitres. Mais quel est l'impact de ces résultats dans l'appréciation des potentialités agronomiques des sols en général et de ceux étudiés dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, en particulier.

Nous tenterons dans ce qui suit, de répondre à cette question en insistant sur les observations morphologiques et sur les résultats des méthodes peu habituelles utilisées ici.

5.1. Les observations morphologiques

La description des sols permet à l'agronome ou à "l'aménagiste" de connaître les caractéristiques morphologiques nécessaires pour définir les méthodes ou systèmes culturaux correspondant à une utilisation rationnelle du potentiel sol. Pour ce qui concerne les sols étudiés dans le Nord-Ouest, elle a permis de mettre en évidence la différence entre leurs couleurs, leur texture, leurs structures, leur cohésion, l'enracinement de leur végétation et le type de porosité observable à l'oeil nu.

Du point de vue de la structure, par exemple, les sols de SOULA, fragmentaires grumeleux en surface et très poreux, nécessiteront moins de travaux de labours que ceux de TOHA qui sont massifs et relativement peu poreux. La texture de ces derniers, sableuse en surface, recommande d'une part, un labour profond afin de remonter des éléments fins pour essayer d'équilibrer la composition granulométrique, et d'autre part, que l'on prenne des précautions antiérosives pour leur mise en valeur (ROOSE, 1973 ; VALENTIN, 1981). La couleur des sols de SOULA, de chroma 2,5 YR dès la surface, laisse supposer la présence de fer en quantité assez suffisante (MULLER, 1974 ; CHAUVEL, PEDRO et TESSIER, 1976), et traduit, par conséquent, une meilleure stabilité de ces sols (JACQUIN, 1978 ; DUCHAUFOUR, 1970) par rapport à ceux de TOHA de chroma 10 YR.

L'estimation qualitative de l'enracinement est très util pour l'appréciation de certaines propriétés physiques du sol. L'ab dance des racines constitue, en effet, un indice sérieux de l'ameu blissement du sol. BARLEY et GREACEN (1967) soulignent que "la coh sion peut jouer le rôle de facteur limitant vis-à-vis du développe ment radiculaire dans des sols extrêmement divers". Ceci a pu être appréhendé un peu pour les deux types de sols. Les horizons A_{11} et A_{12} de SOULA, très meubles (fragmentaires grumeleux) renferment de "nombreuses racines fines" sans orientation préférentielle, alors ceux de TOHA, massifs et à tendance cohésive, contiennent des "rac nes" (GLOSSAIRE de pédologie, 1967) subhorizontales. A partir de c indications fournies par l'enracinement on peut déduire que les so de SOULA sont facilement pénétrés par les racines et qu'ils ne né- cessitent pas, par exemple, toutes les étapes des travaux de prépa tion du sol (MONG-GINE, 1979).

La description des sols peut également orienter le choix des analyses au laboratoire et de celui des méthodes au champ. Ain évitera-t-on l'utilisation du densitomètre à membrane dans un sol qui contient plus de 50 % d'éléments grossiers anguleux, et dans u sol boulant, trop meuble. Dans le premier cas, hormis le risque d'ê percée, la membrane ne pourra pas épouser toutes les aspérités des parois du trou laissées par les éléments grossiers. Dans le second cas la pression exercée peut provoquer une compaction des horizons et, par conséquent, fausser les résultats.

5.2. La distribution granulométrique des agrégats

La connaissance de la distribution dimensionnelle des él ments structuraux dans le sol peut être utile à l'agronome pour pl sieurs raisons.

On a vu, en effet, que les valeurs de T.C.E.S. < 10 sont étroite liaison avec le type de structure tel qu'il a été observé le terrain. Il apparaît donc utile de pouvoir se référer, dans des études préliminaires de mise en valeur, aux données chiffrées que sont précisément les valeurs du T.C.E.S. < 10. Leur connaissance fc nit, également, des indications sur la sensibilité à l'émiettement des horizons au cours des saisons contrastées. Et ceci semble asse important pour définir les méthodes de préparation de terrain. En qui concerne les sols étudiés, l'horizon A_{11} de SOULA contient,

quelle que soit la saison, plus d'éléments structuraux (74 à 93 %) de taille inférieure à 10 mm que celui de TOHA (52 à 78 %). Ce dernier apparait, par conséquent, moins sensible à l'émiettement sous l'effet des chocs que le premier. Les travaux de préparation de ces deux types de sols ne seront donc pas effectués de la même manière, car l'un nécessite une intervention plus énergique que l'autre, pour se fragmenter ou se débiter.

Il peut donc être important pour l'agronome de savoir quelle classe d'agrégats domine dans les sols qu'il veut cultiver. Nous avons, en effet, montré que certaines propriétés physiques et chimiques sont liées à la taille des agrégats ou des éléments structuraux. Par exemple, nous avons mis en évidence que la porosité texturale (MONNIER, STENGEL et FIES, 1973), la résistance à l'impact des gouttes d'eau et le taux de carbone, diminuent avec la taille des agrégats. L'indice d'instabilité (HENIN, 1938) a, quant à lui, tendance à augmenter lorsque la taille des éléments structuraux baisse. Il ressort de ces rappels que les éléments structuraux très fins (taille inférieure à 1 mm), fins (1-2 mm) et/ou moyennement fins (2-3,15 mm) possèdent des propriétés physiques et chimiques relativement faibles.

L'agronome devra donc tenir compte de toutes ces indications lors des travaux de préparation (labours, pulvérisages, hersages...) s'il veut rationnellement exploiter les ressources en sols qui lui sont confiées.

5.3. La quantification des racines

Les racines jouent un rôle important sur la structure du sol (HENIN, 1938 ; HENIN et *al.*, 1969 ; JACQUIN, 1978 ; TRI, 1968). De même que les propriétés chimiques, les propriétés physiques de celui-ci, qu'il s'agisse de la texture, de la perméabilité, des caractéristiques hydriques, de la cohésion, etc, ne peuvent se traduire en termes de fertilité que par l'influence qu'elles exercent sur le développement et le fonctionnement racinaires (CHARREAU, 1970).

L'estimation qualitative, souvent trop subjective, ne suffit pas à elle seule pourapprécier un paramètre d'une telle importance. Et c'est à ce titre que l'évaluation quantitative des racines peut fournir à l'agronome un outil d'étude (ORGIAS, 1951 ;

PELERENTS, 1958 ; CHARREAU, 1970) pour juger des possibilités de dé veloppement de telle ou telle plante sur un type donné de sol. La distribution de la densité de racines est une information complémen taire à la description qualitative. Elle donne beaucoup plus de si- gnification à celle-ci surtout qu'elle permet de mieux expliquer le variations latérales ou verticales liées quelquefois à la répartit inégale des racines de diamètre supérieur à 1 mm.

C'est, par exemple, grâce à la quantification des racines que SEGUY, NICOU et HADDAD (1970) sont arrivés à comparer les capa- cités respectives d'exploitation racinaire de quatre variétés de ri pluvial selon que le sol est travaillé ou non. BLONDEL (1966) a no- que "sur un sol non travaillé, à Bambey, les racines se développai jusqu'à 1 mètre de profondeur, 45 % d'entre elles se trouvant entre 20 et 100 cm et que, par contre, à SEFA, sur un terrain labouré, la quasi-totalité des racines (95 %) était concentrée dans la couche superficielle (0-20 cm)". Sur sol sableux ("sable roux") à Madagas BERGER et BERTRAND (1967) notent, d'autre part, que plus de 80 % de racines du cotonnier sont concentrées entre 0 et 60 cm.

Dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, l'enracinement ap paraît plus profond dans les sols de SOULA que dans ceux de TOHA. Dans la plupart des cas, il se concentre à plus de 60 % dans l'ens ble des horizons humifères (0-10 et 10-20 cm) pour les premiers, e à plus de 70 % dans la même partie du profil pour les seconds (ta- bleau 57).

Tableau 57 : Répartition en pourcentage pondéral de l'ensemble des racines dans les divers horizons de SOULA et de TOHA.

HORIZONS		Avril 79	Juillet 79	Janvier 80	Avril 80	Février 81	Huillet 81
0 - 10	T	31,6	22,8	29,9	32,7	59,9	49,4
	S	39,2	36,0	36,3	45,4	71,6	53,1
10 - 20	T	63,1	68,3	64,0	62,5	12,3	38,7
	S	27,0	28,2	39,5	21,2	18,2	28,0
20 - 40	T	4,20	5,4	4,4	4,1	25,4	8,0
	S	21,2	23,3	14,5	17,5	6,4	12,3
40 - 80	T	0,9	4,3	1,6	0,6	2,3	3,7
	S	12,6	12,3	9,5	15,2	3,7	5,0

T = TOHA S = SOULA

Entre 40-80 cm de profondeur, on observe respectivement, en moyenne 9,7 % des racines dans les sols de SOULA et 2,2 % dans ceux de TOHA. Cette différence dans la distribution des racines traduit, en fait, celles qu'entretiennent réciproquement ces deux types de sols, du point de vue de la structure, de l'importance des vides et de la cohésion , en particulier.

La quantification des racines (quelle que soit la méthode utilisée) permet ainsi de noter avec précision, l'enracinement dans les divers horizons et d'établir une comparaison entre les sols non travaillés et ceux labourés d'une part, et d'autre part, des sols différents soumis aux mêmes façons culturales. Elle révèle que sur un sol labouré, l'enracinement est essentiellement superficiel, alors que sur ce même sol non travaillé, il devient un peu plus profond (BLONDEL, 1966 ; LEA, 1961).

5.4. Les modifications structurales dues aux contraintes

Les modifications dues aux contraintes anthropiques ont des incidences certaines sur la structure du sol que l'agronome doit prendre en compte. Un roulage d'engin peut donner naissance à des manifestations, visibles en surface, qui vont de la simple trace à l'ornière caractérisée (FAURE, 1976 ; STENGEL et FAURE, 1978). Il provoque également une diminution de la porosité (STENGEL, 1976). D'autre part, il ne faut pas perdre de vue que le labour du sol se répète à peu près constamment à la même profondeur. Il aboutit alors à l'individualisation d'une "semelle" dont le tassement et l'épaisseur croissent progressivement. Le profil cultural arrive ainsi à se limiter en grande partie, à la profondeur intéressée par cette intervention, c'est-à-dire à une couche de 15 à 20 cm d'épaisseur en général (de BLIC, 1976).

Les transformations structurales relevées à la surface des sols de SOULA et de ceux de TOHA après l'application des contraintes (piétinement et roulage) apparaissent négatives à toute exploitation agricole rationnelle. En effet, l'écrasement des agrégats superficiels en saison sèche, sous l'action des contraintes, prédispose les sols à l'érosion pour deux raisons :

- La première est que les éléments structuraux très fins (taille inférieure à 1 mm) sont facilement déplaçables par les eaux de pluies (BOLI, 1976 ; VALENTIN, 1981).

- La seconde raison est que les microagrégats (taille inférieur à 1 mm) déliés "rejaillissent" facilement sous l'impact des gouttes de pluies et constituent, ensuite, des "dépôts laminaires" (HENIN et *al.*, ; VALENTIN, 1981). VALENTIN a, par ailleurs, montré que ces dépôts laminaires qui font partie des organisations pelliculaires superficielles (O.P.S.) diminuent fortement la perméabilité et "constituent un obstacle mécanique à la levée des graines". Cet auteur précise que ce dépôt laminaire peut se former à la surface de n'importe quel sol nu.

La croûte de tassement qui se forme à la surface, à la suite du piétinement en saison humide présente une structure lamellaire litée et contient des macropores horizontaux qui ne communiquent pas avec l'extérieur (photo n° 10). Elle réduit donc la perméabilité et l'aération du sol, comme le font les dépôts laminaires. Elle apparaît ainsi comme un facteur d'érosion et peut empêcher, en outre, la pénétration des racines de la même façon que les semelles de labour (de BLIC, 1976 ; CHARREAU, 1970 ; HENIN et *al.*, 1979).

Ces modifications morphologiques (écrasement, prise en masse) s'accompagnent d'une diminution de la porosité totale comme nous l'avons déjà montré plus haut. Et c'est pour mettre en évidence ces effets et les analyser que la partie expérimentale de cette étude a recouru, entre autres, au test Proctor (FAURE, 1976 ; GUERIF, 1979 et GRIMALDI, 1981). Les résultats obtenus, conformes d'ailleurs à ceux de STENGEL (1976), montrent, en particulier, que la décroissance de la porosité est très marquée lorsque le compactage est effectué sur des échantillons remaniés. Elle est, par contre, limitée lorsqu'il s'agit de sols naturels en place, c'est-à-dire de sols qui n'ont pas subi d'intervention préalable. Les écarts entre les courbes de saturation et les courbes de densités apparentes en fonction des teneurs en eau permettent d'une façon appropriée, de traduire cette différence de comportement (cf. fig. 26, page 147). Et ceci peut se vérifier lorsque l'on fait subir le même traitement d'une part à un sol labouré et, d'autre part à un sol qui ne l'a pas été (de BLIC, 1976 ; STENGEL, 1976).

Les contraintes exercées à la surface du sol provoquent donc des modifications de diverses natures qui concourent à la destructuration, à une décroissance de la porosité et de la perméabilité, à la réduction de l'aération, et qui finalement s'opposent au développement et à l'exploitation racinaires.

Les effets de ces modifications sur la porosité sont d'autant plus marqués que les contraintes sont appliquées à un taux d'humidité élevé. CAMACHO DIAZ (1980) a montré qu'à l'état sec le poids des engins agricoles compacte seulement les 15 premiers centimètres du sol et qu'à l'état humide ce poids est ressenti jusqu'à 50 cm de profondeur.

5.5. L'argile masquée

La question de l'opportunité de la connaissance du taux d'argile masquée se pose par ailleurs. PEDRO, CHAUVEL et MELFI (1979) qui ont étudié la "constitution et la genèse des Terra Roxa Estructurada du Brésil" donnent des éléments de réponse. Ils ont, en effet, montré que les matériaux à forte teneur en argile masquée ou immobilisée

- gonflent peu,
- présentent une faible capacité d'échange, accompagnée d'une forte désaturation c'est-à-dire d'une faible charge en cations basiques,
- ont un pH acide, conséquence de la déficience en cations basiques "compensés par des cations plus acides qui se fixent alors énergiquement à la surface des particules".

En ce qui concerne les sols étudiés ici, nous avons noté que ceux de SOULA relativement plus riches en argile immobilisée que les sols de TOHA, se caractérisent, par rapport à ces derniers, par

- un faible taux de saturation,
- une gamme d'humidité à différents pF peu étendue,
- un pH acide.

Il est permis de penser que ces comportements chimiques et physiques des sols de SOULA qui contiennent plus d'éléments fins (A + Lf) et de matière organique que ceux de TOHA, peuvent s'expli-

quer par leurs teneurs en argile masquée relativement élevée. Le cad de cette étude n'a cependant pas permis d'approfondir ce problème. I n'en reste pas moins que l'agronome a tout intérêt, pour la compréhe sion du comportement des sols, à prendre en compte ce paramètre. Par exemple l'étude de l'argile masquée a montré que les argiles des sol de TOHA sont facilement dispersables par n'importe quel réactif. Cec explique, en partie, leur appauvrissement prononcé en cette fraction fine, et laisse entrevoir le danger d'intensification du phénomène à la suite des façons culturales.

5.6. Résistance à l'impact des gouttes d'eau

L'impact des gouttes d'eau sur la résistance des agrégats permet à l'agronome d'apprécier, de façon directe, le comportement à l'érosion des couches superficielles du sol.

Les résultats en eux-mêmes indiquent d'abord la réaction d tel ou tel agrégat vis-à-vis des gouttes d'eau. Une faible énergie d désagrégation signifie une faible résistance, tout comme une valeur élevée de Is (HENIN, 1938).

L'observation des processus et des produits de destruction apportent des éléments d'appréciation plus précise du comportement des agrégats à l'impact des gouttes d'eau. Ainsi, peut-on cerner au mieux les paramètres qui favorisent ou retardent le délitage et, pou l'essentiel, connaître quel est le mode de désagrégation spécifique d'un type de sol donné. Par exemple, si l'agrégat se détruit suivant le schéma 1 mentionné plus haut, l'agronome devra retenir que le sol concerné peut résister au phénomène de battance ou de splash (VALENT 1981 ; BOIFFIN et SEBILLOTTE, 1976). Si au contraire, les agrégats s délitent suivant le schéma 2, cela signifie que le sol peut, sous l'action des gouttes de pluies donner facilement naissance à des dép laminaires qui ralentissent l'infiltration et favorisent le ruissell ment (VALENTIN, 1981).

Une forte turbidité de l'eau de destruction laisse suppose que les agrégats concernés sont fragiles et contiennent des particul dispersables (BOLI, 1976). Par contre, l'eau claire, limpide, tradui une floculation des résidus de désagrégation, c'est-à-dire la résis- tance des agrégats.

La taille des particules résultant de la destruction peut également fixer l'agronome sur le comportement à l'érosion. Les particules fines (1-0 mm), surtout celles qui sont sableuses, paraissent sensibles au rejaillissement (EKERN, 1956) et par conséquent favorables à la formation des dépôts laminaires.

Les résultats du test de l'impact des gouttes d'eau, les processus et les produits de désagrégation ont ainsi permis de montrer que les sols de SOULA peuvent mieux résister aux gouttes de pluies que ceux de TOHA. Ceci concorde, d'une part, avec les valeurs déterminées pour l'indice d'instabilité structurale et, d'autre part, avec l'état de surface observé lors des descriptions des deux types de sols. Les sols de TOHA comportent en surface des épillites sableux alors que ceux de SOULA sont plutôt couverts d'agrégats déliés.

Conclusion

Les différentes méthodes utilisées au cours de cette étude ont permis d'appréhender les incidences agronomiques axées en grande partie sur les caractéristiques physiques des deux types de sols étudiés dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Leurs résultats qui apparaissent divers mais complémentaires montrent que toutes les aptitudes ou les potentialités agricoles d'un sol ne peuvent pas être cernées à partir d'une simple description ou d'une seule méthode d'analyse. A ce titre, la recherche de nouvelles méthodes, susceptibles de permettre d'approfondir la connaissance des propriétés du sol pour une meilleure exploitation, apparaît s'imposer.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Nous avons essayé au cours de ce travail, de caractériser la structure de deux types de sols du nord-ouest de la Côte d'Ivoire Pour ce faire, nous nous sommes d'abord penchés sur les termes définissant les types de structure avant d'adopter, ensuite, pour l'étude proprement dite, deux approches fondamentales qui sont les méthodes au champ et les méthodes au laboratoire.

Les premières, composées de la description, de la séparation granulométrique des agrégats ou des éléments structuraux et d'un test de piétinement, nous ont permis de mettre en évidence que

- les sols de SOULA, développés sur dolérite, et ceux de TOHA sur granite se distinguent les uns des autres par leurs types de structure, leur texture, leur densité de racines, leur couleur et leur porosité. En effet, les premiers présentent une structure fragmentaire grumeleuse et une texture argileuse en surface et un enracinement homogène. Ils sont très poreux. Les seconds sont, par contre, massifs-fragmentaires et sableux dans les 10 centimètres supérieurs. Ils comportent peu de vides d'entassement libres et des racines inégalement réparties ;

- les taux cumulés des éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm (T.C.E.S. < 10) sont élevés dans les divers horizons du sol de SOULA. Ils décroissent, en général, dans les horizons minéraux, et dépendent des teneurs en eau du sol, du type de structure de la nature et de la forme des vides, de la matière organique l'ée. L'influence de ce dernier paramètre est essentiellement perçue à l'échelle du profil. Les racines, quant à elles, exercent une action peu marquée sur la granulation. Ceci semble dû au fait que leur influence n'apparaît que lorsque "certaines conditions sont remplies" (TRI 1968 ; CHARREAU, 1970) ;

- les notions "d'état sec" et "d'état humide" sont définies, pour chaque type de sol étudié, par une teneur en eau bien déterminée, en deçà ou au-delà de laquelle on a l'un ou l'autre état. Cette teneur seuil en eau est de 12,00 % pour le sol de TOHA et de 29,5 % pour celui de SOULA ;

- sous l'effet des contraintes (piétinement et roulage) appliquées à la surface, les structures des sols étudiés se transforment. La nature de ces transformations structurales dépend des teneurs en eau du sol au moment de l'essai. A l'état sec, c'est-à-dire lorsque l'humidité est inférieure soit à 12,0 %, soit à 29,5 %, le piétinement provoque un écrasement des agrégats ou des éléments structuraux et donnent naissance à une structure particulaire ou fragmentaire grumeleuse très fine. A l'état humide, le même piétinement se traduit, par contre, par une orientation de la phase argile (GREENE KELLY et MACKEY, 1970 ; VALENTIN, 1981) qui aboutit à la mise en place d'une structure lamellaire. L'importance de ces modifications est liée, d'une part, à l'intensité de l'énergie appliquée, c'est-à-dire, ici, au nombre de passages du mobile, et d'autre part, à la composition granulométrique. En général, l'écrasement se manifeste plus nettement sur les sols de TOHA que sur ceux de SOULA. Ces derniers offrent, par contre, des dispositions pour la formation d'une structure litée ;

- les contraintes provoquent également une diminution de la porosité. Cette diminution apparait plus marquée à l'état humide qu'à l'état sec. Elle est, d'autre part, dépendante de la texture et de l'intensité d'énergie, c'est-à-dire que la porosité décroît, en premier lieu, en fonction du taux de sable, et en second lieu, au fur et à mesure que l'énergie augmente ;

- toutes les modifications structurales qui résultent des contraintes exercées à la surface du sol, se limitent essentiellement aux dix centimètres supérieurs bien que l'on note une légère baisse de porosité jusqu'à 30 cm de profondeur ;

- l'effet du piétinement ou du roulage s'atténue en présence de paille ou de débris végétaux.

Les résultats des méthodes de laboratoire qui comprennent, en plus des analyses courantes, le test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau, les essais Proctor et la granulométrie comparée, ont montré que :

- certaines caractéristiques physiques et chimiques des deux types de sols étudiés sont plus ou moins liées à la taille des éléments structuraux. En effet, la taille des éléments structuraux soumis aux analyses influence leur résistance à l'impact des

gouttes d'eau, leur porosité texturale et leur taux de carbone. La densité maximum Proctor (dam), elle, augmente lorsque les éléments structuraux compactés sont de plus en plus de petite dimension. Pour les caractéristiques telles que l'indice d'instabilité structurale, l'azote, le fer total et la teneur en eau optimum Proctor (Wm), l'influence de la taille apparaît moins nettement. On a cependant constaté que les éléments structuraux grossiers (10-5 mm) ont tendance à être à la fois plus stables et plus riches en fer total et en azote que les éléments structuraux fins (2-1 mm) ;

- le taux d'argile masquée exerce une certaine influence sur le pH, le taux de saturation et la gamme d'humidité entre les différents pF ;

- l'étude de l'impact des gouttes d'eau sur la résistance des agrégats a permis, d'une part, d'appréhender les processus de désagrégation, et d'autre part, de se rapprocher des conditions naturelles de la dégradation structurale (HENIN, MONNIER et GRAS, 1969)

- comme l'indice d'instabilité IS (HENIN, 1938), la résistance à l'impact des gouttes d'eau dépend des histoires hydriques (SEBILLOTTE, 1968 ; MONNIER et KONAN, 1968), du taux de matière organique et de celui d'argile ;

- le compactage dans le moule Proctor provoque, comme les contraintes appliquées *in situ* à la surface du sol, des modifications structurales. La plus perceptible de celles-ci est la baisse de porosité. Cette décroissance est nettement plus accusée en laboratoire, sur échantillons remaniés, qu'au champ, sur sol en place. La formation de la structure lamellaire est, par contre, plus nette dans le dernier cas que dans le premier. Selon STENGEL (1976) les modifications structurales provoquées au champ, sur sol en place, sont rapidement réversibles sous l'action du climat et des facteurs biologiques ;

- les sols étudiés dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire sont sensibles au compactage mécanique. La sensibilité dépend essentiellement de la matière organique libre (paille ou résidus végétaux) et liée, de l'humidité et de la composition granulométrique. En général, les sols sableux, peu riches en matière organique sont les plus affectés par le compactage.

Les résultats et les conclusions auxquels nous sommes parvenus dans cette étude nous conduisent à trois constatations.

La première est que les caractéristiques structurales d'un sol peuvent être définies à partir de plusieurs approches. Celles qui ont été utilisées au cours de ce travail, ont fourni des informations complémentaires qui nous ont permis d'avoir une meilleure connaissance dela structure de chacun des deux types de sols étudiés.

La seconde est la variation verticale d'une part, et la variation temporelle d'autre part, de la structure ou plus précisément des caractéristiques structurales des sols de SOULA et de ceux de TOHA. En effet, le type de structure, l'indice d'instabilité Is, le T.C.E.S. < 10, la densité apparente, la résistance à l'impact des gouttes d'eau, évoluent plus ou moins au cours du temps et à l'échelle du profil. Ces variations soulignent, en premier lieu, les différenciations pédologiques, et en second lieu, la dynamique des sols étudiés.

La troisième constatation est que toute étude pédologique peut aboutir à des recommandations agronomiques, c'est-à-dire que chaque méthode peut être utilisée à des fins purement agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

ACTON C.J., PAUL E.A. et RENNIE D.A. (1963)-. The relation ship of polysaccharides to soil aggregation.
Can. J. Soil Sci., 201-209.

ANDREUX F. (1979)-. Genèse et propriétés des molécules humiques.
Pédologie 2. Masson, Paris, p. 97-118.

ARCA M.N. et WEED S.B. (1966)-. Soil aggregation and porosity in relation to contents of free iron oxid and clay.
Soil Sci., 101, 3, p. 164-170.

AVENARD J.M., ELDIN M., GIRARD G., SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.L., ADJANOHOUN E., PERRAUD A. (1971)-. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire.
Mémoire ORSTOM, n° 50, Paris.

BACHELIER G. (1963)-. Sur le potentiel d'activité biologique de sols ferrallitiques différemment cultivés.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. I, n° 4.

BARLEY K.P. et GREACEN E.L. (1967)-. Mechanical resistance as a soil factor influencing growth of roots and underground shoots.
Adv. in Agron. 19, 1-43.

BATES J.A.R. (1960)-. Studies on a Nigeria forest soil. The distribution of organic matter in the profile and various soil fractions.
J. Soil Sci., 11, 246-256.

BEAUDOU A.G. (1975)-. Microagrégation dans les sols.
Doc., ORSTOM Adiopodoumé, 8 p.

BEAUDOU A.G. et SAYOL R. (1980)-. Etude pédologique de la région de Boundiali-Korhogo. Méthodologie et typologie détaillée (morphologie et caractères analytiques).
Trav. et Doc. de l'ORSTOM, n° 112, Paris.

BELIER G. et MAIGNIEN R. (1980)-. Etude des sols de la forêt domaniale de Châtillon-Sur-Seine.
Doc. ORSTOM, Bondy, 69p.

BERGER M. et BERTRAND R. (1967)-. Expérimentation relative à *Dolichos lablab* (Antaka) en culture cotonnière intensive dans le périmètre irrigué du Bas-Mangoky.
Coll. sur la fert. des Sols trop. Tananarive, 118, 1472-1489.

BERTHELIN J. et TOUTAIN F. (1979)-. Biologie des sols.
Pédologie 2. Masson, Paris, p. 122-160.

BISAL F. (1960)-. The effect of raindrop size impact velocity on sand splash.
Can. J. of Soil Sci., 40 : 243-245.

BLACKMORE A.V. (1973)-. Aggregation of clay by the product of iron (III) hydrolysis.
Austr. J. Soil Res., 11, p. 75-82.

BLANCANEUX P., ARAUJO J. (1982)-. L'action déterminante de l'homr et du climat actuel sur l'évolution des sols et des savanes du Sud Vénezuela, territoire fédéral de l'Amazone.
Cah. ORSTOM, pédol., Vol. XIX, n° 2, 131-149.

BLIC de P. (1975)-. Comportement des sols après mise en culture mécanisée (région Centre Côte d'Ivoire).
ORSTOM, Adiopodoumé, 47 p., multigr.

BLIC de P. (1976)-. Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : rôle des traits hérités du milieu naturel.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. XIV, n° 2, 113-130.

BLIC de P. et MOREAU R. (1977)-. Evolution des caractères structuraux des sols ferrallitiques sous l'effet de mise en culture mécanisée récente en Côte d'Ivoire préforestière.
Comm. Congr. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 6-10 dec. 1977, 15p.

BLONDEL D. (1965)-. Premiers éléments sur l'influence de la densité apparente du sol sur la croissance racinaire de l'arachide et du sorgho. Ses conséquences sur les rendements.
Coll. sur la cons. et l'amé. de la fert. des sols à Khartoum (8-12 nov. 65), OAU/STRC. Comm. n° 37, 173-181.

BOIFFIN J. et SEBILLOTTE M. (1976)-. Climat, stabilité structurale et battance. Essai d'analyse d'un comportement du sol au champ.
Ann. Agron. 27, 3, p. 295.

BOISSEZON de P. (1965)-. Les sols de savane des plateaux Batéké.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. III, n° 4.

BONNEAU M. et SOUCHIER B. (1979)-. Constituants et propriétés du sol.
Pédologie 2. Masson, Paris, 459p.

BOULAINE J. (1975)-. Cours polycopié.
I.N.A. - GRIGNON.

BOULAINE J. (1980)-. Pédologie appliquée.
Masson, Paris.

BOUMA J., JONGERIUS A., BOERSMA O., JAGER A. et SCHOONDERBEEK D. (1977)-. The function of different types of macropore during saturated flow through four swelling soil horizons.
Soil Sci., Soc. Am. J., 41 : 945-950.

BOURGET S.J. (1958)-. La structure du sol.
Intern. Symposium on soil structure.

BOYER J. et COMBEAU A. (1960)-. Etude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de la République Centrafricaine.
Sols Africains, Vol. V, n° 2.

BOYER J. (1975)-. Les sols ferrallitiques. Première partie : les facteurs physiques de la fertilité.
ORSTOM, Paris.

BOYER J. (1982)-. Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols.
Tome X. Initiations. Documentations techniques n° 52, ORSTOM, Paris.

BREISCH H., GUCKERT A. et REISINGER O. (1975)-. Etude au microscope électronique de la zone apicale des racines du maïs.
Soc. bot. Fr. Coll. Rhizosphère, 122, 55-60.

BREWER R. (1964)-. Fabric and mineral analysis of soils.
John Wiley and Sons edit., New York, 470p.

BRYSSINE G. (1954)-. Contribution à l'étude des propriétés physiques du sol. Note sur l'appréciation de la structure du sol.
Soc. Sci. Nat. et phys. Maroc, Rabat.

BUEHRER T.F. et DEMING J.M. (1961)-. Factors affecting aggregation and permeability of handspot soils.
Soil Sci., 92 (4).

BUETELPACHER H. (1955)-. The interaction of organic matter and colloids.

BUI HUU TRI (1968)-. Dynamique de la granulation du sol sous prairie.
Ann. Agron., 19 (4) : 415-439.

BUI HUU TRI (1969)-. Dynamique de la granulation du sol sous prairie.
Thèse Doct. ès.Sci., Faculté des Sciences, Paris.

BUI HUU TRI et MONNIER G. (1973)-. Etude quantitative de la granulation des sols sous prairies de graminées.
Ann. Agron., 24 (6) : 651-677.

CAESTECKER de K. et LEENHEER de L. (1958)-. L'influence de la dégradation de la structure sur le développement et la production de la betterave fourragère dans les sols argileux des Polders.
Inter. Symposium on Soil Structure.

CALLA Mc T.M. (1944)-. Water drop method of determining stabilit of soil structures.
Soil Sci., 85 : 117-123.

CERNUDA C.F., SMITH R.M., VINCENTE CHANDLER (1954)-. Influence of initial moisture condition on resistance of macro-aggregates to slaking and water drop impact.
Soil Sci., 71 : 19-27.

CHARREAU C. (1970)-. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques.
Tome II. IRAT. Sénégal 166p.

CHATELIN Y. (1969)-. Contribution à l'étude de la séquence des sols ferrallitiques rouges et ferrugineux tropicaux beiges. Examen des profils Centrafricains.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. VII, n° 4.

CHATELIN Y. (1976)-. Les sols ferrallitiques. Tome III. L'altéra tion.
Init. Doc. Techn. ORSTOM, 144p.

CHATELIN Y. et MARTIN D. (1972)-. Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. X, n° 1 : 25-43.

CHAUVEL A. et CHARREAU C. (1972)-. Observations sur l'exportatic de l'argile par les eaux de drainage, effectuées sur trois sols tropicaux sablo-argileux reconstitués en cases lysimétriques.
Bull. Ass. fr. Et. du sol, 6, p. 251-268.

CHAUVEL A. (1976)-. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance.
Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg.

CHAUVEL A., PEDRO G. et TESSIER D. (1976)-. Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaoliniques. Etudes expérimentales.
Sci. du sol, n° 2, p. 101-114.

Classification des sols (1967)-. C.P.C.S., ENSA, GRIGNON, 87p.

COINTEPAS J.P. et MAKILO R. (1982)-. Bilan de l'étude des sols sous culture intensive dans une station expérimentale en milieu tropical humide.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XIX, n° 3, p. 271-282.

COMBEAU A. (1960)-. Quelques facteurs de la variation de l'indice d'instabilité structurale dans certains sols ferrallitiques.
C.R. Acad. Agric., 109.

COMBEAU A. et QUANTIN P. (1963)-. Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. I, n° 3, 17-28.

COMBEAU A. et QUANTIN P. (1964)-. Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale.
Cah. ORSTOM, Pédol. Vol. II, 1, p. 3-12.

COMBEAU A. (1965)-. Variation saisonnière de la stabilité structurale en région tempérée (comparaison avec la zone tropicale).
Cah. ORSTOM, Pédol.,Vol. III, n° 2, p. 122-135.

CONCARET J. (1967)-. Etude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact de solutions aqueuses.
Ann. Agron., 18 (1) : 65-90.

CUADRADO S., BLANCO A. et BUI HUU TRI (1974)-. Etude de la granulation d'un sol sableux en relation avec les espèces fourragères.
Ann. Agron. 25 (4) : 587-606.

DAGG M. et RUSSAM K. (1968)-. Relation entre le retrait du sol et la formation de fissures superficielles dans une route expérimentale au Kenya.
Sols Africains, Vol. XII, n° 1.

DANCETTE C. et MAERTENS C. (1974)-. Méthode d'estimation de la capacité au champ pour l'eau à partir du pF 3.
Bull. A.F.E.S. n° 3.

DECROIX M., MARCESSE J., MERIAUX S., NORMAND M., PANINE M. et RUTTEN S. (1975)-. C.R. Ac. Agri. T. 61, p. 137.

DOMMERGUES Y. (1968)-. La biologie des sols.
Coll. "Que sais-je" n° 399, 128p.

DOMMERGUES Y. et MANGENOT F. (1970)-. Ecologie microbienne du sol.
Edit. Masson, Paris.

DUCHAUFOUR Ph. (1970)-. Précis de Pédologie.
Masson, 3e édit. Paris.

EKERN C. (1965)-. Raindrop impact as the force initiating soil erosion.
Soil Sci., Soc. Amer. Proc., 15 : 7-10.

ELDIN M. et DAUDET A. (1967)-. Etude de reboisement et de protection des sols. Notice explicative de la carte climatologique au 1/1.000.000e.
ORSTOM, Adiopodoumé, 18p., multigr.

ESCHENBRENNER V. et BADARELLO L. (1975)-. Etude pédologique de la région d'Odienné. Carte des paysages morpho-pédologiques à 1/200.000e.
ORSTOM, Paris, 1978.

FAUCK R. (1972)-. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale (contribution à l'étude des sols des régions tropicales).
Mém. ORSTOM, 61, 275p.

FAURE A. (1971)-. Contribution à l'étude du mécanisme du compactage de sols.
Ann. Agron., 22, 487-573.

FAURE A. et FIES J.C. (1972)-. Etude expérimentale de la sensibilité au compactage de matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique.
Ann. Agron., 23, 3, 317-332.

FAURE A. (1976)-. Influence de la phase argileuse sur la susceptibilité au tassement des sols.
Bull. A.F.E.S. n° 2, p. 121.

FAURE J. (1953)-. Les sols de la région de Louga. Vue d'ensembl sur les types de sols et leur mise en valeur agronomiqu
Ann. du C.R.A. Bambey, 141-168.

FEDEROFF N. (1979)-. Organisation du sol à l'échelle microscopique.
Pédologie 2. Masson, Paris, p. 250-265.

FEODOFF A. (1962)-. Ann. Agron., 13, 6, p. 523-547.

FERRY D.M., OLSEN R.A. (1965)-. Orientation of clay particules as it relates to crusting of soil.
Soil Sci., 120, 5 : 367-375.

FIES J.C. (1971)-. Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols.
Ann. Agron. 22, 6 : 655-685.

FIES J.C., HENIN S., MONNIER G. (1972)-. Etude de quelques lois régissant la porosité de matériaux meubles.
Ann. Agron. 23, 6, p. 621-654.

FIES J.C. (1980)-. Généralités sur la porosité des sols. Systèmes de porosité. Espaces poreux. Doc. inédit. Montfavet.

FREE G.R. (1953)-. Compaction as a factor in soil conservation. Soil Sci., Soc. Amer. Proc., 17 : 68-70.

GARDNER W.R. (1956)-. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Sci., Soc. Amer. Proc., 20 : 151-153.

GHADIRI H., PAYNE D. (1958)-. Raindrop impact stress. The J. of Soil Sci., 32, 1 : 41-49.

Glossaire de Pédologie (1969)-. ORSTOM, Init. Doc. Techn. n° 13, 82 p.

GODEFROY J. (1974)-. Evolution de la matière organique du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Relation avec la structure et la capacité d'échange cationique. Thèse, Université, Nancy.

GRAS R. (1969)-. Les mesures de densités apparentes en sols caillouteux. Revue A.F.E.S. n° 1, p. 9

GRAS R. (1974)-. Emprisonnement de l'air lors de l'humectation des corps poreux. Sci. duSol, Bull. A.F.E.S. n° 1, 49-59.

GREENE-KELLY R., Mc KNEY D. (1970)-. Prefered orientation of clay in soils : The effect of drying and wetting. In : Agric. Res. Council Soil Survey. Tech. Monograph. n° 2. Happenden, 43-52.

GRIMALDI M. (1981)-. Contribution à l'étude du tassement des sols : Evolution de la structure d'un matériau limoneux soumis à des contraintes mécaniques et hydriques. Thèse Docteur Ingénieur, Université de Rennes, 221p.

GUERIF J. (1979)-. Rôle de la matière organique sur le comportement d'un sol au compactage. Matières organiques libres et liées. Ann. Agron., 30, 6 : 469-480.

GUERIF J., FAURE A. (1979)-. Rôle de la matière organique sur le comportement des sols au compactage. Etude statistique. Ann. Agron., 30, 5 : 387-399.

HANKS R.J. (1960)-. Soil crusting and seedling emergence. In. VIIth Intern. Congr. of Soil Sci. Madison, 1, 34 : 340-346.

HARRIS R.F., ALLEN O.N., CHESTER G., ATTOE O.J. (1963)-. Evaluation of microbial activity in soil aggregate stabilization and degradation by the use of artificial aggregates.
Soil Sci., Soc. Am. Proc., 27 : 542-546.

HARTMANN R., BOODT de M. (1974)-. The influence moisture content, texture and organic matter on the aggregation of sandy and loamy soil.
Geoderma, 11, 1 : 53-62.

HENIN S. (1938)-. Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres.
Thèse Université, Paris.

HENIN S., MONNIER G. (1956)-. Evaluation de la stabilité de la structure du sol.
6th. Inter. Soil Sci. Congr. Proc., Vol. 8 : 49-52.

HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R., MONNIER G. (1960)-. Le profil cultural. Principes de physique du sol.
Soc. d'Edit. des Ingénieurs Agricoles, Paris.

HENIN S., HUTTER W. (1964)-. Essai sur le gonflement comme mécanisme de la stabilité structurale.
Sci. du sol, 1er semestre, 2 : 69-76.

HENIN S., MONNIER G., GRAS R. (1969)-. Le profil cultural.
Masson, Paris, 2e édition.

HENIN S., FIES J.C., MONNIER G. (1970)-. Etude théorique de la porosité des matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique.
C.R. Acad. Sci., 271 : 1960-1963.

HENIN S. (1977)-. Cours de physique du sol.
Tome I et II. Init. Doc. Techn. n° 28 et 29, ORSTOM, Paris.

HIDDING A.P., BERG C., VAN DEN (1960)-. The relation between pore volume and the formation of roots systems in soil with Sandy layers.
Trans. 7th Int. Cong. Soil Sci., 7 : 369-373.

HUMBEL F.X. (1975)-. Etude de la macroporosité des sols par des tests de perméabilité : application d'un modèle de filtration aux sols ferrallitiques du Cameroun.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XIII, n° 2, p. 93-117.

HUMBEL F.X. (1978)-. Caractérisation, par des mesures physiques hydriques et d'enracinement, de sols de Guyane Français à dynamique de l'eau superficielle.
A.F.E.S. Science du Sol, n° 2.

HUTTER W. (1966)-. Action des compressions sur la structure d'un sol.
Ann. Agron., 17 (1) : 37-52.

JACQUIN F. (1978)-. Influence de la matière organique sur la structure du sol.
ENSAIA - NANCY, p. 369-381.

JAMBU P., DUPUIS T., DUPUIS J. (1972)-. Etude de quelques aspects de la fixation du fer par les acides humiques.
Ann. Agron., 23 (2) : 333-354.

JOHNSON W.M., Mc CLELLAND J.E., Mc CALEB S.A. (1960)-. Classification and description of soil pores.
Soil Sci., 89 : 319-321.

JONGERIUS A., SCHOONDER BEEK D., JAGER A., KOWALINSKI St. (1972)-. Electro-optical soil porosity investigation by means of quantinet.
B equipment Geoderma, 7 : 177-198.

KALOGA G. (1966)-. Etude pédologique des bassins versants des volta blanche et rouge en Haute-Volta.
Cah. ORSTOM, pédol., Vol. IV, n° 1.

KOHNKE H. (1968)-. Soil physics. Mc Graw Hill, New-York, 224p.

LAMOUROUX M., SEGALEN P. (1969)-. Etude comparée des produits ferrugineux dans les sols rouges et bruns méditerranéens du Liban.
Sci. du sol, n° 1, p. 63-75.

LATHAM M. (1975)-. Les sols d'un massif de roches ultrabasiques de la côte Ouest de Nouvelle Calédonie : le Boulinda.
2e partie. Les sols à accumulation ferrugineuse relative.
Cah. ORSTOM, Vol. XIII, n° 2.

LAWRENCE G.P. (1977)-. Measurement of pore size in fine textured soils : A review of existing techniques.
J. Soil Sci., 28 : 527-540.

LEA J.D. (1961)-. Studies of the depth and rate of root penetration of some annual tropical crops.
Trop. Agric. Trin. 38, 2 : 93-105.

LELONG F., SOUCHIER B. (1979)-. Signification écologique du complexe d'altération. Importance relative des facteurs généraux et stationnels. Constituants et propriétés du sol.
Pédologie 2. Masson, Paris.

LENEUF N. (1959)-. L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés.
Thèse Université, Paris.

LENEUF N., LAMOUROUX M. (1974)-. Aspects minéralogiques et pé génétiques des "limons rouges" des plateaux bourguign
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XII, n° 1.

LEVEQUE A. (1969)-. Le problème des sols à nappes de gravats au Togo.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. VII, n° 1 : 43-69.

LEVEQUE A. (1980)-. Etude pédologique et des ressources en so de la région du Nord du 10e parallèle en Côte d'Ivoir
Carte des unités morpho-pédologiques. Carte des paysa morpho-pédologiques.
ORSTOM, Adiopodoumé; 118p.

LEVEQUE A. (1980)-. Les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Leur différenciation et les principaux caractères dét minant leur fertilité.
Sém. sur le potassium 21-22 oct. 1980, Abidjan.

LEVEQUE A. (1982)-. Quelques aspects de la structure des sol ferrallitiques en saison humide. Implications agronor ques concernant le cotonnier dans le nord de la Côte d'Ivoire.
Doc. de travail, 33 p.

LUK S.H. (1979)-. Effect of soil properties on erosion by wa and splash.
Earth surface, Proc. 4 : 241-255.

MAERTENS C. (1964)-. La résistance mécanique des sols à la p nétration : ses facteurs et son influence sur l'enra nement.
Ann. Agron. 15, 5 : 539-554.

MAERTENS C. (1964)-. Influence des propriétés physiques du s sur le développement radiculaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures.
Sci. du Sol n° 2.

MARTEL Y.A., DESCHENES J.M. (1976)-. Les effets de la mise e culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec.
Can. J. Soil Sci., 56 : 373-383.

MARTIN F. (1935)-. La canne à sucre. Principes techniques e économiques de la culture de cette plante.
Imp. des Orphelins - apprentis d'Auteuil.

MARTIN G. (1963)-. Dégradation de la structure des sols sou culture mécanisée dans la vallée du Niari.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. 1, n° 2 : 8-14.

MARTIN J.P. (1946)-. Microorganisms and soil aggregation. Influence of bacterial polysaccharides on soil structure.
Soil Sci., 61 : 157-166.

MAYMARD J. (1960)-. Effet résiduel de la submersion sur la structure du sol.
Sols Africains, Vol. V, n° 2 : 123-140.

MEREDITH H.L., PATRIK W.H. (1961)-. Effects of soil compaction on sub soil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana.
Agr. J., 53 : 163-167.

MONG GINE Th. (1979)-. Mise en culture et intéraction eau-sol. Etude de trois sites en région ferrallitique de savane.
ORSTOM, Adiopodoumé, 83 p., multigr.

MONNIER G. (1965)-. Action de la matière organique sur la stabilité structurale des sols.
Ann. Agron., 16, 4 : 327-400.

MONNIER G. (1966)-. Sur la couleur des terres considérée comme une caractéristique texturale.
C.R. Acad. Sci., 264 : 2188-2191.

MONNIER G., KONAN L. (1968)-. Influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale.
Ann. Agron., 19, 5 : 541-551.

MONNIER G., BUI HUU TRI (1971)-. Une méthode d'évaluation de la taille des éléments structuraux du sol.
Bull. A.F.E.S. n° 2 : 17-27.

MONNIER G., BUI HUU TRI (1973)-. Etude quantitative de la granulation des sols sous prairie de graminée.
Ann. Agron., 24, 4 : 401-424.

MONNIER G., STENGEL P., FIES J.C. (1973)-. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol.
Ann. Agron., 24, 5 : 533-545.

MONNIER G., STENGEL P., BODET J.M. (1976)-. Conséquences de la répartition des matières organiques sur le comportement du sol.
I.T.C.F., Paris : 154-164.

MONTENY B. (1983)-. Données climatiques du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.
Comm. orale.

MOREAU R. (1978)-. Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le Centre de la Côte d'Ivoir Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XVI, n° 4 : 413-424.

MOREL R., QUANTIN P. (1964)-. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. Agr. Trop. XIX, 2 : 105-135.

MOUREAUX Cl. (1973)-. Cours de microbiologie des sols. Inédit. ORSTOM, Bondy.

MULLER J.P. (1974)-. Morphologie des horizons supérieurs de sols ferrallitiques du Gabon. Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XII, n° 3/4.

MURPHY C.P., BULLOCK P., TURNER R.H. (1977)-. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principes and techniques. J. Soil Sci., 28 : 498-508.

MURPHY C.P., BULLOCK P., BISWELL K.V. (1977)-. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis. Part II. Applications. J. Soil Sci., 28 : 509-518 (b)

NEWMANN E.I. (1966)-. J. App. Ecol. 3 (1) Cité par TRI. Ann. Agr. 1973, T. 24, p. 401.

NICOU R., THIROUIN H. (1968)-. Mesures sur la porosité et l'enracinement. Premiers résultats. IRAT - Sénégal. Doc. 52p., multigr.

NIKIFGOROFF (1941)-. Morphological classification of soil structure. Soil Sci., Vol. 52, n° 3.

ORGIAS A. (1951).- Recherche préliminaire sur le système radiculaire de l'arachide. Oléagineux, VI, 10 : 571-575.

PEDRO G., CHAUVEL A., MELFI A.J. (1976)-. Recherche sur la constitution et la génèse des Terra Roxa Estructurada du Brésil. Introduction à une étude de la pédogénèse ferrallitique. Ann. Agron. 1976, 27 (3) : 265-294.

PELERENTS C. (1958)-. Etude du système radiculaire du riz de terre ferme en conditions naturelles. Bull. Agric. du Congo Belge, XLIX, 5 : 1269-1289.

PEREIRA H.C. (1956)-. A rainfall test for structure of tropical soils.
J. of Soil Sci., 7 : 68-75.

PHILIPS R.E., KIRKHAM D. (1962)-. Soil compaction in the field and corn growth.
Agron. Journ., 54 : 29-34.

QUIRK J.P. (1978)-. Some physico-chemical aspects of soil structural statibility. A review In : Modification of soil structure.
EMERSON W.W., BOND R.D., DEXTER A.R. (edit.). WILEY. CHICHESTER. New-York, Brisbane, Toronto, 3-16.

REMY J.C. (1971)-. Influence de la constitution physique des sols sur le comportement mécanique. Signification des limites d'Atterberg en matière de travail du sol.
Ann. Agron., 22 : 267-290.

RICHARD J.F., KAHN F., CHATELIN Y. (1977)-. Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides).
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XV, n° 1 : 43-61.

RICHE G. et *al.*, (1974)-. Les sols rouges de la partie nord du bassin du Wabi Schebelle (Ethiopie).
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XII, n° 3/4.

ROGALA J.P. (1980)-. Comparaison de plusieurs populations statistiques : Le test de Kolmogorov-Smirnov.
Informatique et Biosphère n° 11, juil., 41-46.

ROOSE E.J. (1978)-. Pédogénèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du Centre Haute-Volta. Gonsé : Campagne 1968 à 1974.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XVI, n°2.

ROOSE E.J. (1979)-. Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique très désaturé sur sédiments argilo-sableux sous culture et sous forêt dense humide subéquatoriale du Sud de la Côte d'Ivoire. Adiopodoumé : 1964 à 1976.
Cah. ORSTOM, Pédol., XVII, n° 4 , 1979.

ROOSE E.J. (1979)-. Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique gravillonnaire issu de granite sous culture et sous une savane arbustive soudanienne du Nord de la Côte d'Ivoire. (Korhogo 1967-1975).
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol. XVII, n° 2.

ROSE C.W. (1961)-. Rainfall and soil structure.
Soil Sci., 91 (1) : 49-54.

RUSSEL E.W. (1938)-. Soil structure.
Imp. Bur. of Soil Sci. Techn. Comm. n° 3.

SEBILLOTTE M. (1968)-. Stabilité structurale et bilan hydrique du sol. Influence du climat et de la culture.
Ann. Agron. 19, 4 : 403-414.

SEGALEN P. (1967)-. Les sols et la géomorphologie du Cameroun.
Cah. ORSTOM, Pédol., Vol., V, n° 2.

SEGUY L., NICOU R., HADDAD G. (1970)-. Comparaison de l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial en présence ou en absence de travail du sol.
I.R.A.T. - Sénégal, Doc. 20p.

STENGEL P. (1976)-. Incidence de la simplification du travail du sol sur la porosité de la couche arable.
C.R. Coll. "Simplification du travail du sol en production céréalière".
I.T.C.F., Paris, 133-149.

STENGEL P., FAURE A. (1978)-. Comportement mécanique d'un sol argileux soumis au roulage d'engins agricoles.
Acad. Agric. de France. Extrait du procès verbal de la séance du 11.1.1978.

STENGEL P. (1979)-. Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol *in situ*.
Ann. Agron., 30, 1 : 27-51.

TAGINI B. (1972)-. Notice explicative à la carte géologique de Côte d'Ivoire à 1/2.000.000e.
Rapp. SODEMI, n° 279, 19p.

TAYLOR H.M., RATTLIFF L.F. (1969)-. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strengh and soil water content.
Soil Sci., 108, 2 : 113-119.

TESSIER D., PEDRO G. (1980)-. Sur les propriétés de gonflement des argiles dans les sols.
C.R. Acad. Sci., Paris, t. sér. D : 461-464.

TOOGOOD J.A. (1978)-. Relation of aggregate stability to properties of alberta soils. In. Modification of soil structure. EMERSON et al., edit. WILLEY. CHICHESTER, NEW-YORK BRISBAN, TORONTO : 211-215.

TOUTAIN F. (1974)-. Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles.
Thèse Doct. ès-sci. Univ. Nancy.

VALENTIN C. (1981)-. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique. Dynamique de formation et conséquence sur l'économie de l'eau. Thèse 3e cycle, Univer. Paris, VII.

VEIHMEYER J.F., HENDRICKSON A.M. (1948)-. Soil density and root penetration.
Soil Sci., 65 : 487-493.

VIENNOT M. (1980)-. Cartes des unités morpho-pédologiques. Cartes des paysages morpho-pédologiques.
ORSTOM, Adiopodoumé. Doc. de travail. Feuille Touba.

VILENSKI D. (1934)-. Influence de l'humidité du sol sur sa structure.
C.R. Assoc. Intern. Sci., Sol, Versailles, 1ère commission, 97-108.

WISHMEIER W.H., SMITH D.D. (1958)-. Rainfall energy and its relationships to soil loss.
Amer. Geophys. Union., 39 : 285-291.

YORO G. (1976)-. Mesure de la sensibilité des sols au tassement en fonction de leur humidité. Recherche d'une méthode permettant d'opérer sur de petits échantillons de terre tamisée. Application à la comparaison de quelques matériaux différents.
D.E.A. Fédéral : ORSTOM, INA et Université Paris VII.

YORO G. (1979)-. Aperçu sur les modifications du milieu naturel sous l'effet des pratiques culturales (Taï).
ORSTOM, Adiopodoumé, 12p., multigr.

YORO G. (1980)-. Présentation des méthodes d'analyse utilisées pour caractériser l'état structural des sols du Nord de la Côte d'Ivoire (Touba).
ORSTOM, Adiopodoumé, 15p., multigr.

YORO G. (1982)-. Etude pédologique et perspectives agricoles de la région de Touba (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire).
ORSTOM, Adiopodoumé, 50p., multigr.

LISTE DES TABLEAUX

		Pages
Tableau N° 1 :	Données pluviométriques de 1939 à 1980	10
2 :	Observation de la strate herbacée du segment pédologique retenu à SOULA	24
3 :	Observation de la strate herbacée du segment pédologique retenu à TOHA	27
4 :	Taille des agrégats suivant la structure	35
5 :	Nature des prétraitements utilisés et succession des opérations réalisées	54
6 :	Structure des horizons des sols de SOULA et de ceux de TOHA au cours de six périodes d'étude	59
7 :	Distribution des éléments structuraux d'un horizon B ferrallitique	78
8 :	Distances relatives entre les taux d'agglomérats des horizons de SOULA	83
9 :	Appréciation de la variation temporelle des agglomérats	84
10 :	Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe d'agrégats 10-5 mm	86
11 :	Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux grossiers	87
12 :	Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe 3,15-5 mm	88
13 :	Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux moyens (5-3,15 mm) de SOULA	89
14 :	Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe d'agrégats 3,15-2 mm....	91
15 :	Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux moyennement fins (3,15-2 mm)	92
16 :	Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe d'éléments structuraux 1-2 mm	93
17 :	Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux fins 1-2 mm	94
18 :	Distances relatives entre les horizons de SOULA pour la classe des microagrégats <1 mm	96

Tableau n° 19 : Appréciation de la variation temporelle des microagrégats < 1 mm .....

20 : Distances relatives entre les taux d'agglomérats des horizons de TOHA .....

21 : Appréciation de la variation temporelle des agglomérats de TOHA .....

22 : Distances relatives entre les éléments structuraux grossiers des horizons de TOHA .....

23 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux grossiers de TOHA .....

24 : Distances relatives entre les éléments structuraux moyens des horizons de TOHA .....

25 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux moyens de TOHA.....

26 : Distances relatives entre les taux des éléments structuraux moyennement fins des horizons de TOHA .....

27 : Appréciation de la variation temporelle des éléments struturaux moyennement fins (3,15-2 mm) .....

28 : Distances relatives des taux d'éléments structuraux fins (1-2 mm) des horizons de TOHA ....

29 : Appréciation de la variation temporelle des éléments structuraux fins de TOHA .....

30 : Distances relatives entre les taux de microagrégats des horizons de TOHA .....

31 : Appréciation de la variation temporelle des microagrégats < 1 mm .....

32 : Corrélation entre l'humidité du sol et les taux des éléments structuraux des classes dimensionnelles .....

33 : Evolution des T.C.E.S. < 10 TRI Modifié dans les profils des sols de TOHA et de SOULA en février et juillet .....

34 : Classes granulométriques des particules de la couche de poussière .....

35 : Effets des débris végétaux sur l'écrasement des agrégats (déliés) à la surface des sols de SOULA .....

36 : Variation de l'épaisseur de la croûte de tassement en fonction des contraintes à la surface des sols de TOHA et de SOULA .....

37 : Densité réelle des horizons étudiés.....

Tableau N° 38 : Variation des porosités totales des horizons superficiels en fonction des contraintes physiques et de l'humidité du sol 146

39 : Effets de la paille sur le tassement des horizons superficiels 149

40 : Teneurs en fer total et en argile des horizons superficiels de trois types de sols..... 165

41 : Variation des valeurs de l'indice de l'Is dans les profils au cours des trois années (79-81). 169

42 : Coefficient de corrélation (r.s.) en fonction des classes dimensionnelles 177

43 : Variation de l'indice d'instabilité en fonction de la taille des agrégats au cours des trois années 185

44 : Appréciation de la variation temporelle de Is des différentes classes dimensionnelles dans chacun des horizons des deux types de sols étudiés 188

45 : Distances observées entre les valeurs de Is des quatre classes dimensionnelles 191

46 : Valeurs du coefficient de corrélation de rangs de Spearman : liaison Is - taille des agrégats 192

47 : Valeurs du coefficient de corrélation entre Ep et la dimension des éléments structuraux 199

48 : T.C.E.S. < 10 en fonction des types de structure 237

49 : Distribution des T.C.E.S. < 10 en fonction des types de structure décrits dans deux types de sols du Nord-ouest de la Côte d'Ivoire 238

50 : Répartition des types de vides dans les horizons des sols de SOULA et de ceux de TOHA 239

51 : Relation entre le type de structure, la nature des vides et le T.C.E.S < 10 241

52 : Relation entre le T.C.E.S. < 10 et l'humidité dans les divers horizons étudiés 241

53 : Distribution du taux d'éléments structuraux réels dans l'horizon B gravillonnaire de TOHA. 242

54 : Relation entre le T.C.E.S. < 10 et la densité de racines des horizons humifères (A_{11} et A_{12}) 244

55 : T.C.E.S. < 10 avant et après piétinement au cours des différentes périodes d'étude 246

Tableau N° 56 : Variation de la porosité dans les profils de SOULA et de TOHA 2

57 : Répartition en pourcentage pondéral de l'ensemble des racines dans les divers horizons de SOULA et de TOHA 2

LISTE DES FIGURES

Pages

Figure N° 1 : Carte de situation de TOUBA 7

2 : Pluviométries moyennes annuelles 8

3 : Fréquences mensuelles des pluies de 1939 à 1980 11

4 : Pluviométries moyennes et évapotranspiration potentielle 12

5 : Esquisse géologique 17

6 : Carte hydrographique 18

7 : Carte de situation des sites 20

8 : Toposéquence de SOULA 22

9 : Toposéquence de TOHA 26

10 : Variation temporelle du taux des racines de Ø > 1 mm dans chacun des horizons de SOULA 64

11 : Variation temporelle du taux des racines de Ø > 1 mm dans chacun des horizons de TOHA 65

12 : Distribution verticale des taux de racines dans les sols de SOULA et de ceux de TOHA 67

13 : Evolution verticale des médianes de coefficient de variation des racines 69

14 : Variation temporelle des taux de racines de Ø < 1 mm dans chacun des horizons de SOULA et de TOHA 70

15 : Distribution verticale des racines suivants les médianes 72

16 : Distribution verticale des classes d'éléments structuraux dans les sols de SOULA au cours des différentes périodes de mesure 81

17 : Variation temporelle des taux des éléments structuraux des classes dimensionnelles de SOULA 82

18 : Distribution verticale des classes d'éléments structuraux dans les sols de TOHA au cours des différentes périodes de mesure 100

19 : Variation temporelle des taux des éléments structuraux des classes dimensionnelles de TOHA 103

Figure N° 20 : Corrélation entre l'humidité et les taux d'éléments structuraux des classes dimensionnelles des horizons A_{11} (0-10 cm) de SOULA .....

21 : Corrélation entre l'humidité et les taux d'éléments structuraux des classes dimensionnelles des horizons A_{11} (0-10 cm) de TOHA .....

22 : Variation des T.C.E.S. < TRI et des T.C.E.S. < 10 Modifié dans les profils de sols de TOHA et de SOULA en février et juillet .....

23 : Evolution du pourcentage de micro-agrégats superficiels en fonction des contraintes .....

24 : Variation de la porosité dans les profils de TOHA et de SOULA .....

25 : Variation temporelle des porosités des sols de SOULA et de ceux de TOHA avant et après piétinement .....

26 : Variation de la porosité des horizons de surface en fonction des contraintes appliquées .....

27 : Variation des densités sèches en fonction des teneurs en eau .....

28 : Variation verticale des argiles et limons fins..

29 : Variation du taux d'argile masquée dans les profils de sols de TOHA et de SOULA .....

30 : Variation verticale des caractéristiques organiques des sols de SOULA et de ceux de TOHA ....

31 : Variation des caractéristiques du complexe absorbant des sols de SOULA et de ceux de TOHA..

32 : Variation du taux de fer total dans les sols de SOULA et de TOHA .....

33 : Evolution du fer total en fonction de l'argile masquée .....

34 : Variation des caractéristiques physiques des deux types de sols étudiés .....

35 : Distribution du taux de carbone en fonction de la taille des agrégats .....

36 : Distribution du taux d'azote dans les classes d'agrégats des sols étudiés .....

37 : Distribution du taux de fer dans les classes d'agrégats des sols étudiés .....

38 : Variation du rapport C/N dans les classes d'agrégats des sols étudiés .....

Figure N° 39 : Porosité texturale des agrégats de quatre classes dimensionnelles des horizons de SOULA.. 180

40 : Porosité texturale des agrégats de quatre classes dimensionnelles des horizons de TOHA .. 181

41 : Variation temporelle de Is déterminé sur des agrégats de quatre classes dimensionnelles de SOULA 187

42 : Variation temporelle de Is déterminé sur des agrégats de quatre classes dimensionnelles de TOHA 187

43 : Variation de la résistance des agrégats de SOULA en fonction de leur taille 194

44 : Variation de la résistance des agrégats de TOHA en fonction de leur taille 194

45 : Résistance à l'impact des gouttes d'eau suivant la taille et la forme des agrégats et le mode d'assemblage de leurs particules constitutives 196

46 : Résistance à l'impact des gouttes d'eau suivant la taille et la forme des agrégats et le mode d'assemblage de leurs particules constitutives 197

47 : Variation de la résistance des classes d'agrégats de SOULA en fonction de leurs humidités .. 201

48 : Variation de la résistance des classes d'agrégats en fonction de leurs humidités 202

49 : Distribution dimensionnelle des particules de désagrégation SOULA 206

50 : Distribution dimensionnelle des particules de désagrégation TOHA 207

51 : Courbes Proctor des horizons étudiés 212

52 : Variation de W_a d'un horizon à l'autre des profils de SOULA et de TOHA 214

53 : Variation de da_c d'un horizon à l'autre des profils de SOULA et de TOHA 214

54 : Variation verticale du rapport acides humiques/acides fulviques dans les sols de SOULA et de TOHA 217

55 : Variation de da_m d'un horizon à l'autre des profils de SOULA et de TOHA 218

56 : Variation de W_m d'un horizon à l'autre des profils de SOULA et de TOHA..... 218

Figure N° 57 : Courbes Proctor des matériaux de différente taille rangées par horizon du sol de SOULA ....

58 : Courbes Proctor des matériaux de différente taille rangées par horizon du sol de TOHA .....

59 : Variation des médianes des caractéristiques Proctor : d_{ac}, W_a, W_m et d_{am} en fonction de la taille initiale des agrégats compactés .....

60 : Variation de d_{ac} en fonction de la taille des différents matériaux de TOHA et de ceux de SOULA .....

61 : Variation de d_{am} en fonction de la taille des différents matériaux de TOHA et de SOULA .....

62 : Distribution verticale de T.C.E.S. < 10 dans les sols de SOULA et de ceux de TOHA .....

63 : Variation verticale et temporelle de la porosité totale dans les sols de SOULA et de TOHA .....

64 : Variation de T.C.E.S. < en fonction de la porosité totale .....

LISTE DES SCHÉMAS

			Pages
Schéma N°	1	: Variation latérale de la structure	75
	2	: Modifications structurales des horizons de surface sous l'effet du piétinement et du roulage en fonction de l'humidité	131
	3	: Agrégats à assemblage uniforme	195
	4	: Agrégats à assemblage continu	195
	5	: Types d'agrégats suivant leur forme et le mode d'assemblage de leurs particules	195
	6	: Schéma de destruction des agrégats n° 1	204
	7	: Schéma de destruction des agrégats n° 2	205
	8	: Schéma de processus de formation des types de structure	236

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

(Toutes les photos sont à la même échelle 1/28)

PLANCHE I

TYPES DE STRUCTURE DANS LES SOLS DE SOULA

Photo 1 (0-10 cm) : Structure fragmentaire grumeleuse nette. Les agrégats sont en majorité moyens ou fins. Quelques grossiers s'observent à la base. Nombreux vides d'entassement libres (en blanc).

Photo 2 (10-20 cm) : Structure fragmentaire grumeleuse nette. Les agrégats sont surtout grossiers. Entre ceux-ci et sur la partie droite de la photo on observe des agrégats de taille réduite. Vides d'entassement libres et compacts.

Photo 3 (20-40 cm) : Structure massive-fragmentaire. Les agrégats ne sont pas discernables. Excepté toutefois les fins observés le long des racines ou des cavités. On a surtout des vides d'entassement compacts.

Photo 4 (40-80 cm) : Structure massive. Les agrégats sont reliés ou soudés les uns aux autres. On a donc surtout des agglomérats (Ø < 10 mm). Les pores sont des cavités et des fissures auxquelles sont associés des vides d'entassement compacts.

ANNEXES

ANNEXE I : Variation des densités d'occupation (en g/dm3 de sol) des racines dans les sols au cours des différentes périodes.

riodes	racines $\phi > 1$ mm				racines $\phi < 1$ mm				ensemble des racines	
	SOULA		TOHA		SOULA		TOHA		SOULA	TOHA
il 1979	0,92	55%	3,44	70%	2,04	5%	0,77	23%	2,96	4,21
	0,77	70%	7,63	71%	1,27	8%	0,76	17%	2,04	8,39
	0,88	56%	0,13	56%	0,72	6%	0,43	31%	1,60	0,56
	0,65		0,04		0,30		0,09		0,95	0,13
llet 1979	1,01	33%	0,78	38%	2,36	3%	0,38	11%	3,37	1,16
	0,80	41%	3,37	41%	1,84	9%	0,26	19%	2,64	3,63
	1,20	40%	0,15	70%	1,0	12%	0,14	33%	2,20	0,29
	0,75		0,121		0,41		0,11		1,16	0,23
vier 1980	1,33	12%	2,55	27%	2,96	5%	0,64	14%	4,29	3,19
	3,00	24%	6,21	42%	1,66	13%	0,60	25%	4,66	6,81
	0,86	17%	0,14	39%	0,86	8%	0,33	15%	1,72	0,47
	0,82		0,07		0,34		0,10		1,13	0,17
il 1980	0,83	24%	4,33	58%	1,73	4%	0,90	19%	2,56	5,23
	0,53	26%	9,06	61%	0,70	7%	0,93	31%	1,23	9,99
	0,56	38%	0,13	52%	0,43	5%	0,53	28%	0,99	0,66
	0,56		0,10		0,30		0,09		0,86	0,10
rier 1981	8,86	89%	9,0	63%	4,50	8%	2,0	14%	13,36	11,00
	1,8	45%	1,6	53%	1,60	5%	0,66	28%	3,40	2,26
	0,6	51%	4,26	50%	0,6	4%	0,40	22%	1,20	4,66
	0,4		0,13		0,3		0,30		0,70	0,43
llet 1981	5,30	57%	2,60	38%	2,03	6%	1,1	15%	7,33	3,70
	2,06	48%	2,0	54%	1,80	7%	0,9	22%	3,86	2,90
	0,70	44%	0,4	51%	1,0	7%	0,2	14%	1,70	0,60
	0,30		0,2		0,6		0,08		0,90	0,28

% coefficient de variation

Les lignes indiquent les horizons 0-10 cm, 10-20 cm 20-40 cm et 40-80 cm.

Calcul du coefficient de variation

Les valeurs de l'ANNEXE I représentent la moyenne de trois données. Ce nombre de répétitions est insuffisant pour calculer l'écart-type $\frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1}$ qui, il faut le souligner, a été déterminé à titre purement indicatif. Le coefficient de variation correspond au rapport de l'écart-type à la moyenne ($\bar{x}$), multiplié par 100.

ANNEXE II : Séparation granulométrique des éléments structuraux.

ANNEXE II-1 : Distribution dimensionnelle des éléments structuraux dans les sols

a) SOULA

Période \ Taille (mm)	>10	10-5	5-3,15	3,15-2	2-1	< 1	Humidit
avril 1979	8,9	18,7	13,1	12,6	14,1	31,2	20,32
	22,3	23,2	13,3	9,8	9,9	20,4	16,64
	34,2	18,2	9,3	6,5	7,2	23,4	16,85
	32,4	18,5	10,6	9,1	9,1	19,5	17,80
juillet 1979	15,2	23,7	27,2	31,2	2,0	0,3	35,72
	18,5	27,6	20,6	19,3	10,5	2,8	35,42
	24,6	22,5	16,2	17,4	12,6	1,8	34,80
	22,8	25,6	22,3	18,9	4,0	0,4	33,02
janvier 1980	24,6	20,6	10,7	9,1	9,4	24,5	13,02
	29,5	24,7	12,2	8,9	8,8	15,2	14,20
	31,4	17,4	10,7	8,6	8,8	22,7	13,60
	34,1	17,9	8,9	8,3	9,5	20,9	13,3
avril 1980	5,8	13,0	10,9	12,2	15,9	40,4	22,28
	23,7	24,9	12,6	10,0	10,5	17,1	27,91
	30,8	16,0	9,5	10,3	10,1	24,1	27,0
	34,0	15,6	9,0	7,8	8,9	24,4	26,24
février 1981	17,8	19,9	12,6	10,4	11,8	26,9	15,95
	29,5	23,8	11,7	8,2	8,3	17,9	17,1
	34,6	18,7	11,8	8,9	7,7	19,3	17,0
	35,2	19,3	10,9	7,5	8,5	18,4	16,82
juillet 1981	10,4	22,4	23,5	25,6	8,0	9,5	32,99
	20,8	26,8	20,5	16,4	6,3	7,1	30,38
	28,4	20,6	18,3	17,7	6,3	8,4	30,38
	26,8	23,4	17,9	16,7	6,7	7,5	31,1

b) TOHA

avril 1979	34,8	22,0	10,0	8,2	11,0	13,6	12,0
	48,2	20,7	9,2	8,2	7,1	5,0	12,4
	53,2	16,3	7,0	6,2	8,2	8,0	12,2
	38,8	20,0	11,5	9,5	8,1	8,9	12,0
juillet 1979	20,6	26,4	16,5	24,4	11,4	0,2	28,4
	29,5	27,3	13,3	21,3	8,0	0,2	28,8
	42,1	25,7	14,2	14,5	2,5	0,2	29,0
	28,6	26,2	19,4	21,4	3,5	0,2	27,7
janvier 1980	46,3	11,2	4,6	4,6	8,1	24,6	6,0
	50,4	17,0	5,1	4,8	6,5	16,2	6,3
	60,6	14,1	5,7	4,9	5,6	9,1	7,4
	49,4	14,6	9,8	9,6	8,9	7,9	9,6
avril 1980	38,2	25,4	8,6	5,9	7,0	14,2	12,4
	46,4	23,3	7,5	5,9	6,5	10,0	13,1
	58,4	16,3	6,2	4,7	5,3	8,5	12,4
	48,2	20,4	8,3	7,7	7,5	7,9	12,6
février 1981	40,7	19,0	8,9	7,0	7,9	15,9	6,7
	47,8	17,5	6,8	7,1	9,1	12,6	8,3
	64,2	13,6	5,6	5,5	5,0	5,7	8,8
	59,9	16,4	7,3	6,8	4,6	4,2	9,2
juillet 1981	27,7	27,2	13,8	14,3	14,8	1,5	22,2
	39,8	26,1	18,8	12,3	2,3	0,2	17,5
	42,9	25,1	18,3	11,1	1,5	0,3	17,0
	28,8	26,4	26,2	15,8	2,2	0,2	16,1

N.B. : Les lignes correspondent aux horizons 0-10, 10-20, 20-40 et 40-80 cm.

Chaque valeur représente la moyenne de cinq répétitions.

c) Le test de Kolmogorov-Smirnov

Pour apprécier les variations verticales et temporelles, nous avons utilisé le test de Kolmogorov-Smirnov avec toutes les valeurs obtenues lors du tamisage, soit 5 par classe dimensionnelle et par horizon. Ce qui nous amène à un total de 30 valeurs pour les 6 périodes de tamisage.

Le test de Kolmogorov-Smirnov permet de se rendre compte s'il y a ou non une différence entre des groupes de données. On établit pour ce faire, une fonction de répartition pour chacune des population : F_n, (V) et F_{n2} (V). On trace sur un même graphique les diagrammes cumulatifs des fréquences. On porte en abscisse les valeurs de la variable V et en ordonnée les fréquences cumulées. On mesure la distance verticale maximale D (en pourcentage) entre deux courbes.

On a $D = \text{Max}|F_{n1}(V) - F_{n2}(V)|$

Cette distance D est comparée à un D_c critique. "La différence entre les deux populations est significative si $D > Dc$; les deux populations sont considérées comme différentes" (ROGALA, 1980).

Pour $n_1 < 15$ ou $n_2 < 15$, le Dc critique au seuil de 5% se trouve dans un tableau (ROGALA, 1980).

Pour n_1 et n_2 supérieurs à 15, on calcule les Dc critiques:

au seuil de 1% $Dc = 163 \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n1\ n2}}$

au seuil de 5% $Dc = 136 \sqrt{\frac{n1 + n2}{n1\ n2}}$

au seuil de 10% $Dc = 122 \sqrt{\frac{n1 + n2}{n1\ n2}}$

Exemple d'application du test

- Distribution des agglomérats dans les profils de sol de SOULA et de TOHA : n1 = 30 et n2 = 30 (annexe C1 et C2).

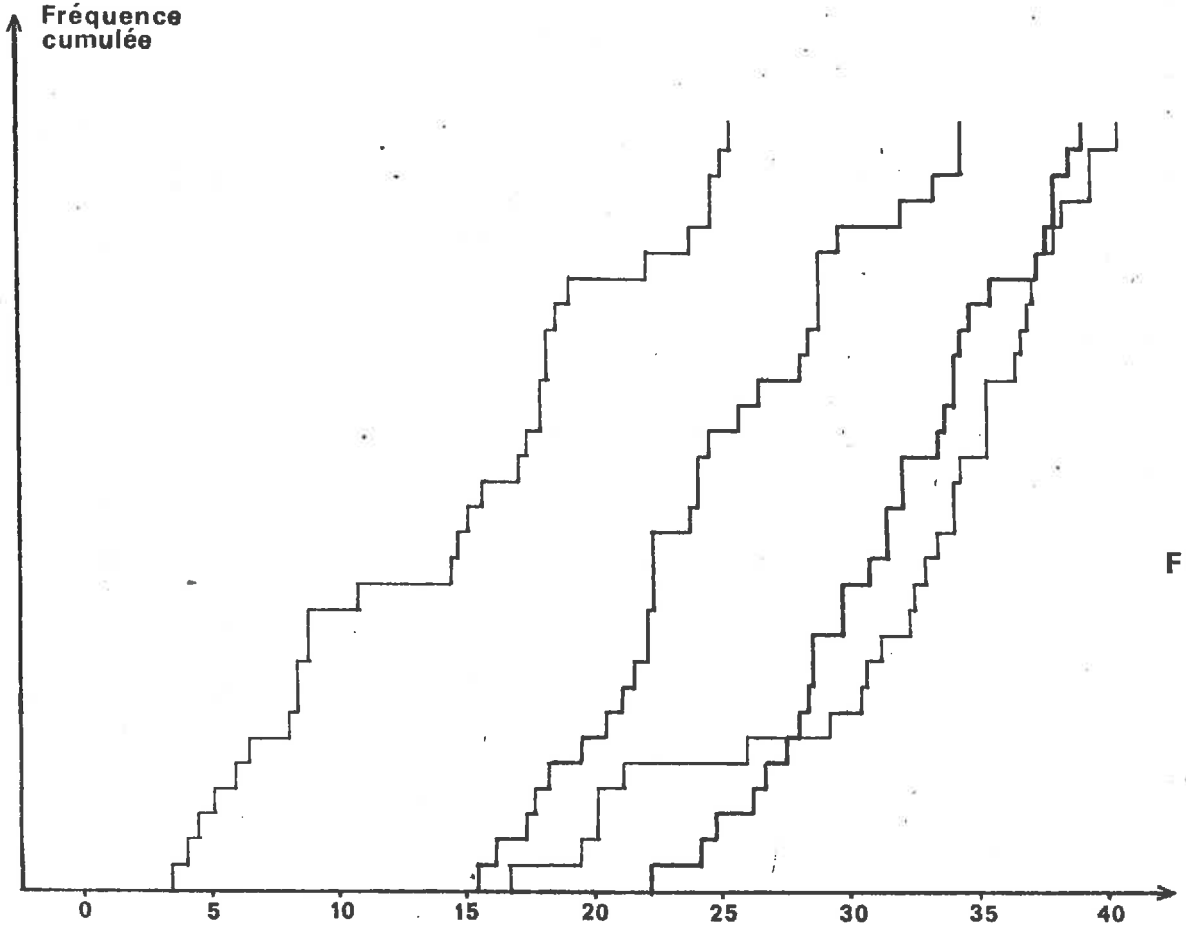
  Dc au seuil de 5% est égal à 35,1. Celle-ci est comparée aux distances observées entre les taux d'agglomérats des différents

horizons (tableau 1 et tableau 2).

- Variation temporelle des agglomérats dans l'horizon 0-10 cm du sol de TOHA

$$n1 = n2 = 5.$$

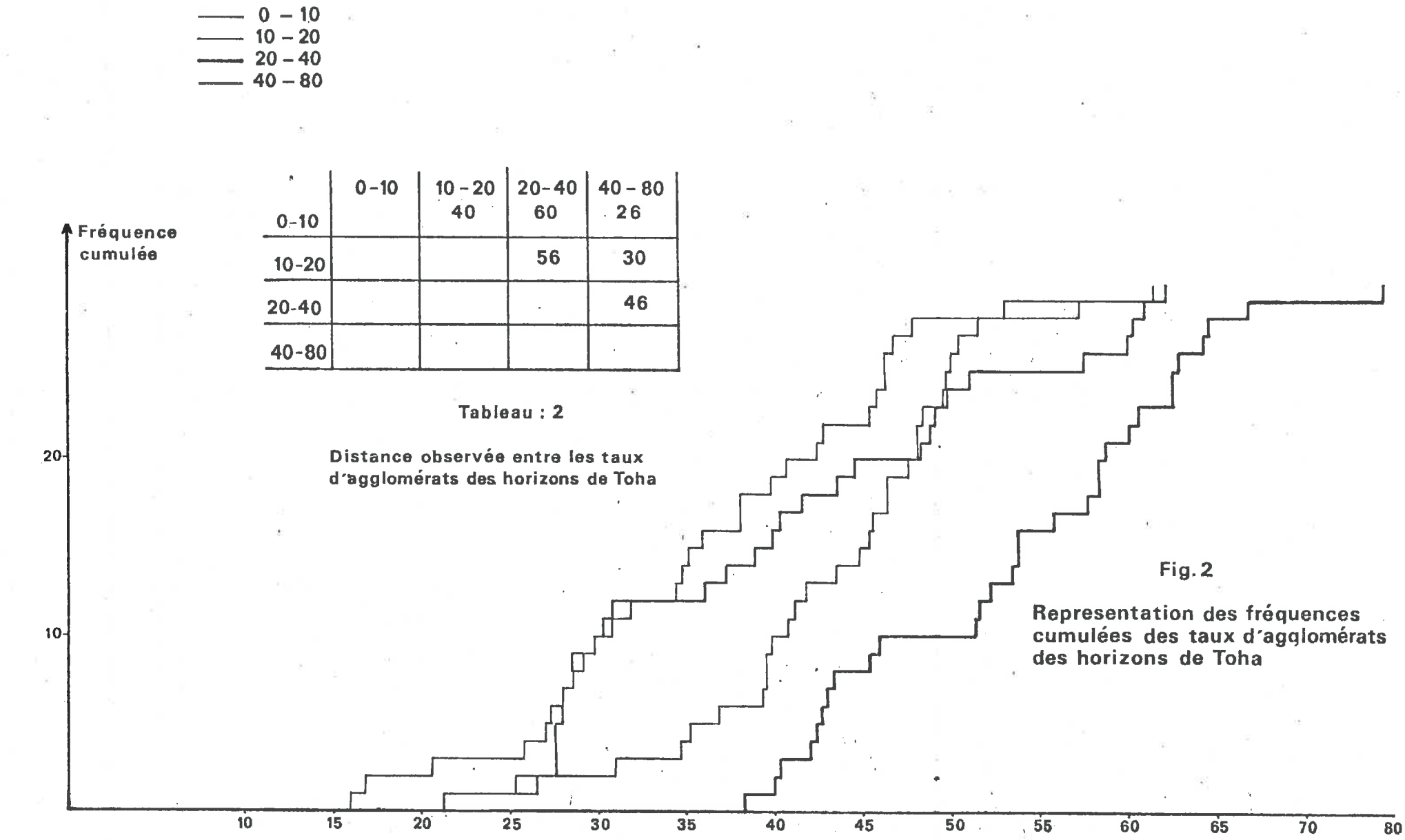
La distance critique, Dc : 80, se lit dans un tableau. Elle est comparée aux distances observées (C3).



	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		63	83	73
10-20			50	63
20-40				20
40-80				

Tableau 1 : Distance observée entre les taux d'agglomérats des horizons de Toha

Fig . 1 : Representation des fréquences cumulées des taux d'agglomérats



	0-10	10-20	20-40	40-80
0-10		40	60	26
10-20			56	30
20-40				46
40-80				

Tableau : 2

Distance observée entre les taux d'agglomérats des horizons de Toha

Fig. 2

Representation des fréquences cumulées des taux d'agglomérats des horizons de Toha

C_1 SOULA < 10 AGGLOMERATS

0-10	10-20	20-40	40-80
3,4	15,3	22,0	16,6
3,9	16,1	34,0	19,4
4,4	17,2	24,6	20,0
5,0	17,6	26,0	20,0
5,8	18,1	26,5	21,1
6,4	19,4	27,4	25,8
8,0	20,3	27,9	29,1
8,3	21,0	28,2	30,3
8,4	21,5	28,4	30,5
8,7	22,1	28,4	31,1
8,8	22,2	29,6	32,2
10,7	22,3	29,7	32,4
14,4	22,3	30,7	32,8
14,6	22,4	31,3	33,3
15,0	23,7	31,4	34,0
15,6	23,9	31,9	34,1
17,1	24,0	31,9	34,2
17,4	24,4	33,4	35,1
17,8	25,7	33,6	35,1
17,9	26,3	34,0	35,2
18,1	28,0	34,1	36,3
18,2	28,3	34,2	36,6
18,5	28,7	34,6	36,8
19,0	29,5	35,3	37,1
22,0	29,5	37,2	37,3
23,7	29,6	37,5	37,9
24,5	32,0	37,8	38,2
24,6	33,2	37,9	39,3
24,9	33,9	38,5	39,4
25,2	34,0	39,0	40,4

AGGLOMERATS

C_2 TOHA >10

0-10	10-20	20-40	40-80
16,1	21,3	38,2	25,3
16,8	25,3	40,0	26,5
20,6	31,0	40,3	27,6
25,7	34,7	42,1	27,6
27,0	35,2	42,4	28,0
27,2	36,8	42,6	28,2
28,0	39,3	42,9	28,3
28,6	39,5	43,4	28,6
29,1	39,6	45,3	30,0
29,7	39,8	45,8	30,2
30,7	40,7	51,3	30,8
31,8	41,1	51,5	36,0
34,4	41,7	52,1	37,2
34,8	43,5	53,5	38,8
35,1	44,8	53,7	39,8
35,9	45,3	53,8	40,3
38,0	45,5	55,7	41,5
38,1	46,4	57,7	43,5
38,4	46,5	58,4	44,5
39,8	47,6	58,4	48,2
40,6	48,1	58,7	48,8
42,4	48,2	60,1	49,0
42,7	48,3	60,6	49,7
45,3	49,5	62,6	51,1
45,8	49,7	62,7	57,6
46,2	50,0	62,9	59,9
46,3	50,4	64,3	60,3
46,7	51,5	64,6	61,0
47,8	53,0	66,8	62,2
57,4	61,5	74,6	

C_3 : Distance observée entre les taux d'agglomérats de l'horizon 0-10 cm de TOHA au cours des périodes de tamissage

	avril 79	juil. 79	janv. 80	avril 80	fév. 81	juil. 81
avril 79		100	80	60	80	80
juil. 79			100	80	100	80
janv. 80				60	60	100
avril 80					40	80
fév. 81						100
juil. 81						

Taux d'agglomérats de l'horizon 0-10 cm de TOHA

avril 79	juil. 79	janv. 80	avril 80	fév. 81	juil. 81
35,1	25,7	57,4	42,4	46,2	27,2
35,9	28,0	46,7	45,3	40,6	31,8
28,6	16,1	47,8	27,0	45,8	30,7
39,8	16,8	34,4	38,0	38,4	29,1
34,8	20,6	46,3	38,1	42,7	29,7

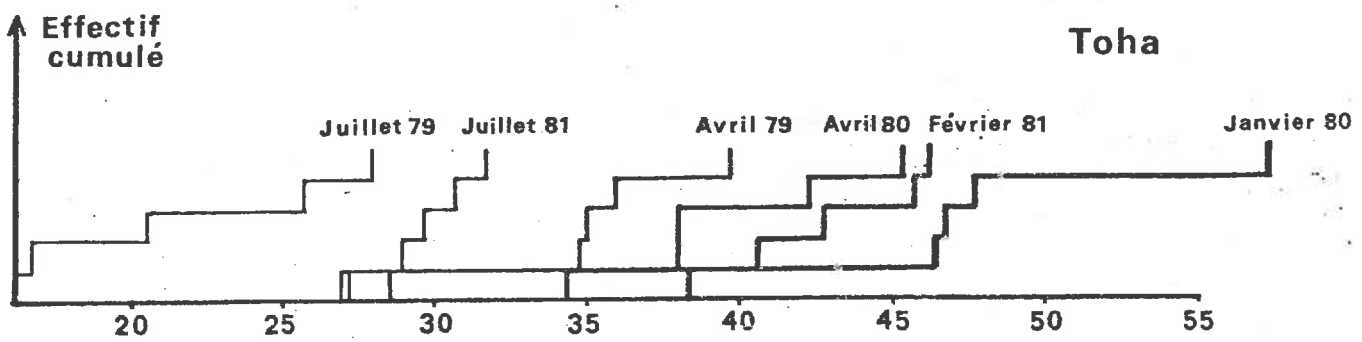


Fig. 3 : Representation des fréquences cumulées des agglomérats de l'horizon 0-10 cm de Toha

ANNEXE II-2 : Variation de T.C.E.S. < 10 dans les profi
au cours du temps

Horizons \ Périodes	avril 1979.	juillet 1979	janvier 1980	avril 1980	février 1981	juillet 1981
SOULA						
0-10	90,1	83,8	17,4	93,2	81,2	88,6
10-20	76,7	80,5	69,5	75,3	69,5	78,2
20-40	64,8	74,4	67,6	68,2	64,4	70,6
40-80	66,6	76,2	64,9	65,0	63,8	72,2
TOHA						
0-10	64,2	78,4	52,7	60,8	58,3	71,3
10-20	50,8	69,5	48,6	52,6	51,2	59,2
20-40	45,5	56,9	38,4	40,6	34,8	56,1
40-80	58,8 55,0*	70,4 66,8*	49,6 46,2*	50,8 48,1*	39,1 36,7*	70,2 66,3*

* taux des éléments structuraux réels.

ANNEXE III : MODIFICATIONS STRUCUTRALES

ANNEXE III-1 : Variation de la porosité totale dans les profils de SOULA et de TOHA au cours de différentes périodes de mesure

Périodes / Horizons		avril 79	janvier 80	février 81	juillet 81
0-10	S	63,3	63,0	63,4	62,8
	T	50,9	54,1	53,8	50,6
10-20	S	63,3	62,2	61,8	63,3
	T	45,8	48,7	51,7	46,5
20-40	S	60,6	62,3	62,6	61,8
	T	39,8	46,7	45,4	45,2
40-80	S	60,6	62,9	64,0	60,8
	T	38,4	41,1	39,2	42,6

ANNEXE III-2 : Effets du piétinement (P_{200}) en profondeur

a) SOULA

Périodes	Horizons	da_p	da_o	$da_p - da_o$	Humidité	
					H_o	H_p
avril 79	SOU (0-10)	1,000	1,006	0,006	13,78	14,80
	SOU (10-20)	1,007	1,010	0,003	27,62	27,40
	SOU (20-40)	1,093	1,094	0,001	27,28	27,24
	SOU (40-80)	1,093	1,093	0,000	27,42	27,38
janvier 80	SOU (0-10)	1,008	1,010	0,002	11,98	12,70
	SOU (10-20)	1,038	1,044	0,006	19,52	19,93
	SOU (20-40)	1,045	1,045	0,000	23,08	22,26
	SOU (40-80)	1,031	1,030	-0,001	23,80	23,77
février 81	SOU (0-10)	0,998	1,003	0,005	13,95	12,80
	SOU (10-20)	1,048	1,054	0,006	23,60	21,78
	SOU (20-40)	1,039	1,038	-0,001	24,47	25,00
	SOU (40-80)	0,999	1,000	0,001	26,79	26,03
juillet 81	SOU (0-10)	1,015	1,041	0,026	37,77	34,82
	SOU (10-20)	1,009	1,032	0,023	37,84	34,98
	SOU (20-40)	1,060	1,059	-0,001	34,13	34,54
	SOU (40-80)	1,088	-	-	36,2	-

b) TOHA

avril 79	T (0-10)	1,325	1,426	0,101	14,54	14,22
	T (10-20)	1,462	1,469	0,007	19,42	18,30
	T (20-40)	1,618	1,637	0,019	20,37	19,68
	T (40-80)	1,631	1,631	0,000	18,69	17,56
janvier 80	T (0-10)	1,237	1,272	0,035	12,05	10,74
	T (10-20)	1,383	1,397	0,014	12,83	12,09
	T (20-40)	1,433	1,436	0,003	13,41	13,03
	T (40-80)	1,559	1,560	0,001	13,38	13,03
février 81	T (0-10)	1,246	1,254	0,008	6,96	7,08
	T (10-20)	1,304	1,312	0,008	10,75	10,85
	T (20-40)	1,467	1,468	0,001	10,60	11,25
	T (40-80)	1,611	1,610	-0,001	11,60	11,62
juillet 81	T (0-10)	1,332	1,457	0,125	23,14	22,87
	T (10-20)	1,442	1,502	0,60	20,42	19,83
	T (20-40)	1,474	1,554	0,080	17,22	17,31
	T (40-80)	1,521	1,545	0,024	16,85	16,80

da_o - H_o = valeurs avant piétinement

da_p - H_p = valeurs après piétinement

ANNEXE IV-1 : Constitution granulométrique des sols suivant les méthodes de traitement

a) SOULA

Traitements	Argile	Limon fins	Limon gros.	Sable fin	Sable gros.	Humidité	Matière org	TOTAL
Distillée (Méthode habituelle)	39,2 50,8 53,9 71,3	25,3 18,9 16,8 18,6	6,5 7,8 6,8 5,4	13,7 9,9 10,2 13,1	7,6 5,9 5,0 6,1	3,6 3,2 3,2 3,1	5,9 3,5 2,7 -	101,8 100,1 98,5 100,6
DB H_2O_2 électro	43,4 60,2 56,6 54,7	23,9 18,7 16,3 13,9	4,6 3,0 4,8 6,4	10,1 5,8 11,0 14,9	9,2 5,6 5,8 7,0	3,6 3,2 3,2 3,1	5,9 3,5 2,7 -	99,7 100,0 100,4 100,0
Réactif de Tamm (obscurité)	51,8 70,0 72,9 73,6	16,3 9,5 8,9 9,7	4,3 3,0 3,2 3,0	9,3 5,4 5,1 4,8	8,5 5,4 5,1 5,5	3,6 3,2 3,2 3,1	5,9 3,5 2,7 -	99,7 100,0 100,1 99,7
Taux d'argile immobilisée	8,4 9,8 16,3 19,8	-	-	-	-	-	-	-

b) TOHA

Distillée H_2O_2 (Technique habituelle)	17,9 18,4 26,8 38,1	7,1 6,3 5,0 5,0	4,3 3,6 4,2 3,3	25,2 23,6 21,3 12,7	43,6 45,4 41,5 40,2	1,1 1,0 1,0 1,2	2,3 1,9 1,2 0,7	101,5 100,3 101,1 101,2
DB H_2O_2 électro	16,8 18,5 24,5 33,1	7,6 5,8 6,6 8,7	5,1 4,3 4,5 3,0	24,6 22,6 20,1 11,8	43,9 46,5 43,5 42,0	- - - -	- - - -	101,4 101,6 101,4 100,5
Réactif de Tamm (obscurité)	17,6 18,7 26,3 37,9	6,6 6,3 6,6 4,5	5,3 4,6 4,6 2,8	23,7 22,9 21,0 11,7	44,0 45,3 41,4 42,0	- - - -	- - - -	100,5 100,7 102,1 100,8
Taux d'argile immobilisée	0,8 0,2 1,8 4,8	-	-	-	-	-	-	-

ANNEXE IV-2

a) Principales caractéristiques analytiques

Horizons / Caractéristiques analytiques	0-10 1	10-20 2	20-40 3	40-80 4
Matière organique	5,9 ‰ 2,3	3,5 ‰ 1,9	2,7 ‰ 1,2	1,9 ‰ 0,7
C. total ‰	34,07 13,45	20,15 11,24	15,76 7,04	11,28 3,79
N. total ‰	2,0 0,93	1,25 0,73	0,93 0,45	0,85 0,30
C/N	17,04 14,46	16,12 15,40	16,95 15,64	13,25 12,63
Ca^{++} éch. mé/100 g	4,02 4,42	0,37 3,02	0,05 0,62	0,04 0,47
Mg^{++} éch. mé/100 g	3,73 1,18	0,31 0,98	0,04 0,38	0,02 0,30
K mé/100 g éch.	0,22 0,24	0,06 0,18	0,05 0,07	0,04 0,04
S mé/100 g	7,98 5,84	0,75 4,19	0,15 1,07	0,11 0,81
T mé/100 g	14,85 7,07	11,16 6,27	9,69 6,12	8,12 4,23
S/T x 100	53,74 82,60	6,72 66,83	1,55 17,49	1,35 19,15
P_2O_5 total ‰	0,82 0,39	0,64 0,38	0,50 0,36	0,39 0,28
P_2O_5 assimilable ‰	0,05 0,05	0,02 0,04	0,01 0,04	0,01 0,08
pH eau	5,9 6,4	4,7 6,1	4,8 4,9	4,9 4,8
pH Kcl	5,3 5,8	4,4 5,6	4,5 4,2	4,6 4,6
F_2O_5 total ‰	29,2 5,60	20,2 5,54	20,8 6,88	21,4 7,34

ANNEXE IV-2 b) Humidités des horizons à différents pF

pF \ Horizons	0-10		10-20		20-40		40-80	
	S	T	S	T	S	T	S	T
4,2	28,8	8,4	26,1	8,4	26,2	10,0	25,0	14,1
3,0	29,1	12,0	26,8	11,2	26,5	12,7	27,3	16,0
2,8	29,6	12,9	27,3	11,8	28,7	13,7	28,5	17,1
2,5	31,5	14,6	28,8	13,4	29,1	14,9	31,1	17,8
2,0	32,6	18,1	30,3	16,5	30,3	17,0	32,3	-
1,5	37,0	24,2	33,5	27,3	35,3	27,8	40,8	-

ANNEXE IV-2 c) Variation verticale du rapport acides humiques/acides fulviques dans les sols de SOULA et de TOHA

Horizons	0-10	10-20	20-40	40-80
SOULA	0,65	0,33	0,11	0,10
TOHA	2,44	2,53	0,45	0,10

ANNEXE V-1 : Quelques caractéristiques analytiques de quatre classes dimensionnelles d'éléments structuraux

Echantillons	Caractéristiques analytiques / Taille des agrégats	Matière organique totale ‰	C Carbone total ‰	N Azote ‰	C/N	Fer total ‰
TOHA	10-5 mm	2,9 2,4 1,2 0,6	16,64 14,18 6,86	1,20 1,0 0,63	13,87 14,18 10,89	7,90 7,75 9,1 15,90
	5-3,15	2,6 2,4 1,1 0,6	15,10 13,88 6,44	1,05 1,03 0,60	14,38 13,48 10,73	8,25 8,75 11,0 16,90
	3,15-5	2,6 2,3 1,1 0,7	15,28 13,33 6,24	1,18 1,0 0,57	12,95 13,33 10,95	6,70 7,50 7,90 11,35
	2-1	2,3 2,3 1,0 0,7	13,211 13,07 5,87	1,13 1,00 0,50	13,21 11,57 11,74	5,60 6,1 6,50 7,90
SOULA	10-5	5,6 3,8 2,4 2,0	32,66 21,81 14,08	1,64 1,39 1,0	19,91 15,69 14,08	29,10 19,4 20,2 20,9
	5-3,15	5,7 3,9 2,4 2,1	33,14 22,36 14,05	1,79 1,41 0,98	18,81 15,86 14,54	28,9 19,7 10,35 20,85
	3,15-5	5,7 3,9 2,4 2,0	33,11 22,56 13,54	1,72 1,44 1,0	19,21 15,67 13,54	28,85 20,0 20,9 21,6
	2-1	5,3 3,9 2,3 1,9	30,15 22,41 11,32	1,72 1,35 0,98	17,76 16,60 11,55	29,25 20,85 21,1 22,1

ANNEXE V-2 : Densité apparente texturale et densité réelle des agrégats de quatre classes dimensionnelles d'éléments structuraux

Echantillons	Densités / Taille des agrégats	da	ds	Porosité %
TOHA	10-5 mm	1,60 1,61 1,78 1,69	2,51 2,60 2,36 2,40	36,2 38,0 24,5 29,5
	5-3,15	1,84 1,90 1,99 1,91	2,50 2,49 2,46 2,43	26,4 23,7 19,1 21,4
	3,15-2	2,01 2,00 2,15 1,92	2,40 2,31 2,49 2,25	16,2 13,4 13,7 14,6
	2-1	2,15 2,23 2,27 2,10	2,40 2,52 2,53 2,45	10,4 11,5 10,2 14,2
SOULA	10-5	1,24 1,24 1,23 1,26	2,29 2,37 2,40 2,77	45,8 47,6 48,7 54,5
	5-3,15	1,52 1,20 1,72 1,30	2,36 2,08 2,30 2,10	35,6 42,3 25,2 38,1
	3,15-2	1,58 1,54 1,88 1,80	2,18 2,43 2,25 2,17	27,5 36,60 16,44 17,05
	2-1	1,89 1,97 2,02 1,80	2,19 2,14 2,40 2,14	13,6 8,0 15,8 15,8

N.B. : les chiffres de chaque colonne représentent les horizons 0-10 ; 10-20 ; 20-40 et 40-80 cm.

ANNEXE VI-1 : Résultats du test de résistance des agrégats à l'impact de gouttes d'eau

(Energie = 10^{-5} j)

a) SOULA

Dimension	Nombre de gouttes			Energie potentielle (Joules)				
	A_{12}	A_{11}		A_{12}		A_3		
10-8		17,50	°	10,6	°	6,28	°	
		24,87	*	20,47	*	11,38	*	
		20,50	-	14,48	-	8,7	-	
8-7		5,19	°	4,43	°	3,00	°	
		17,15	*	10,66	*	8,65	*	
		12,30	-	8,46	-	6,33	-	
7-6		4,54	°	2,67	°	1,11	°	
		16,24	*	9,75	*	4,74	*	
		11,08	-	7,91	-	2,57	-	
6-5		10,29	°	1,46	°	0,7	°	
		12,87	*	8,58	*	3,26	*	
		12,00	-	4,73	-	2,04	-	
5-4		2,20	°	0,75	°	0,54	°	
		14,43	*	5,87	*	2,90	*	
		8,81	-	2,7	-	1,43	-	
4-3,15		3,86	°	1,31	°	0,23	°	
		9,65	*	5,18	*	2,30	*	
		7,70	-	2,5	-	1,24	-	
3,15-2		3,83	°	1,05	°	0,43	°	
		8,57	*	4,77	*	1,27	*	
		5,39	-	2,2	-	0,86	-	
2-1		0,84	°	0,97	°	0,27	°	
		4,98	*	2,21	*	1,01	*	
		3,50	-	1,48	-	0,66	-	

b) TOHA

Dimension	Nombre de gouttes			Energie potentielle (Joules)				
	A_{12}	A_{11}		A_{12}		A_3		
10-8		1,96	°	1,87	°	0,48	°	
		15,60	*	9,72	*	2,13	*	
		6,46	-	5,58	-	1,24	-	
8-7		1,50	°	0,55	°	0,19	°	
		9,58	*	1,61	*	0,79	*	
		5,49	-	1,23	-	0,43	-	
7-6		0,33	°	0,40	°	0,20	°	
		9,25	*	1,39	*	0,77	*	
		4,00	-	0,92	-	0,42	-	
6-5		0,28	°	0,21	°	0,15	°	
		4,66	*	1,11	*	0,53	*	
		1,96	-	0,62	-	0,28	-	
5-4		0,24	°	0,15	°	0,12	°	
		1,55	*	0,88	*	0,48	*	
		0,85	-	0,50	-	0,29	-	
4-3,15		0,37	°	0,21	°	0,07	°	
		1,16	*	0,84	*	0,38	*	
		0,66	-	0,50	-	0,23	-	
3,15-2		0,13	°	0,14	°	0,08	°	
		0,89	*	0,48	*	0,30	*	
		0,43	-	0,33	-	0,16	-	
2-1		0,07	°	0,07	°	0,06	°	
		0,21	*	0,17	*	0,21	*	
		0,18	-	0,11	-	0,11	-	

° minimum

* maximum

- moyenne (η = 10)

ANNEXE VI-2 : Répartition des énergies en fonction de la forme et du mode d'assemblage des agrégats des classes dimensionnelles (10^{-5} j)

a) SOULA

Dimension	ARRONDIE						ALLONGEE						MOYENNE (η = 10)		
	Continu			Discontinu			Continu			Discontinu					
	A11	A12	AB	A11	A12	AB	A11	A12	AB	A11	A12	AB	A11	A12	
10-8	20,65 ° 24,87 × 22,42 -	15,00 ° 20,47 × 18,42 -	9,45° 11,38× 10,54-			6,28 ° 6,28 × 6,28 -	17,50 ° 19,56 × 18,57 -	10,60° 12,96° 11,53	7,43 ° 8,51 × 7,98 -				20,50	14,48	8,
8-7	16,15 ° 17,15 × 16,68 -	10,36 ° 10,66 × 10,51 -	7,69° 8,65× 8,00-	5,19 ° 6,16 × 5,56 -	4,43 ° 5,91 × 5,17 -	3,00 ° 3,00 × 3,00 -	12,19 ° 13,81 × 13,17 -	9,61° 9,80× 9,70-	5,31 ° 6,00 × 5,72 -				12,30	8,46	6,
7-6	14,08 ° 16,24 × 15,20 -	9,15 ° 9,75 × 9,38 -	4,74° 4,74× 4,74-	4,54 ° 5,44 × 4,88 -	2,67 ° 2,67 -	1,11 ° 1,28 × 1,21 -	11,99 ° 12,28 × 12,14 -	8,00° 8,31× 8,19-	3,04 ° 3,38 × 3,21 -				11,08	7,91	2,
6-5	12,18 ° 12,87 × 12,55 -	7,68 ° 8,58 × 8,13 -	3,10 ° 3,26 × 2,12 -	° × -	1,46 ° 3,16 × 2,31 -	0,70 ° 0,70 × 0,70 -	10,29 ° 11,09 × 10,75 -	3,47 ° 4,86 × 4,07 -	1,96 ° 3,13 × 2,40 -				12,00	4,73	2,
5-4	9,81 ° 14,43 × 11,26 -	3,46 ° 5,87 × 4,66 -	2,90 ° 2,90 × 2,90 -	2,20 ° 2,43 × 2,31 -	0,75 ° 0,90 × 0,83 -	0,54 ° 0,63 × 0,58 -	9,44 ° 9,75 × 9,63 -	2,21 ° 3,15 × 2,81 -	0,86 ° 2,30 × 1,51 -				8,81	2,7	1,
4-3,15	7,93 ° 9,65 × 8,67 -	3,05 ° 5,18 × 4,11 -	1,09 ° 2,30 × 1,1 -		1,31 ° 1,33 × 1,05 -	0,23 ° 0,23 × 0,49 -	3,86 ° 7,92 × 4,40 -	1,69 ° 2,61 × 1,73 -	0,86 ° 1,76 × 0,95 -				7,71	2,5	1,
3,15-2	4,37 ° 8,57 × 6,89 -	3,45 ° 4,77 × 4,11 -	0,93 ° 1,27 × 1,1 -		1,05 ° 1,06 × 1,05 -	0,43 ° 0,56 × 0,49 -	3,83 ° 4,96 × 4,40 -	1,21 ° 2,70 × 1,73 -	0,87 ° 1,05 × 0,95 -				5,39	2,2	0,
2-1	4,40 ° 4,98 × 4,66 -	1,57 ° 2,21 × 1,94 -	0,88 ° 0,88 × 0,88 -	8,41 ° 1,86 × 1,34 -		0,27 ° 0,46 × 0,36 -	3,43 ° 4,11 × 3,66 -	0,97 ° 1,37 × 1,13 -	0,79 ° 1,01 × 0,89 -				3,50	1,48	0,

b) TOHA

10-8	9,44 ° 15,59 × 11,68 -	5,73 ° 9,72 × 7,72 -	1,27 ° 2,13 × 1,7 -	1,96 ° 3,68 × 2,58 -	1,87 ° 4,98 × 3,17 -	0,48 ° 0,77 × 0,62 -	4,49 ° 6,97 × 5,45 -	6,26 ° 7,88 × 7,07 -	1,05 ° 1,58 × 2,34 -				6,46	5,88	1,
8-7	6,72 ° 9,58 × 7,94 -	1,49 ° 1,61 × 1,55 -	0,38 ° 0,79 × 0,58 -	1,50 ° 3,11 × 2,52 -	0,55 ° 0,55 × 0,55 -	0,19 ° 0,25 × 0,22 -	3,77 ° 7,40 × 5,19 -	0,87 ° 1,55 × 1,24 -	0,34 ° 0,59 × 0,47 -				5,49	1,23	0,
7-6	4,48 ° 9,25 × 7,01 -	1,21 ° 1,39 × 1,30 -	0,38 ° 0,77 × 0,57 -	0,33 ° 1,50 × 0,83 -	0,40 ° 0,52 × 0,46 -	0,20 ° 0,25 × 0,22 -	2,11 ° 5,46 × 4,12 -	0,91 ° 1,08 × 0,98 -	0,33 ° 0,59 × 0,45 -				4,00	0,92	0,
6-5	3,33 ° 4,66 × 4,09 -	0,88 ° 1,11 × 0,99 -	0,30 ° 0,53 × 0,41 -	0,28 ° 0,81 × 0,54 -	0,21 ° 0,25 × 0,23 -	0,15 ° 0,16 × 0,15 -	0,97 ° 1,62 × 1,25 -	0,61 ° 0,72 × 0,65 -	0,22 ° 0,36 × 0,29 -				1,96	0,62	0,
5-4	0,93 ° 1,55 × 1,21 -	0,79 ° 0,88 × 0,83 -	0,36 ° 0,48 × 0,42 -	0,25 ° 0,59 × 0,47 -	0,15 ° 0,23 × 0,19 -	0,12 ° 0,19 × 0,15 -	0,73 ° 0,81 × 0,76 -	0,44 ° 0,54 × 0,50 -	0,23 ° 0,37 × 0,30 -				0,85	0,50	0,
4-3,15	0,69 ° 1,16 × 0,91 -	0,60 ° 0,84 × 0,72 -	0,28 ° 0,38 × 0,33 -	0 39 ° 0,39 × 0,39 -	0,21 ° 0,26 × 0,23 -	0,07 ° 0,16 × 0,10 -	0,45 ° 0,74 × 0,60 -	0,42 ° 0,73 × 0,54 -	0,33 ° 0,34 × 0,33 -				0,66	0,50	0,
3,15-2	0,56 ° 0,89 × 0,76 -	0,34 ° 0,47 × 0,40 -	° × -	0,12 ° 0,24 × 0,17 -	0,14 ° 0,18 × 0,16 -	0,08 ° 0,12 × 0,09 -	0,35 ° 0,46 × 0,40 -	0,28 ° 0,48 × 0,40 -	0,24 ° 0,30 × 0,26 -				0,43	0,33	0,
2-1	0,20 ° 0,27 × 0,24 -	0,12 ° 0,17 × 0,14 -	0,21 ° 0,21 × 0,21 -	0,07 ° 0,09 × 0,08 -	0,07 ° 0,07 × 0,07 -	0,06 ° 0,08 × 0,07 -	0,14 ° 0,17 × 0,16 -	0,08 ° 0,14 × 0,10 -	0,10 ° 0,13 × 0,11 -				0,18	0,11	0;

° minimum

× maximum

- moyenne (η = 10)

ANNEXE VI-3 : Impact des gouttes d'eau sur la résistance des agrégats en fonction de leur humidité

a) SOULA

	ENERGIE POTENTIELLE (10^{-5} j)								
	2			1			3		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	17,16 (26,5) %	14,98 (2,96) %	11,18 (23,42) %	20,5 (33,75) %	15,20 (3,2) %	11,77 (29,32) %	14,07 (16,80) %	11,18 (1,97) %	9,34 (25,10) %
	11,30	9,05	7,74	12,30	10,93	8,26	11,30	8,85	7,13
	10,44	6,36	5,21	11,08	8,57	6,54	9,01	7,69	5,21
	6,52	4,98	4,07	12,00	6,07	4,13	6,17	4,76	3,90
	6,02	3,57	2,98	8,81	5,33	3,89	5,24	4,03	3,71
	4,57	3,01	2,14	7,70	3,48	2,15	3,18	3,13	2,03
	2,93	2,32	1,83	5,39	2,54	2,03	2,78	1,93	1,38
	2,12	1,78	1,12	3,50	1,98	1,08	2,00	1,47	1,17

b) TOHA

Classes	ENERGIE POTENTIELLE (10^{-5} j)								
	2			1			3		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
10-8	6,46 (12,02) %	4,38 (1,93) %	3,95 (12,50) %	8,93 (28,32) %	6,52 (1,75) %	4,08 (15,3) %	4,21 (6,08) %	3,58 (1,69) %	2,93 (10,81) %
8-7	5,49	3,71	2,93	6,87	4,12	3,38	3,07	1,87	1,70
7-6	4,00	2,86	2,08	5,34	2,94	2,70	2,53	1,52	1,22
6-5	1,96	1,72	1,43	2,86	1,88	1,51	1,45	0,98	0,91
5-4	0,85	0,51	0,45	1,39	1,09	0,66	0,58	0,57	0,36
4-3,15	0,66	0,33	0,27	0,85	0,45	0,30	0,51	0,44	0,27
3,15-2	0,43	0,19	0,13	0,81	0,24	0,23	0,33	0,22	0,18
2-1	0,18	0,18	0,14	0,54	0,15	0,16	0,25	0,11	0,11

a) Energie potentielle estimée à l'humidité, c'est-à-dire juste après tamisage

b) Energie potentielle estimée après séchage des agrégats à l'air

c) Energie potentielle estimée après réhumidification à l'air libre.

1, 2 et 3 indiquent les agrégats du même horizon recueillis à des périodes différentes. L'humidité décroît de 1 à 3.

Entre parenthèses : exemple d'humidité des agrégats.

ANNEXE VI-4 : Distribution dimensionnelle des particules de désagrégation (%)

a) SOULA

Echantillon	Taille initiale	CLASSES DES RESIDUS							
		8-7	7-6	6-5	5-4	4-3,15	3,15-2	2-1	1-0
SOULA	10-8			16,6 4,3 0 0		35,7 47,81 44,1 35,5	11,9 17,4 23,5 22,5	9,5 8,6 14,7 19,3	26, 21, 17, 22,
	8-7			7,6 6,3 0 0		46,1 53,3 47,8 19,0	15,3 20,0 21,7 28,5	11,5 6,3 13,0 23,8	19, 13, 17, 28,
	7-6			10,5 7,1 0 0		36,8 35,7 41,1 33,3	21,0 28,5 35,3 25,0	10,6 14,2 11,7 16,6	21, 14, 11, 25,
	6-5					45,4 57,1 38,4 21,4	36,4 14,2 15,3 28,5	9,0 14,2 15,4 14,2	9, 14, 30, 28,
	5-4					50 0 0 0	30 50,0 33,3 30,0	15 25,0 33,3 30,0	50 25, 33, 40,
	4-3,15						60,0 50,0 20,0 5,0	33,3 50,0 20,0 35,0	6, 50, 60, 60,
	3,15-2							66,6 50,0 25,0 0	33, 50, 75, 100

b) TOHA

TOHA	10-8					22,0 22,2 5,7 3,1	14,0 15 11,4 11,6	16,0 22,2 28,5 30,0	48, 40, 54, 55,
	8-7					21,2 15,0 3,2 1,5	15,6 15,0 12,9 11,8	21,1 22,5 22,5 25,3	40, 47, 61, 61,
	7-6					8,7 14,2 6,6 4,5	24,5 14,3 13,3 14,5	26,3 19,0 30,0 30,0	40, 52, 50, 50,
	6-5					23,0 18,7 7,0 5,2	23,0 18,7 15,4 14,8	25,0 18,7 23,6 25,3	28, 43, 54, 54,
	5-4						32,4 16,6 12,8 8,4	32,4 33,3 36,4 36,2	35, 50, 50, 55,
	4-3,15						25,0 20,0 15,0 7,5	25,0 30,0 35,0 35,6	50, 50, 50, 56,
	3,15-2							47,8 50,0 44,2 39,3	52, 50, 55, 60,

N.B. : Les lignes de chaque case représentent les horizons 0-10, 10-20, 20-40 et 40-80 cm.

ANNEXE VII-1 : Densités sèches Proctor f(W) des horizons étudiés

a) SOULA

0-10 cm		10-20 cm		20-40 cm		40-80 cm	
w	da	w	da	w	da	w	da
7,21	1,086	6,31	1,096	6,26	1,136	6,24	1,148
9,00	1,094	8,63	1,109	9,21	1,137	8,20	1,150
12,62	1,086	10,84	1,107	11,86	1,130	11,03	1,152
15,10	1,076	13,15	1,100	14,03	1,124	13,97	1,152
17,20	1,068	16,25	1,091	16,71	1,116	16,20	1,140
19,20	1,062	19,18	1,084	19,09	1,110	18,00	1,128
21,62	1,095	21,24	1,080	21,03	1,106	20,10	1,112
24,11	1,154	24,12	1,080	23,51	1,180	22,20	1,164
27,33	1,226	27,36	1,234	26,04	1,248	25,15	1,240
30,12	1,278	29,89	1,290	28,90	1,312	27,08	1,281
33,25	1,308	32,41	1,318	31,60	1,348	29,71	1,336
35,81	1,307	34,53	1,326	33,05	1,352	31,21	1,360
37,93	1,294	37,01	1,313	34,00	1,348	32,80	1,368
40,20	1,268	39,18	1,293	36,20	1,316	35,40	1,356
						37,40	1,332

b) TOHA

1,84	1,326	3,40	1,374	2,60	1,386	4,24	1,424
4,00	1,348	6,08	1,384	5,80	1,462	6,20	1,396
6,20	1,368	8,00	1,444	7,20	1,512	8,81	1,380
8,10	1,381	10,20	1,516	9,07	1,580	10,00	1,428
10,20	1,450	12,00	1,584	10,23	1,640	11,20	1,500
11,40	1,492	13,61	1,652	11,20	1,700	12,00	1,540
12,40	1,522	15,00	1,692	12,18	1,760	13,20	1,620
14,20	1,572	16,05	1,708	12,40	1,780	14,00	1,676
16,00	1,612	17,09	1,712	13,00	1,802	14,46	1,700
18,11	1,640	18,03	1,702	14,15	1,812	15,20	1,740
20,19	1,650	19,00	1,676	15,00	1,802	16,00	1,768
21,40	1,646			16,35	1,760	16,60	1,774
22,79	1,632					17,21	1,768
						18,20	1,742

ANNEXE VII-2 : Caractéristiques Proctor des échantillons des horizons des deux types de sols étudiés

Echantillon		Wc	da_c	Wm	dam	Wa =Wc/A	A (%
SOU	0-10	19,20	1,062	34,85	1,310	49,0	39,2
SOU	10-20	21,25	1,080	34,60	1,328	42,0	50,8
SOU	20-40	21,03	1,104	33,00	1,352	39,0	53,9
SOU	40-40	20,10	1,112	33,20	1,370	28,2	71,3
TOH	0-10	8,19	1,382	20,40	1,652	45,2	17,9
TOH	10-20	6,08	1,384	17,20	1,712	33,0	18,44
TOH	20-40	5,8	1,462	14,25	1,812	20,5	26,8
TOH	40-80	8,80	1,380	16,60	1,774	23,1	38,1

ANNEXE VII-3 : Densités sèches Proctor f(w) des classes dimensionnelles

a) S O U L A

10-5		5-3,15		3,15-2		2-1		
w	da	w	da	w	da	w	da	
5,60	1,148	4,00	1,116	6,60	1,104			
7,40	1,168	6,00	1,124	10,60	1,108			
9,60	1,164	9,00	1,124	12,38	1,100			
11,60	1,152	10,80	1,120	14,80	1,092			
12,80	1,148	12,60	1,116	17,00	1,087			
14,80	1,140	14,80	1,112	19,42	1,084*			
17,20	1,132	16,60	1,104*	21,00	1,108	cf. Annexe VII-1		S_1
19,40	1,124*	19,30	1,140	23,60	1,160			
22,00	1,160	20,17	1,172	26,60	1,220	0-10 cm		(0-10 cm)
24,40	1,200	22,65	1,220	28,80	1,260			
26,60	1,240	24,90	1,268	31,20	1,288			
28,52	1,280	27,20	1,312	33,00	1,300			
30,60	1,316	29,80	1,332	35,30	1,304*			
32,10	1,340	31,20	1,340	36,60	1,300			
33,60	1,346*	32,50	1,339	38,40	1,285			
35,20	1,340	34,20	1,328	39,00	1,280			
37,40	1,320	36,20	1,308					
		38,20						
5,91	1,162	5,17	1,124	6,00	1,120			
7,20	1,176	8,00	1,132	8,00	1,120			
11,45	1,176	10,60	1,136	10,40	1,116			
14,50	1,160	12,40	1,138	13,00	1,108			
17,2	1,140	14,60	1,120	13,50	1,100			
18,80	1,124	17,40	1,100	18,20	1,092			
21,00	1,116	19,60	1,084	21,00	1,084*	cf. Annexe VII-1		S_2
22,80	1,106*	21,90	1,070*	23,00	1,125			
25,00	1,152	23,80	1,110	25,40	1,172	10-20 cm		(10 - 20 cm)
27,17	1,200	25,20	1,140	27,20	1,208			
29,00	1,244	28,09	1,208	29,80	1,258			
31,00	1,292	30,60	1,260	31,80	1,296			
33,00	1,320	32,80	1,300	33,80	1,316			
35,60	1,328*	34,00	1,308	35,10	1,320*			
37,00	1,324	35,80	1,312*	37,00	1,312			
38,70	1,300	38,00	1,304	38,00	1,306			
		39,20	1,292					
6,00	1,170	5,61	1,160	5,60	1,164			
8,80	1,172	8,40	1,152	8,00	1,160			
12,20	1,160	11,00	1,140	11,00	1,148			
16,23	1,132	14,00	1,124	14,20	1,128			
18,80	1,112	16,40	1,116	16,20	1,116			
21,00	1,096*	19,80	1,104	18,40	1,106			
23,21	1,140	22,30	1,092*	20,00	1,099	cf. Annexe VII-1		S_3
25,30	1,180	24,80	1,160	21,45	1,092			
27,50	1,224	27,20	1,220	23,55	1,160	20-40 cm		(20 - 40 cm)
29,60	1,268	19,00	1,264	25,00	1,208			
32,00	1,309	31,20	1,300	26,70	1,260			
34,00	1,322	33,00	1,309	29,10	1,328			
35,10	1,324	35,15	1,316	31,00	1,350			
35,35	1,320	37,20	1,308	32,80	1,356*			
38,40	1,194	38,40	1,294	34,00	1,352			
				35,40	1,340			
4,40	1,198	5,09	1,184	4,00	1,168			
7,20	1,192	8,40	1,176	6,20	1,169			
10,40	1,176	10,60	1,168	8,40	1,164			
12,60	1,160	12,60	1,160	10,00	1,160			
15,00	1,148	15,00	1,146	13,00	1,148			
18,40	1,132	18,00	1,128	15,00	1,140			
20,80	1,124	20,30	1,116*	18,00	1,127	cf. Annexe VII-1		S_4
25,00	1,168	23,00	1,168	20,25	1,116*			
26,60	1,220	25,20	1,208	22,20	1,160	40-80 cm		(40 - 80 cm)
28,00	1,268	27,4	1,250	24,20	1,222			
30,60	1,320	29,4	1,288	28,15	1,284			
35,00	1,336*	31,19	1,320	30,00	1,324			
41,40	1,332	33,0	1,341	32,40	1,352			
44,00	1,314	34,15	1,344	34,40	1,360*			
		36,00	1,336	35,60	1,352			
		37,40	1,316	36,40	1,340			

ANNEXE VII-3 :

b) T O H A

10-5		5-3,15		3,15-2		2-1		
w	da	w	da	w	da	w	da	
2,23	1,320	2,20	1,296	2,20	1,296	2,10	1,327	
5,00	1,340	5,00	1,320	5,00	1,318	4,20	1,348	
8,20	1,356*	6,20	1,334	6,15	1,328	6,22	1,368	
9,40	1,384	8,40	1,344*	8,80	1,336*	8,35	1,372*	T_1
11,00	1,420	10,00	1,296	10,30	1,380	10,00	1,431	(0 - 10 cm)
13,70	1,148	11,37	1,440	12,19	1,444	12,21	1,504	
15,50	1,520	13,20	1,500	13;80	1,500	14,25	1,560	
17,60	1,560	15,20	1,560	15,20	1,540	16,61	1,616	
19,00	1,584	16,20	1,586	17,00	1,582	18,10	1,640	
21,50	1,606*	18,42	1,620	19,00	1,620	20,40	1,652*	
22,40	1,600	20,40	1,632*	20,40	1,632*	22,22	1,640	
24,00	1,580	22,00	1,624	22,00	1,624	23,48	1,620	
25,80	1,548	23,80	1,600	23,8	1,600			
5,67	1,410	4,15	1,378	5,41	1;400	2,00	1,376	
7,40	1,426	6,00	1,384	7,20	1,408	4,00	1,399	
8,08	1,428*	8,20	1,390*	8,25	1,412*	5,40	1,408	
9,45	1,460	9,40	1,420	10,21	1,468	7,05	1,412*	
10,80	1,500	11,30	1,480	12,00	1,528	8,20	1,445	
12,20	1,540	13,22	1,548	14,00	1,592	10,45	1,520	T_2
13,60	1,580	15,00	1,608	15,65	1,652	11,85	1,580	(10 - 20 cm)
15,63	1,640	16,20	1,640	16,60	1,670	13,40	1,644	
17,00	1,676	17,60	1,668	18,00	1,674*	15,00	1,692	
17,80	1,680*	18,60	1,672*	19,40	1,660	16,00	1,708	
18,91	1,670	19,40	1,660			17,20	1,812	
19,40	1,660					18,00	1,700	
						19,40	1,660	
5,20	1,488	5,60	1,481	3,19	1,492	3,21	1,484	
5,68	1,487	8,30	1,444*	5,20	1,459	5,60	1,462*	
6,50	1,480*	9,40	1,500	7,00	1,428*	7,40	1,520	
8,21	1,520	11,00	1,582	8,83	1,460	9,57	1,600	
10,40	1,580	12,20	1,644	9,80	1,500	10,30	1,640	T_3
12,55	1,640	13,40	1,700	11,22	1,580	11,55	1,720	(20 - 40 cm)
14,20	1,690	15,00	1,740	12,20	1,644	12,36	1,780	
15,80	1,724	17,00	1,754*	13,20	1,700	12,80	1,800	
17,60	1,734*	17,80	1,740	14,00	1,740	14,25	1,812*	
18,60	1,720	18,52	1,720	15,40	1,760*	15,80	1,780	
19,77	1,680			16,80	1,740	17,40	1,728	
				17,40	1,728			
1,95	1,486	2,15	1,462	2,71	1,450	2,71	1,450	
4,78	1,492	5,42	1,430	6,00	1,420	5,00	1,416	
7,40	1,460	8,40	1,408*	8,60	1,392*	6,21	1,400	
10,65	1,424*	9,60	1,416	10,80	1,424	8,80	1,380*	
12,00	1,484	11,25	1,424	12,12	1,480	10,20	1,432	T_4
13,60	1,568	13,00	1,520	13,30	1,560	12,00	1,540	(40 - 80 cm)
15,10	1,640	14,66	1,608	14,40	1,640	13,58	1,640	
16,69	1,700	15,92	1,680	15,50	1,720	14,80	1,720	
18,20	1,712*	16,80	1,728	16,20	1,740	16,00	1,770	
19,21	1,692	18,00	1,740*	16,60	1,744*	16,60	1,774*	
20,00	1,670	18,60	1,734	18,00	1,740	17,60	1,768	
		20,00	1,700	18,80	1,720	18,00	1,752	
						18,80	1,720	

ANNEXE VII-4 : Caractéristiques Proctor en fonction de la taille des agrégats compactés.

a) SOULA

Horizons (cm)	Taille des agrégats (mm)	Wc	da_c	Wa	Wn	dam	A%	dam - da_c
0-10	10-5	19,40	1,124	48,1	33,60	1,346	40,3	0,238
	5-3,15	19,30	1,104	48,5	32,50	1,340	39,8	0,236
	3,15-2	19,42	1,084	48,5	35,30	1,304	40,0	0,220
	2-1	19,20	1,062	48,9	34,85	1,310	39,2	0,248
10-20	10-5	22,80	1,106	44,61	35,60	1,328	51,1	0,222
	5-3,15	21,90	1,070	42,7	35,80	1,312	51,2	0,242
	3,15-2	21,00	1,084	41,7	35,10	1,320	50,3	0,236
	2-1	21,25	1,080	41,7	34,60	1,328	50,8	0,248
20-40	10-5	21,00	1,096	39,0	35,10	1,324	53,8	0,228
	5-3,15	22,30	1,092	40,9	35,15	1,316	54,4	0,224
	3,15-2	21,45	1,092	40,2	32,80	1,356	53,3	0,264
	2-1	21,03	1,104	39,1	33,00	1,352	53,9	0,248
40-80	10-5	20,80	1,124	28,92	33,00	1,336	71,9	0,220
	5-3,15	20,30	1,116	28,35	34,15	1,344	71,6	0,228
	3,15-2	20,25	1,116	28,60	34,40	1,360	70,8	0,244
	2-1	20,10	1,112	28,30	33,20	1,370	71,0	0,258

b) TOHA

0-10	10-5	8,20	1,356	46,6	21,50	1,606	17,6	0,250
	5-3,15	8,40	1,344	47,7	20,40	1,632	17,6	0,288
	3,15-2	8,80	1,336	47,8	20,40	1,632	18,4	0,296
	2-1	8,19	1,382	46,6	20,40	1,652	17,9	0,270
10-20	10-5	8,08	1,428	42,5	17,80	1,680	19,0	0,252
	5-3,15	8,20	1,390	43,8	18,60	1,672	18,7	0,282
	3,15-2	8,25	1,412	43,8	18,00	1,674	18,8	0,262
	2-1	6,05	1,384	38,3	17,20	1,712	18,4	0,428
20-40	10-5	6,50	1,480	24,7	17,60	1,734	26,3	0,254
	5-3,15	8,30	1,444	30,3	17,00	1,754	27,4	0,310
	3,15-2	7,00	1,428	25,7	15,40	1,760	27,2	0,332
	2-1	5,80	1,462	20,8	14,25	1,812	26,8	0,350
40-80	10-5	10,65	1,424	27,1	18,20	1,712	39,3	0,288
	5-3,15	8,40	1,408	22,0	18,00	1,740	38,1	0,332
	3,15-2	8,60	1,392	22,4	16,60	1,744	38,3	0,352
	2-1	8,80	1,380	23,1	16,60	1,774	38,1	0,394

TABLE DES MATIÈRES

Pages

DEDICACE

AVANT-PROPOS

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

Première Partie : PRESENTATION DU MILIEU 9

A. DONNEES GENERALES 9

1. LE CLIMAT 9

1.1. Les précipitations 9

a) Les précipitations annuelles 9

b) Les précipitations mensuelles 13

c) Nombre de jours de pluies 13

1.2. La température 13

1.3. L'évapotranspiration 14

2. LES FACTEURS BIOLOGIQUES 14

2.1. La végétation 14

2.2. La faune 15

2.3. L'homme 15

3. LA GEOLOGIE 19

4. L'HYDROLOGIE 19

5. LA GEOMORPHOLOGIE 19

B. LES SITES DE L'ETUDE 21

1. TOPOSEQUENCE DE SOULA 21

2. TOPOSEQUENCE DE TOHA 25

Deuxième Partie : METHODOLOGIE .....

1. GENERALITES .....
2. LES METHODES DE TERRAIN .....

2.1. Définitions .....
a) La structure du sol .....
b) Les éléments structuraux .....
c) La taille des éléments structuraux .....

2.2. Méthode de quantification des racines .....
2.3. Séparation granulométrique des éléments structuraux..

a) Généralités .....
b) Le principe de la méthode .....
c) Mode opératoire de la méthode simplifiée .....
d) Nature des éléments structuraux traités .....
e) Validité de la méthode simplifiée .....

2.4. Le test du piétinement .....
a) Objectif et présentation de la méthode .....
b) Estimation de la pression exercée .....

3. LES METHODES DE LABORATOIRE .....

3.1. Test de résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau .....

a) But .....
b) Principe .....

3.2. Mesure de l'indice d'instabilité .....
3.3. Méthode de mesure de la densité apparente des agrégats
a) Imprégnation et ressuyage des agglomérats .....
b) Mesure du volume des agrégats .....

3.4. Détermination de l'argile masquée .....
3.5. L'observation micromorphologique .....
3.6. Essai Proctor .....

a) But .....
b) Matériel et méthode .....

3.7. Méthodes d'analyse courantes .....

Troisième Partie : CARACTERISATION STRUCTURALE (RESULTATS) 57

1. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE 57

1.1. Les types de structure des sols 57

a) Profil de SOULA 57

b) Profil de TOHA 58

1.2. Variations de l'abondance des racines 63

a) Répartition des racines de diamètre supérieur à 1 mm ou racines conductrices 66

- variations latérales 66

- variations verticales 66

b) Répartition des racines de diamètre inférieur à 1 mm ou racines assimilatrices 68

- variations latérales 68

- variations verticales 69

c) Caractéristiques des racines suivant le site d'étude. 72

1.3. Relation entre la distribution des racines et les types de structure 73

1.4. Distribution dimensionnelle des éléments structuraux.. 77

1.4.1. Reproductibilité 77

1.4.2. Origine des échantillons tamisés 79

1.4.3. Les classes d'éléments structuraux 79

1.4.4. Distribution des six classes d'éléments structuraux dans le sol 80

A. Distribution dans les sols de SOULA 80

a) Distribution des agglomérats ou éléments structuraux très grossiers (> 10 mm) 80

b) Distribution des éléments structuraux grossiers (5-10 mm) 85

c) Distribution des éléments structuraux moyens (3,15-5 mm)..... 88

d) Distribution des éléments structuraux moyennement fins (2-3,15 mm) 90

e) Distribution des éléments structuraux fins (1-2 mm) 93

f) Distribution des éléments structuraux très fins ou microagrégats (< 1 mm) 95

g) Conclusion : Observations générales sur la distribution des éléments structuraux des classes dimensionnelles dans les sols de SOULA 98

B. Distribution des éléments structuraux dans les sols de TOHA .....

a) Distribution des agglomérats .....

b) Distribution des éléments structuraux grossiers.

c) Distribution des éléments structuraux moyens ...

d) Distribution des éléments moyennement fins .....

e) Distribution des éléments structuraux fins .....

f) Distribution des microagrégats .....

g) Conclusion : Observations générales sur la distribution des éléments structuraux des classes dimensionnelles dans les sols de TOHA .....

1.4.5. La valeur diagnostique des résultats de la séparation dimensionnelle des éléments structuraux .....

a) Classe des agglomérats .....

b) Classe des éléments structuraux grossiers .....

c) Classe des éléments structuraux moyens .....

d) Classe des éléments structuraux moyennement fins ..

e) Classe des éléments structuraux fins .....

f) Classe des microagrégats .....

1.4.6. Séparation granulométrique selon la méthode TRI (1968) .....

a) Conditionnement des échantillons .....

b) Les résultats .....

c) Signification de la variation du T.C.E.S. <10 TRI .

d) Comparaison des données du T.C.E.S. <10 obtenues respectivement par la méthode TRI et par la méthode modifiée .....

1.5. Modifications structurales sous l'effet des contraintes

1.5.1. A - Morphologie des sols avant l'application des contraintes .....

1.5.1. B - Effets immédiats des contraintes exercées à la surface des sols .....

a) SOULA

a-1 - Effets du piétinement .....

. saison sèche .....

. saison humide .....

3. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET MECANIQUES DES ELEMENTS STRUCTURAUX DE CERTAINES CLASSES DIMENSIONNELLES 171

3.1. Caractéristiques organiques et taux de fer total des classes dimensionnelles 176

a) Variation verticale 176

b) Variation en fonction de la taille 176

. le carbone 177
. l'azote 178
. le fer total 178

3.2. Porosité texturale des diverses classes d'éléments structuraux 179

a) Variation de la porosité texturale en fonction de la différenciation pédologique 180

b) Variation de la porosité texturale en fonction de la classe dimensionnelle 183

3.3. Stabilité des agrégats des classes dimensionnelles ... 184

a) Variations verticales 184

b) . dans les sols de SOULA 184
. dans les sols de TOHA 186

b) Variations temporelles 188

. dans les sols de SOULA 189
. dans les sols de TOHA 189

c) Variations de Is en fonction de la taille des agrégats 191

3.4. Résistance des agrégats à l'impact des gouttes d'eau.. 193

a) Résistance des agrégats en fonction de leurs horizons de prélèvement 193

b) Influence de la taille des agrégats sur leur résistance à l'impact des gouttes d'eau 199

c) Influence du taux d'humidité initiale sur la résistance des agrégats 200

d) Processus de désagrégation 204

e) Produits de désagrégation 205

. la suspension 208
. les particules 208

Conclusion 210

3.5.1. Caractéristiques Proctor des échantillons provenant des divers horizons des deux types de sols.. 211

a) Seuil hydrique de sensibilité au compactage 211

. éléments d'interprétation 211
. résultats et discussion 213

a-2 - Effets du roulage .....
. saison sèche .....
. saison humide .....

b) TOHA

b-1 - Effets du piétinement .....
. saison sèche .....
. saison humide .....

b-2 - Effets du roulage .....
. saison sèche .....
. saison humide .....

1.5.2. L'humidité et la nature des modifications .....

1.5.3. Paramètre structural .....
a) SOULA .....
b) TOHA .....

1.5.4. Les facteurs des modifications structurales des sols en place .....
a) La nature ou l'intensité des contraintes .....
b) L'humidité du sol .....
c) La texture .....
d) La paille ou les débris végétaux .....

Conclusion .....

2. CARACTERISATION ANALYTIQUE .....

2.1. Caractéristiques granulométriques des sols .....
a) Les données de la granulométrie déterminée après traitement classique des échantillons .....
b) Les données de la granulométrie déterminée après traitements spéciaux .....

2.2. Caractéristiques chimiques .....
a) Teneurs en matière organique .....
b) Complexe absorbant .....
c) Fer total .....

2.3. Caractéristiques physiques .....
a) pF .....
b) Instabilité structurale .....

b) Première partie de la courbe $W < W_c$ 216
c) Seconde partie de la courbe $W_c < W < W_m$ 217
d) Maximum de compacité 219
e) Troisième partie de la courbe $W < W_m$ 220

3.5.2. Caractéristiques Proctor en fonction de la taille des agrégats compactés 223

a) Seuil de sensibilité au compactage 223
b) Première partie des courbes $W < W_c$ 225
c) Seconde partie des courbes $W_c < W < W_m$ 226
d) Maximum de compacité 226
e) Troisième partie de la courbe $W > W_c$ 227

Conclusion 228

3.5.3. Description microscopique des mottes compactées .. 229
a) Observation micromorphologique après compactage à W_c 229
. mottes de SOULA 229
. mottes de TOHA 230
b) Observation micromorphologique après compactage à W_m 230
c) Informations fournies par la micromorphologie 231

Conclusion 232

Quatrième Partie : RECHERCHE DE RELATION ENTRE LES CARACTERISTIQUES STRUCTURALES ET LES TYPES DE STRUCTURE 233

1. PARAMETRES CONDITIONNANT LE TYPE DE STRUCTURE 233
2. TYPE DE STRUCTURE ET TAUX CUMULE D'ELEMENTS STRUCTURAUX DE TAILLE INFERIEURE A 10 mm (T.C.E.S. < 10) 236
3. TYPE DE STRUCTURE ET LES DIFFERENTES FORMES DE VIDES 238
4. LES FACTEURS DE VARIATION DU T.C.E.S. < 10 241
5. DENSITE APPARENTE ET TYPE DE STRUCTURE 247

Conclusion 251

Quatrième Partie : INCIDENCES AGRONOMIQUES DE L'ETUDE 2

1. LES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES 2
2. LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES ARGEGATS 2
3. LA QUANTIFICATION DES RACINES 2
4. LES MODIFICATIONS STRUCTURALES DUES AUX CONTRAINTES 2
5. L'ARGILE MASQUEE 2
6. RESISTANCE A L'IMPACT DES GOUTTES D'EAU 2

CONCLUSION 2

CONCLUSIONS GENERALES 2

BIBLIOGRAPHIE 2

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES SCHEMAS

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

ANNEXES

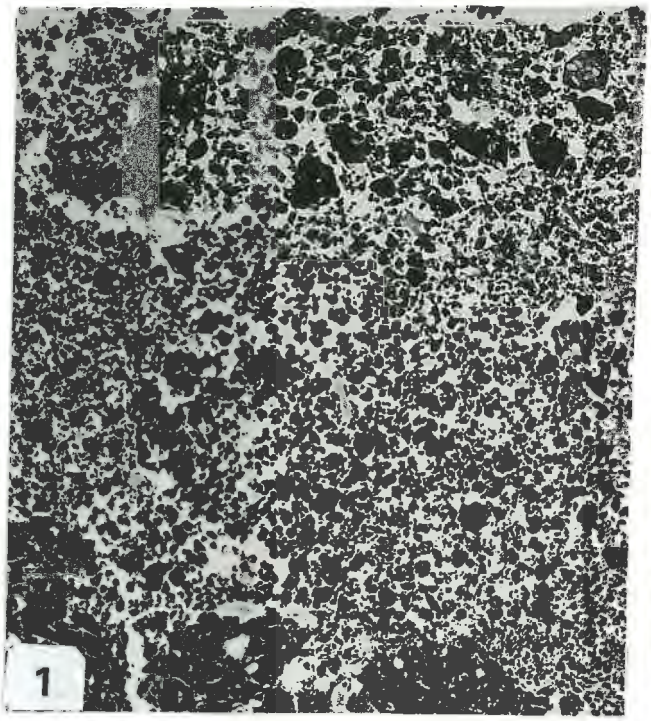
Vu et approuvé
Abidjan, le 10 décembre 1983
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

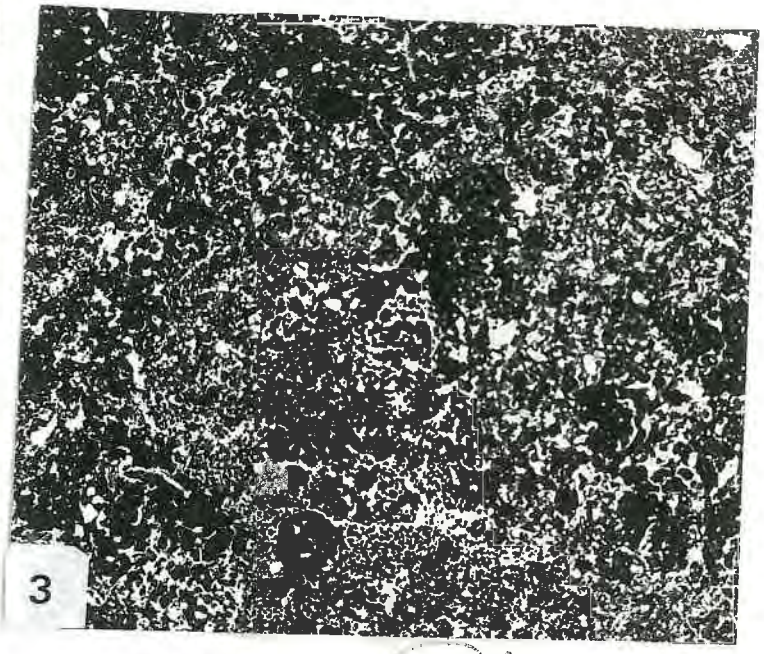
N'DIAYE Alassane

Vu et permis d'imprimer
Abidjan, le 10 décembre 1983
Le Recteur de l'Université d'Abidjan,

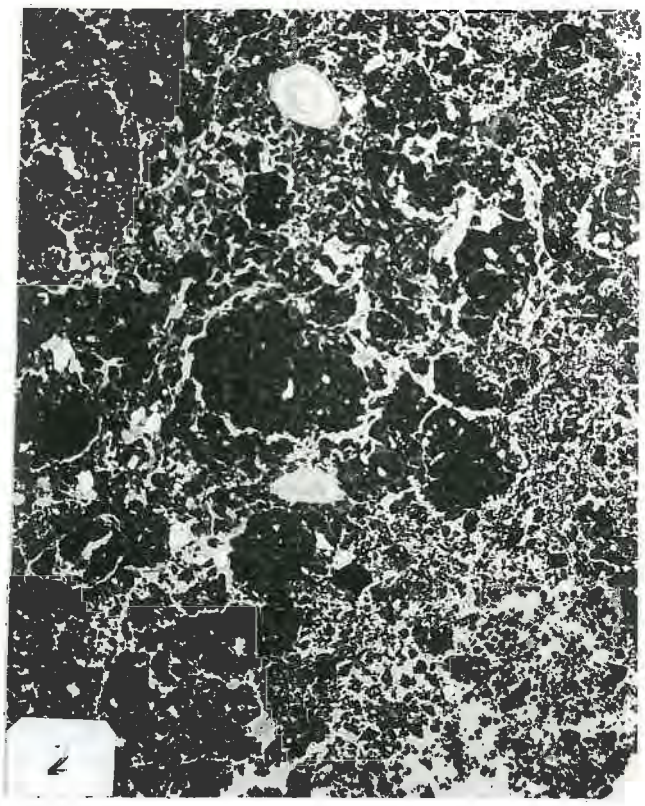
TOURE Bakary

n° inv : 84/187





56mm



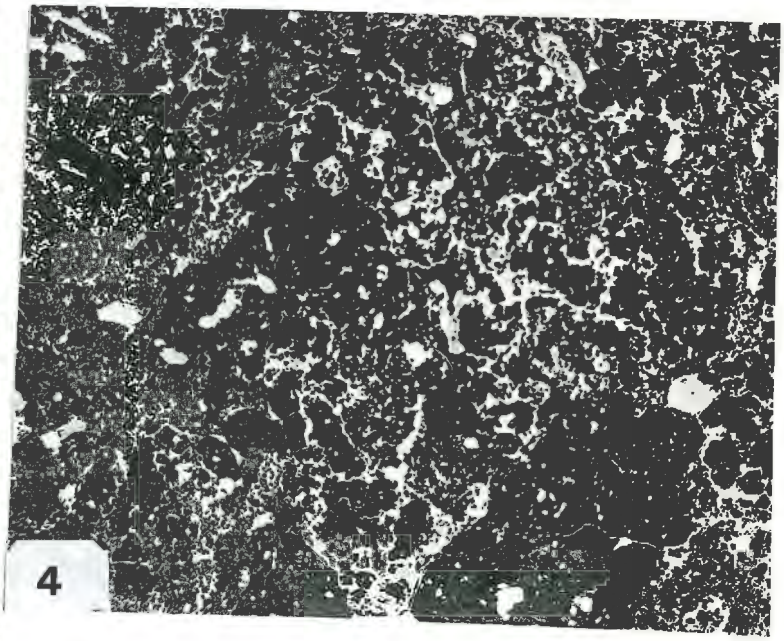
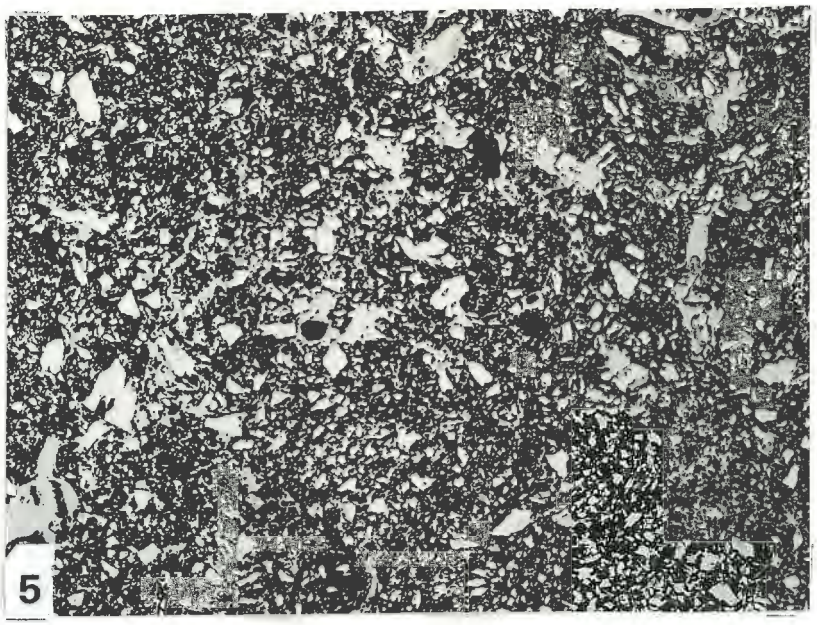


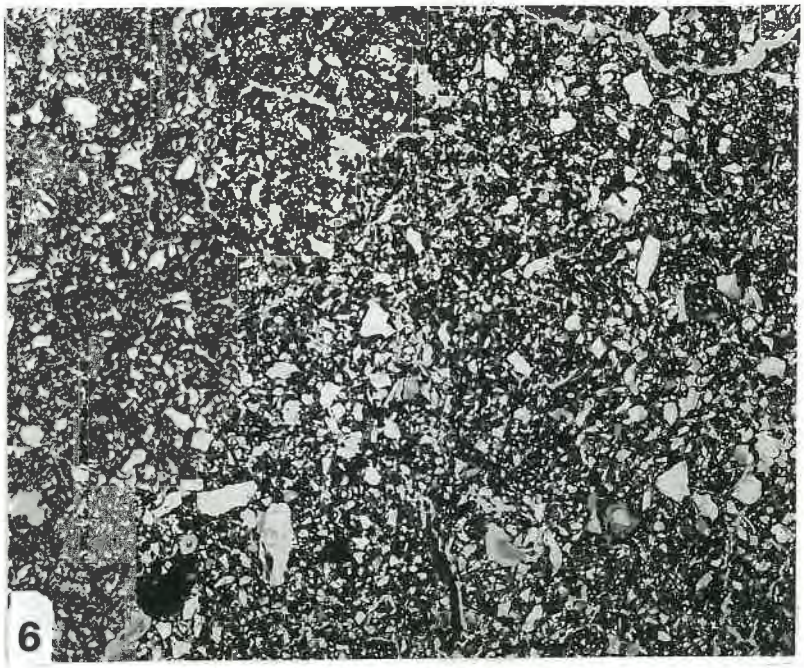
PLANCHE II

TYPES DE STRUCTURE DANS LES SOLS DE TOHA

Photos 5 à 8 (0-10 à 40-80 cm) : Les quatre photos présentent le même aspect. On ne distingue aucun agrégat sur l'une d'elles à part les éléments de quartz qui apparaissent blancs. La structure du sol est donc massive sur tout l'ensemble du profil étudié. Les vides, difficiles à distinguer ici des éléments de quartz, sont composés de vides d'entassement compacts, de fentes, de cavités et surtout de vésicules.

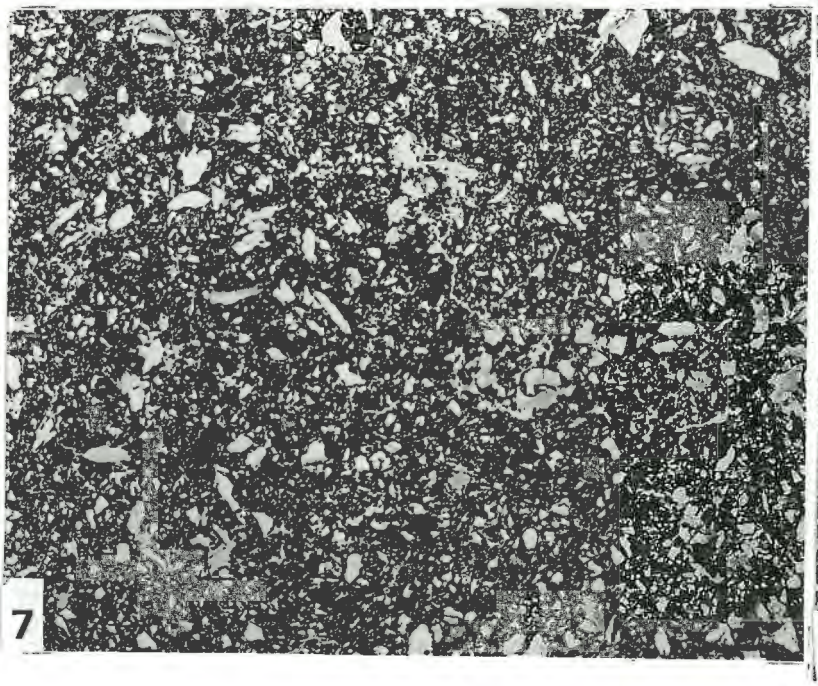


5

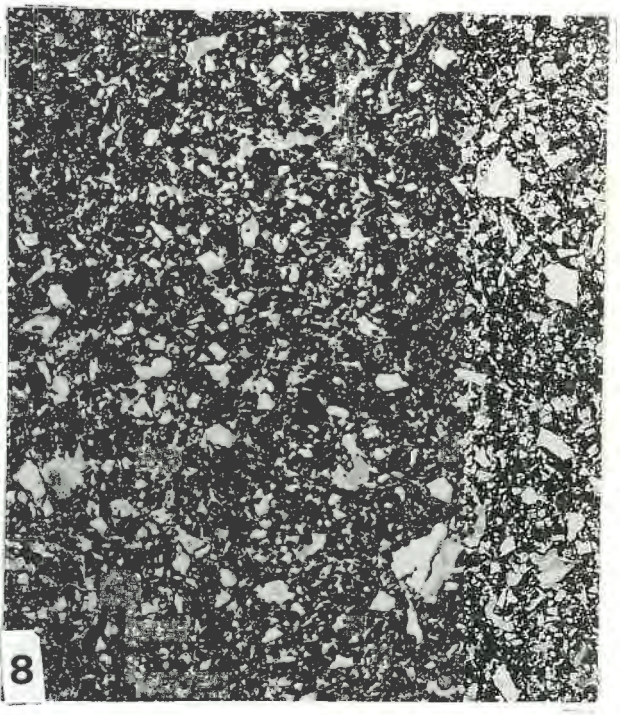


6

56mm



7



8

PLANCHE III

MODIFICATIONS STRUCTURALES SOUS L'EFFET DES CONTRAINTES APPLIQUEES A LA SURFACE DES SOLS DE SOULA ET DE TOHA

Photo 9 : En périodes sèches (humidité inférieure à pF 3) le piétinement provoque l'écrasement des éléments structuraux superficiels de SOULA et donne naissance à une structure particulaire, ou fragmentaire grumeleuse très fine.

Photo 10 : En périodes humides (humidité supérieure à pF 3) le piétinement provoque la prise en masse des éléments structuraux superficiels de SOULA qui s'orientent pour donner naissance à une structure lamellaire. Les vides sont horizontaux et s'ouvrent peu à l'extérieur.

Photos 11 et 12 : Les modifications structurales des sols de TOHA n'apparaissent pas de façon nette sur les photos. Ceci peut s'expliquer par la texture grossière de ces sols.

PLANCHE IV

INFLUENCE DE LA TAILLE INITIALE SUR LE COMPACTAGE A Wc DES ELEMENTS STRUCTURAUX DE SOULA

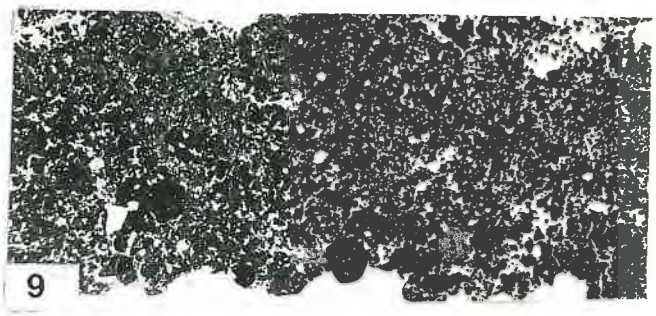
Photo 13 : (10-5 mm) On observe, tout autour des éléments structuraux dont la taille initiale de certains est encore reconnaissable, des vides d'entassement compacts, des cavités, des fentes et des vésicules. De fines fissures de retrait s'observent sur les éléments structuraux.

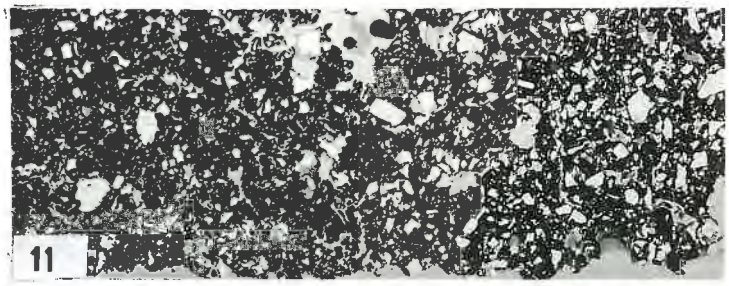
Photo 14 : (5-3,15 mm) Au centre de la photo on distingue la taille initiale 5 - 3,15 de quelques éléments structuraux compactés. Les vides sont surtout des cavités et des fentes et des vésicules, des fissures et des vides d'entassement compacts.

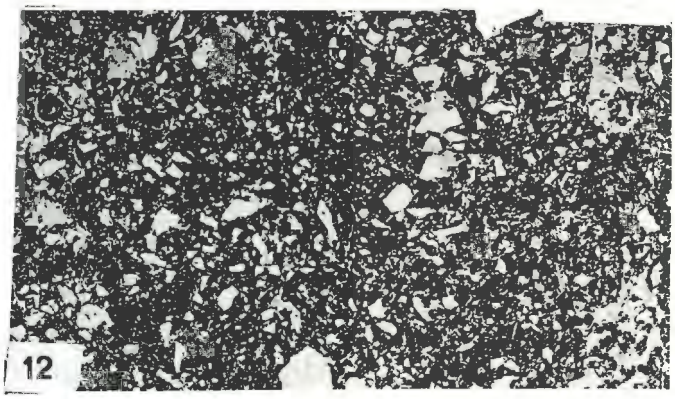
Photo 15 : (3,15 -2mm) Quelques éléments structuraux (3,15 - 2 mm) sont encore discernables au centre dela photo. Les vides sont, comme précédemment, des cavités, des fentes, des vésicules, des fissures et des vides d'entassement compacts.

Photo 16 : (2 - 1 mm) On ne distingue pas la taille initiale (2 - 1 mm) des éléments structuraux compactés. Les vides sont surtout composés par ordre d'importance décroissante, de vésicules, de cavités et de fissures de retrait.

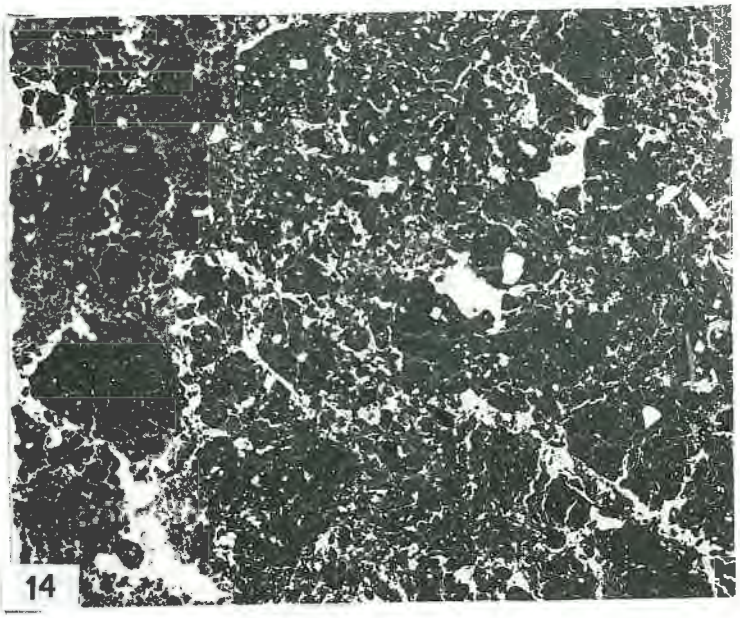
56mm





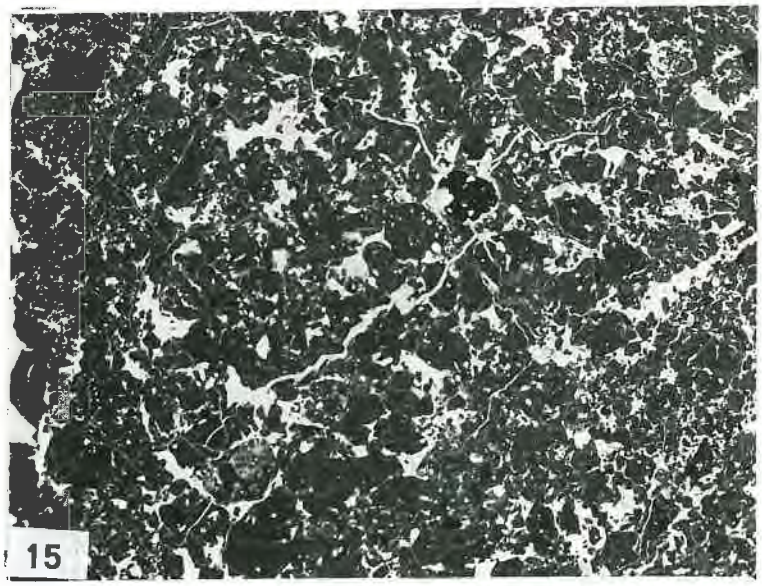


13

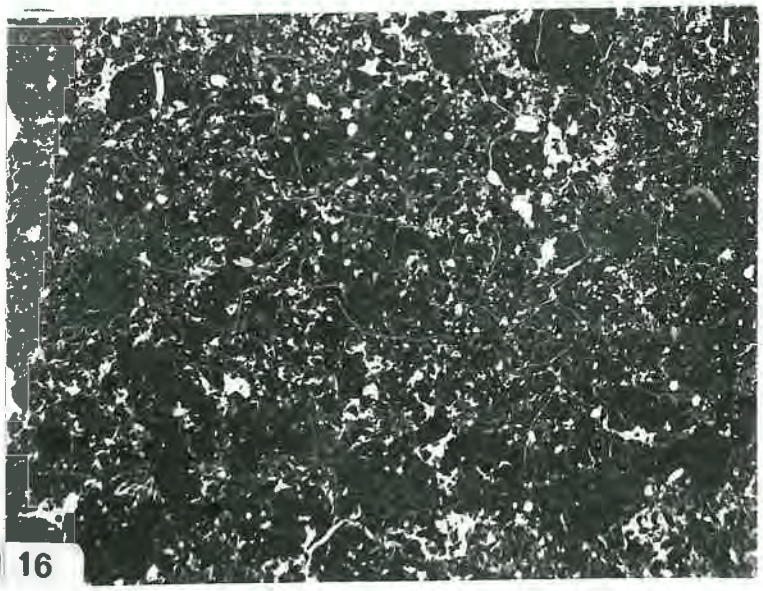


14

56mm



15



16

PLANCHE V

INFLUENCE DE LA TAILLE INITIALE SUR LE COMPACTAGE A Wc DES ELEMENTS STRUCTURAUX DE TOHA

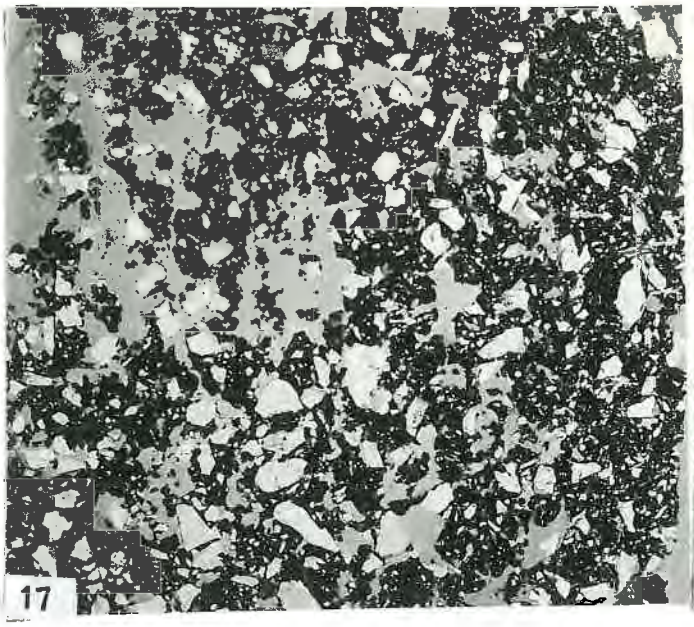
Photo 17 (10-5 mm) : On ne distingue pas la structure initiale (10-5 mm) des éléments structuraux compactés. Les vides d'entassement compacts s'observent surtout à la partie supérieure gauche de la photo. Quelques cavités sont à la partie inférieure.

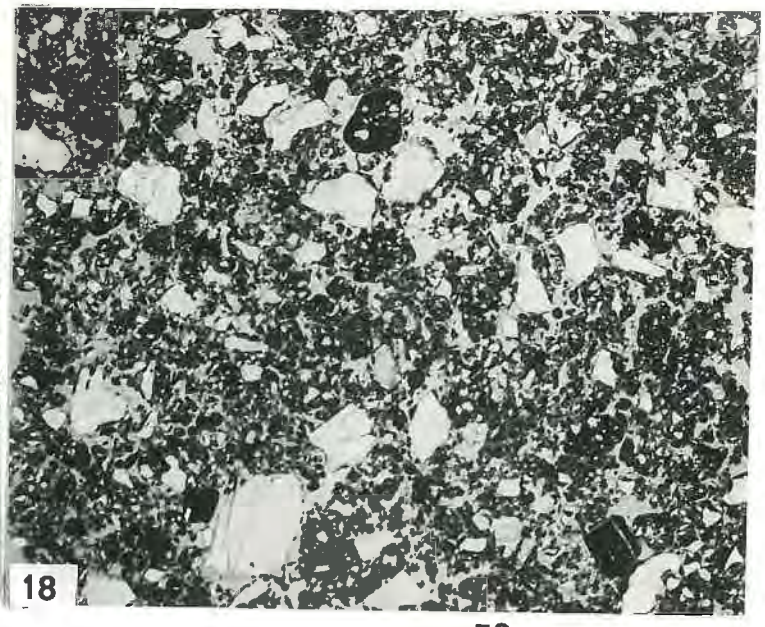
N.B. : les vides sont de couleur gris foncé.

Photo 18 (5-3,15 mm) : On ne distingue pas la structure initiale (5 - 3,15) des éléments structuraux compactés. Les vides sont surtout des vésicules et des fentes.

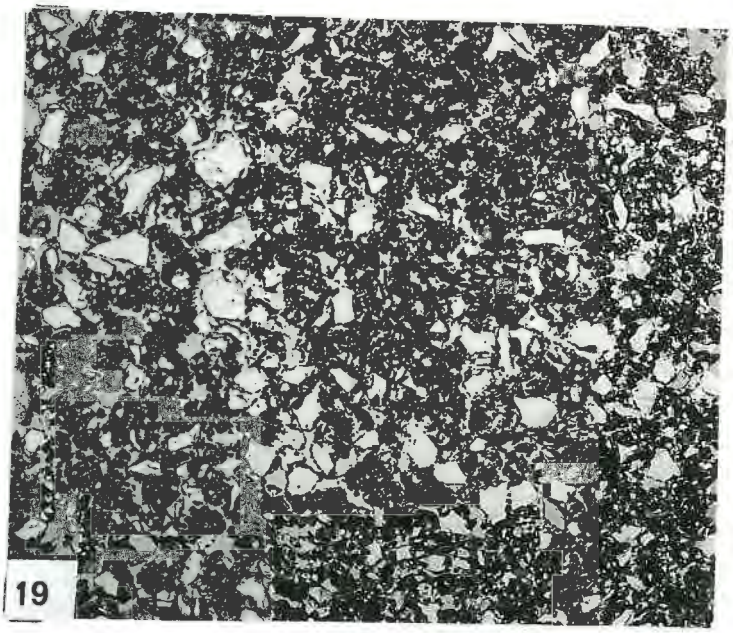
Photo 19 (3,15-2 mm) : La structure initiale (3,15 - 2 mm) des éléments structuraux compactés n'est pas apparente. Les vides sont composés de vésicules et de cavités.

Photo 20 (2-1 mm) : La structure initiale (2-1 mm) n'apparait pas. On observe vers la partie supérieure et le centre de la photo trois cavités auxquelles sont associées des vésicules.





56mm



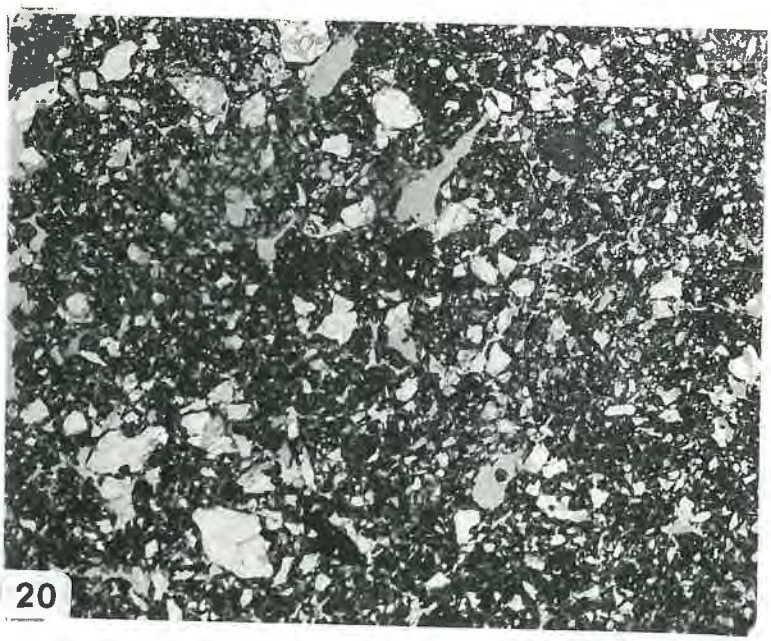


PLANCHE VI

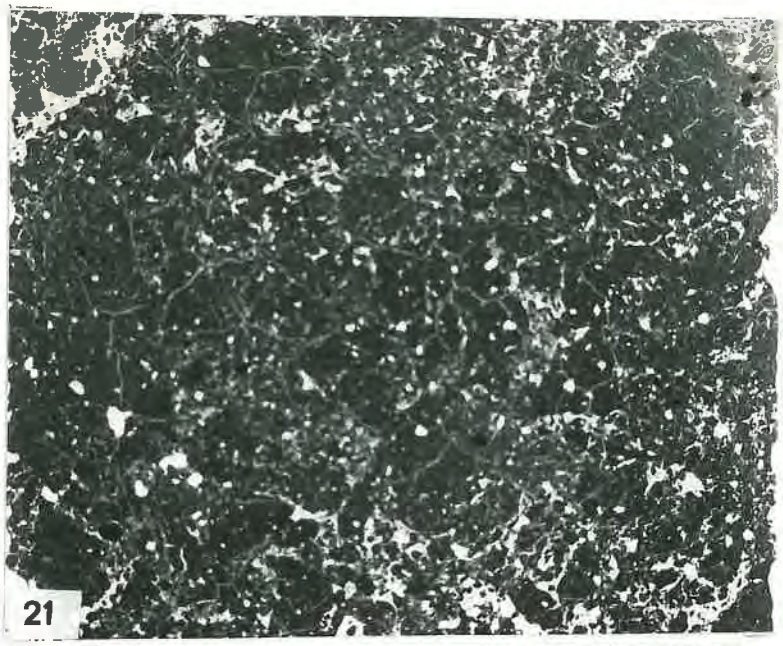
INFLUENCE DE LA TAILLE INITIALE SUR LE COMPACTAGE A W_m DES ELEMENTS STRUCTURAUX DE SOULA

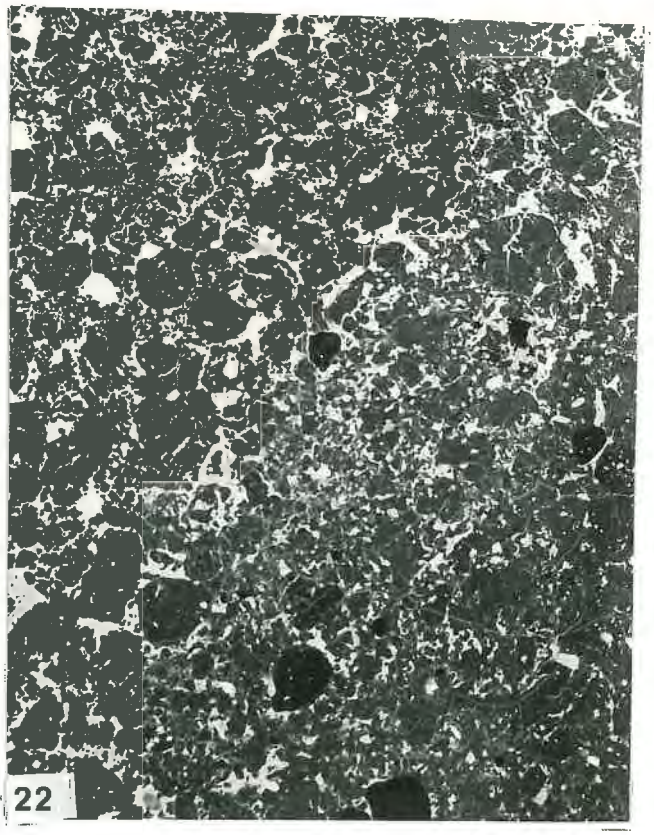
Photo 21 (10-5 mm) : On ne distingue pas la structure initiale (10-5 mm) des éléments structuraux compactés. On observe quelques vides d'entassement compacts à la périphérie de la motte (photo). Les cavités, les fentes, les vésicules et les fissures de retrait apparaissent moins abondantes qu'à W_c.

Photo 22 (5-3,15 mm) : La taille initiale (5 - 3,15 mm) des éléments structuraux n'apparaît pas après compactage à W_m. Les vides sont essentiellement des cavités, des fentes auxquelles sont associés quelques vides d'entassement compacts et des fissures de retrait.

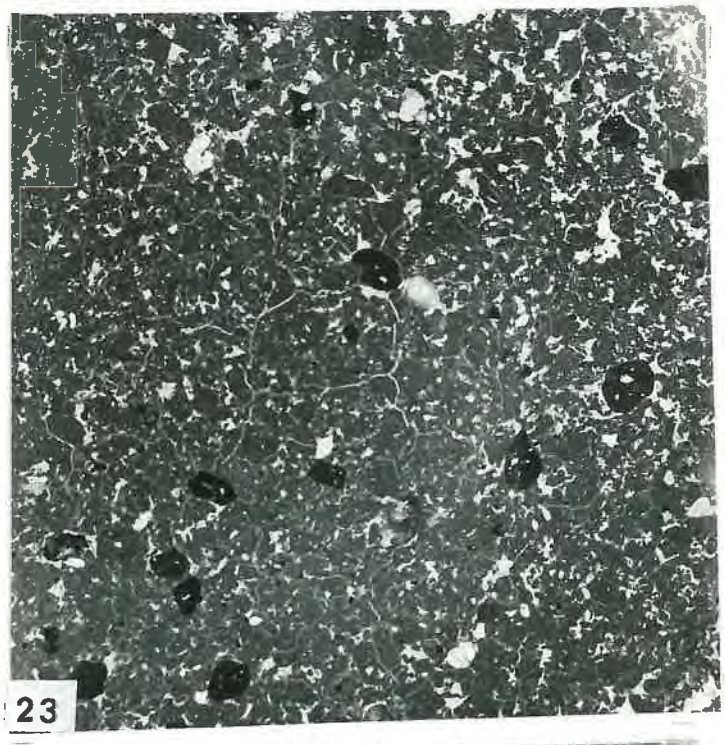
Photo 23 (3,15-2 mm) : Après compactage à W_m la structure initiale (3,15 - 2 mm) des éléments structuraux disparaît. Les vides, moins nombreux que précédemment, se composent de cavités, de vésicules et surtout de fissures de retrait.

Photo 24 (2-1 mm) : Après compactage à W_m les éléments structuraux (2-1 mm) forment un ensemble continu parcouru de fissures de retrait, de vésicules et de petites cavités.





56mm



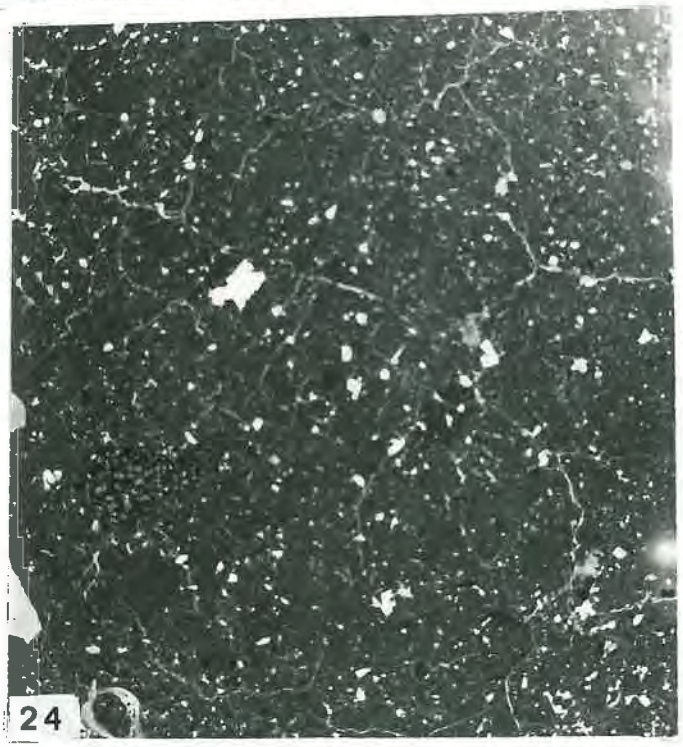


PLANCHE VII

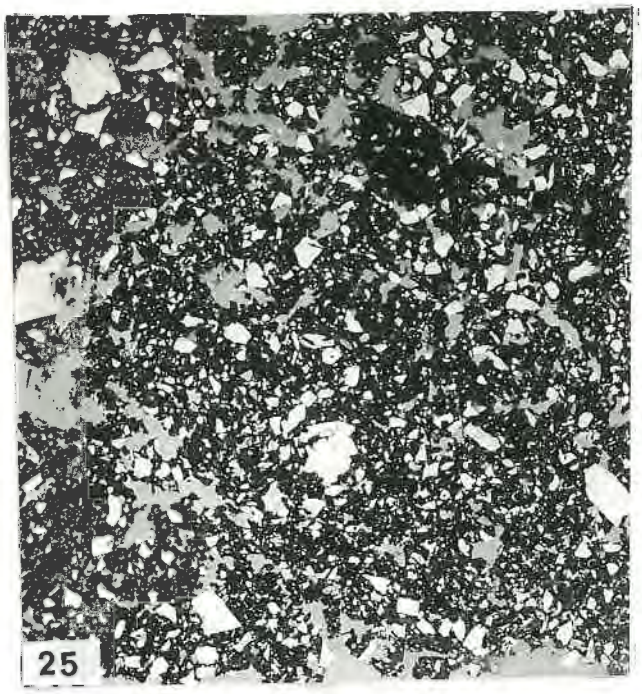
INFLUENCE DE LA TAILLE INITIALE SUR LE COMPACTAGE A W_m DES ELEMENTS STRUCTURAUX DE TOHA

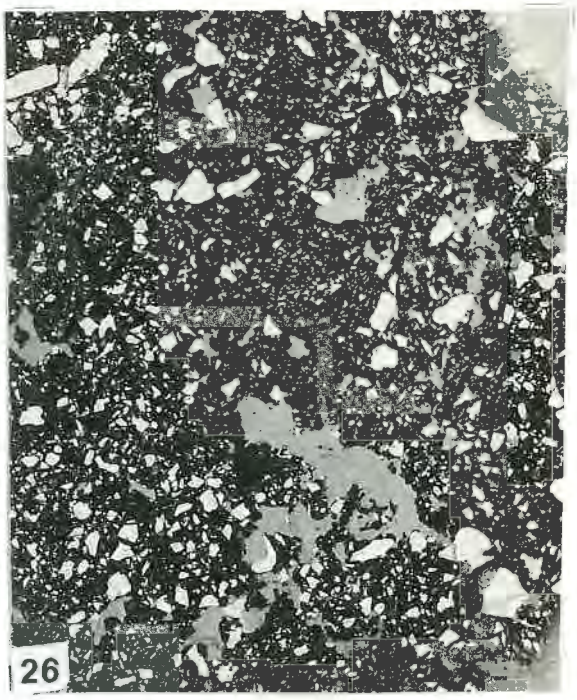
Photo 25 (10-5 mm) : La structure initiale (10-5 mm) des éléments structuraux n'apparaît pas après compactage à Wm. On observe quelques vides d'entassement compacts à la partie gauche et à la base de la photo. Des cavités très discrètes sont associées à ceux-ci.

Photo 26 (5-3,15 mm) : La structure initiale (5-3,15 mm) des élélements structurau> n'est pas discernable après compactage à W_m. Les vides apparaissent constitués essentiellement de cavités et de fentes localisées vers la partie inférieure de la motte (photo).

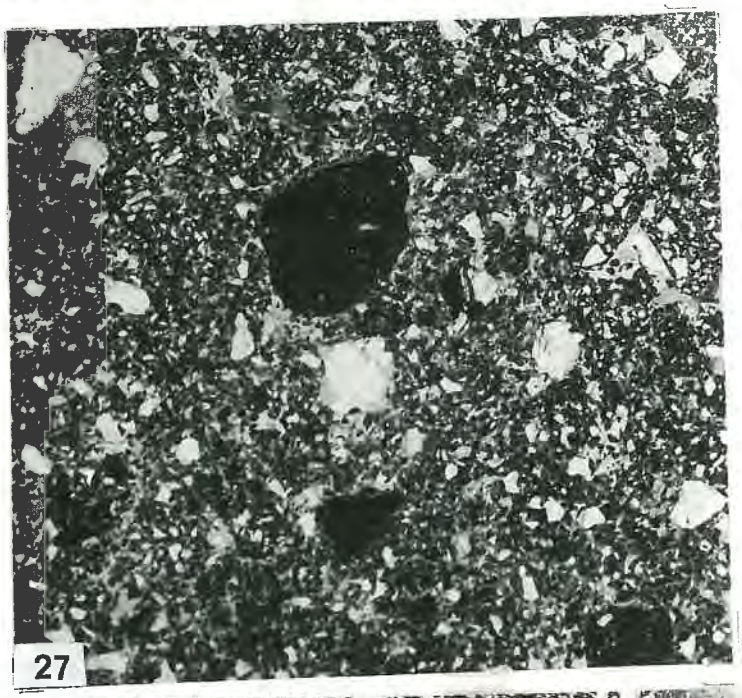
Photo 27 (3,15-2 mm) : Après compactage à W_m des éléments structuraux de taille 3,15-2 mm on observe une masse continue dans laquelle les vides très discrets, sont dominés par des éléments de quartz.

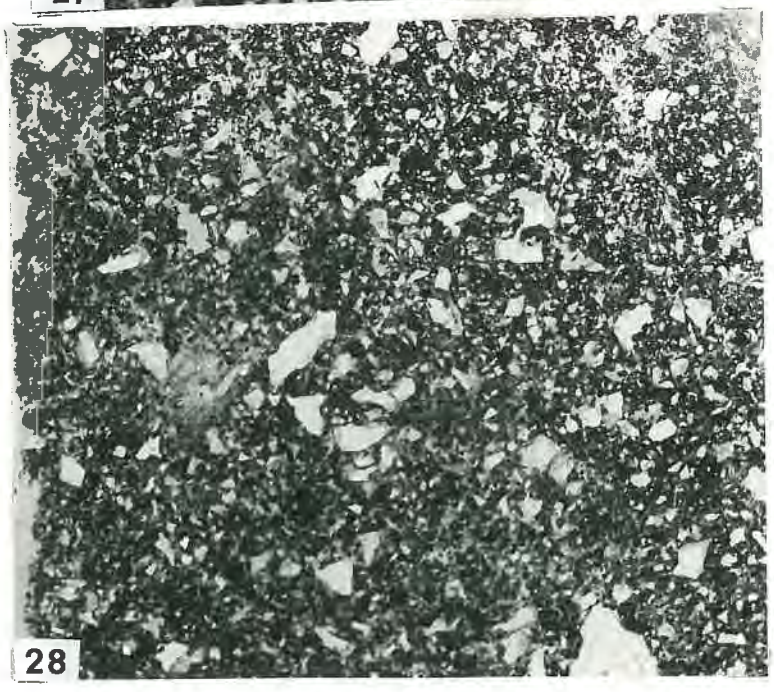
Photo 28 (2-1 mm) : On observe, comme précédemment, une masse continue dans laquelle on ne distingue plus ni la taille initiale (2-1mm) des éléments structuraux, ni les différentes formes de vides de façon nette.





56mm





~~BAG~~

GD 108

TABLE DES MATIERES

Annexe 1

- Cartes de position des exploitations sur la Commune -
- Fiches de présentation des agriculteurs et des exploitations -
  - LABEAU P1
  - BENTEGEAC P2
  - LAGARDERE P3
  - LAVILLE P4 - P10
  - ST MARC P6
  - DELAGE P7
  - DU THURON P8 - P9

Annexe 2

- Fiches des données climatiques du Lot et Garonne -
  - tableau climatologique du Lot et Garonne
  - Climogramme du Lot et Garonne et Isohyète
- Fiches des données climatiques de Marmande -
  - Relevés année 1976
  - - - 1975
  - - - 1974
  - - - 1973
  - - - 1972
  - - - 1971
  - - - 1970
- Relevés : Moyenne des années 1970 - 1975 -
- Climogramme : Moyenne des années 1970 - 1975 -
- - : année 1976
- Courbes cumulées ETP piche et pluviométrie sur l'année 1976 -
- Courbes cumulées ETP piche et pluviométrie sur la moyenne des années 1970 à 1975 -
- Courbes P - ETP de l'année 1976 et moyenne 1970 à 1975 -
- Relevé sur la période de Juin à Août 1976 -

./..

Annexe 3

- Fiches du matériel utilisé -

  - Redoutable ∅ 80
  - Microenrouleur ∅ 50 Irrifrance
  - Minimat 63 Perrot
  - Ligne de sprinklers

Annexe 4

- Fiches des déficits enregistrés sur parcelles

- Fiches d'arrosages

Annexe 5

- Croquis (ensemble et détail) de l'aspérimètre à aiguilles -

Annexe 6

- Croquis de l'appareil pour la détermination des gouttes d'aspersions -

Annexe 7

- Croquis du socle du pistolet spit lors de la prise d'échantillons pour les mesures de perméabilité -

- Matériel pour la détermination des perméabilités en Laboratoire -

Annexe 8

- Croquis d'utilisation du matériel employé pour la détermination des densités apparentes :(méthode à la paraffine et à l'eau) -

Annexe 9

- Feuilles des résultats d'analyses effectuées au Laboratoire de l' I. N. R. A. à ARRAS; Parcelles de 1 à 10 -

Annexe 10

- Texture des parcelles déterminées sur le triangle de texture GEPPA-1966-

Annexe 11

- Courbes cumulées des différentes granulométries -

Annexe 12

- Représentation des différentes stabilités structurales d'après HENIN -

Annexe 13

- Courbes des essais PROCTOR - Parcelles de 1 à 10 -

Annexe 14

- Les Limites d'ATTERBERG -

Annexe 15

- Courbes des pluviométries enregistrées sur parcelles -

. P1, P2, P4,

. P3, P6,

. P8, P9.

Annexe 16

- Les données d'aspérimétrie -

. Courbes faites à partir des coordonnées de l'extremité supérieure de chaque aiguille -
P11, P12, P21, P42
P32, P61, P82
P71 (lire Parcelle 7 emplacement 1)

. Méthode 2

° histogramme de la norme des écarts tracé par rapport à la moyenne - P12, P42, P32 -

° Courbes de variation des normes des écarts avec différents pas pour la moyenne mobile - P41, P42, P32, P61 -

. Méthode 3

° Fiches informatiques des résultats :
- P1, P2, P4
- P3, P6
- P8
- P7

Annexe 16 (suite)

° Courbes de variation des fréquences des moyennes

- P1, P2, P4
- P3, P6
- P8
- P7

° Histogrammes de non dépassement

- P11, P61, P12, P21, P32, P41, P42, P71, P81 -

Annexe 17 -

- Rappel des parcelles

. P1, P2, P4

. P3, P6

. P8, P9

. P7, P10

Annexe 18 -

- Courbes de densités apparentes -

. P1, P2, P3, P4, P6, P8, P9

. P7, P10

- Graphique de comparaison entre les courbes de densités des parcelles non irriguées et celles des parcelles irriguées -

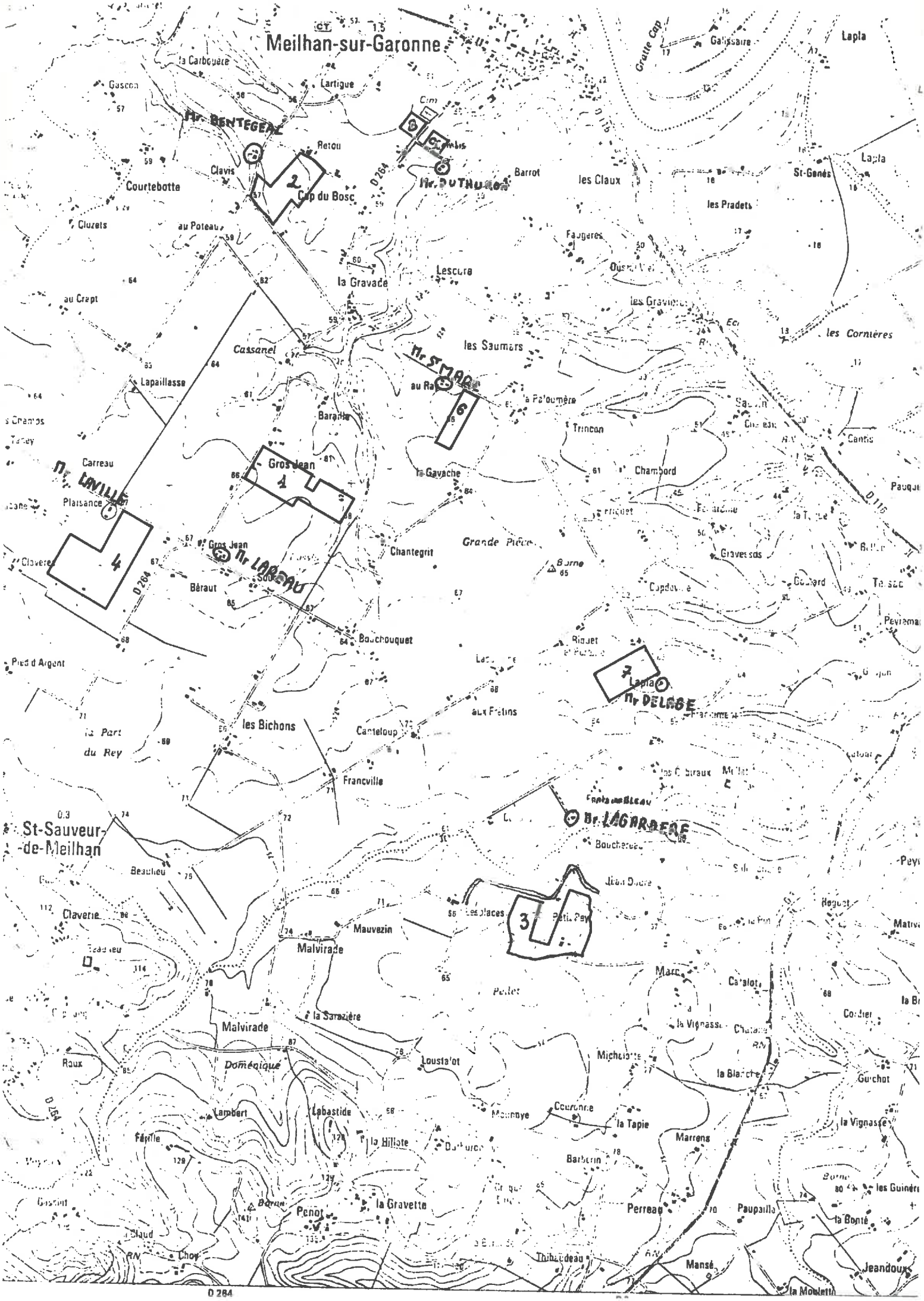
Annexe 19 -

- Dessin des profils pédologiques -

. P1, P2, P3, P4, P6, P7, P9 -

*
* *
*

- A N N E X E - 1 -


Meilhan-sur-Garonne
Mr BENTEGEAT
Mr DUTHURON
Mr SMADJA
Mr LAVILLE
Mr LABRAU
Mr DELAGE
Mr LAGARDERE
St-Sauveur-de-Meilhan
Courtebotte
Cap du Bosc
Gros Jean
Chantegrit
Bouchouquet
les Bichons
Malvirade
Lambert
Lebastide
la Hillote
la Gravette
Penot
les Saumars
la Gravade
Lescure
Trincon
Chambord
la Gavache
Grande Pièce
les Claux
les Pradets
Faugères
Lapla
St-Genès
Cantin
les Cornières
Graves sas
Riquet
Capdevielle
Gachard
Taillac
Peyviman
Lapla
aux Frênes
Canteloup
Francville
Boucheraie
Petit Pey
Marc
Catalot
Michelotte
la Blanche
Gurchot
la Vignasse
Courronne
la Tapie
Marrens
Barberin
Perreau
Paupaillo
la Bonté
les Guinèr
Jeandoux
la Mouletta
Mansé
Thibaudeau
Choy
Claud
Roux
Beauchêne
Claverie
Mauvezin
la Sarazière
Loustalot
Doménique
Fayolle
Pied d'Argent
Plaisance
Carreau
Cassanel
Lapaillasse
Baraille
Bérault
Gros Jean
Clavere
Cluzets
Clavis
Retou
Gascon
la Carbouère
Lartigue
Barrot
au Poteau
au Crept
la Palombère
Ouste
Ecr
Riquet
Pauque
Peyr
Matra
Regnot
Cordier
Chalons
la Vignasse
Mouroye
Barrou
Cimetière
D 264
D 116
RN
0 264

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : LABEAU

Lieu-dit : Gros-jean

Parcelle : nº 1 - 4,5 ha

culture : maïs groupe III

date du semis : 28 Avril densité : 65.000 pieds/ha

Appareil d'irrigation : SOTRADIES Redoutable ∅ 80

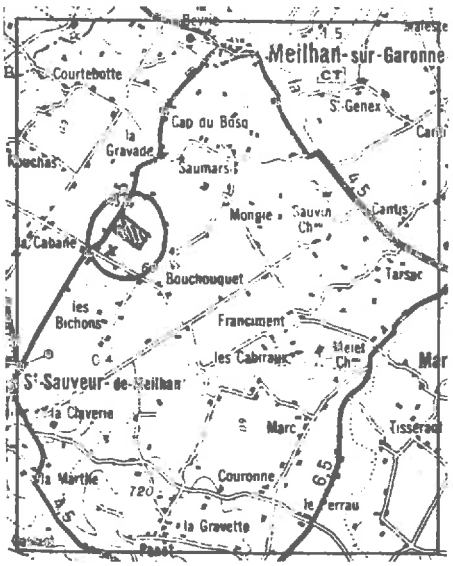
canon : Rain Gun 105 C

buse : pastille 25,1 mm

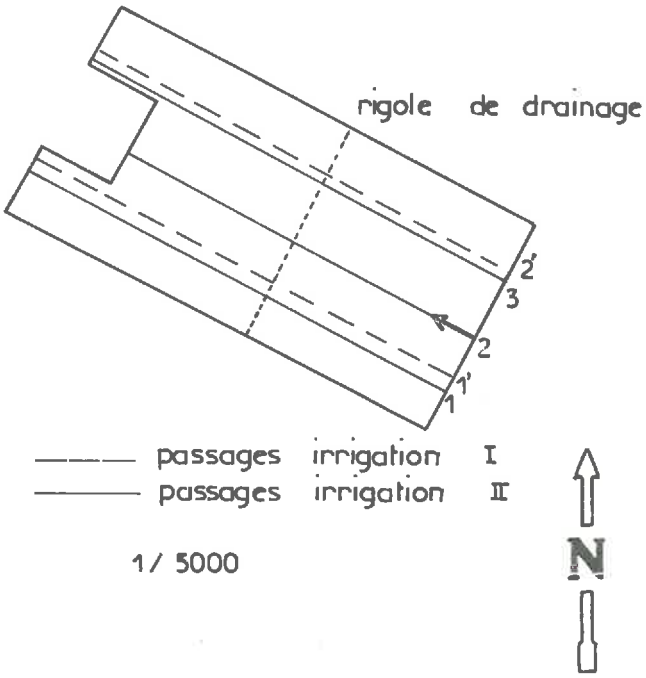
Branchement : Borne de débit de 55 m3/h.

Monsieur LABEAU pompe l'eau dans une réserve qu'il remplit grâce à la borne, cela afin de ne pas être surpris par les coupures du réseau. Il utilise un surpresseur de 30 CV.

PARCELLE N° 1



1/100 000



1/ 5000

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : BENTEGEAC

Lieu-dit : Clovis

Parcelle : nº 2 - 5 ha

Culture : maïs groupe III

Date du semis : 28 Avril densité : 65.000 pieds/ha

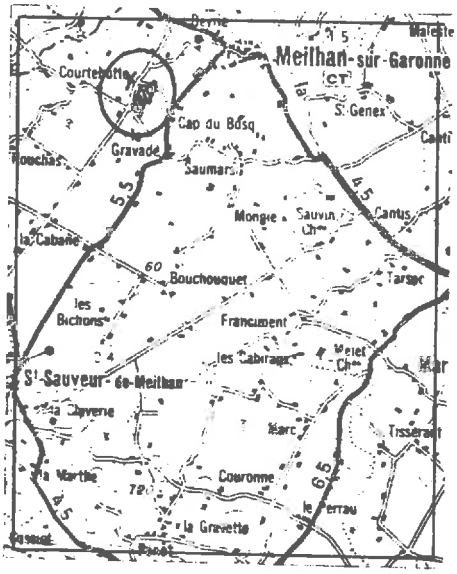
Appareil d'irrigation : SOTRADIES Redoutable ∅ 80

Canon : Rain Gun 105 C

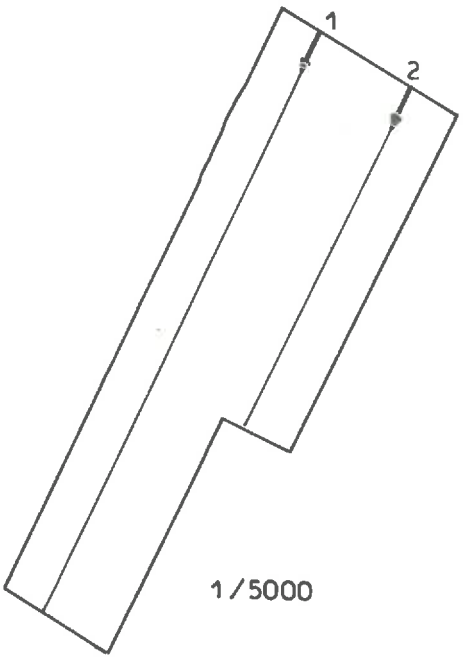
buse : pastille de 25,1 mm

Branchement : borne de débit de 50 m3/h avec surpresseur de 13,5 CV

PARCELLE N° 2



1 / 100000



1/5000

N

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : LAGARDERE

Lieu-dit : Fontainebleau

Parcelle : nº 3 - 6,5 ha

Culture : maïs groupe III

Date du semis : 1er Mai densité : 60.000 pieds/ha

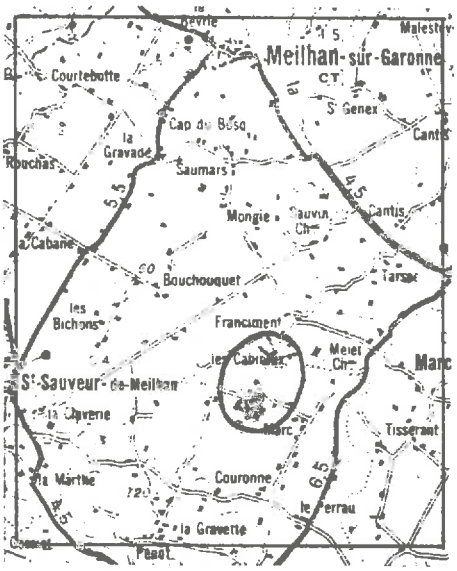
Appareil d'irrigation : PERROT Minimat mobile ø 63

canon : KOMET 163

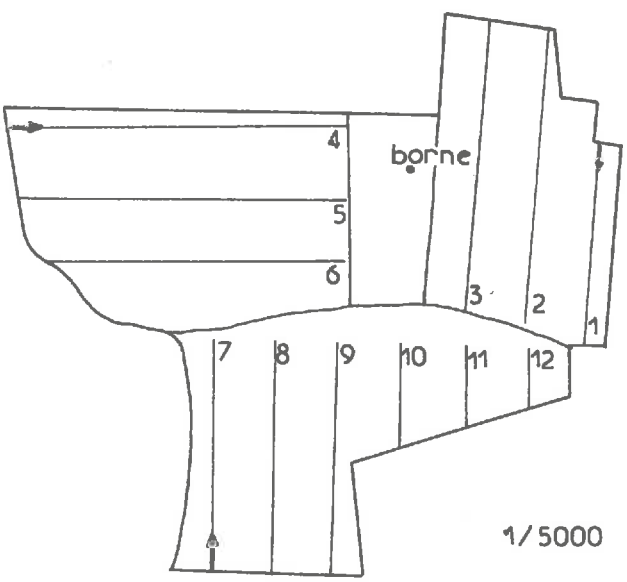
buse : cônique 10/32

Branchement : borne de débit de 20 m3/h avec surpresseur de 5,5 CV

PARCELLE N° 3



1 / 100 000



1/5000

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : ST MARC

Lieu-dit : Les Saumars

Parcelle : nº 6 - 1,20 ha

culture : maïs groupe III

date du semis : 28 Avril densité : 60.000 pieds/ha

Appareil d'irrigation : IRRIFRANCE Minienrouleur ø 50

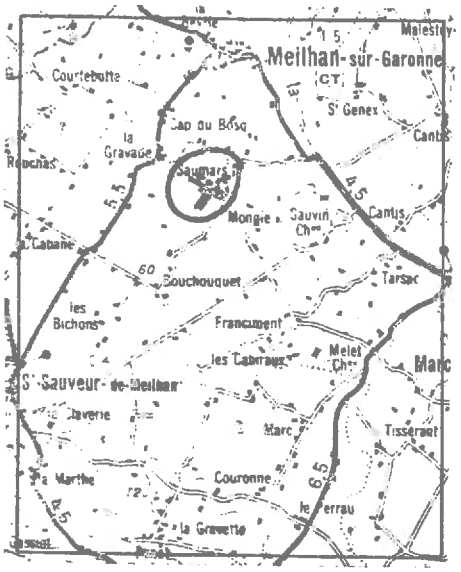
canon : 85 ERB

buse : cônique 13/32

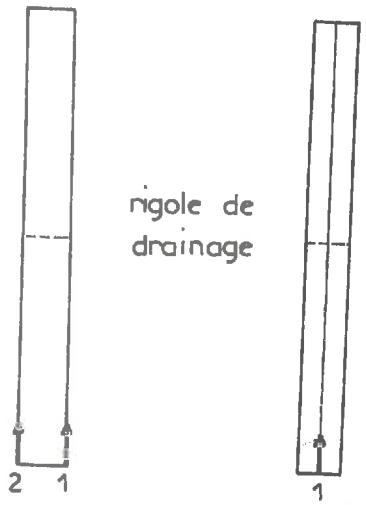
Branchement : borne de débit de 20 m3/h

pression du réseau : 3 à 4 bars

PARCELLE N° 6



1/100 000



I II

1/5000

N

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : LAVILLE

Lieu-dit : Plaisance

Parcelle : n° 4 - 11,5 ha

n° 10 - 0,25 ha témoin sec

culture : maïs groupe III

date de semis : 1er Mai densité : 60.000 pieds/ha

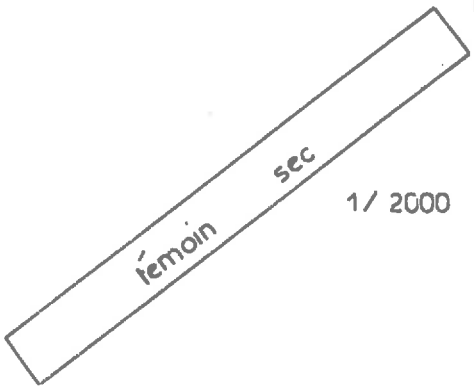
Appareil d'irrigation : SOTRADIES Redoutable ø 80

canon : Rain Gun 105 C

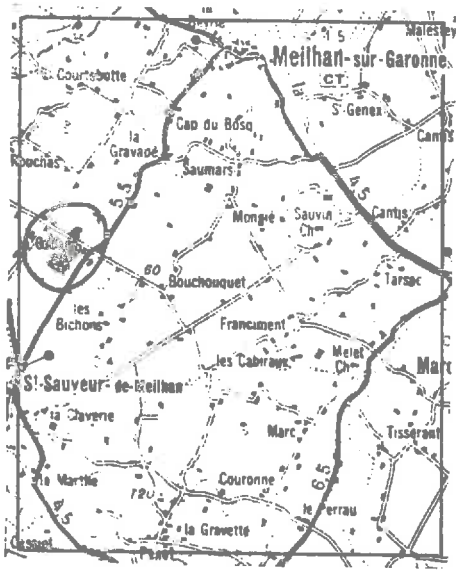
buse : pastille 22,1 mm

Branchement : borne de débit de 40 m3/h avec surpresseur de 13,5 CV

PARCELLE N° 10



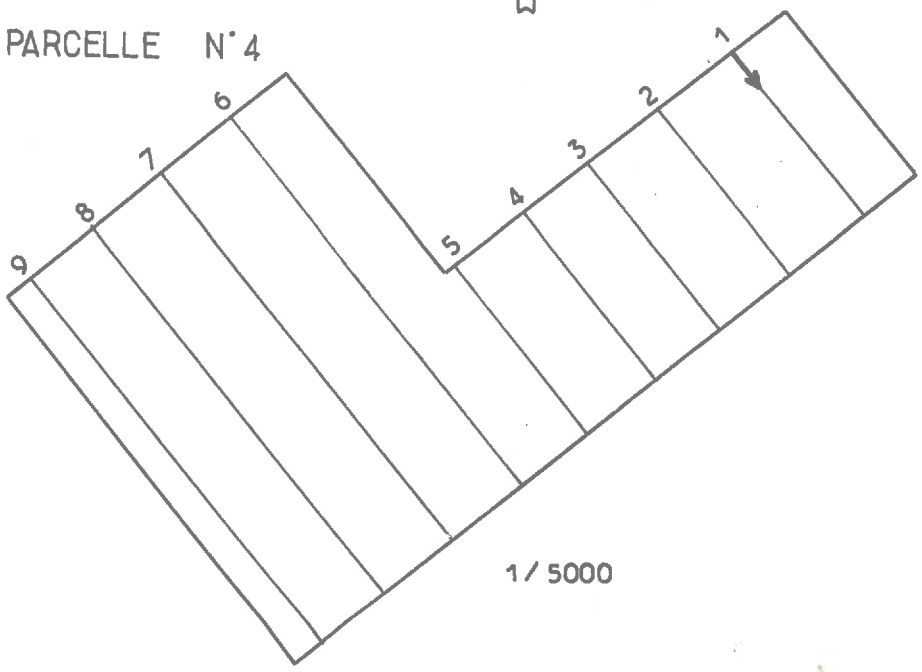
1/ 2000



1/ 100 000

N

PARCELLE N° 4



1/ 5000

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : DELAGE

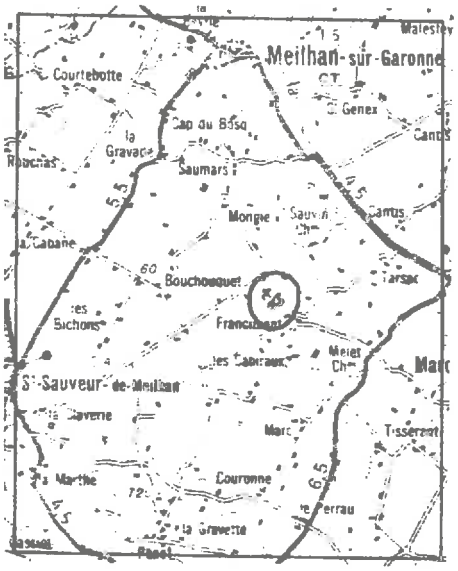
Lieu-dit : Lapla

Parcelle : nº 7 - 2,8 ha témoin sec

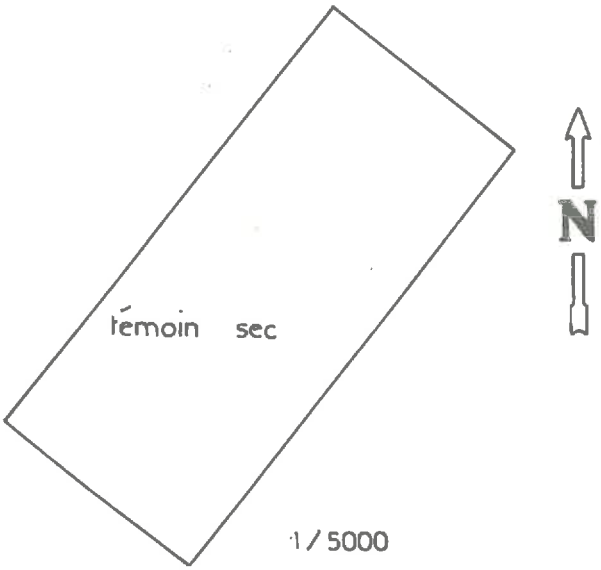
culture : maïs groupe III

date du semis : 20 avril densité : 65.000 pieds/ha

PARCELLE N° 7



1 / 100 000



1 / 5000

FICHE DE PRESENTATION

Agriculteur : DUTHURON

Lieu-dit : Combio

Parcelle : n° 8 - 0,8 ha

n° 9 - 0,4 ha

culture : maïs groupe III

date du semis : 1er Mai densité : 55.000 pieds/ha

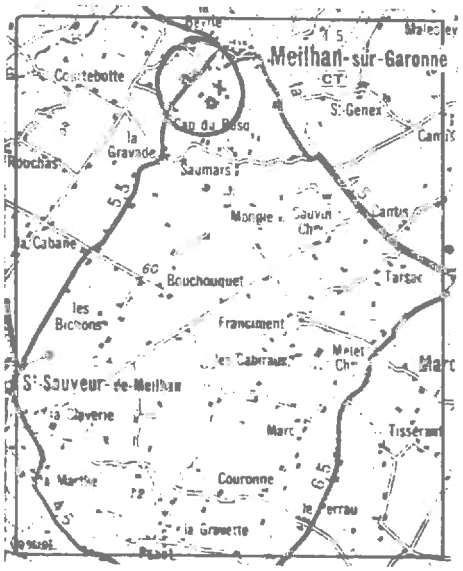
Système d'irrigation : ligne mobile avec huit arroseurs

canon : Rain Bird 40 BTNT

buse : métallique 3,96 x 2,38

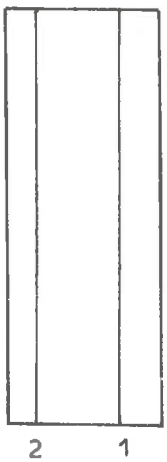
Branchement : borne de débit de 10 m3/h

pression du réseau : 3 à 4 bars

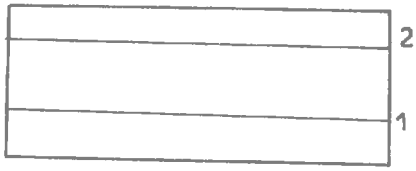


1/ 100 000

PARCELLE N° 9



PARCELLE N° 8



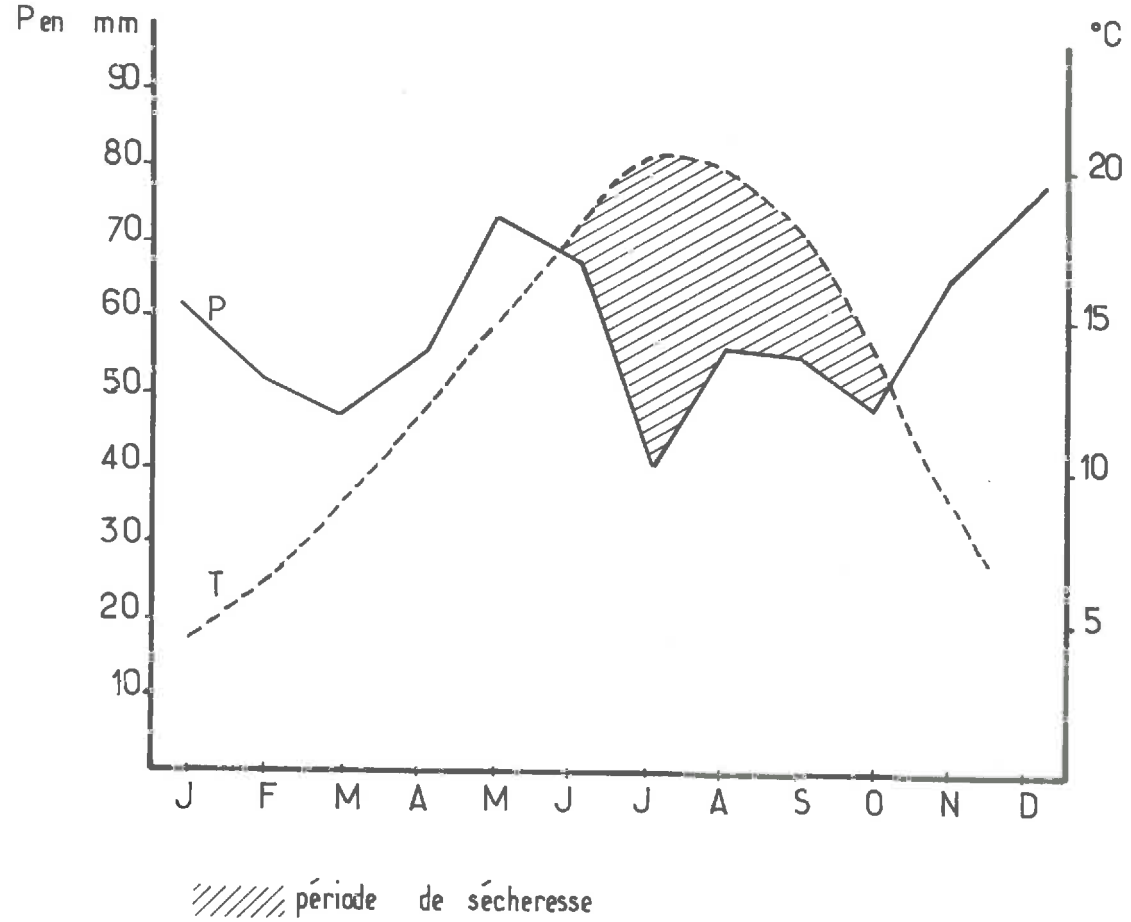
1/ 5000

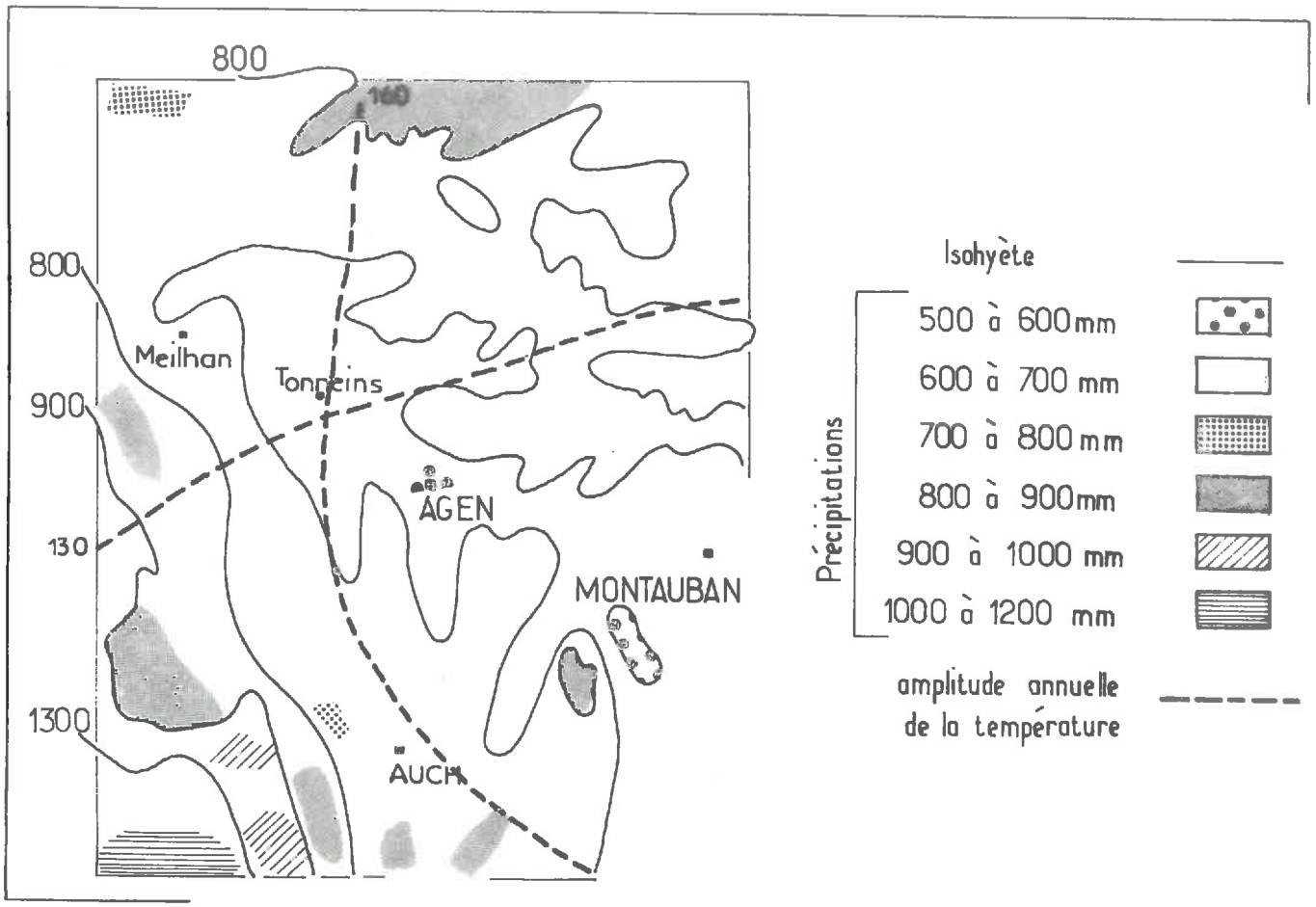
N

- A N N E X E - 2 -

STATION METEOROLOGIQUE D'AGEN - VALEURS MOYENNES ET EXTREMES DE QUELQUES PARAMETRES METEOROLOGIQUES

MOIS	Température période 1946 - 1970					Précipitations 1946 - 1970				Nombre moyen de jours de 1946 - 1970					Isolation 1951-1970	Vent 1961 - 1970	
	Moyenne	Moyenne des minima	Moyenne des maxima	Minimales absolues	Maximales absolues	Hauteur moyenne mm	Nbre moyen jours	Hauteur max mensuelle	Hauteur minimale mensuelle	Neige	Grêle	Orage	Brouillard	Gelée	Durée totale moyenne en h	Nbre moyen jours vents 16m/s	Vent max. direction
JANVIER	4,7	1,2	8,3	-14,9	16,1	60	13	144	4,5	1,5			10	12,5	72	1	W
FEVRIER	6,1	1,7	10,5	-21,9	21,9	51	12,5	126	5,1	1,5	0,5		5,5	10	106	2,5	W
MARS	9,1	3,7	14,5	- 6,8	25,3	47	12	96		0,5		1	4	7	169	1,5	W
AVRIL	11,7	6,1	17,2	- 3,9	30,2	55	13	106	1,5			1,5	2,5	1,5	193	2	N
MAI	14,9	9	20,8	- 1,6	33,8	73	12,5	142	31,5			4	2,5		232	0,5	W
JUIN	18,3	12,3	24,3	2,5	37,8	68	11	148	15,9		0,5	4,5	2		236	0,5	W N W
JUILLET	20,7	14,4	27	6,5	40,6	39	9	99	1			4,5	1		267	0,5	W
AOUT	20,2	13,0	26,3	4,7	41,0	56	11	125	15,2			5	2,5		237	0,5	W
SEPTEMBRE	18,2	12,2	24,1	1	35,2	55	10,5	125	7,6			3	6,5		194		W S W
OCTOBRE	13,6	8,3	19	- 5	32	47	10	133	9,1			1	12	1	153	0,5	W
NOVEMBRE	8,6	4,7	12,5	- 8,2	23	66	13,5	143	196			0,5	11	6	82	2	W
DECEMBRE	5,6	2,5	8,8	-12,1	21,6	75	14,5	198	6,7	1,5			9	9	56	2	N


P en mm
°C
90
80
70
60
50
40
30
20
10
20
15
10
5
P
T
J F M A M J J A S O N D
période de sécheresse


800
160
800
900
130
1300
Meilhan
Tonneins
AGEN
MONTAUBAN
AUCH
Isohyète
Précipitations
500 à 600 mm
600 à 700 mm
700 à 800 mm
800 à 900 mm
900 à 1000 mm
1000 à 1200 mm
amplitude annuelle
de la température

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 19 76

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	17,8	64,2		6,2	17,8	N - W
FEVRIER	35,1	106	55,1	10,7	- 20	S - E
MARS	34,7	188	74,3	13,5	- 39,6	N - W
AVRIL	17,9	186,6	95,6	16,9	- 77,7	N - W
MAI	30,9	233,9	101,8	19	- 70,9	W
JUIN	22,1	325,8	144	23	-121,9	N - W
JUILLET	86,8	276,3	123	25	-36,2	W - N.W
AOUT	53		102,1	23,4	-49,1	W - E
SEPTEMBRE	51,2	154,1	62,8	19,3	- 11,6	E - W
OCTOBRE	126,7		42,5	14,5	84,2	W - E
NOVEMBRE						
DECEMBRE						

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 1975

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	58,3	87,3		7,8	58,3	E - S.E
FEVRIER	18,5	152,2	37,2	8,1	- 18,7	E
MARS	67,8	108,2	50	7,4	17,8	N - N.W
AVRIL	64,1	182,3	70,4	11,7	- 6,3	W - N.W
MAI	56,7	174,5	99,1	14,3	- 42,4	E - W
JUIN	60,4	227,9	98,8	18,6	- 38,4	W
JUILLET	24,3	320,4	125,1	21,5	- 100,8	W - N.W
AOUT	58,4	241,7	96,9	21,9	- 38,5	W
SEPTEMBRE	100,8	159,9	53,1	17,9	47,70	W
OCTOBRE	26,6	181	51,7	12,9	- 25,1	E
NOVEMBRE	70	63,9		8,3	70	W
DECEMBRE	19,1	40		3,4	19,1	N - E

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 19 74

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	38,9	64,6		7,7	38,9	S - E
FEVRIER	74,7	106,1	49	7,4	25,7	N.W - N
MARS	70,6	124,6	61,4	9,6	9,2	N.W - E
AVRIL	34,5	204,1	82,3	11,3	- 47,8	N - W
MAI	81,1	196,2	76,8	14,8	4,3	N.W - W
JUIN	23,5	269,6	113,6	18,7	- 90,1	W
JUILLET	10,5	253,4	114	20,6	-103,5	W
AOUT	31,7	234,8	106,3	20,7	- 74,6	W
SEPTEMBRE	140	155	63,3	16,8	76,7	W
OCTOBRE	75,3	65,5	26,9	9,6	48,4	W
NOVEMBRE	82,8	75,9		9,6	82,6	W
DECEMBRE	24,2	58,2		8,2	24,2	W - N.W

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 1973

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	52,5	54,5		4,1	52,5	S.E - N
FEVRIER	89,7	100,5	47	4,9	42,7	W - N.W
MARS	22,9	239,7	72	7,9	- 49,1	N - E
AVRIL	29,5	205	92,8	10,2	- 63,3	N
MAI	90,7	227,2	101,1	16,68	- 10,40	W - E
JUIN	46,4	245	90,9	19,2	- 44,5	W - N.W
JUILLET	114,3	226,1	79,4	20,2	34,9	W
AOUT	45,5	222,5	76,7	22,8	- 31,2	W - N.W
SEPTEMBRE	65	210,5	63,9	19,1	1,1	W - E
OCTOBRE	53,3	165	39,3	12,2	14	E - W
NOVEMBRE	43	103,5		8,5	43	N - W
DECEMBRE	65,1	43,6		5	65,1	W - N.W

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 19 72

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	65,4	81,6		5,87	65,4	N - W
FEVRIER	64,5	121	29	8,17	35,5	N.W - S.E
MARS	88,9	165,8	43	10,45	45,9	W
AVRIL	75,5	134,6	65	11,93	10,5	N.W - N
MAI	77,6	165,5	68,3	13,8	9,3	N.W - W
JUIN	24,5	210,4	88,7	16,29	- 64,2	W - N.W
JUILLET	1,1	284,9	129,6	20,94	- 128,5	W - N
AOUT	169,5	208,1	72,9	19,06	- 96,6	N.W - N
SEPTEMBRE	9,9	193,1	70,6	15,6	- 60,70	N.W - E
OCTOBRE	25	147	53	13,4	- 28	E
NOVEMBRE	34,8	64,3		9,98	34,8	W
DECEMBRE	44,1	98,5		5,66	44,1	S.E

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 1971

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	103,5	87		6,4	103,5	E - W
FEVRIER	62,2	89,4	23,4	5,4	38,8	W
MARS	32,8	159,3	41	5,5	- 8,2	N - W
AVRIL	53,3	146,6	70,2	13,2	- 16,9	S - E
MAI	85,4	117,8	71,8	16	13,6	N - W
JUIN	137,1	157	64,8	16,9	72,3	N - W
JUILLET	86,9	289	118,1	22,6	- 31,2	W
AOUT	28,5	245,1	83,2	20,6	- 54,7	N - W
SEPTEMBRE	26	228,2	80,6	17,93	- 54,6	N.W - N.E
OCTOBRE	18,1	168,4	50,4	14,84	- 32,3	E - S.E
NOVEMBRE	88,8	81		6,6	88,8	N - W
DECEMBRE	41,4	64,5		5,7	41,4	N.W - S.E

RELEVES METEOROLOGIQUES

Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

Année : 19 70

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	63,5	37,9		6,1	63,5	
FEVRIER	101,7	63	34,2	7,7	67,5	
MARS	37,9	122,4	47,1	6,7	- 9,2	N - W
AVRIL	48,5	166,9	62,4	10,1	- 13,9	N - W
MAI	49,6	239,6	88,1	15,2	- 38,5	N.W - W
JUIN	81	225,3	89,2	20,2	- 8,2	E - N.W
JUILLET	22,3	304,2	116,8	21,4	- 94,5	N - W
AOUT	58,6	202,7	88,8	20,6	- 30,2	N - W
SEPTEMBRE	10,6	232,2	79,4	19	- 68,8	W - N.W
OCTOBRE	36,7	157,9	43,6	12,4	- 6,9	N - W
NOVEMBRE	74,7	111,2		11,2	74,7	S - E
DECEMBRE	17,6	66,5		4	17,6	N.W - N.E

RELEVES METEOROLOGIQUES

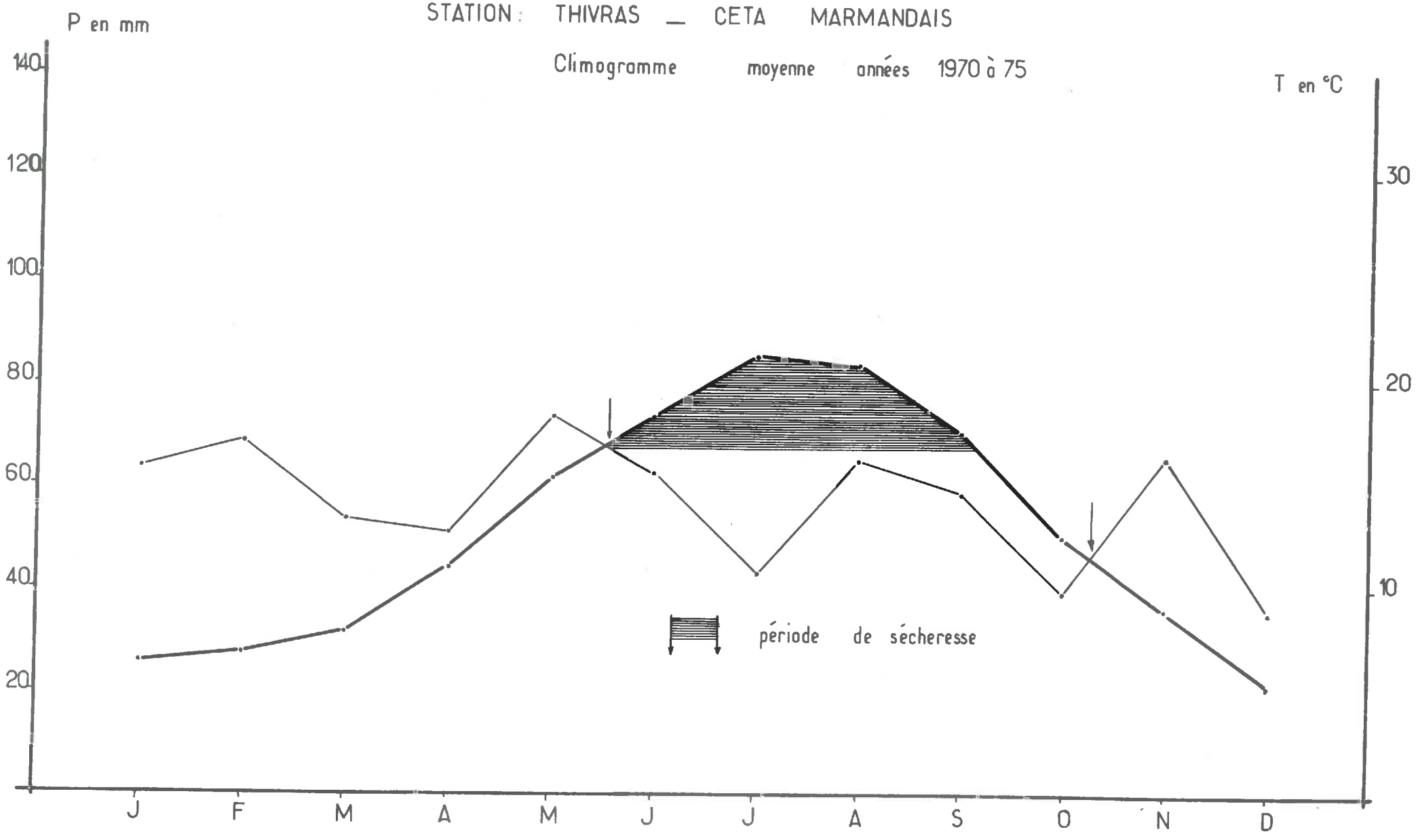
Station du C.E.T.A. MARMANDAIS

au "Perret" Thivras - altitude 32 m

Commune de MARMANDE

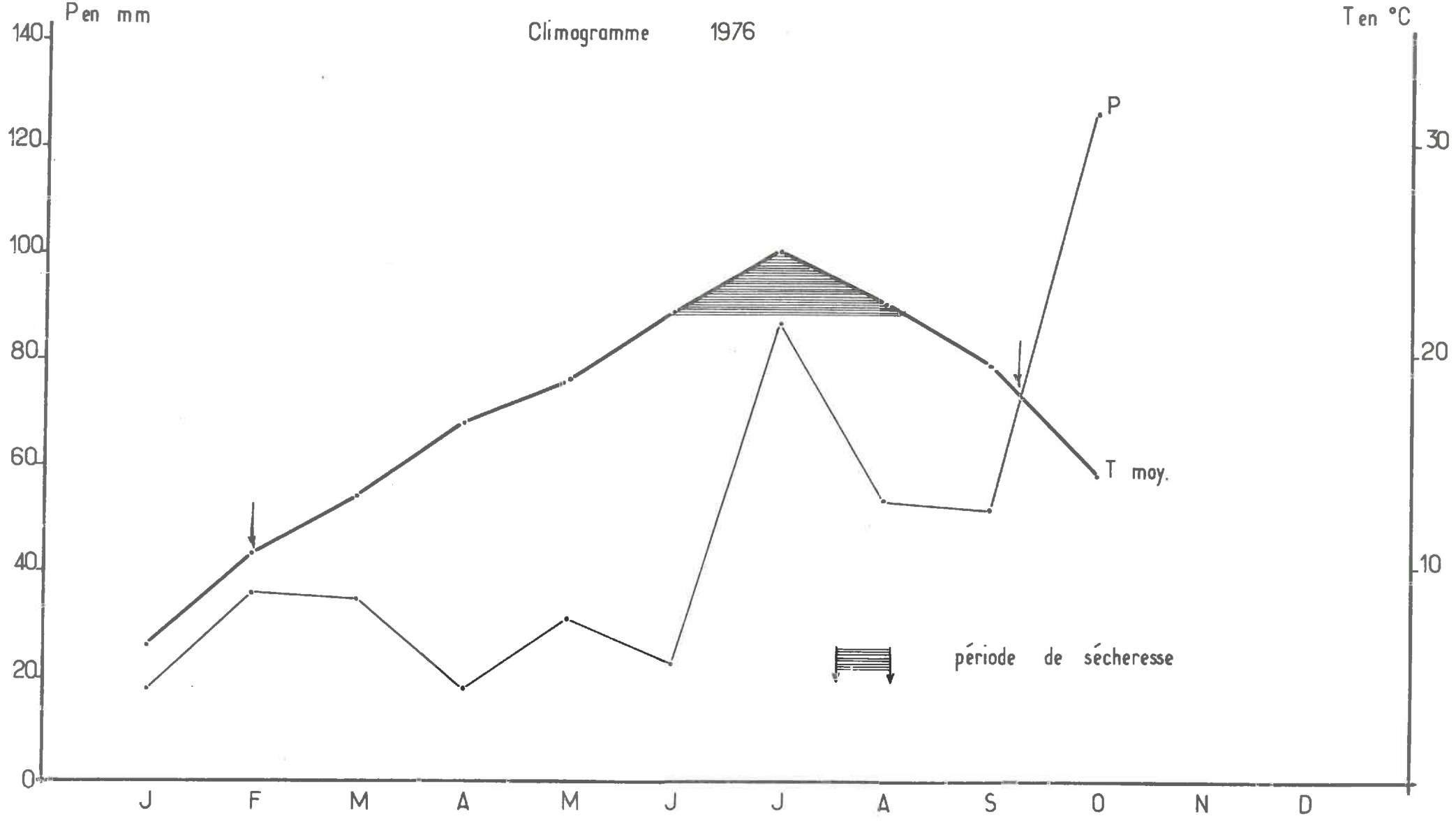
Année : 1970 - 1975

MOIS	Précipitation en mm	Insolation en h	Evaporation ETP Piche en mm	Température moyenne en °C	P - ETP	Vents dominants
JANVIER	63,68			6,32	63,68	
FEVRIER	68,55		36,63	6,94	31,92	
MARS	53,48		52,41	7,92	1,07	
AVRIL	50,9		73,85	11,27	- 22,95	
MAI	73,51		84,2	15,3	- 10,69	
JUIN	62,15		91	18,31	- 28,85	
JUILLET	43,23		113,83	21,20	- 70,6	
AOUT	65,36		87,46	20,94	- 22,1	
SEPTEMBRE	58,71		68,48	17,72	- 9,77	
OCTOBRE	39,16		44,15	12,55	- 4,99	
NOVEMBRE	65,68			9,03	65,68	
DECEMBRE	35,25			5,32	35,25	


STATION : THIVRAS — CETA MARMANDAIS
Climogramme moyenne années 1970 à 75
P en mm
T en °C
140
120
100
80
60
40
20
30
20
10
période de sécheresse
J
F
M
A
M
J
J
A
S
O
N
D

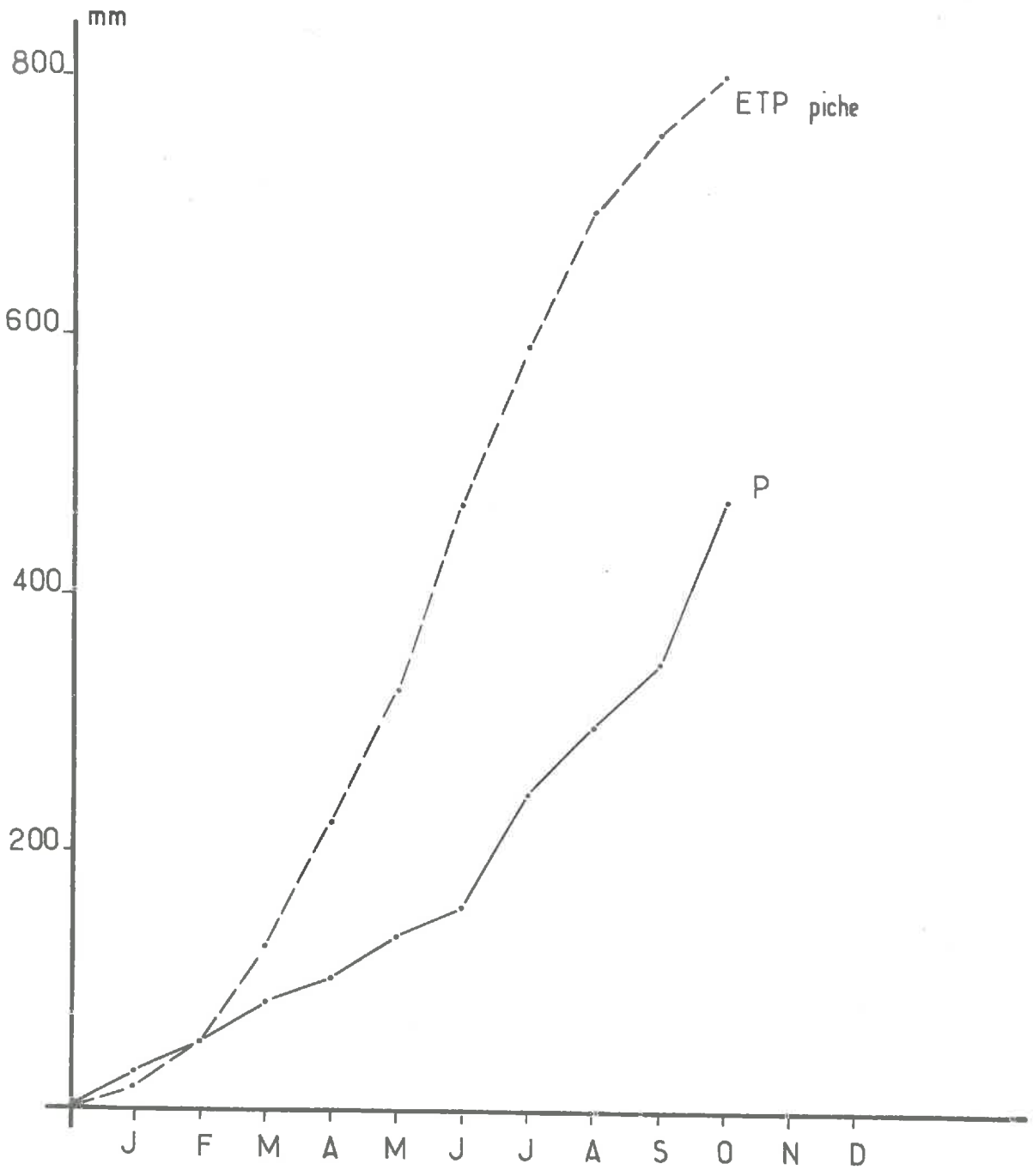
STATION : THIVRAS — CETA MARMANDAIS

Climogramme 1976

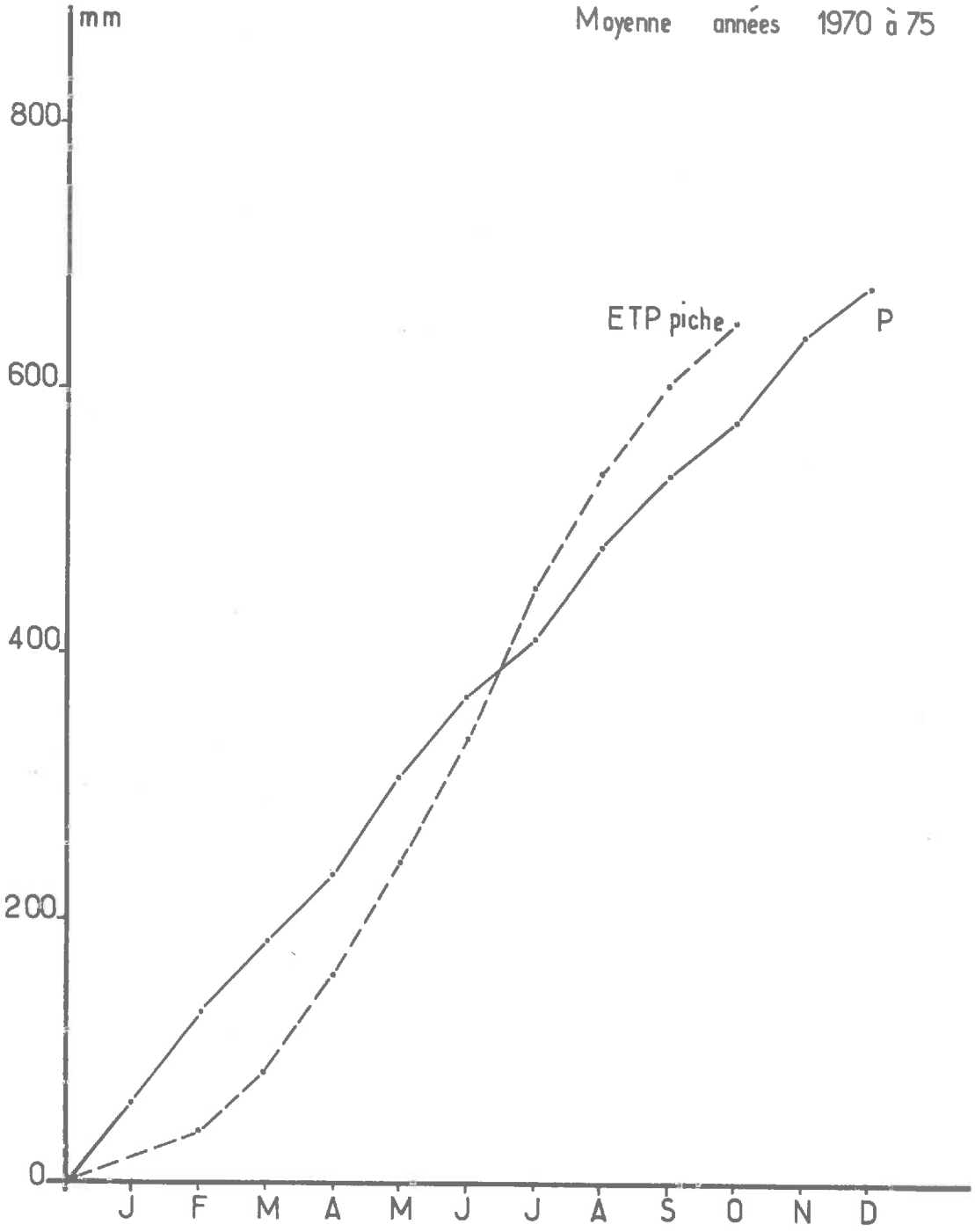


STATION : THIVRAS _ CETA MARMANDAIS

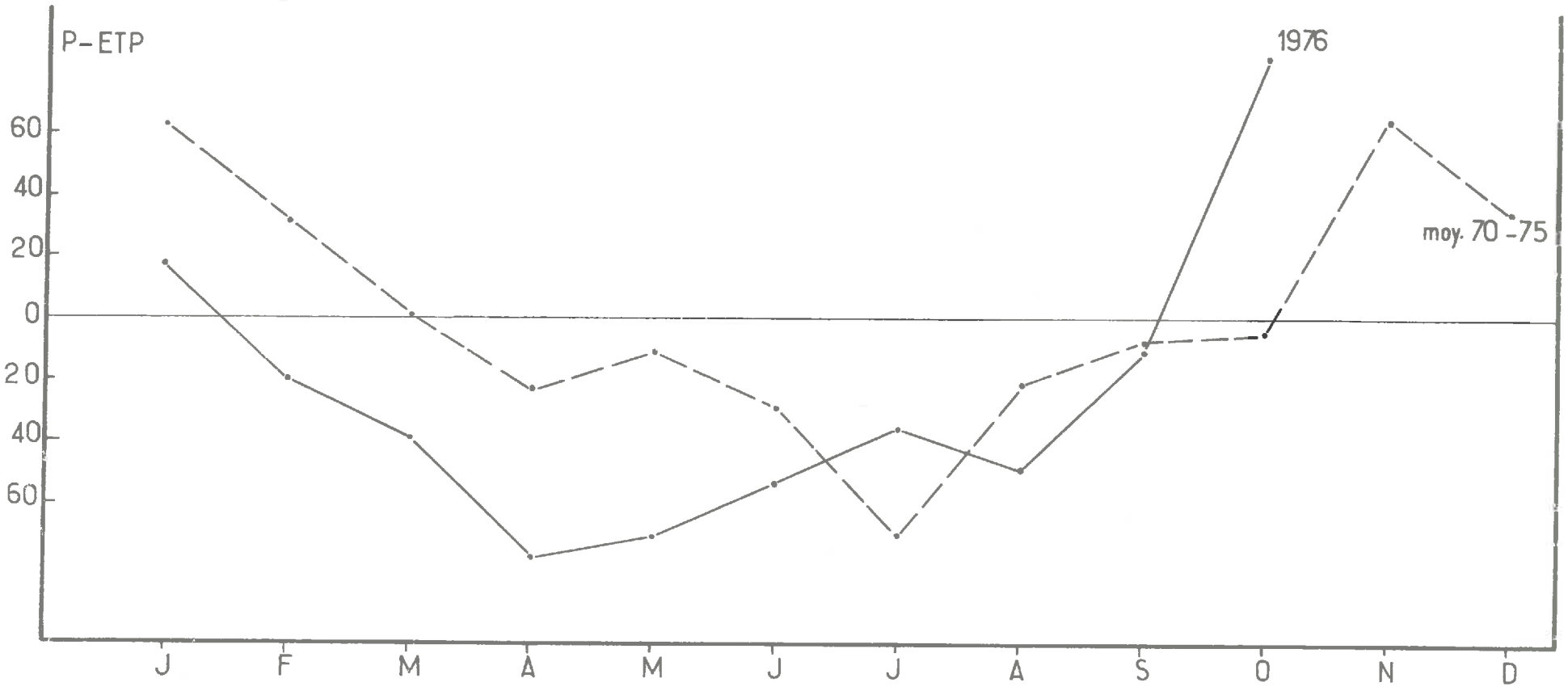
Année 1976



STATION : THIVRAS - CETA MARMANDAIS

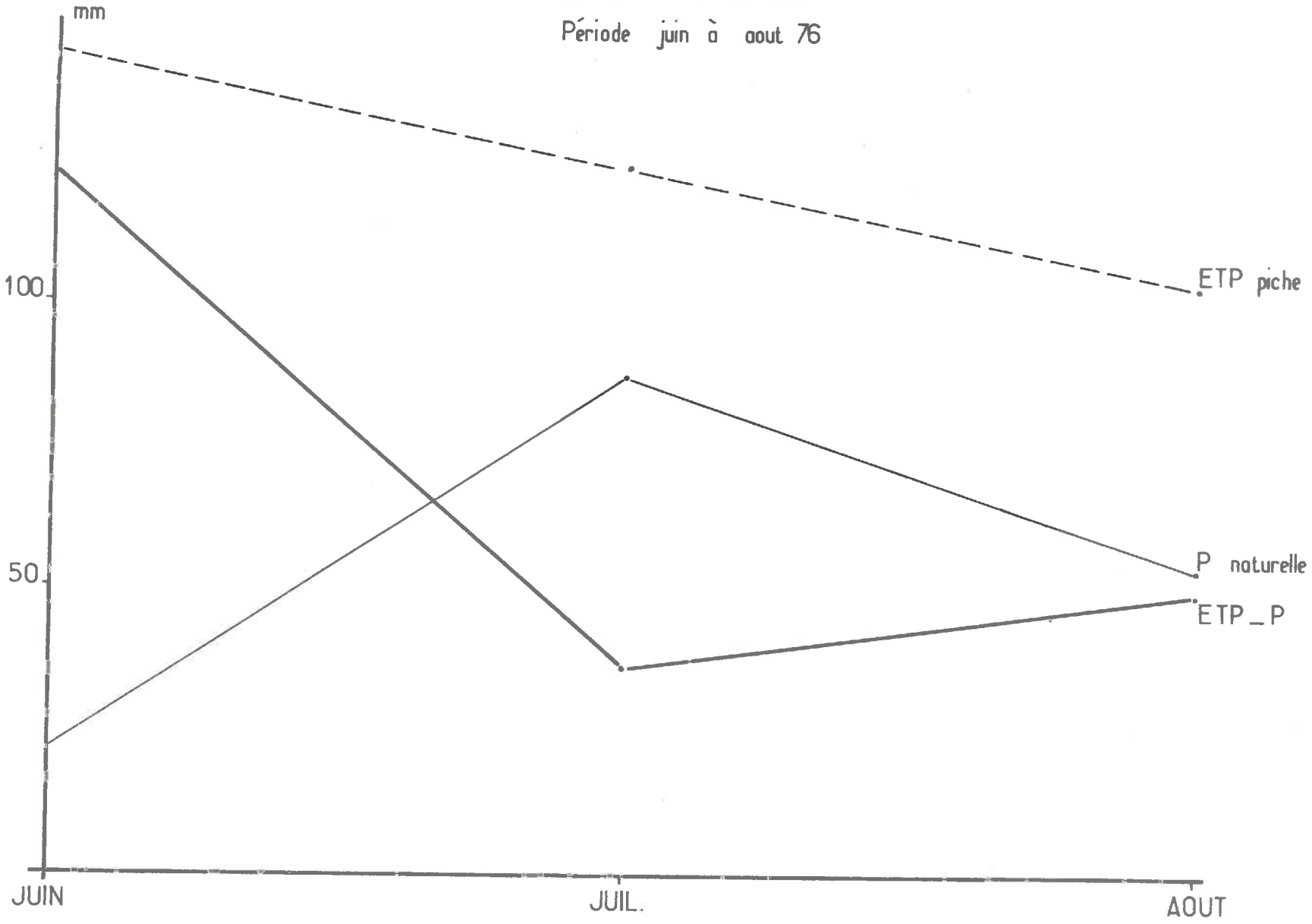


STATION : THIVRAS _ CETA MARMANDAIS



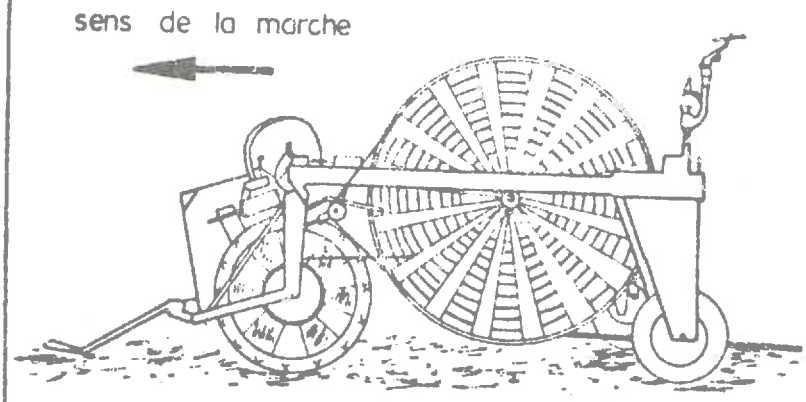
RELEVES METEOROLOGIQUES

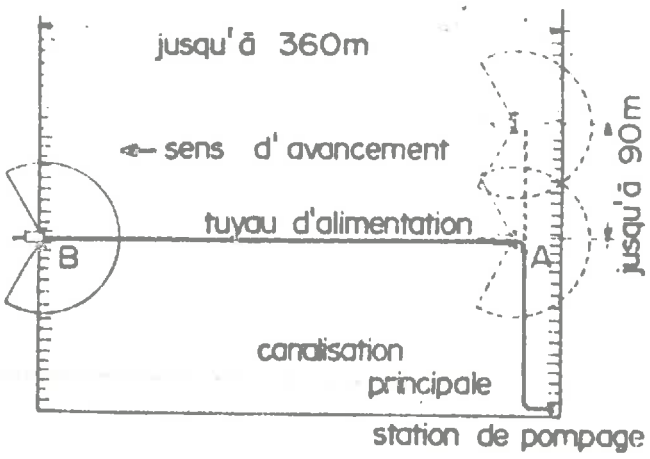
Période juin à aout 76



- A N N E X E - 3 -

MATERIEL : CANON AUTOMOTEUR DEROULANT LE TUYAU D'ALIMENTATION.





Le REDOUTABLE de Sotradiès

Fabricant		DI PALMA - SOTRADIES			
Modèle		Redoutable ø 80			
Caractéristiques	Canon	Rain Bird 105 C	Performances	Débit	27 à 43 m3/h
	Entraînement	Vérin hydraulique		Largeur bande arrosée	69 à 81 m
	Longueur du tuyau	330 m		Vitesse avancement	10 à 30 m/h
	Diamètre du tuyau	80 mm/69 mm			
	Voie appareil	1,50 à 2,10 m enjambeur			
	Poids vide	2.080 kg			
	Poids plein	3.280 kg			

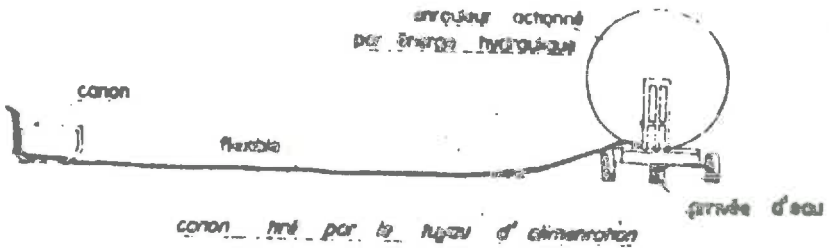
UTILISATION

type de buse	débit total m3/h	débit au canon m3/h	pression au canon bars	pression au flexible bars	portée m	Espacements		
						66 m	72 m	78 m
pastille 22,2 mm	38	33	5,5	8,2	43			
pastille 25,4 mm	47	42	5,5	10	46,50			

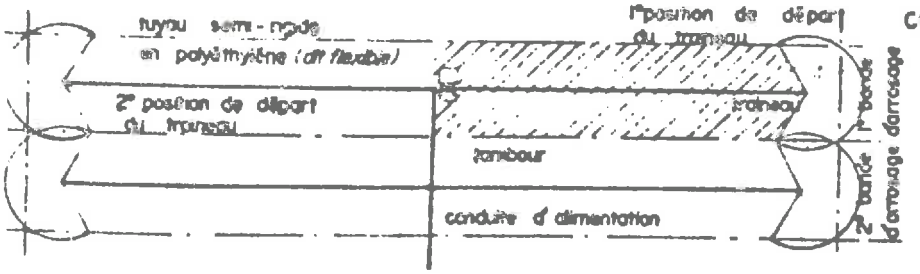
Prix matériel hors taxes 38.300 F

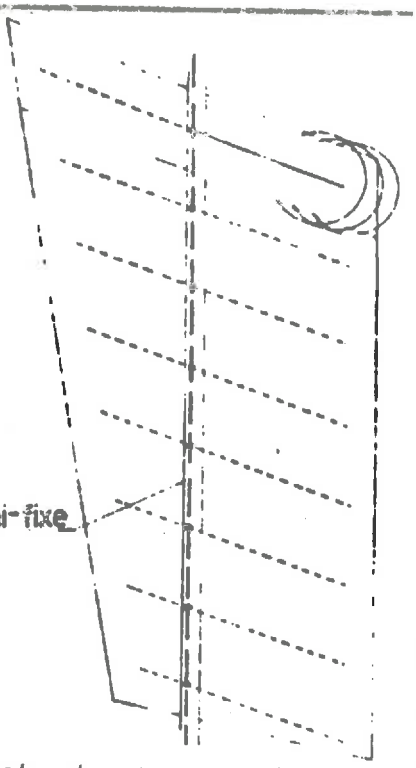
OBSERVATIONS L'appareil est enjambeur mais il y a tout de même des pertes de cultures dues à la circulation du tracteur pour la mise en place et l'enroulement

MATERIEL : CANON AUTOMOTEUR TIRE PAR LE TUYAU D' ALIMENTATION.



canon tiré par le tuyau d' alimentation




conduite semi-fixe

exemple de chantier d'arrosage

Fabricant		IRRIFRANCE			
Modèle		Microenrouleur Ø 50			
Caractéristiques	Canon	Rain Bird 85	Performances	Débit	8,9 à 11,5 m3/h
	Entraînement	vérin hydraulique		Largeur bande arrosée	36 à 48 m
	Longueur du tuyau	225 m		Vitesse avancement	4 à 40 m/h
	Diamètre du tuyau	50 mm			
	Retournement	sur roues			
	Largeur traîneau	1,4 à 2 m			
	Poids vide	540 kg			
	Poids plein	830 kg			

UTILISATION

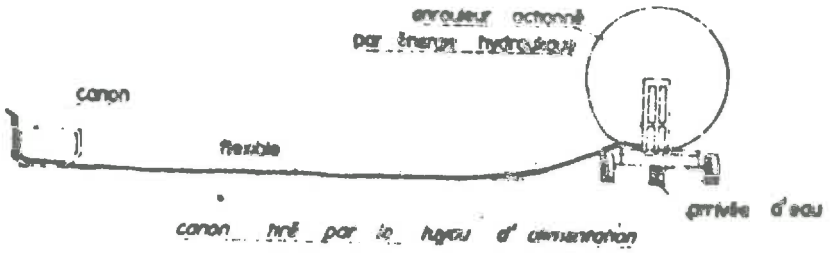
Type de buse	débit arroseur m3/h	pression à l'arroseur bars	pression à l'appareil bars	Portée m	Espacements	
					36 m	42 m
cônique 13/32	8,9	5	7,2	26		

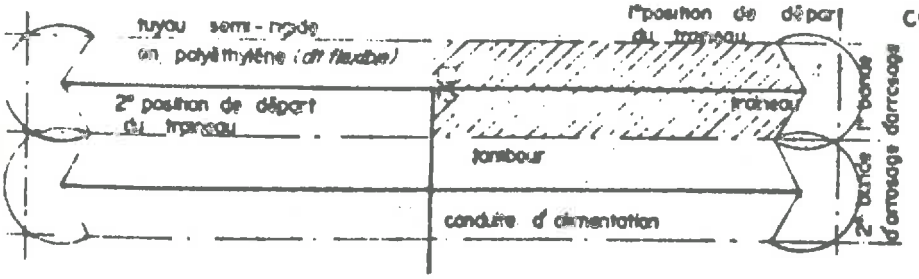
Prix matériel hors taxes : 16.180 F

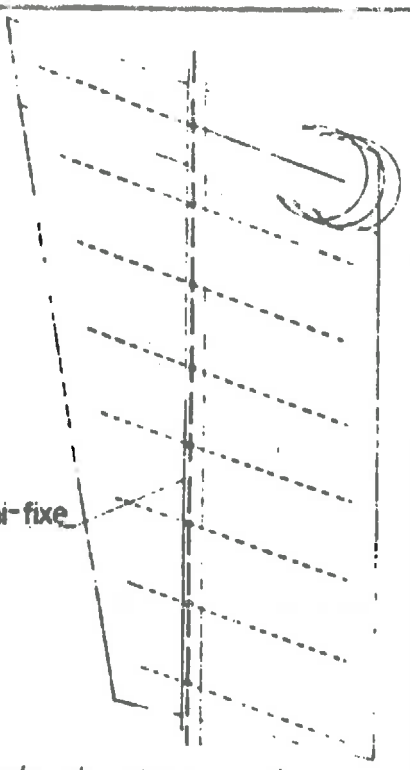
OBSERVATIONS

- Le traîneau est enjambeur mais il y a tout de même des pertes de cultures dues à la circulation du tracteur pour la mise en place.
- Malgré l'existence d'un palpeur on n'a pas de véritable sécurité d'enroulement ; lors de mauvais enroulements on a observé l'immobilisation du traîneau mais pas arrêt de l'arrosage ; également il a été observé l'écrasement du flexible

MATERIEL : CANON AUTOMOTEUR TIRE PAR LE TUYAU D' ALIMENTATION.







exemple de chantier d'arrosage

Fabricant		PERROT FRANCE			
Modèle		Minimat 63 mobile			
Caractéristiques	Canon	Komet 163	Performances	débit	6 à 25,8 m3/h
	Entraînement	vérin hydraulique		largeur bande arrosée	36 à 42 m
	Longueur du tuyau	270 m		vitesse d'avancement	4 à 40 m/h
	Diamètre du tuyau	63 mm			
	Retournement	sur roues			
	Largeur traîneau	1,3 à 2 m			
	Poids vide	850 kg			
	Poids plein	1.510 kg			

UTILISATION

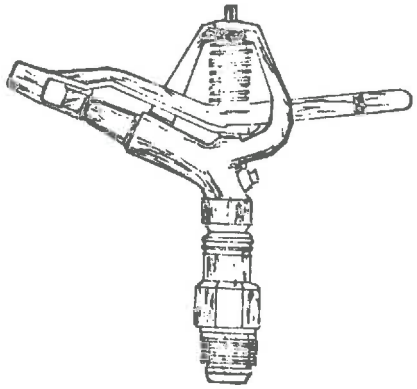
type de buse	débit à l'arroseur m3/h	pression à l'arroseur bars	pression à l'appareil bars	portée m	espacements	
					36	42
cônique 10/32	10	4,5	6,9	25		

Prix matériel hors taxes : 22.931 F

OBSERVATIONS

- Le traîneau est enjambeur mais il y a tout de même des pertes de cultures dues à la circulation du tracteur lors de la mise en place. Cet inconvénient peut être supprimé si l'on peut utiliser un treuil mais cela augmente considérablement le potentiel et le temps de main d'oeuvre
- Malgré l'existence du guide et palpeur d'enroulement on a observé la rupture du flexible car lors de la mise en place la bobine a tourné plus vite que l'avancement et l'enroulement fut non jointif donc le flexible a été coincé entre le tambour et le chassis
- Au niveau de l'appareil il semblerait que le format du piston soit trop juste ; l'appareil fonctionnant mal à petite vitesse : à partir et en-dessous de 10 m/h

MATERIEL : Arroseur a cercle complet



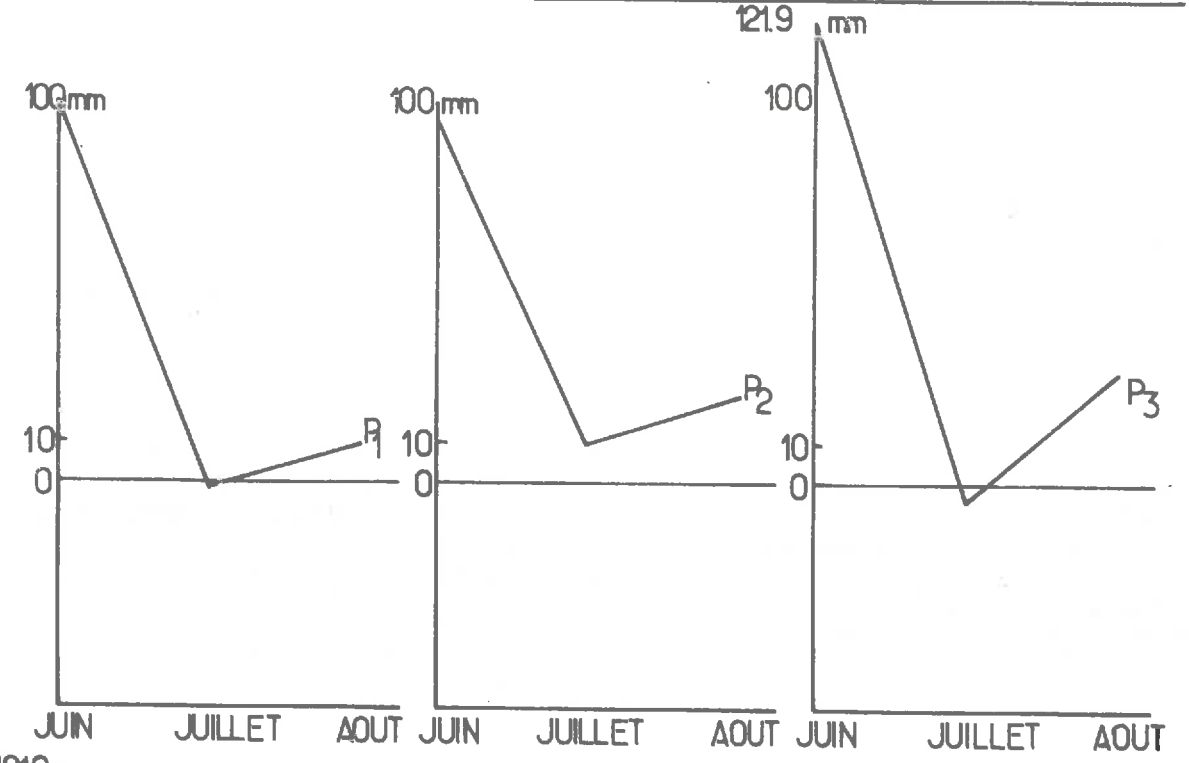
40 B T N T

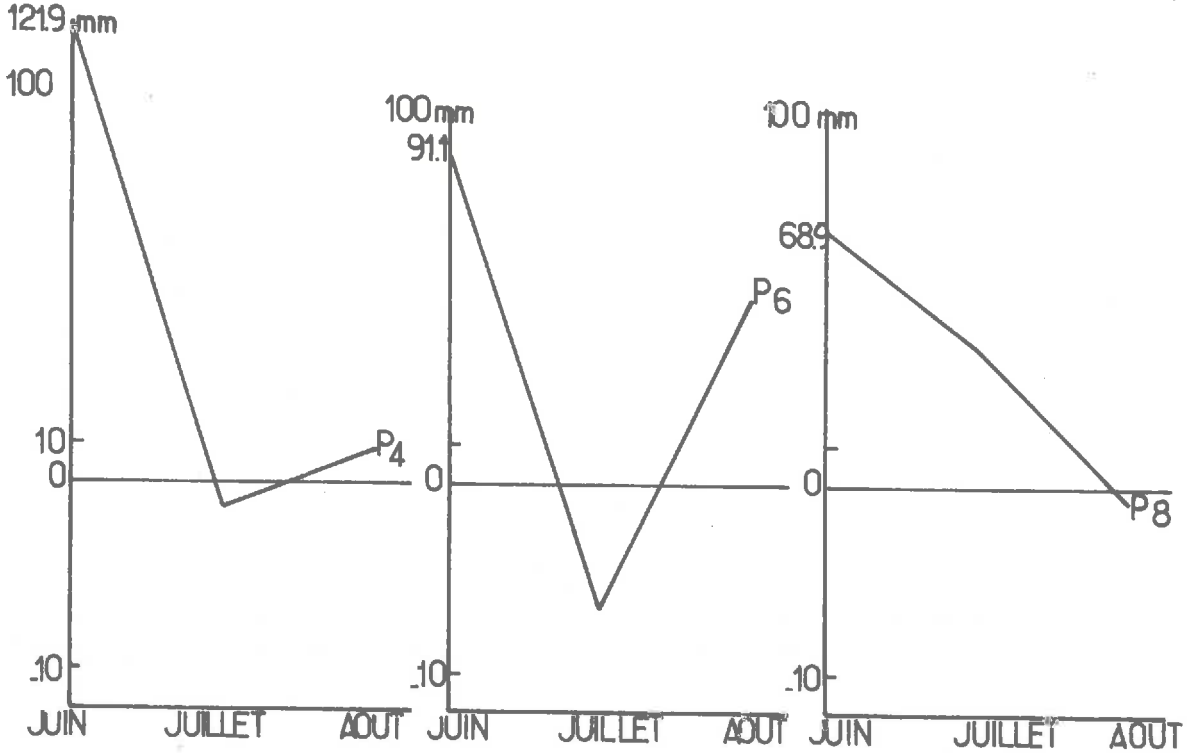
Description et principe de fonctionnement					
L'arrosage s'effectue ici à partir d'une ligne mobile avec 6 arroseurs					
Fabricant	IRRIFRANCE				
Caractéristiques et performances	Canon Débit Portée	Rain Bird 40 B.T.N.T. 1,6 m3/h 15,5 m			
Diamètre de la buse	Pression en kg/cm2	Portée en m	Débit en m3/h	Pluviométrie mm/h	
				18 x 18	18 x 24
3,96 x 2,38 mm	4	15,5	1,6	5,12	3,84
Prix matériel hors taxes	3.640,80 F				
OBSERVATIONS	- La pénibilité du déplacement de la ligne et des arroseurs (surtout à partir d'une certaine croissance de la plante) explique le fait que l'agriculteur fasse des postes de 12 à 20 H				

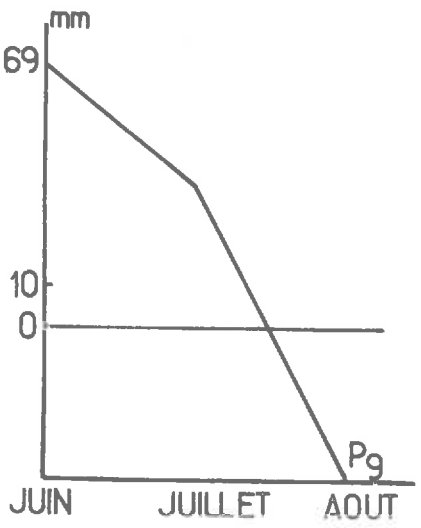
- A N N E X E - 4 -

COURBES DES DEFICITS DE CHAQUE PARCELLE

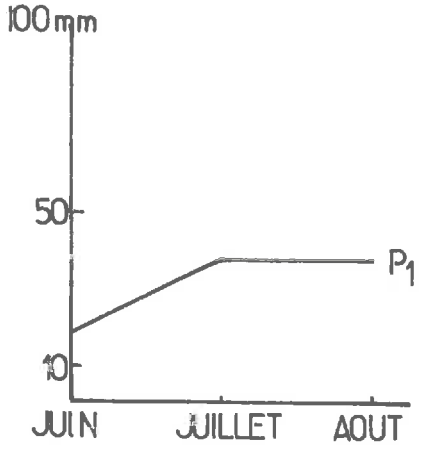
$[ETP - P(P+I)]$

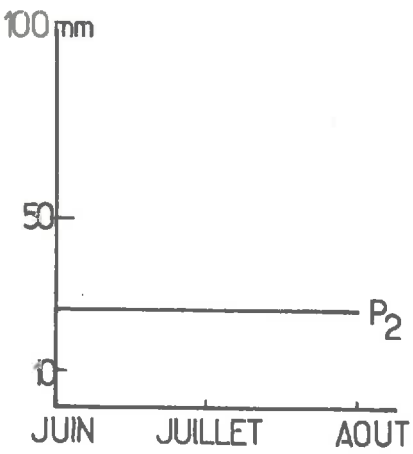


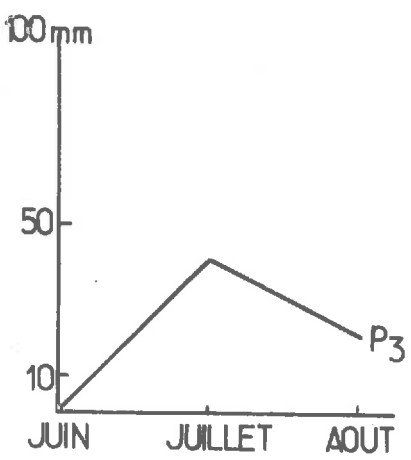


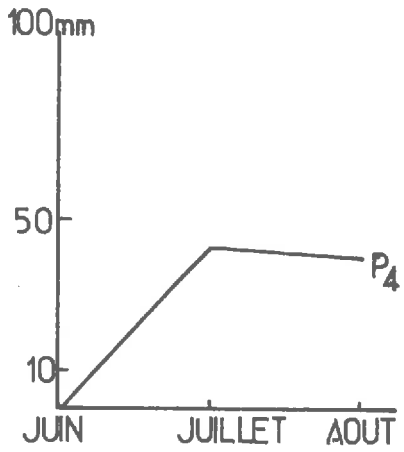


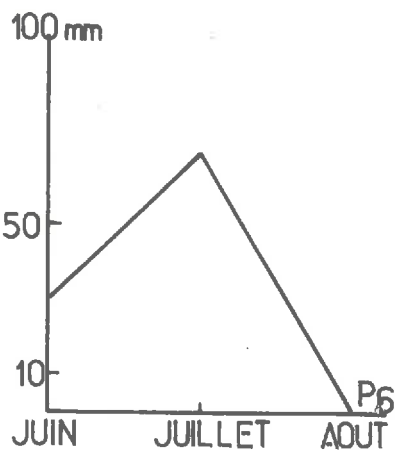
COURBES DES IRRIGATIONS DE CHAQUE PARCELLE

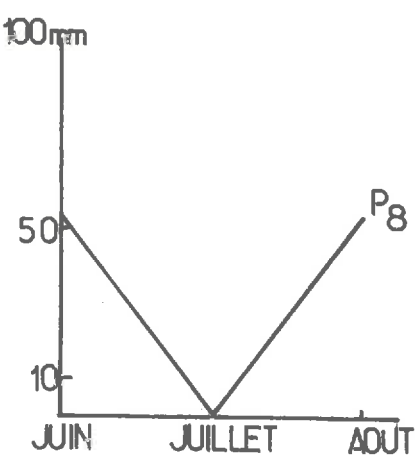


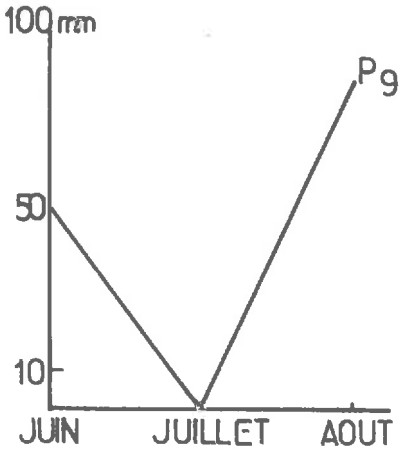












Fiche d'arrosage 1.1

Exploitant LABEAU Parcelle N° 1

Type d'appareil REDOUTABLE 80 canon Rain Gun 105 C
buse pastille : 25,1 mm

Alimentation : borne de débit = 55 m3/h débit canon = 42 m3/h

Pression : surpresseur P = 9,5 bars au canon P = 5 à 6,5 bars

Distance entre 2 passages : 88 m pour arrosage 1

" " " " 44 m pour arrosages 2 et 3

Portée : 46 m

Vitesse d'avancement : 25 m/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation Départ heures	Temporisation Arrivée heures	Durée de déplacement heure de début	Durée de déplacement heure de fin	Durée de déplacement durée	Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
1	24.6.76	1	0H15	0H30	22H15	16H45	18H30	pastille 25,1 mm	5,5	
1	26.6.76	2	-	-	22H15	16H45	18H30	-	5	1
2	15.7.76	1'	-	-	21H	16H15	19H	-	5	2
2	16.7.76	2'	-	-	22H	16H15	18H	-	5	
2	27.7.76	3'	-	-	20H	17H15	21H	-	5,8	3
3	3.8.76	1'	-	-	22H	17H15	19H	-	6,4	4
3	4.8.76	2'	-	-	22H30	16H45	18H	-	6,5	
3	4.8.76	3'	-	-	21H	16H15	19H	-	6,2	

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

1 - La distance entre le passage 1 et 2 est de 88 m. Il n'y a pas eu recouvrement, il est donc prévu de faire 4 passages pour le deuxième arrosage

2 - Au niveau du passage de la dépression de la rigole de drainage l'appareil a patiné, il a fallu poser des planches pour le passage.

3 - Une panouille s'est prise dans l'inverseur et a immobilisé l'appareil pendant 2 H

4 - Il a été observé une différence de pression entre le début (flexible enroulé) et l'arrivée en bout de parcelle

P début = 6,2 bars
P fin = 6,5 bars

Fiche d'arrosage 1.2

Exploitant BENTEGEAC Parcelle N° 2

Type d'appareil REDOUTABLE 80 canon Rain Gun 105 C
buse pastille : 25,1 mm

Alimentation - borne de débit : 50 m3/h débit canon : 42 m3/h
Pression surpresseur P = 9,2 bars au canon P = 5 à 6,5 bars
Distance entre 2 passages : 62 m
Portée : 46 m
Vitesse d'avancement : 25 m/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation		Durée de déplacement			Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
			Départ heures	Arrivée heures	heure de début	heure de fin	durée			
1	25.6.76	1	0	1H	19H	20H	25H	pastille 25,1 mm	5	
1	28.6.76	2	-	-	8H	22H	14H	-	5,3	
2	2.7.76	1	-	-	14H	16H	26H	-	5	1
2	3.7.76	2	-	-	22H	12H	14H	-	5,2	2
3	3.8.76	1	-	-	14H	25H	27H	-	5	3
3	3.8.76	2	-	-	7H	21H	14H	-	5,5	

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

1 - Pour les 70 derniers mètres ralentissement volontaire de l'appareil à 15 m/h afin d'apporter un supplément de dose à une zone en moins bon état.

2 - Au premier passage, on observe un tassement au niveau du sillon guide et des roues arrières ce qui explique que l'eau a tendance à dépasser l'appareil.

3 - Le cliquet d'avancement de la roue avant avait pris du jeu sur son axe et ne venait plus se positionner sur les dents ; de ce fait l'appareil est resté sur place durant 3 H.

Fiche d'arrosage 1.3

Exploitant LAGARDERE Parcelle N° 3

Type d'appareil PERROT Minimat 63 mobile canon Komet 163 buse cônique 12,21 mm

Alimentation - borne de débit : 20 m3/h débit au canon : 9 m3/h

Pression : surpresseurs : 6,4 bars au canon P = 5,4 bars

Distance entre 2 passages : 44 m

Portée : 25 m

Vitesse d'avancement : 6 à 35 m/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation Départ heures	Temporisation Arrivée heures	Durée de déplacement heure de début	Durée de déplacement heure de fin	Durée de déplacement durée	Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
1	1.7.76	1	0	0	11H30	23H35	10H05	12,21	5,4	
1	1.7.76	2	-	-	23H45	21H55	20H10	-	-	1
1	2.7.76	3	-	-	22H	17H	18H	-	-	
1	3.7.76	4	-	-	21H15	19H15	20H	-	-	
1	4.7.76	5	-	-	23H	19H40	18H10	-	-	
1	6.7.76	6	-	-	21H30	12H30	14H	-	-	2
1	7.7.76	7	-	-	16H	5H30	12H30	-	-	
1	8.7.76	8	-	-	11H	11H30	22H30	-	-	3
1	9.7.76	9	-	-	22H	11H30	12H30	-	-	
1	10.7.76	10	-	-	14H30	20H45	6H15	-	-	
1	11.7.76	11	-	-	6H	10H	4H	-	-	
1	11.7.76	12	-	-	15H	17H30	2H30	-	-	
1	11.7.76	13	-	-	18H30	22H30	25H	-	-	4

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

1 - Des grains de sable ont bouché le distributeur, de ce fait, le piston n'a plus fonctionné et le canon est resté sur place pendant 2 H

2 - Même incident qu'en 1 ; l'appareil a été remis en marche après nettoyage du filtre et du distributeur. L'immobilisation a duré 1 H et la vitesse de relancement a été de 30 m/h

3 - Arrêt de l'arrosage de 12 H à 23 H car vent trop violent

4 - Lors de la mise en place du canon en bout de parcelle, le déroulement de la bobine a été plus rapide que l'avancement du canon ; il y a eu donc un mauvais enroulement ; à la fin de l'arrosage la bobine était bourrée, le tuyau s'est pris dans la chaîne du guide et a été bien endommagée.

Fiche d'arrosage 2.3

Exploitant LAGARDERE Parcelle N° 3

Type d'appareil PERROT Minimat 63 Mobile canon Komet 163
buse cônique : 12,21 mm

Alimentation - borne débit : 20 m3/h débit au canon : 9 m3/h

Pression surpresseur : 6,4 bars au canon P = 5,4 bars

Distance entre 2 passages : 44 m

Portée : 25 m

Vitesse d'avancement : 6 à 35 m/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation Départ heures	Temporisation Arrivée heures	Durée de déplacement heure de début	Durée de déplacement heure de fin	Durée de déplacement durée	Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
2	24.7.76	1	0	0	10H	21H	11H	12,21	5,4	
2	24.7.76	2	-	-	22H30	20H40	20H10	-	-	
2	25.7.76	3	-	-	10H	10H	24H	-	-	1
2	27.7.76	4	-	-	20H	18H	20H	-	-	
2	28.7.76	5	-	-	21H	18H	21H	-	-	
2	29.7.76	6	-	-	20H15	14H	17H45	-	-	2
2	30.7.76	7	-	-	20H	9H30	12H30	-	-	
2	31.7.76	8	-	-	23H30	12H30	12H30	-	-	
2	1.8.76	9	-	-	7H	19H30	12H30	-	-	
2	2.8.76	10	-	-	9H	20H	6H	-	-	
2	3.8.76	11	-	-	7H	11H	4H	-	-	
2	3.8.76	12	-	-	13H	16H	3H	-	-	
2	4.8.76	13	-	-	16H	10H	18H	-	-	
3	5.8.76	4	-	-	12H	10H	22H	-	-	3
3	6.8.76	5	-	-	12H	13H	25H	-	-	4
3	8.8.76	6	-	-	15H30	13H30	22H	-	-	5

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

1 - Réglé sur un avancement de 10 m/h l'appareil ne fonctionnait pas ; il a fallu passer à l'avancement 15 m/h pour que l'appareil démarre. Cet incident a été suivi par le changement du distributeur du piston.

2 - Le début de la bande n° 6 est en pente, le canon n'a réussit à paser qu'une fois réglé sur l'avancement 35 m/h

3 -)

4 - (Même incident qu'en 2

5 -)

Fiche d'arrosage 1.4

Exploitant LAVILLE Parcelle N° 4

Type d'appareil REDOUTABLE 80 canon Rain Gun 105 C
buse pastille : 22,1 mm

Alimentation - borne de débit : 40 m3/h débit canon : 33 m3/h

Pression : surpresseur P = 8 bars au canon P = 4,5 bars

Distance entre 2 passages : 66 m

Portée : 43 m

Vitesse d'avancement : 23 à 27 m3/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation Départ heures	Temporisation Arrivée heures	Durée de déplacement heure de début	Durée de déplacement heure de fin	Durée de déplacement durée	Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
1	2.7.76	1	0	0H30	10H30	17H30	6H30	pastille 22,1 mm	4,5	
1	2.7.76	2	0	0H30	23H	9H	9H30	-	-	1
1	3.7.76	3	0	-	11H	18H	6H30	-	-	
1	4.7.76	4	0	-	22H30	5H30	6H30	-	-	
1	4.7.76	5	0	-	12H	23H	10H30	-	-	2
2	11.7.76	5	0	-	22H	5H	6H30	-	-	
2	12.7.76	4	0	-	23H	6H	6H30	-	-	
2	13.7.76	3	0	-	8H	18H	9H30	-	-	3
2	13.7.76	2	0	-	20H	9H	37H	-	-	4
2	26.7.76	1	0	-	10H	17H	6H30	-	-	

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

1 - Coupure de courant

2 - Coupure de courant

3 - Arrêt du canon car vent trop violent

4 - A l'arrosage 2 sur la bance 2 le sol était lissé et, de ce fait, l'eau a dépassé le canon et s'est accumulée dans le creux de la rigole de drainage. Le phénomène s'est amplifié car un vent du nord assez fort poussait le jet sur l'avant de l'appareil ; celui-ci a donc patiné et s'est enfoncé. Quand l'agriculteur a essayé de le tirer, l'appareil s'est enfoncé d'un côté puis s'est couché.

Fiche d'arrosage 2.4

Exploitant LAVILLE Parcelle N° 4

Type d'appareil REDOUTABLE 80 canon Rain Gun 105 C
buse pastille : 22,1 mm

Alimentation : borne débit : 40 m3/h débit canon : 33 m3/h

Pression - surpresseur P = 8 bars au canon P = 4,5 bars

Distance entre 2 passages : 66 m

Portée : 43 m

Vitesse d'avancement : 23 à 27 m/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation		Durée de déplacement			Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
			Départ heures	Arrivée heures	heure de début	heure de fin	durée			
1	27.7.76	6	0	0H30	11H	7H	20H30	pastille 22,1 mm	4,5	5
1	28.7.76	7	-	-	9H30	21H	12H	-	-	
1	29.7.76	8	-	-	10H	21H30	12H	-	-	
1	30.7.76	9	-	-	9H	20H30	12H	-	-	
3	31.7.76	5	-	-	10H	17H	6H30	-	-	
3	1.8.76	4	-	-	9H	16H	-	-	-	
3	2.8.76	3	-	-	10H30	17H30	-	-	-	
3	3.8.76	2	-	-	10H	17H	-	-	-	
3	4.8.76	1	-	-	10H	17H	-	-	-	
2	5.8.76	6	-	-	8H30	20H	12H	-	-	
2	6.8.76	7	-	-	8H30	20H	-	-	-	
2	7.8.76	8	-	-	9H	20H30	-	-	-	
2	8.8.76	9	-	-	9H	20H30	-	-	-	

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

5 - Arrêt de l'arrosage de 22 H 30 à 6 H 30 car vent du nord trop violent

Fiche d'arrosage 1.6

Exploitant ST MARC — Parcelle N° 6

Type d'appareil IRRIFRANCE Minienrouleur 50 — canon Rain Bird 85 c buse cônique 10,3 mm

Alimentation - borne de débit 20 m3/h - débit au canon : 9 m3/h

Pression au canon : 3,8 - 4,2 bars

Distance entre 2 passages : 24 m

Portée : 26 m

Vitesse d'avancement : 6 m/h

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation Départ heures	Temporisation Arrivée heures	Durée de déplacement heure de début	Durée de déplacement heure de fin	Durée de déplacement durée	Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
1	15.6.76	1	0H10	0H10	22H	1H50	26H50	cônique 10,3 mm	3,2-4,2	1
1	18.6.76	1	-	-	6H	9H50	-	-	-	
2	20.7.76	1	-	-	6H	12H50	29H50	-	-	2
2	21.7.76	1	-	-	14H	17H50	26H50	-	-	
2	25.7.76	2	-	-	6H	9H50	-	-	-	
2	29.7.76	2	-	-	12H	15H50	-	-	-	

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

1 - Le premier arrosage s'est fait avec un seul passage au centre de la parcelle. Chaque passage est fait en 2 fois étant donné la longueur du champ.

2 - Lors de l'installation du canon en bout de parcelle le déroulement de la bobine a été plus rapide que l'avancement du canon et, de ce fait, il y a eu un mauvais enroulement. Pour le 2ème arrosage il y a eu 2 passages, un à chaque bordure du champ, le canon a alors son secteur d'arrosage diminué de moitié pour qu'il n'arrose que la parcelle.

Fiche d'arrosage 1.8

Exploitant DUTHURON Parcelle N° 8

Type d'appareil Ligne mobile avec 8 arroseurs Rain Bird 40 B.T.N.T. buse métallique : 3,96 x 2,38

Alimentation - borne de débit : 10 m3/h débit canon : 1,6 m3/h

Pression : pression du réseau qui varie de 3 à 4 bars

Distance entre 2 passages : 20 m
" " " arroseurs: 18 m

Portée : 16 m

N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation Départ heures	Temporisation Arrivée heures	Durée de déplacement heure de début	Durée de déplacement heure de fin	Durée de déplacement durée	Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
1	13.6.76	1	0	0			12H	conique 3,96x2,38	3 à 4	
1	14.6.76	2	0	0			12H	-	-	
1	18.6.76	3	0	0			12H	-	-	
2	11.8.76	1	0	0	10H	22H	12H	-	-	
2	13.8.76	2	0	0	10H30	22H30	12H	-	-	
2	14.8.76	3	0	0	8H	20H	12H	-	-	

(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

Fiche d'arrosage 1.9

Exploitant DUTHURON Parcelle N° 9

Type d'appareil Ligne mobile avec 8 arroseurs Rain Bird 40 B.T.N.T. buse métallique : 3,96 x 2,38

Alimentation - borne de débit : 10 m3/h débit canon : 1,6 m3/h

Pression : pression du réseau qui varie de 3 à 4 bars

Distance entre 2 passages : 20 m

" " 2 arroseurs : 18 m

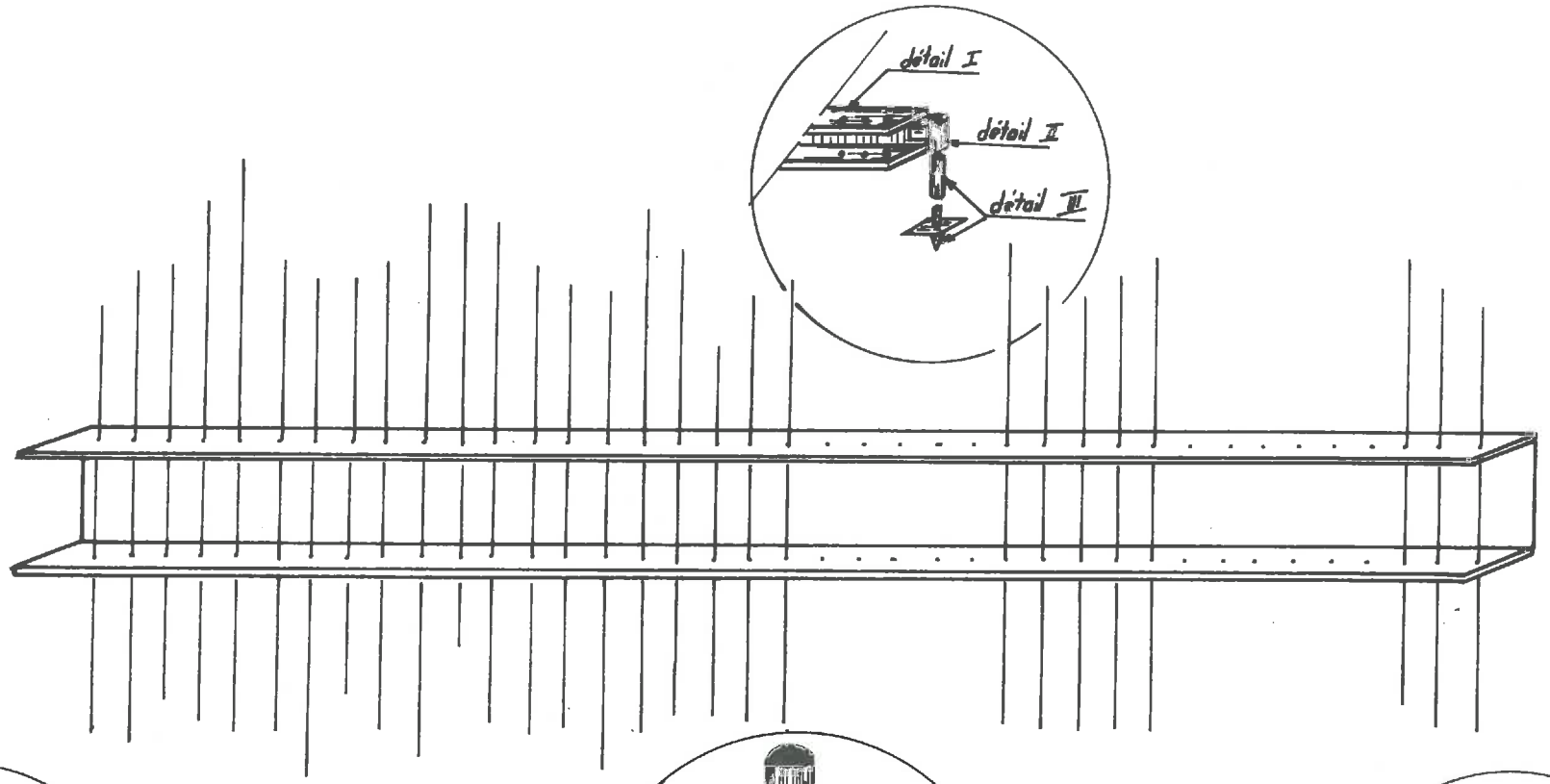
Portée : 16 m

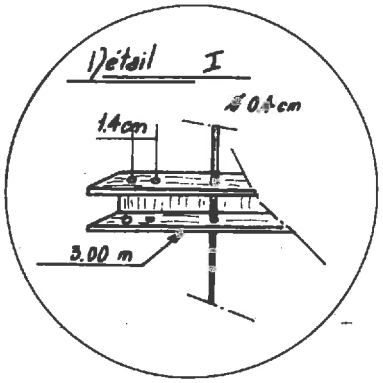
N° de l'arrosage	Date	N° de la bande	Temporisation		Durée de déplacement			Buse utilisée (type et diamètre (en mm)	Pression au canon (bars et demi bars)	Observations (*)
			Départ heures	Arrivée heures	heure de début	heure de fin	durée			
1	19.6.76	1	0	0	-	-	12H	conique 3,96x2,38	3 à 4	
1	20.6.76	2	0	0	-	-	12H	-	-	
2	5.8.76	1	0	0	12H	8H	20H	-	-	
2	7.8.76	2	0	0	12H	8H	20H	-	-	

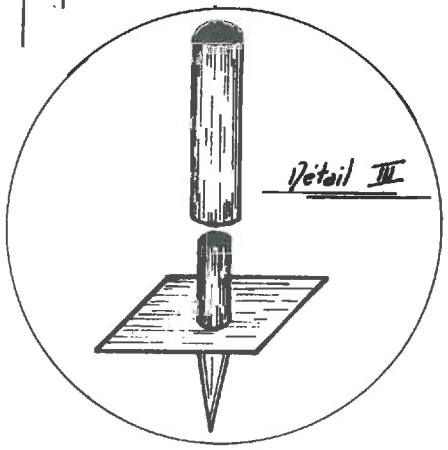
(*) incidents (avec renvoi de la colonne d'observations)-

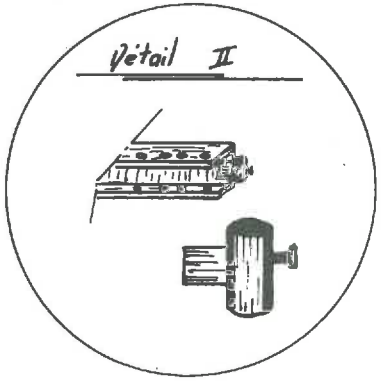
- A N N E X E - 5 -

ASPERIMETRE



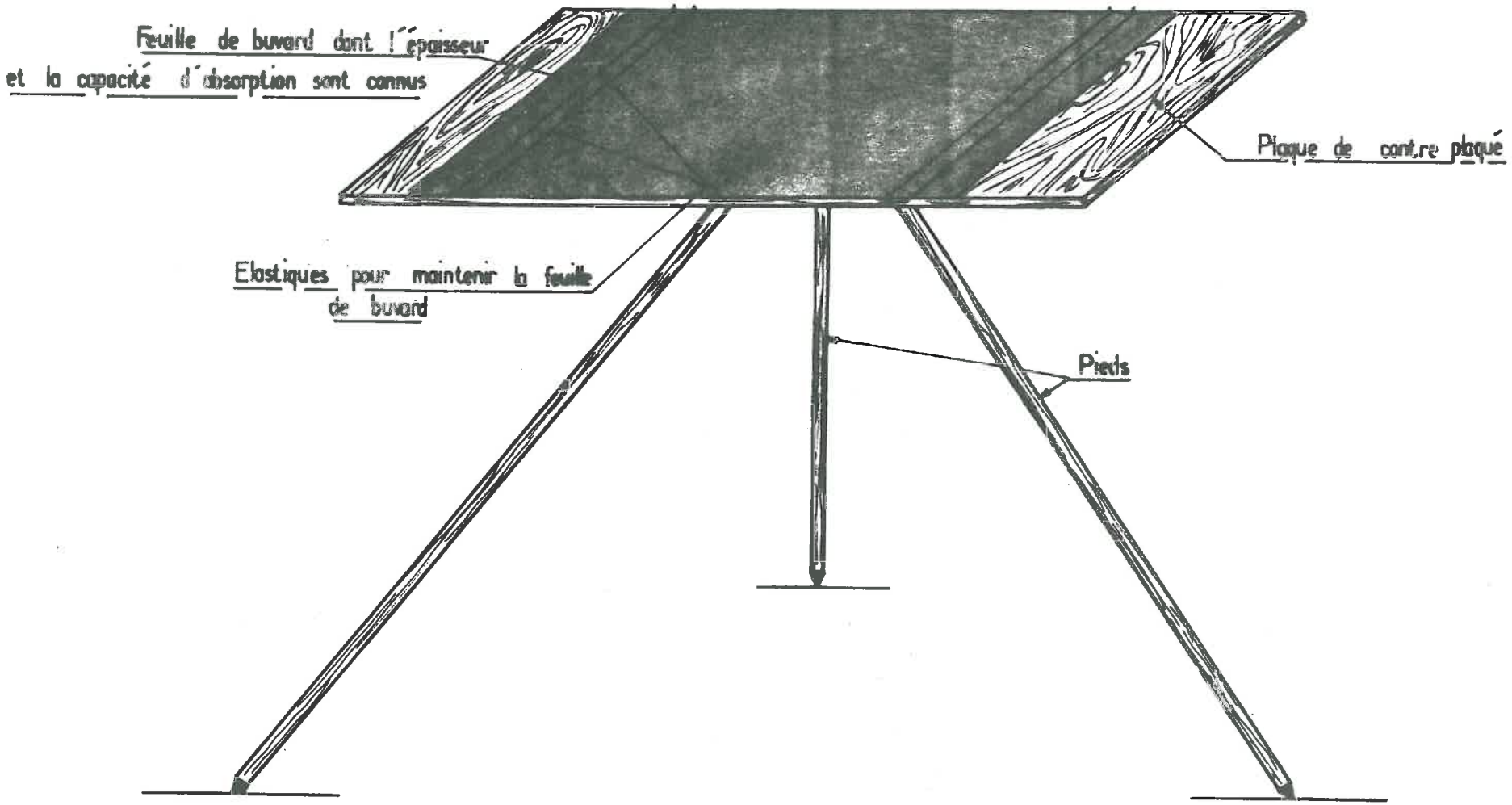






- A N N E X E - 6 -

APPAREIL POUR LA DETERMINATION DE LA TAILLE DES GOUTTES



- A N N E X E -7 -

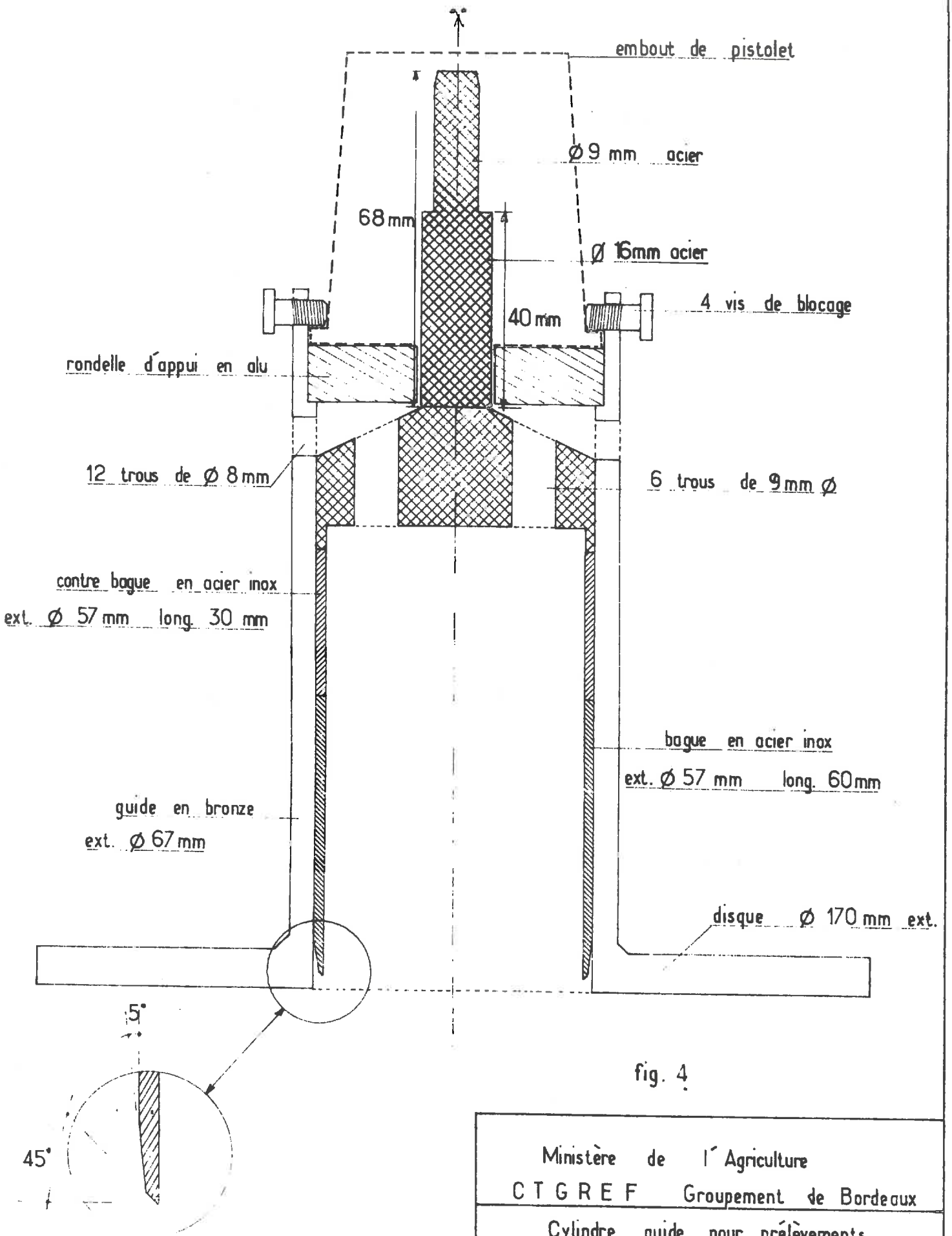
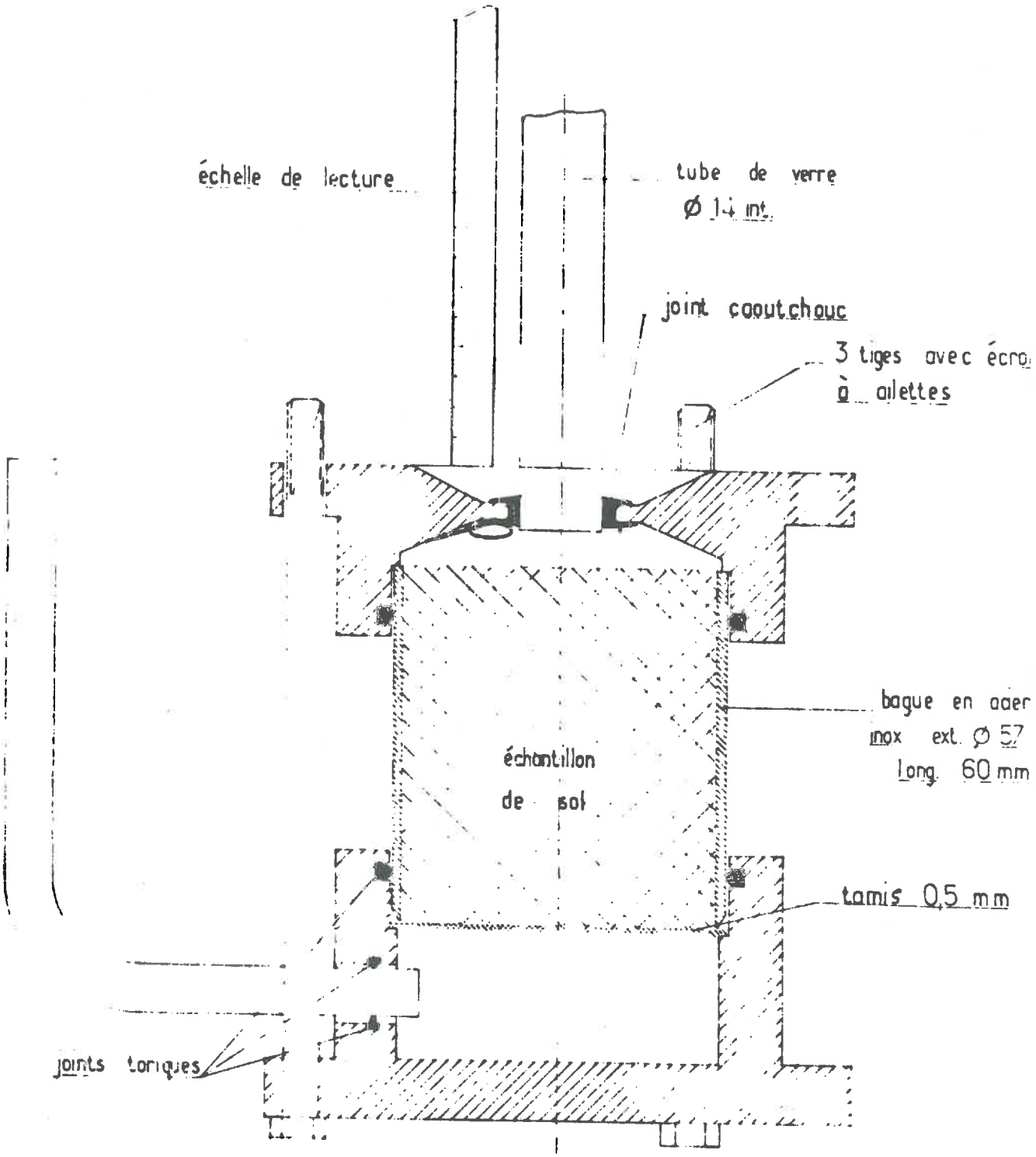


fig. 4

Ministère de l'Agriculture
C T G R E F Groupement de Bordeaux
Cylindre guide pour prélèvements
échelle 1 / 1



Ministère de l'Agriculture CTGREF Groupement de Bordeaux	
Perméamètre à cylindre Ø 57 mm	
échelle 1/1	

- A N N E X E - 8 -

DENSITE APPARENTE SUR MOTTES

METHODE A LA PARAFFINE ET A L'EAU

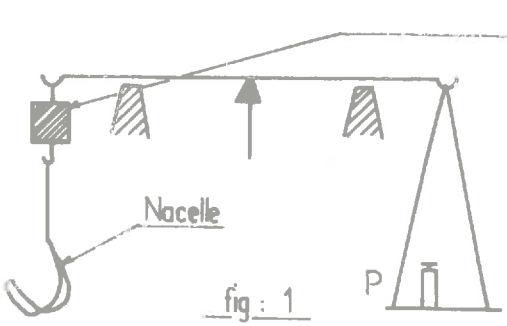


fig : 1

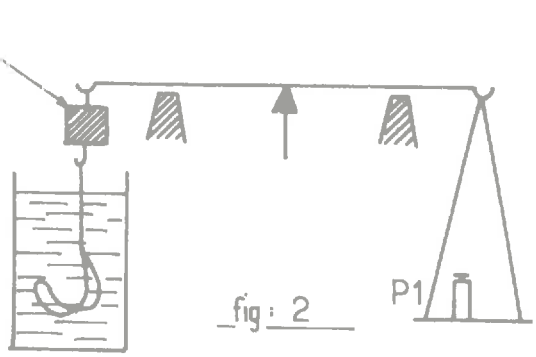


fig : 2

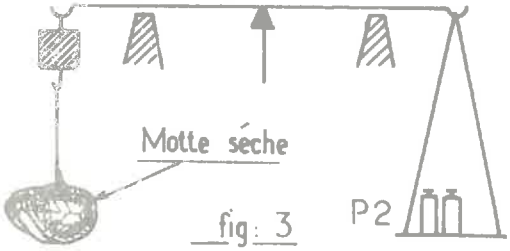


fig : 3

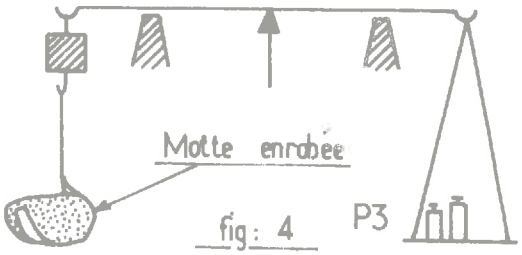


fig : 4

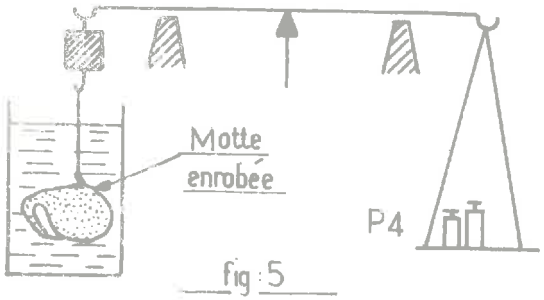


fig : 5

- A N N E X E - 9 -

I N. R. A. LABEAU P 1

A ARRAS, LE 10/11/7

ECHANTILLON 21-04-1-08615 / 23609

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE. TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %	18.80
- AGREGATS BENZENE %	19.20
- AGREGATS AIR %	18.60
- SABLES GROSSIERS %	16.31
- ARGILE + LIMON MAX %	22.80
- S	5.45
- LOG 10 S	1.73
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1	
- E CM	4.80
- K	2.80
- LOG 10 K	1.44

FACTURATION : 68.64 F.

I. N. R. A. LABEAU P.

A ARRAS, LE 10/11

ECHANTILLON: 21-04-1-08606 / 23600

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAL 8 FRACTIONS.....	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM.	:	86
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM.	:	222
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM.	:	370
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM.	:	83
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM.	:	49
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM.	:	175
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.....	:	10
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.....	:	5
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE).....	:	5.8
- MATIERES ORGANIQUES.....	:	9.9
AZOTE "KJELDAHL".....	P 1000 :	0.73
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	7.89
CAPACITE D'ECHANGE METH DE METSON	M. EQ. P. 100 :	4.6
CALCIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	2.7
MAGNESIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	0.44
POTASSIUM ECHANGEABLE.....	M EQ. P. 100 :	0.160
SODIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	0.091

FACTURATION : 80.52 F.

I N R A BENTEGRAC P 2

9

A ARRAS, LE 10/11/7

ECHANTILLON 21-04-1-08616 / 23610

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE TEST S	
- AGREGATS ALCOOL %	21.20
- AGREGATS BENZENE %	15.20
- AGREGATS AIR %	17.00
- SABLES GROSSIERS %	14.58
- ARGILE + LIMON MAX %	31.20
- S	6.67
- LOG 10 S	1.82
STABILITE STRUCTURALE TEST K1	
- F CM	5.30
- K	2.95
- LOG 10 K	1.47

FACTURATION : 68.64 F

I. N. R. A. BENTEGEAC P2 9

A ARRAS, LE 10/11/

ECHANTILLON: 21-04-1-08607 / 23601

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAL 8 FRACTIONS.....	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM..	:	171
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM..	:	241
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM..	:	339
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM..	:	68
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM..	:	31
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM..	:	132
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.....	:	15
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.....	:	3
CARBONE ORG. METH ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE).....	:	6.4
- MATIERES ORGANIQUES.....	:	11.0
AZOTE "KJELDAHL".....	P 1000 :	0.89
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	7.21
CAPACITE D'ECHANGE METH. DE METSON	M. EQ. P. 100 :	7.8
CALCIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	6.7
MAGNESIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	0.62
POTASSIUM ECHANGEABLE.....	M EQ. P. 100 :	0.520
SODIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	0.037

FACTURATION : 80.52 F.

I N. R. A. LAGARDERE P 3

2

A ARRAS, LE 10/11/7.

ECHANTILLON: 21-04-1-08609 / 23603 PAGE 1

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE. TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %	11. 70
- AGREGATS BENZENE %	8. 80
- AGREGATS AIR %	15. 20
- SABLES GROSSIERS %	7. 72
- ARGILE + LIMON MAX %	32. 40
- S.	6. 54
- LOG 10 S.	1 81
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1	
- F CM	5. 30
- K	2. 36
- LOG 10 K	1. 37

FACTURATION : 68. 64 F

I. N. R. A. LAGARDERE P 3

2

A ARRAS, LE 10/11/

ECHANTILLON 21-04-1-08600 / 23594

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAL 8 FRACTIONS	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM.		121
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM.		285
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM.		414
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM.		67
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM.		23
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM.		66
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.		17
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM		5
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE)		5.5
- MATIERES ORGANIQUES		9.4
AZOTE "KJELDAHL"	P 1000	0.71
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL		7.73
CAPACITE D'ECHANGE METH. DE METSON	M. EQ. P. 100	5.5
CALCIUM ECHANGEABLE	M. EQ P. 100	3.3
MAGNESIUM ECHANGEABLE	M. EQ P. 100	0.71
POTASSIUM ECHANGEABLE	M EQ. P. 100	0.290
SODIUM ECHANGEABLE	M EQ. P. 100	0.029

FACTURATION : 80.52 F

I. N. R. A.

LAVILLE P 4
5

A ARRAS, LE 10/11/7.

ECHANTILLON 21-04-1-08612 / 23606

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE. TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %	19.40
- AGREGATS BENZENE %	12.10
- AGREGATS AIR %	12.90
- SABLES GROSSIERS %	10.78
- ARGILE + LIMON MAX %	39.60
- S	7.78
- LOG 10 S	1.89
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1	
- E CM	5.70
- K	? 05
- LOG 10 K	1.31

FACTURATION : 68 64 F

I. N. R. A. LAVILLE P 4

A ARRAS, LE 10/11/

ECHANTILLON: 21-04-1-08603 / 23597

PAGE 1

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAI S FRACTIONS	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM. .	:	156.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM. .	:	351.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM. .	:	292.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM. .	:	53.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM .	:	29
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM. .	:	110.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.	:	6.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM	:	3.
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE)	:	6.0
- MATIERES ORGANIQUES	:	10.3
AZOTE "KJELDAHL"	P 1000 :	0.80
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	7.45
CAPACITE D'ECHANGE METH DE METSON	M EQ. P. 100 :	5.8
CALCIUM ECHANGEABLE	M. EQ. P. 100 :	3.7
MAGNESIUM ECHANGEABLE	M. EQ P. 100 :	0.49
POTASSIUM ECHANGEABLE	M EQ. P. 100 :	0.120
SODIUM ECHANGEABLE	M EQ. P. 100 :	0.062

FACTURATION : 80.52 F

I. N. R. A.

ST MARC P 6
7

A ARRAS, LE 10/11/76

ECHANTILLON 21-04-1-08614 / 23608

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE. TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %.	18. 50
- AGREGATS BENZENE %	17. 20
- AGREGATS AIR %	18. 30
- SABLES GROSSIERS %.	15. 31
- ARGILE + LIMON MAX %.	26. 40
- S.	6. 26
- LOG 10 S.	1. 79
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1.	
- E CM.	5. 20
- K.	7. 45
- LOG 10 K.	1. 39

FACTURATION : 68. 64 F

I. N. R. A. ST MARC P 6

A ARRAS, LE 10/11/

ECHANTILLON: 21-04-1-08605 / 23599

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAL 8 FRACTIONS.....	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM..	:	98
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM..	:	249
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM..	:	373
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM..	:	64
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM..	:	35
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM..	:	171
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.....	:	8
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.....	:	2
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE).....	:	7.5
- MATIERES ORGANIQUES.....	:	12.9
AZOTE "KJELDAHL".....	P 1000 :	0.88
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	8.52
CAPACITE D'ECHANGE METH. DE METSON	M. EQ. P. 100 :	5.1
CALCIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ P. 100 :	3.8
MAGNESIUM ECHANGEABLE.....	M. EQ. P. 100 :	0.73
POTASSIUM ECHANGEABLE.....	M EQ. P. 100 :	0.230
SODIUM ECHANGEARLE.....	M. EQ. P. 100 :	0.069

FACTURATION : 80.52 F.

I. N. R. A. DELAGE P 7

3

A ARRAS, LE 10/11/7

ECHANTILLON: 21-04-1-08610 / 23604

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE. TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %.	17. 40
- AGREGATS BENZENE %.	17. 80
- AGREGATS AIR %.	9. 90
- SABLES GROSSIERS %.	9. 25
- ARGILE + LIMON MAX %.	24. 00
- S.	3. 58
- LOG 10 S.	1. 55
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1.	
- E CM.	5. 40
- K.	3. 61
- LOG 10 K	1. 55

FACTURATION . 68. 64 F

I N R A DELAGE P 7

A ARRAS LE 10/11/

ECHANTILLON 21-04-1-08601 / 23595

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAP 8 FRACTIONS	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM.	:	110
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM.	:	283
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM.	:	385
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM.	:	75
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM.	:	30
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM.	:	105
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.	:	8
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.	:	4
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE)	:	7.0
- MATIERES ORGANIQUES	:	12.1
AZOTE "KJELDAHL" P 1000	:	0.81
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	8.69
CAPACITE D'ECHANGE METH. DE METSON M EQ. P. 100	:	5.4
CALCIUM ECHANGEABLE M EQ. P. 100	:	2.2
MAGNESIUM ECHANGEABLE M. EQ P. 100	:	0.42
POTASSIUM ECHANGEABLE M EQ. P. 100	:	0.240
SODIUM ECHANGEABLE M EQ. P. 100	:	0.062

FACTURATION : 80.52 F.

I. N. R. A. DU TH URON P 8

A ARRAS LE 10/11/7

ECHANTILLON 21-04-1-08613 / 23607

PAGE 1

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %	15.40
- AGREGATS BENZENE %	13.40
- AGREGATS AIR %	13.70
- SABLES GROSSIERS %	12.32
- ARGILE + LIMON MAX %	26.40
- S	8.57
- LOG 10 S	1.93
STABILITE STRUCTURALE TEST K1	
- E CM	5.30
- K	3.73
- LOG 10 K	1.57

FACTURATION : 68.64 F

I. N. R. A. DUTHURON P 8

A ARRAS, LE 10/11/

ECHANTILLON: 21-04-1-08604 / 23598

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAL 8 FRACTIONS.....	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM..	:	134
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM..	:	253
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM..	:	380
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM..	:	86
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM..	:	27
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM..	:	103
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.....	:	12
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.....	:	5
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE).....	:	6.0
- MATIERES ORGANIQUES.....	:	10.4
AZOTE "KJELDAHL"..... P 1000	:	0.83
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	7.28
CAPACITE D'ECHANGE METH. DE METSON M. EQ. P. 100	:	6.4
CALCIUM ECHANGEABLE..... M EQ. P. 100	:	5.2
MAGNESIUM ECHANGEABLE..... M. EQ. P. 100	:	0.76
POTASSIUM ECHANGEABLE..... M EQ. P. 100	:	0.170
SODIUM ECHANGEABLE..... M. EQ. P. 100	:	0.095

FACTURATION : 80.52 F.

I. N. R. A. DUTHURON P 9
4

A ARRAS. LE: 10/11/7

ECHANTILLON. 21-04-1-08611 / 23605

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %.	15.50
- AGREGATS BENZENE %.	13.40
- AGREGATS AIR %.	13.60
- SABLES GROSSIERS %.	11.38
- ARGILE + LIMON MAX %.	30.00
- S.	7.65
- LOG 10 S.	1.88
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1.	
- E CM.	5.70
- K.	2.98
- LOG 10 K.	1.47

FACTURATION : 68.64 F.

I. N. R. A. DUTH URON P 9

A ARRAS LE 10/11/

ECHANTILLON 21-04-1-08402 / 23596

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAL 8 FRACTIONS	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM.	:	232.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM.	:	240
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM.	:	332
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM.	:	66.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM.	:	25.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM.	:	9.5
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM.	:	3.
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.	:	2.
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE)	:	6.2
- MATIERES ORGANIQUES	:	10.6
AZOTE "KJELDAHL" P 1000	:	0.86
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL	:	7.15
CAPACITE D'ECHANGE METH DE METSON M EQ. P. 100	:	9.3
CALCIUM ECHANGEABLE M. EQ. P. 100	:	7.6
MAGNESIUM ECHANGEABLE M. EQ. P. 100	:	1.35
POTASSIUM ECHANGEABLE M EQ P. 100	:	0.410
SODIUM ECHANGEABLE M. EQ. P. 100	:	0.290

FACTURATION : 80.52 F.

I. N. R. A. LAVILLE P 10

1

A ARRAS, LE 10/11/7.

ECHANTILLON: 21-04-1-08608 / 23602

RESULTATS

STABILITE STRUCTURALE. TEST S.	
- AGREGATS ALCOOL %	19.80
- AGREGATS BENZENE %	18.80
- AGREGATS AIR %	18.90
- SABLES GROSSIERS %	17.44
- ARGILE + LIMON MAX %	28.80
- S	8.31
- LOG 10 S	1.92
STABILITE STRUCTURALE. TEST K1	
- E CM	4.90
- K	2.77
- LOG 10 K	1.44

FACTURATION : 68.64 F

I. N. R. A. LAVILLE P 10

A ARRAS, LE 10/11/

ECHANTILLON: 21-04-1-08599 / 23593

RESULTATS

GRANULOMETRIE SANS DECAP. 8 FRACTIONS	P 1000	
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.000 ET 0.002 MM. .		93
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.002 ET 0.020 MM. .		247
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.020 ET 0.050 MM. .		353
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.050 ET 0.100 MM. .		58
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.100 ET 0.200 MM. .		49
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.200 ET 0.500 MM. .		188
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 0.500 ET 1 MM. . . .		10
- PARTICULES COMPRISES ENTRE 1 MM ET 2 MM.		2
CARBONE ORG. METH. ANNE/MAT. ORGANIQUE	P 1000	
- CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE)		7.6
- MATIERES ORGANIQUES.		13.1
AZOTE "KJELDAHL"	P 1000	0.89
RAPPORT CARBONE ORGANIQUE (ANNE) / AZOTE KJELDAHL		8.53
CAPACITE D'ECHANGE METH. DE METSON	M. EQ. P. 100	5.4
CALCIUM ECHANGEABLE	M. EQ. P. 100	3.7
MAGNESIUM ECHANGEABLE	M. EQ. P. 100	0.33
POTASSIUM ECHANGEABLE	M. EQ. P. 100	0.200
SODIUM ECHANGEABLE	M. EQ. P. 100	0.024

FACTURATION : 80.52 F

- A N N E X E - 10 -

TEXTURE :

Très lourde :

A A d'argile

A argileuse

Lourde :

As d'argile sableuse
Als d'argile limono-sableuse
Al d'argile limoneuse
LAS Limono-argilo-sableuse
La de limon argileux

Moyenne - Sableuse :

Sa de sable argileux
Sal de sable argilo-limoneux

- Limoneuse :

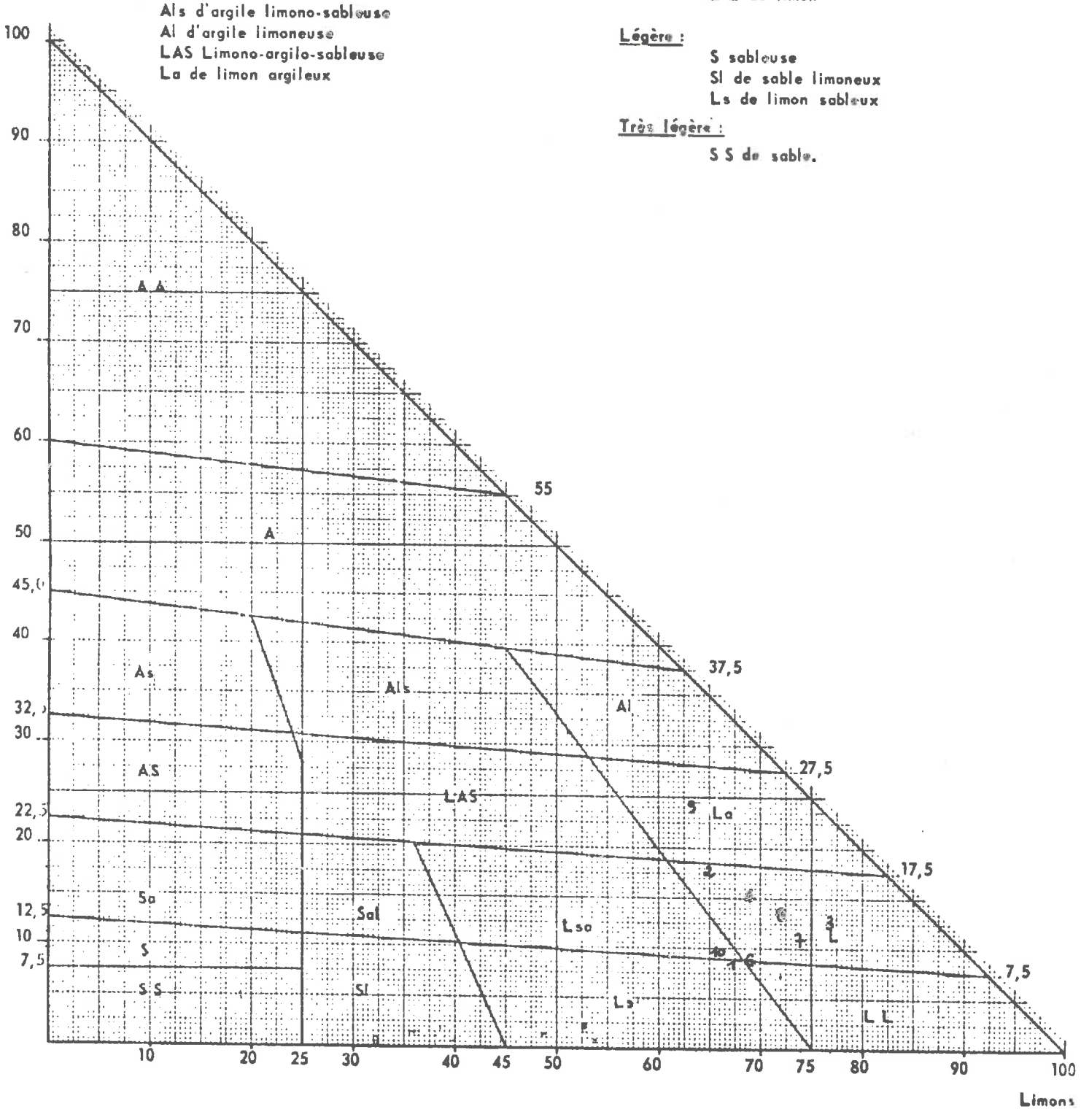
Lsa de limon sablo-argileux
L limoneuse
L L de limon

Légère :

S sableuse
Sl de sable limoneux
Ls de limon sableux

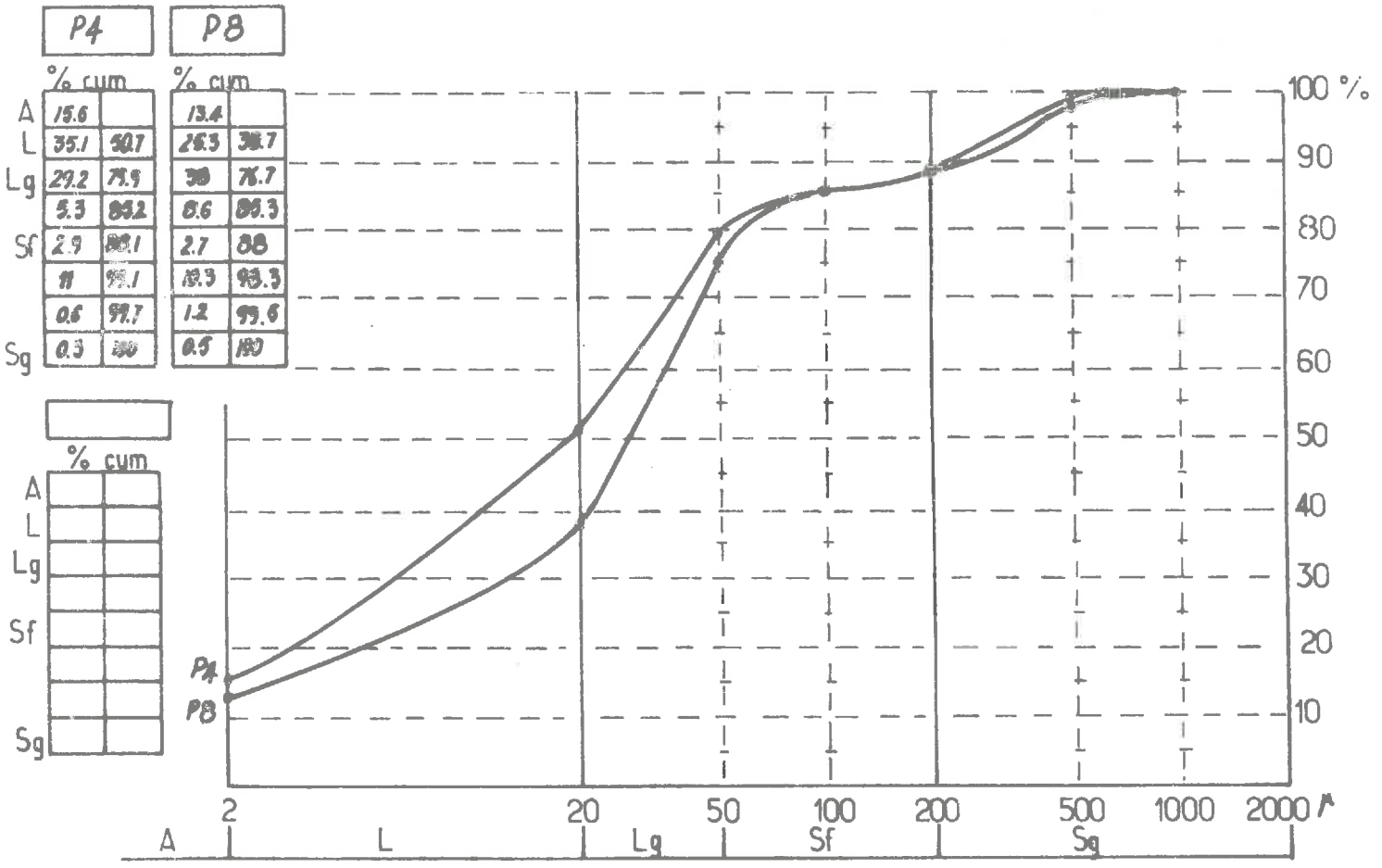
Très légère :

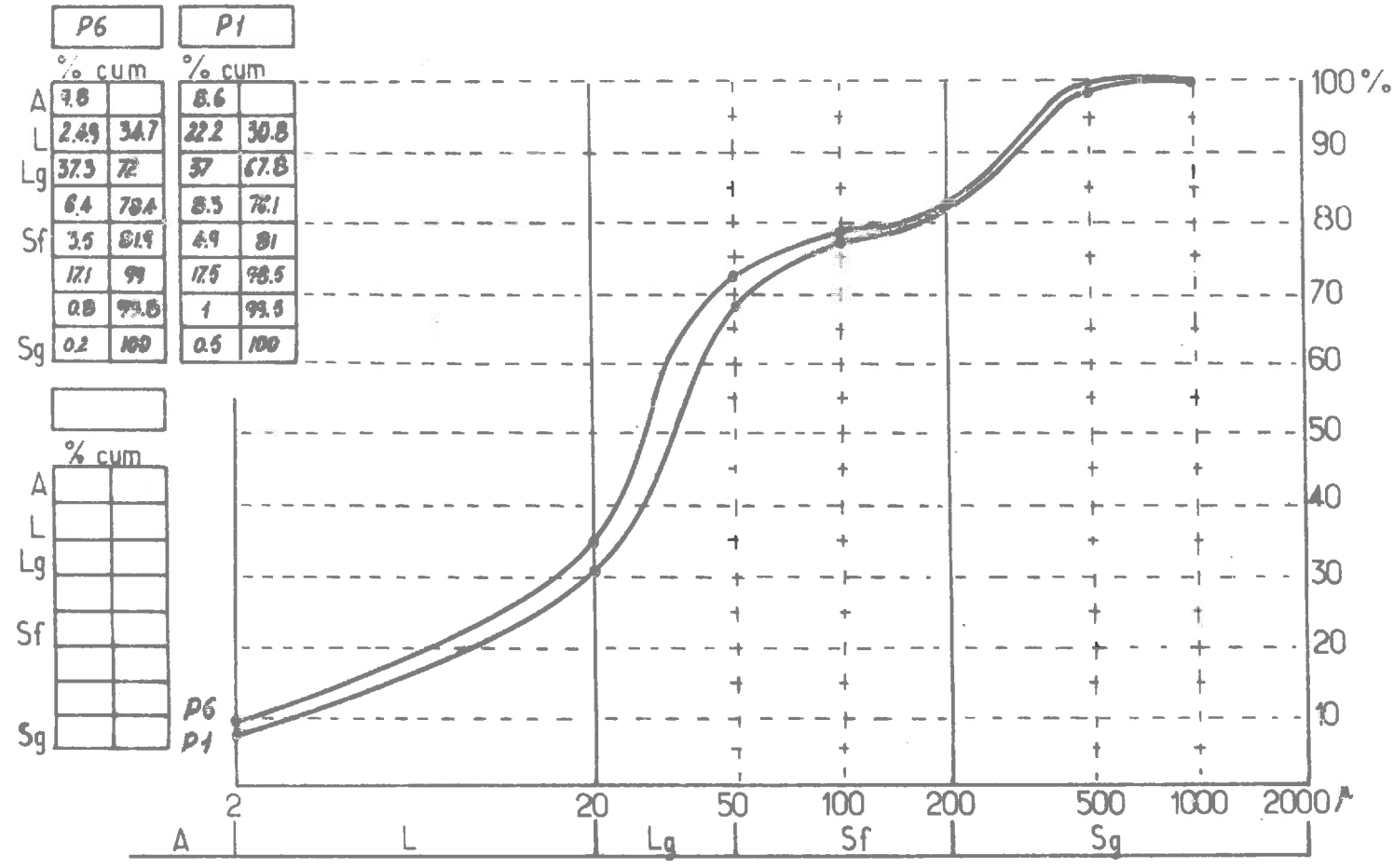
S S de sable.



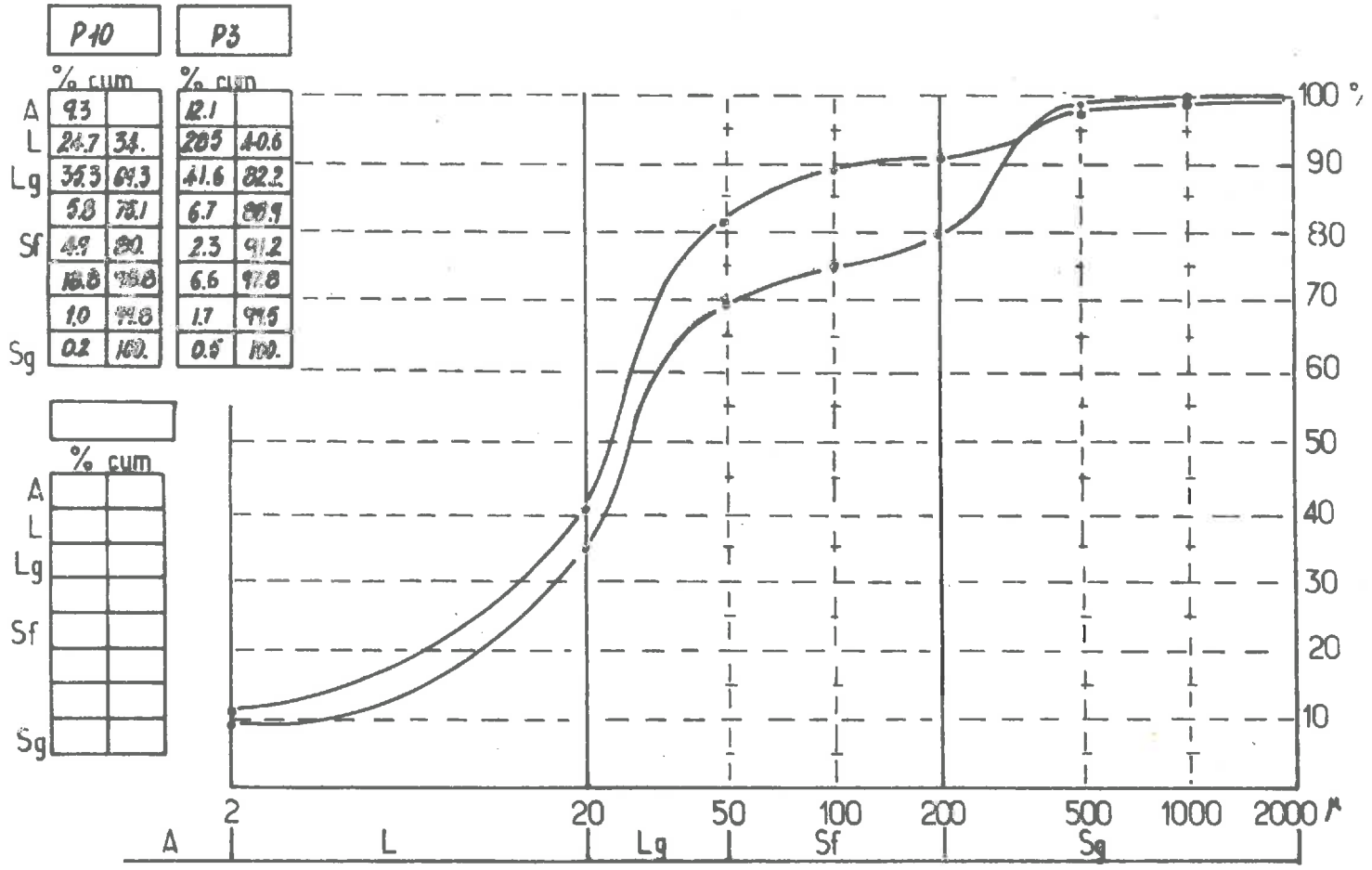
- A N N E X E - 11 -

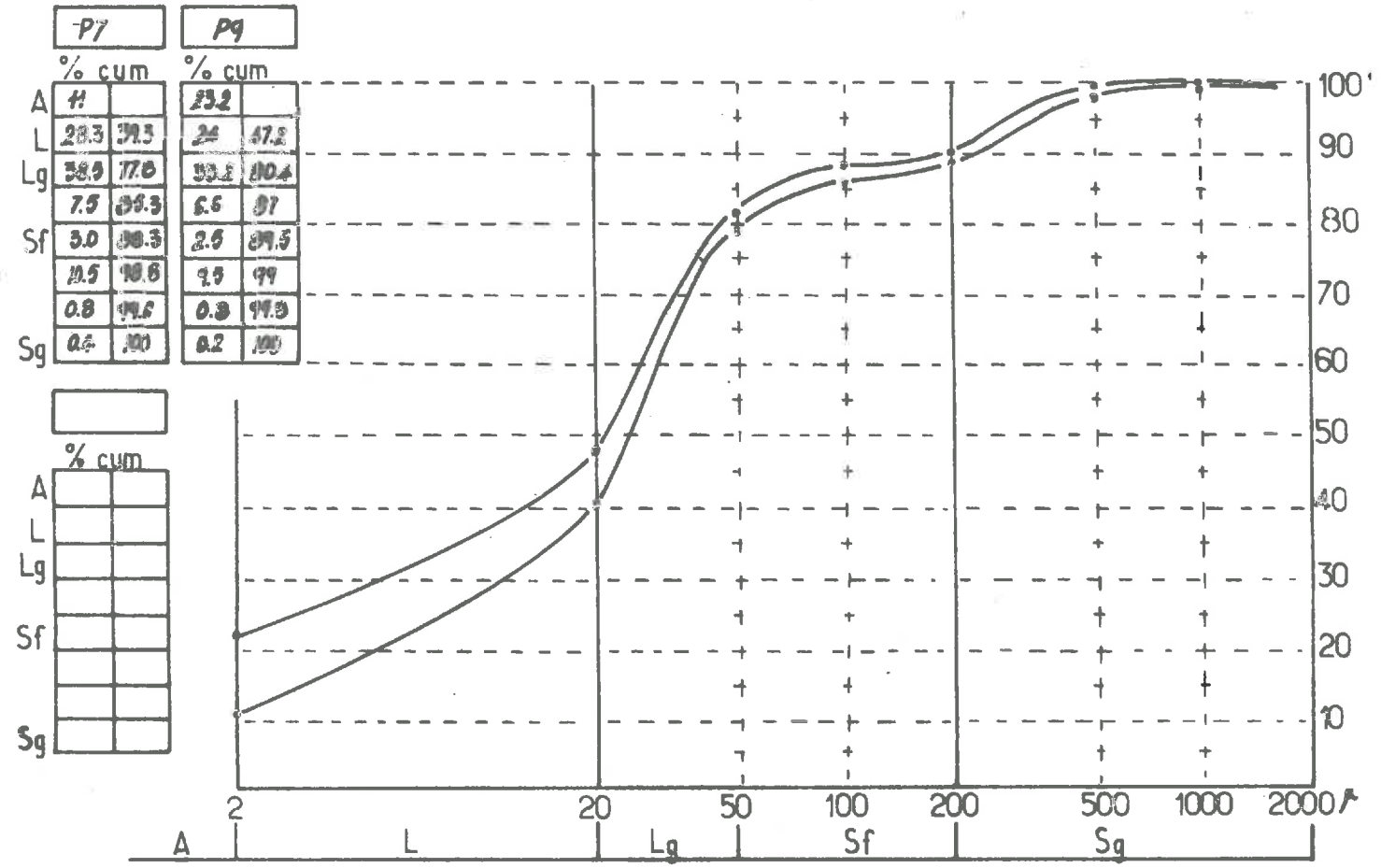
GRANULOMETRIES
COURBES CUMULATIVES



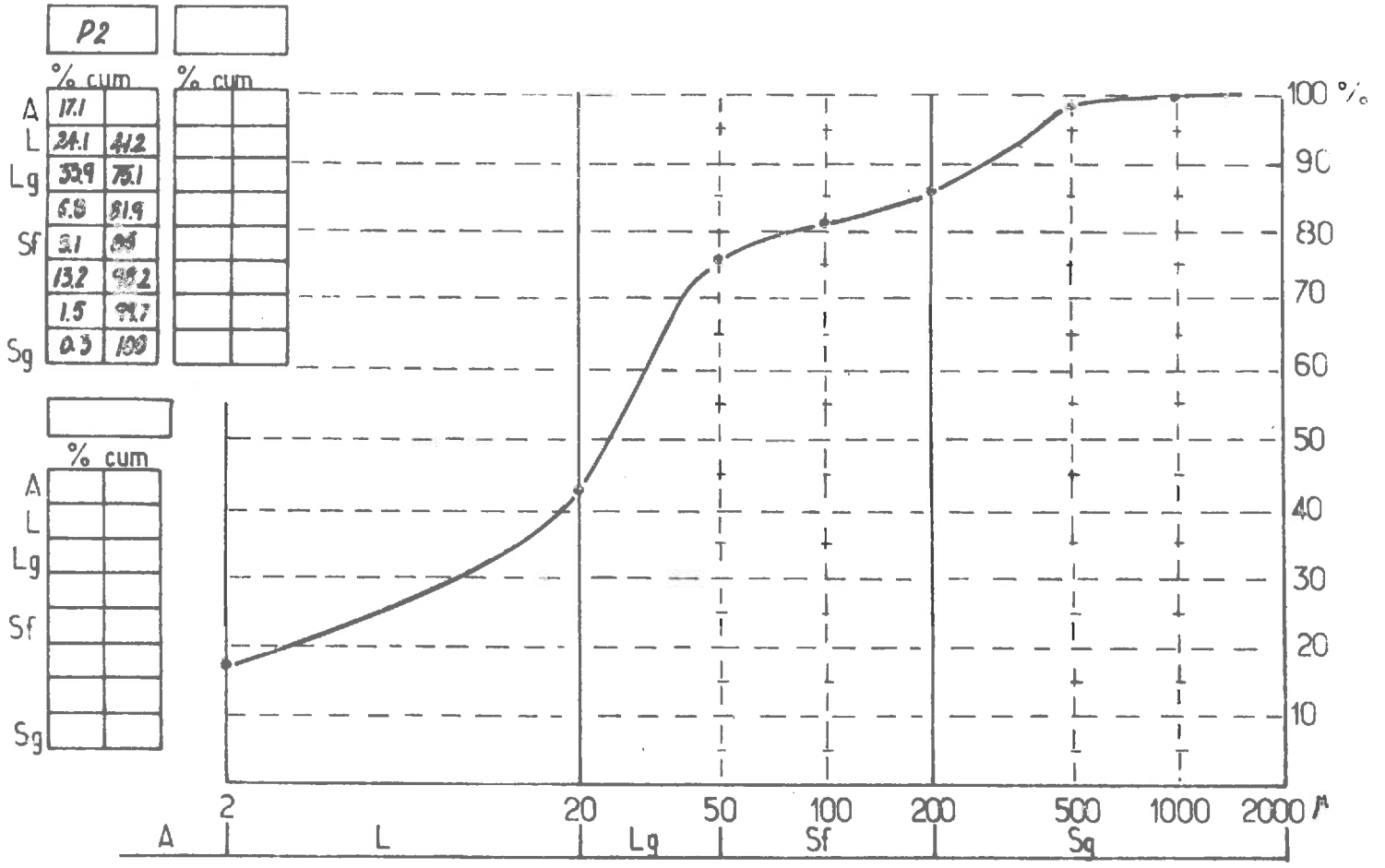


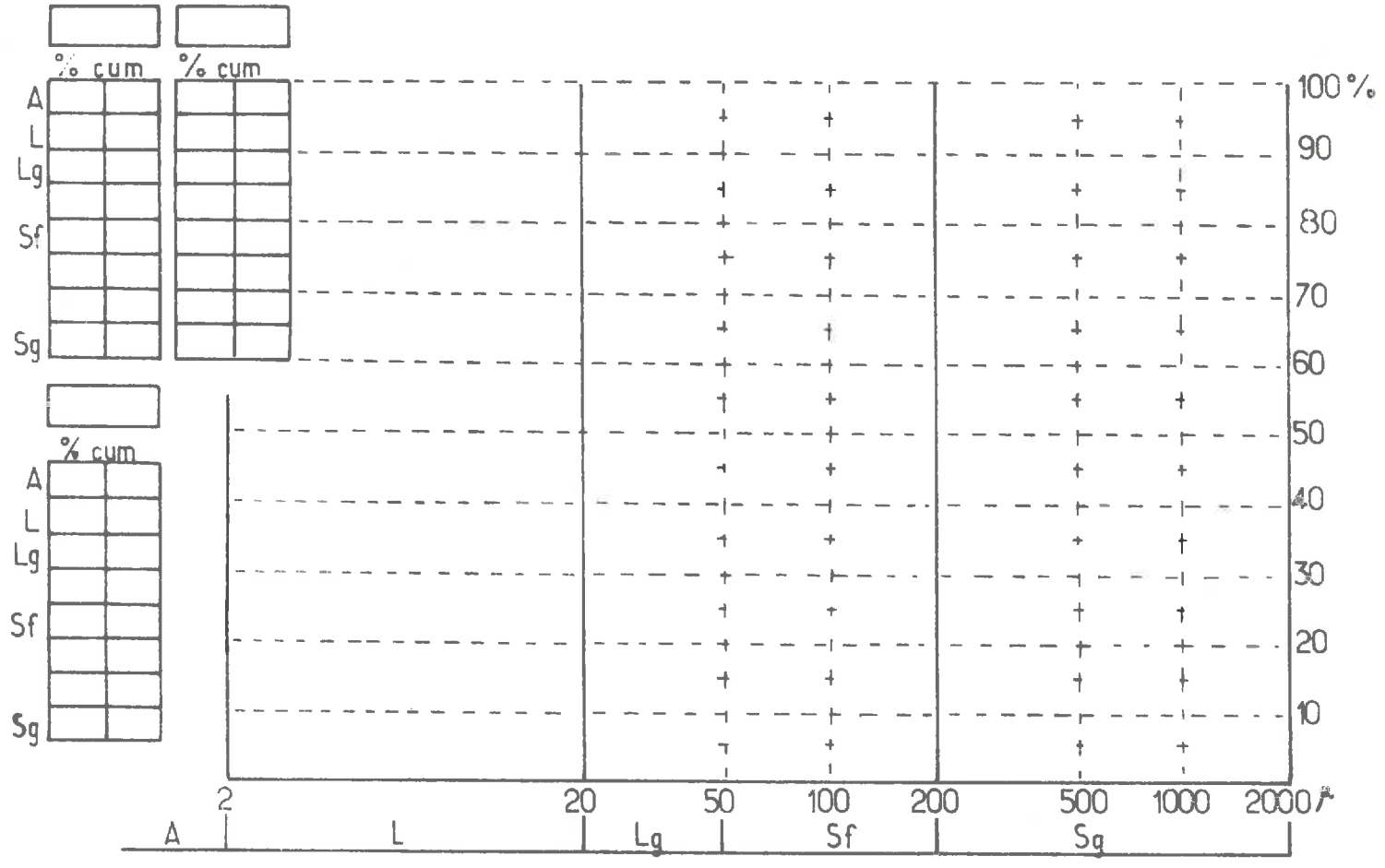
GRANULOMETRIES
COURBES CUMULATIVES





GRANULOMETRIES
COURBES CUMULATIVES

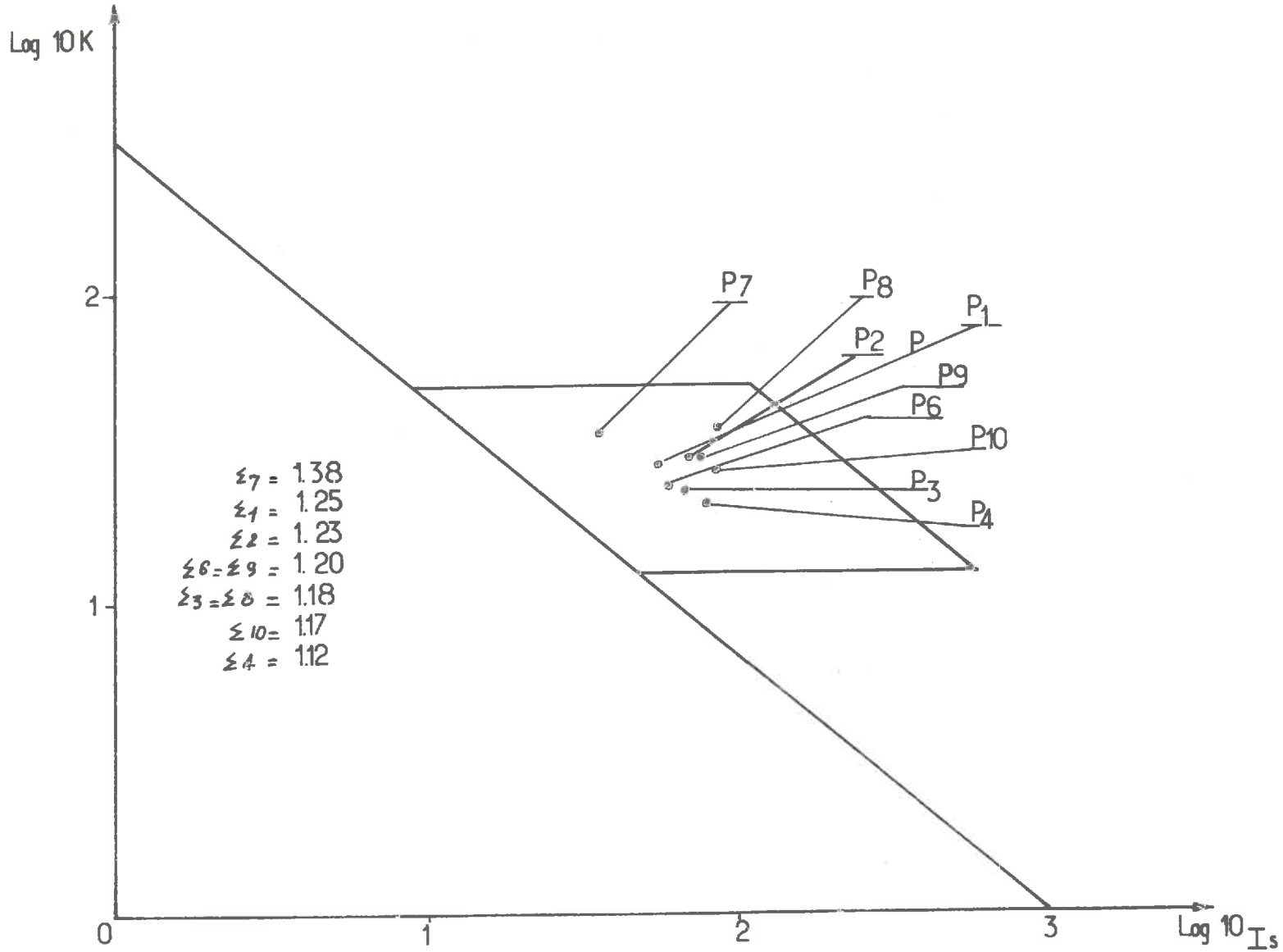




- A N N E X E - 12 -

STABILITE STRUCTURALE

Parcelle	P_1	P_2	P_3	P_4	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
Stabilité Structurale	1.25	1.23	1.18	1.12	1.20	1.38	1.23	1.20	1.17



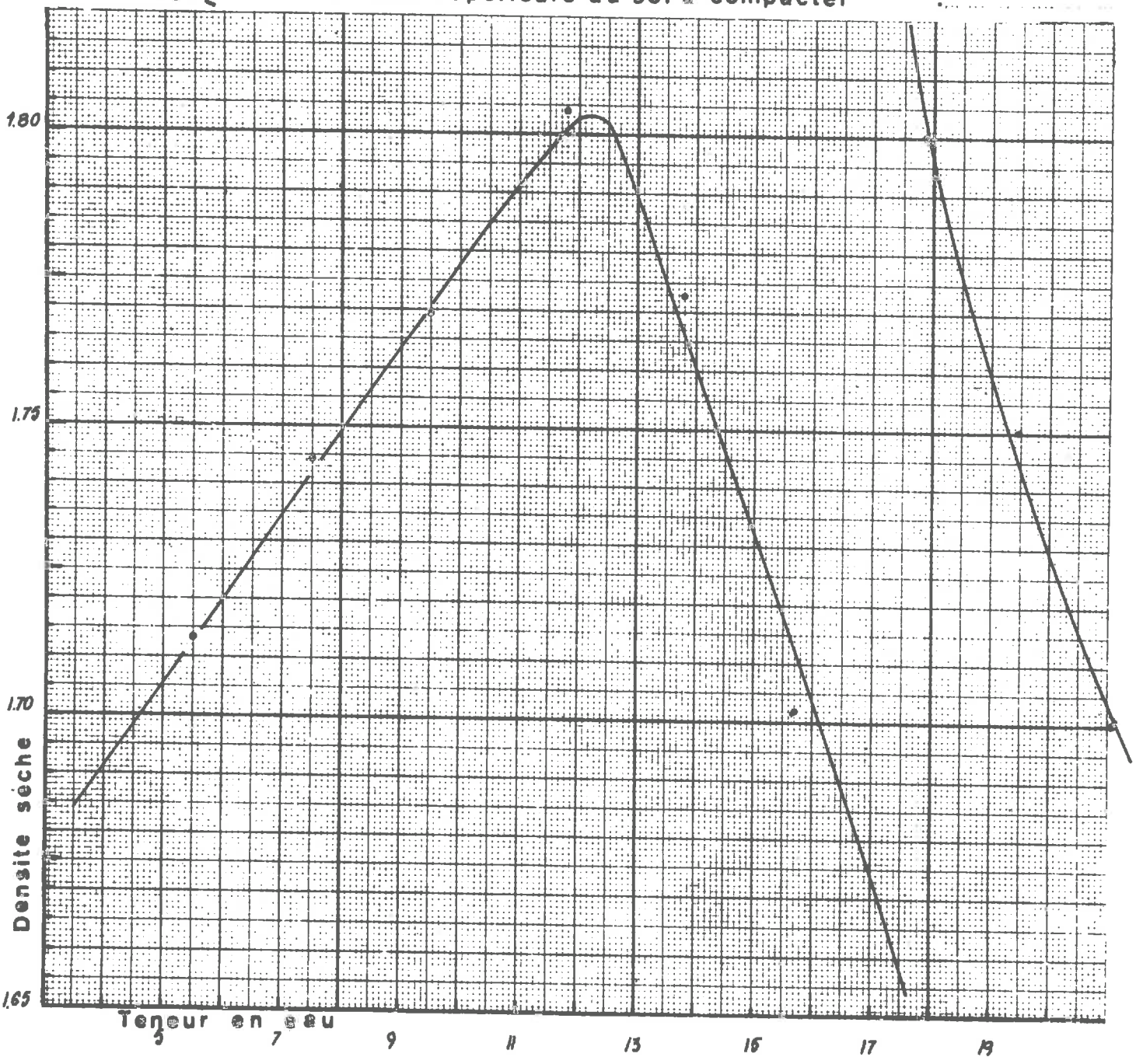
- A N N E X E - 13 -

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	: Laville	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: P.10	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	:	Energie appliquee	:

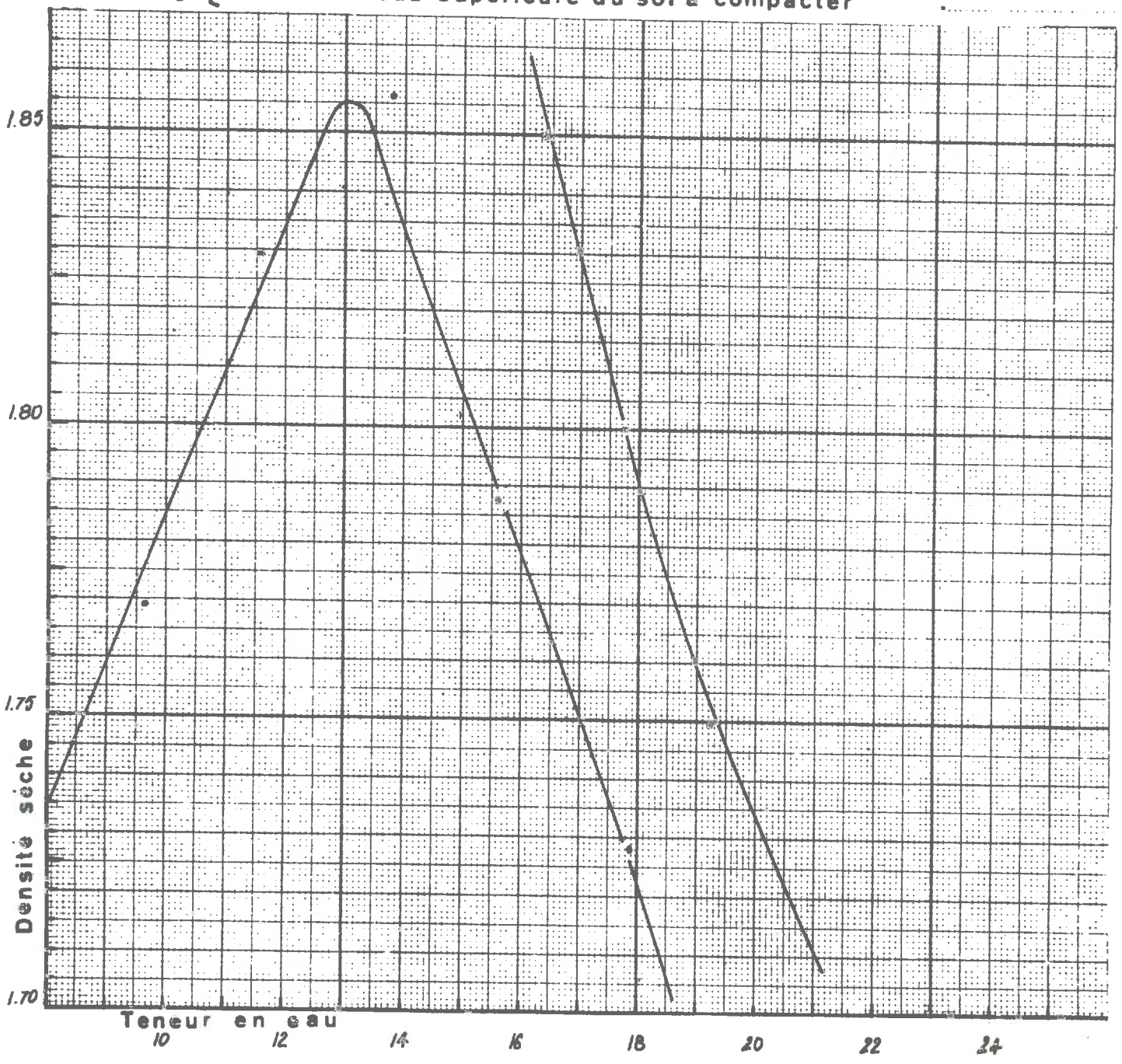
Teneur en eau optimale	: 12.10	Densité séche maximale	: 1.803
Normes de compactage — densite séche minimale á obtenir			:
Normes de compactage — teneur en eau superieure du sol á compacter			:



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	: Duthuron	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: Pg	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: 2.70	Energie appliquee	:
Teneur en eau optimale	: 13.00	Densité séche maximale	: 1.855
Normes de compactage	densite séche minimale à obtenir		:
	teneur en eau superieure du sol à compacter		:



M.S.18

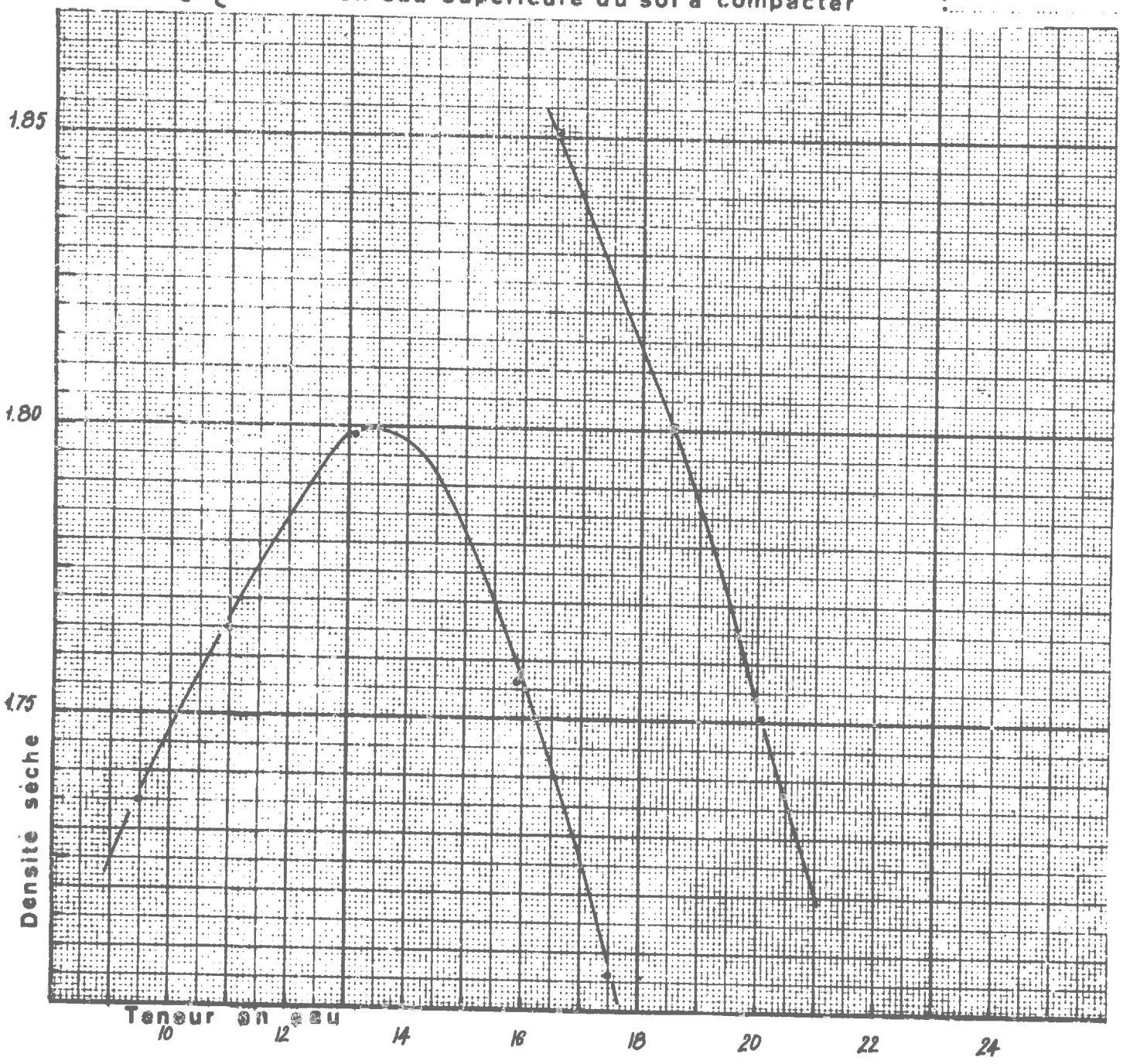
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	:	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: Vuthuron PB	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: 2.68	Energie appliquee	:

Teneur en eau optimale : 14 | Densité séche maximale : 1.80

Normes de compactage { densite séche minimale à obtenir : ..... ; teneur en eau superieure du sol á compacter : .....



M.S. 18

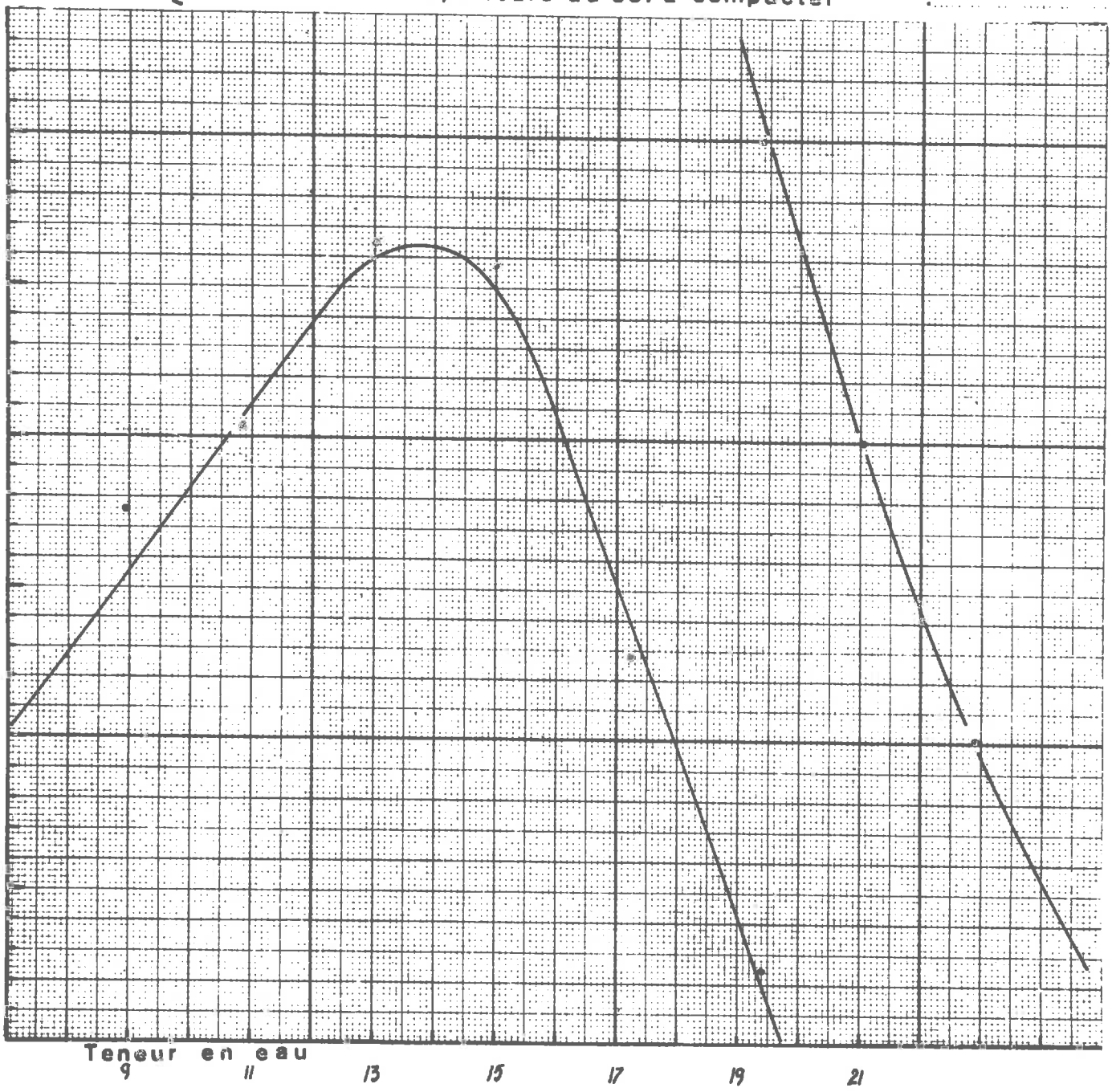
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	: Delage	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: P.7	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: 2.70	Energie appliquee	:

Teneur en eau optimale : 14. | Densité séche maximale : 1.732

Normes de compactage { densite séche minimale á obtenir : ; teneur en eau superieure du sol á compacter :



M.S.18

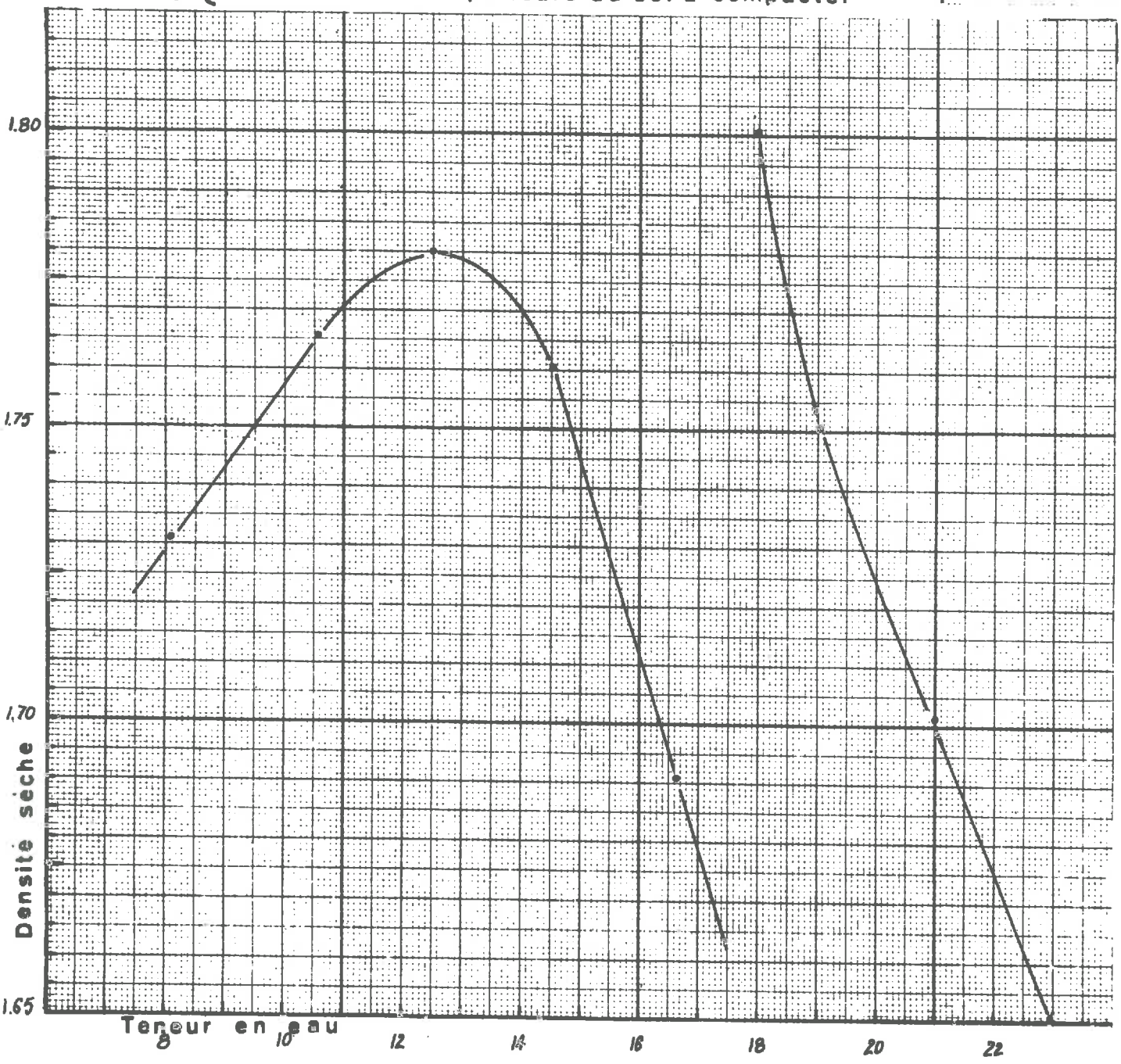
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	:	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: 37 Mar P6	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: 2.65	Energie appliquee	:

Teneur en eau optimale : 12.50 | Densité séche maximale : 1.78

Normes de compactage { densite séche minimale à obtenir : ; teneur en eau superieure du sol à compacter : }

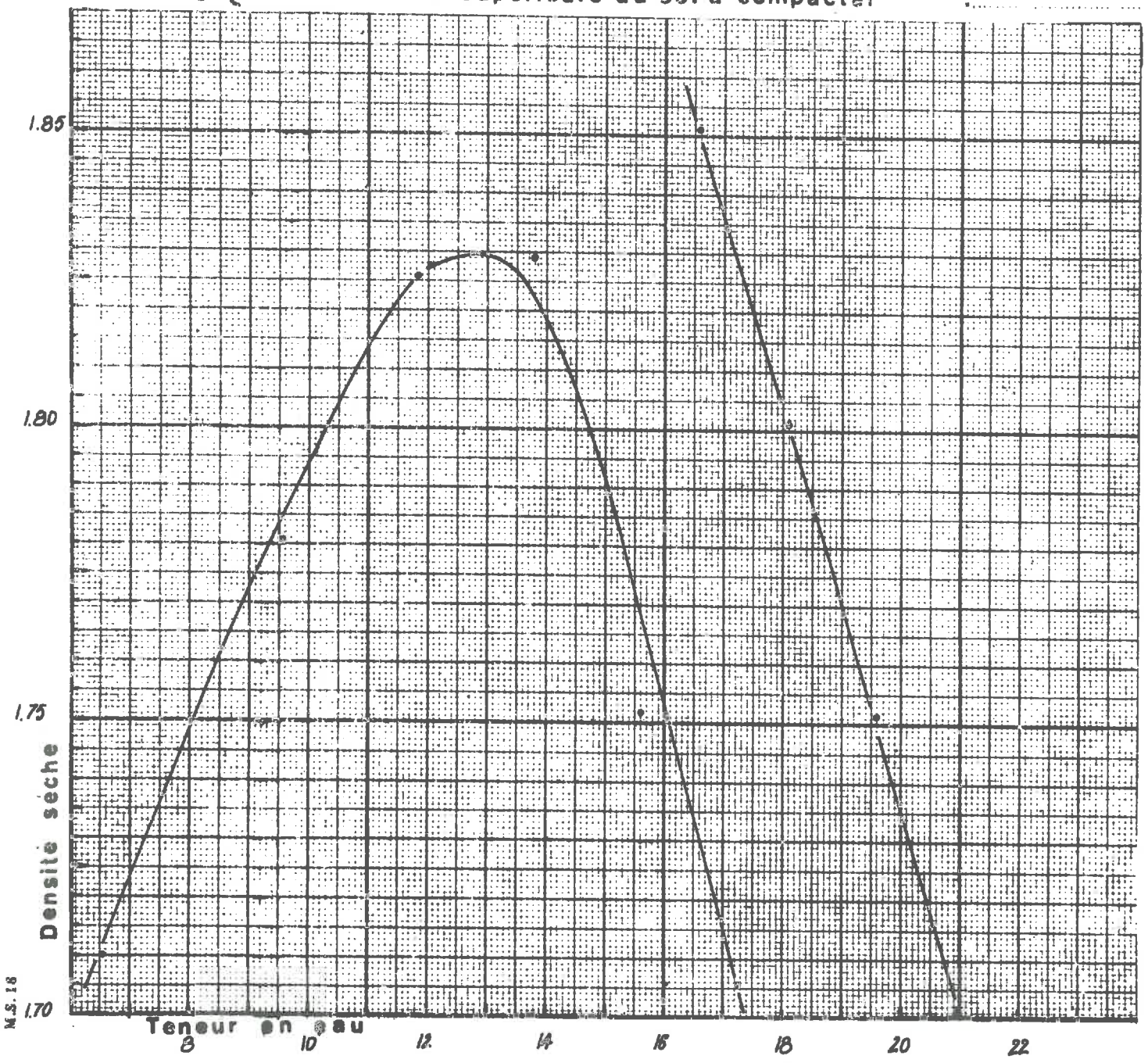


M.S. 18

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	:	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: Laville P.4	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: 2.65	Energie appliquee	:
Teneur en eau optimale	: 12.5	Densité séche maximale	: 1.83
Normes de compactage — densite séche minimale á obtenir			:
Normes de compactage — teneur en eau superieure du sol á compacter			:



N.S. 18

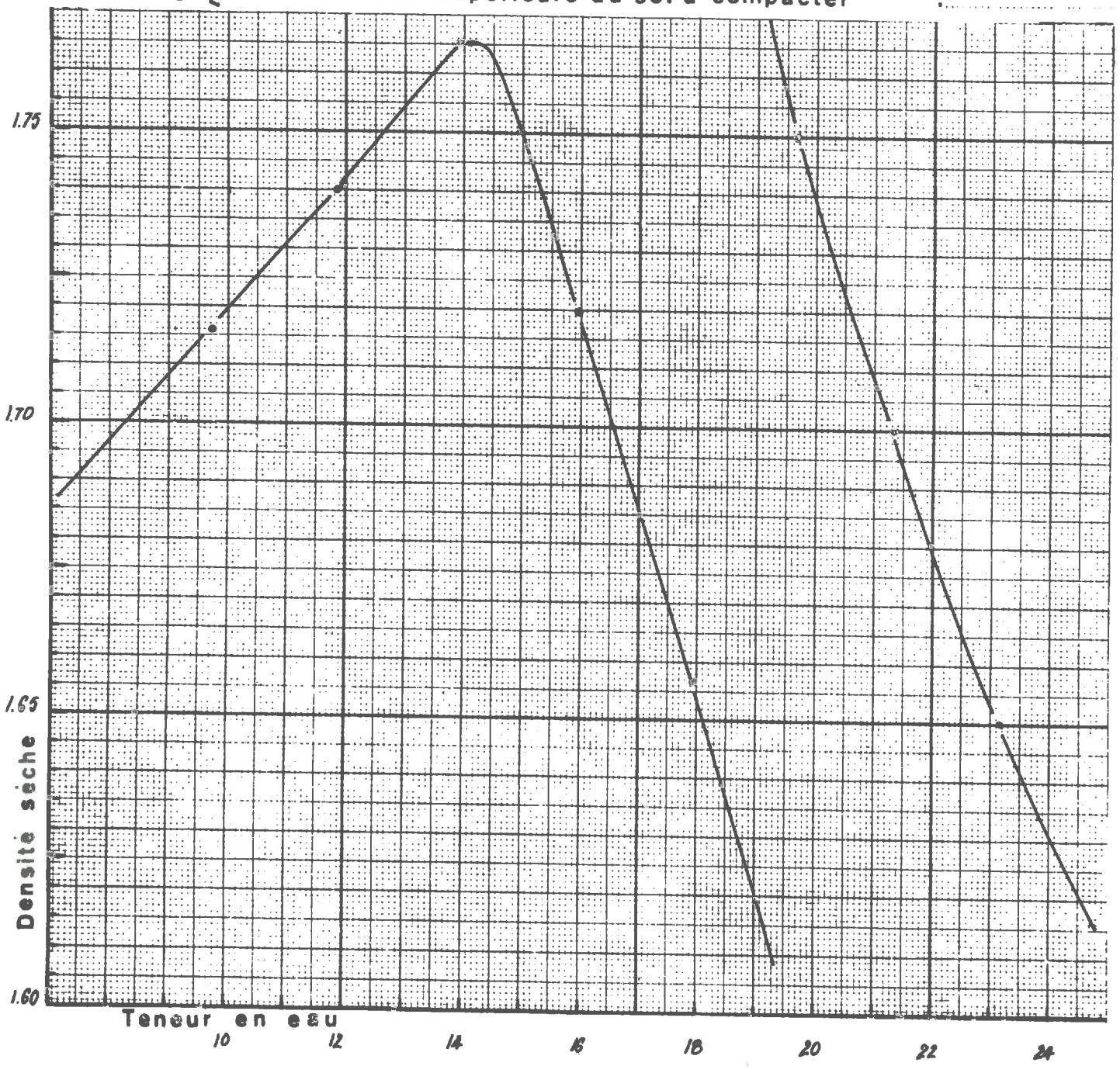
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	: Lagardère	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: P3	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: 2.666	Energie appliquee	:

Teneur en eau optimale : 14.00 | Densité séche maximale : 1.765

Normes de compactage { densite séche minimale á obtenir : ; teneur en eau superieure du sol á compacter :



M.S.18

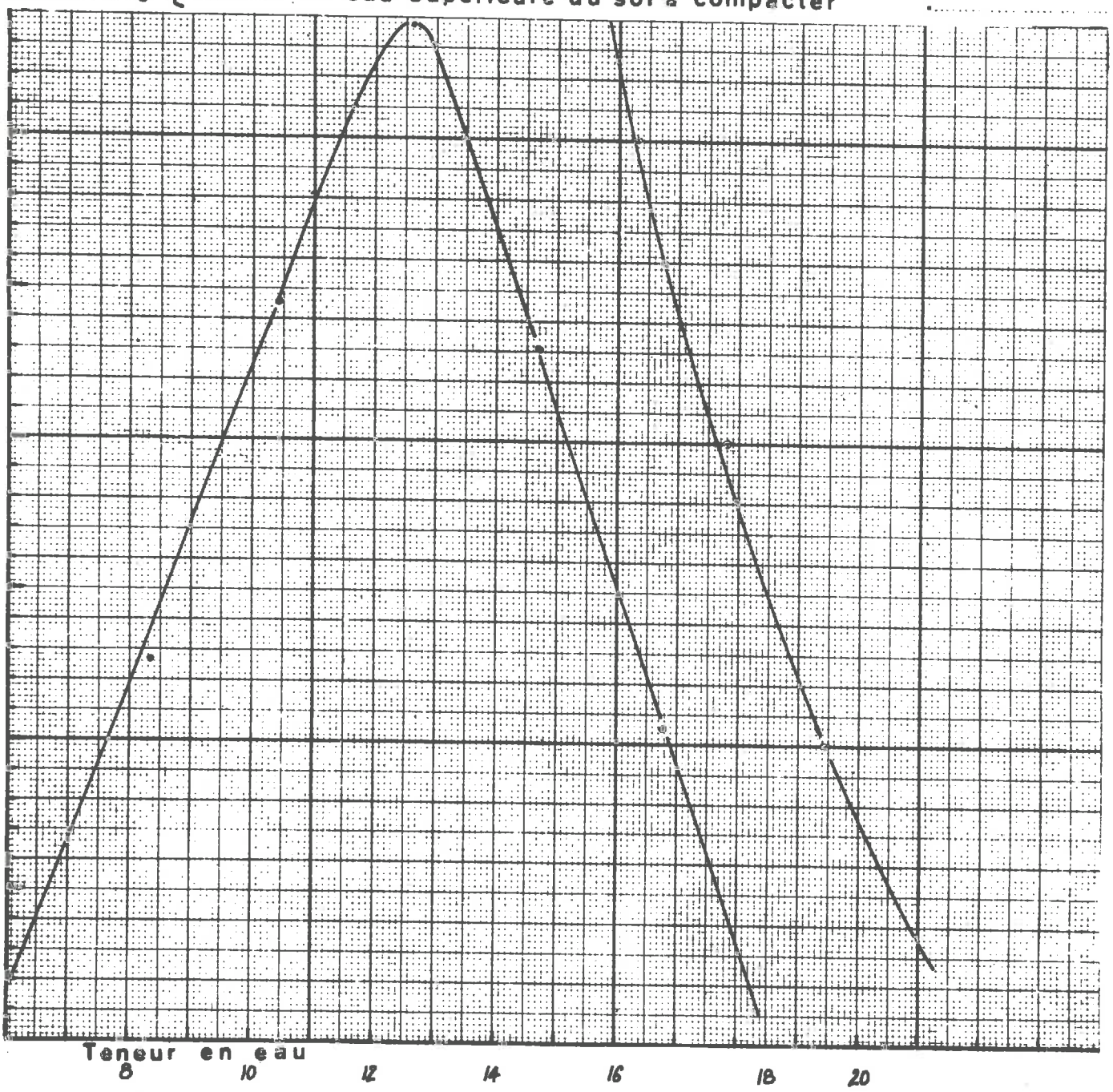
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	: Beulejac	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: P2	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	: ≃ 2.65	Energie appliquee	:

Teneur en eau optimale : 12.60 | Densité séche maximale : 1.869

Normes de compactage { densite séche minimale á obtenir : ; teneur en eau superieure du sol á compacter : }

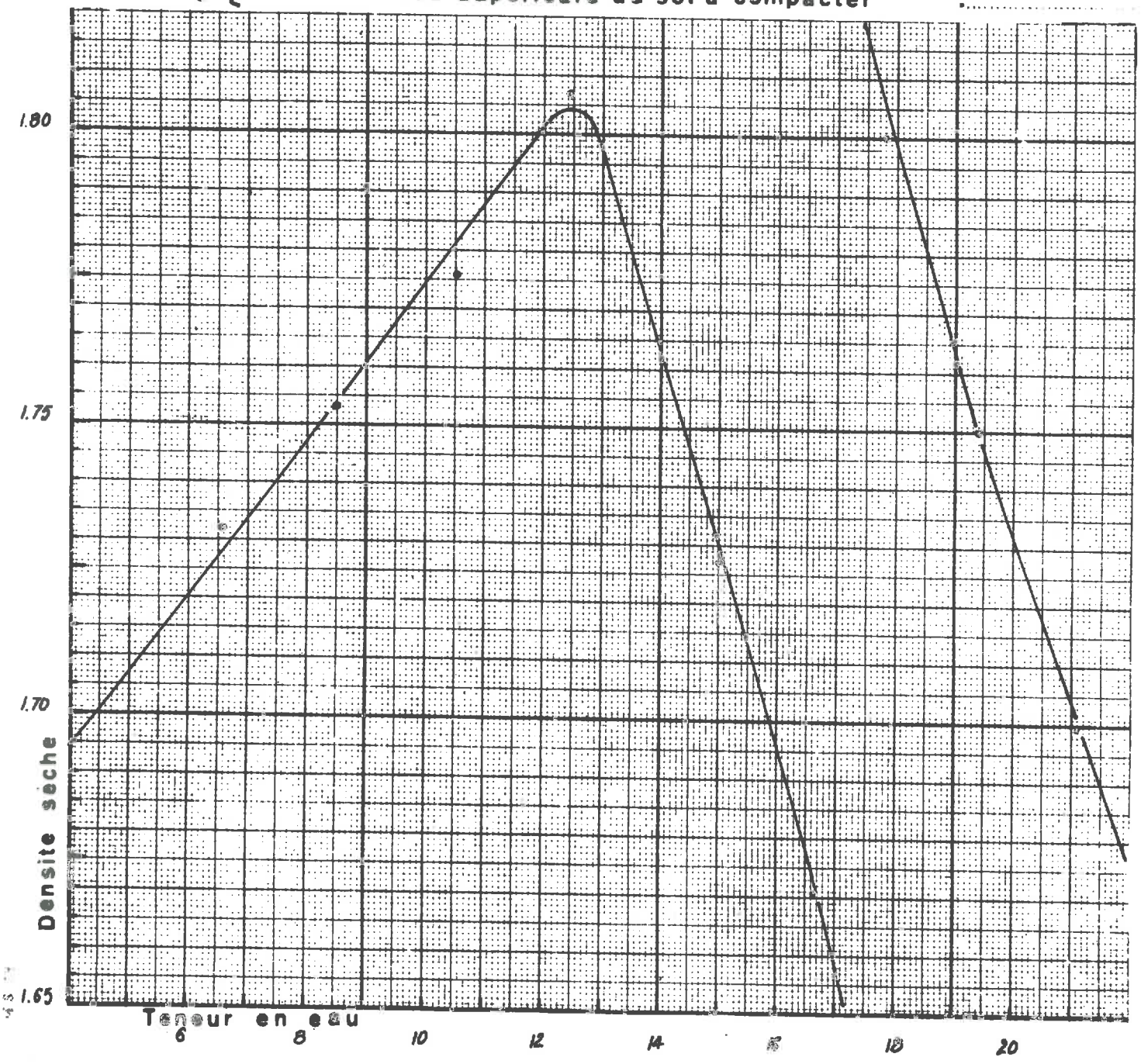


M.S. 18

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier n°	: Labeau	% d'éléments < 5mm	:
Echantillon n°	: P1	% d éléments < 20mm	:
Masse volumique	:	Energie appliquee	:
Teneur en eau optimale	: 12.50	Densité séche maximale	: 1.804
Normes de compactage — densite séche minimale à obtenir			:
Normes de compactage — teneur en eau superieure du sol à compacter			:



- A N N E X E - 14 -

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S ...

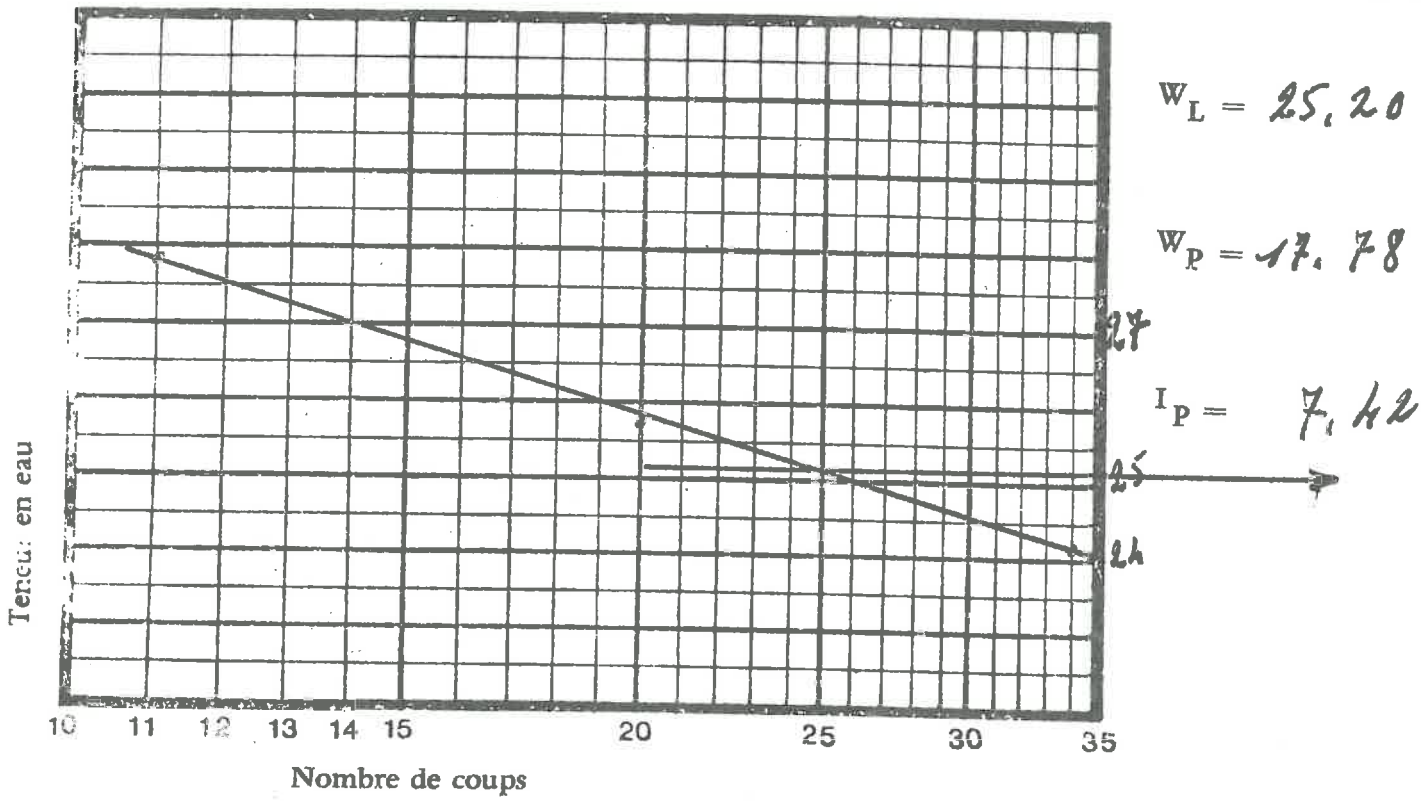
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 4 / 6 / 77
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : Du Fleuron
Sondage n° : P 9
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	11	20	34				
N° de la Tare	10	11	12				13
Tare	45.3540	46.9253	45.1601				47.6233
Poids humide avec tare	94.9360	99.3100	96.1876				64.5515
Poids sec avec tare	84.1345	88.6046	86.2750				61.9957
Poids d'eau	10.8015	10.7054	9.9126				2.5558
Poids de sol sec	38.7805	41.6793	41.1149				14.3724
Teneur en eau (%)	27,85	25.68	24.10				17.78



W_L = 25,20

W_P = 17,78

I_P = 7,42

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S

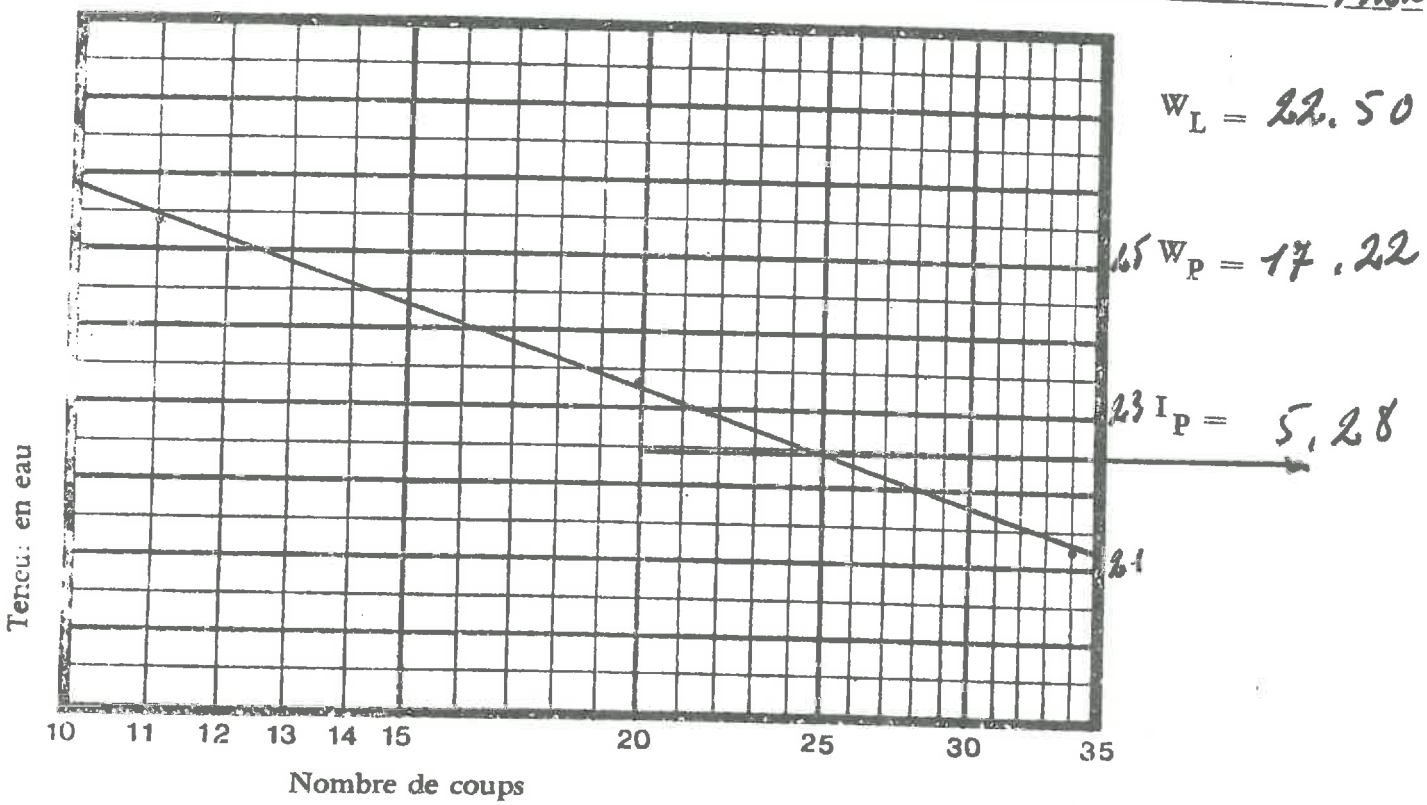
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 2 / 2 / 77
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : Dutheuron
Sondage n° : P 8
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	11	20	34				
N° de la Tare	30	34	32				33
Tare	429764	486571	459871				502547
Poids humide avec tare	976282	102.1200	926137				61.0815
Poids sec avec tare	865403	91.9875	844546				62.9068
Poids d'eau	11.0879	10.1325	8.1591				2.1787
Poids de sol sec	43.5639	43.3324	38.4675				12.6521
Teneur en eau (%)	25.45	23.38	21.21				17.22



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S

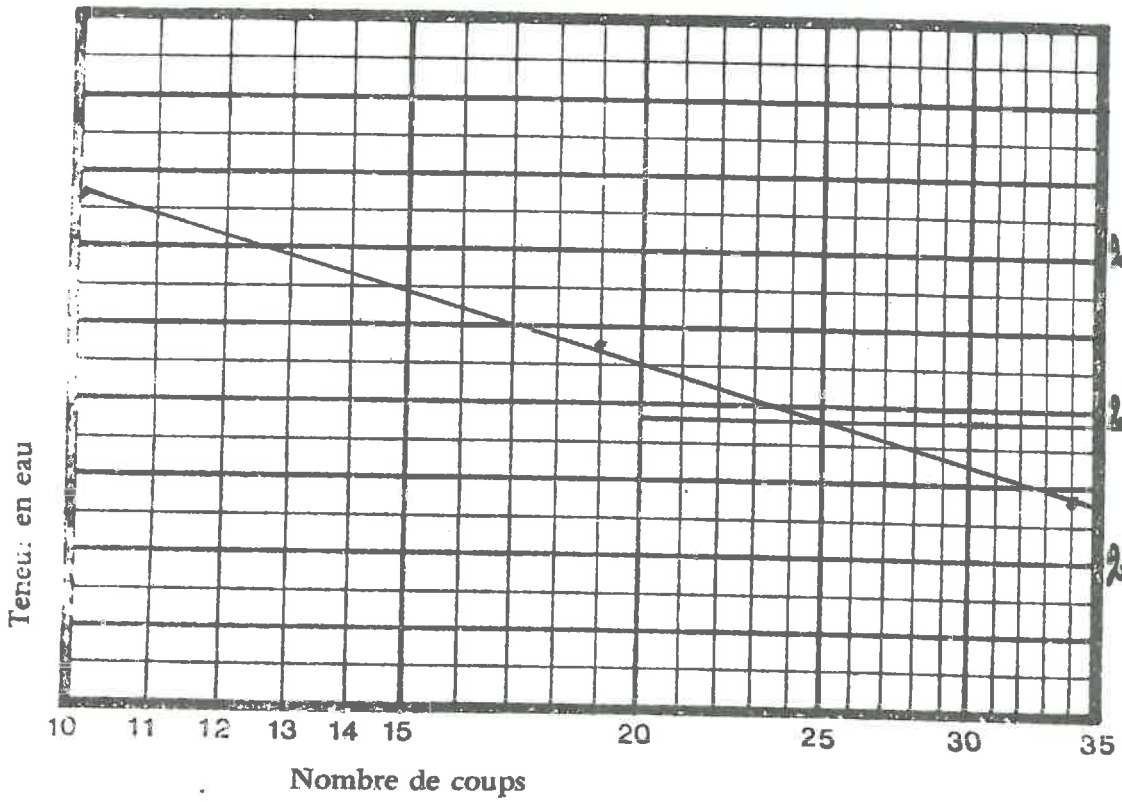
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 1/3/77
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : Delage
Sondage n° :
Profondeur : P 7

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	10	19	34				
N° de la Tare	14	15	16				17
Tare	51.6059	51.0233	50.0094				48.1437
Poids humide avec tare	110.7790	102.5495	96,3020				66,5632
Poids sec avec tare	99.0666	92.9873	88.8297				63.9788
Poids d'eau	11.7124	9.5622	8.1323				2.5844
Poids de sol sec	47.4607	41.9640	38.8203				15.8351
Teneur en eau (%)	24.67	22.78	20.94				16.95



W_L = 21.90

W_P = 16.95

I_P = 4.95

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S

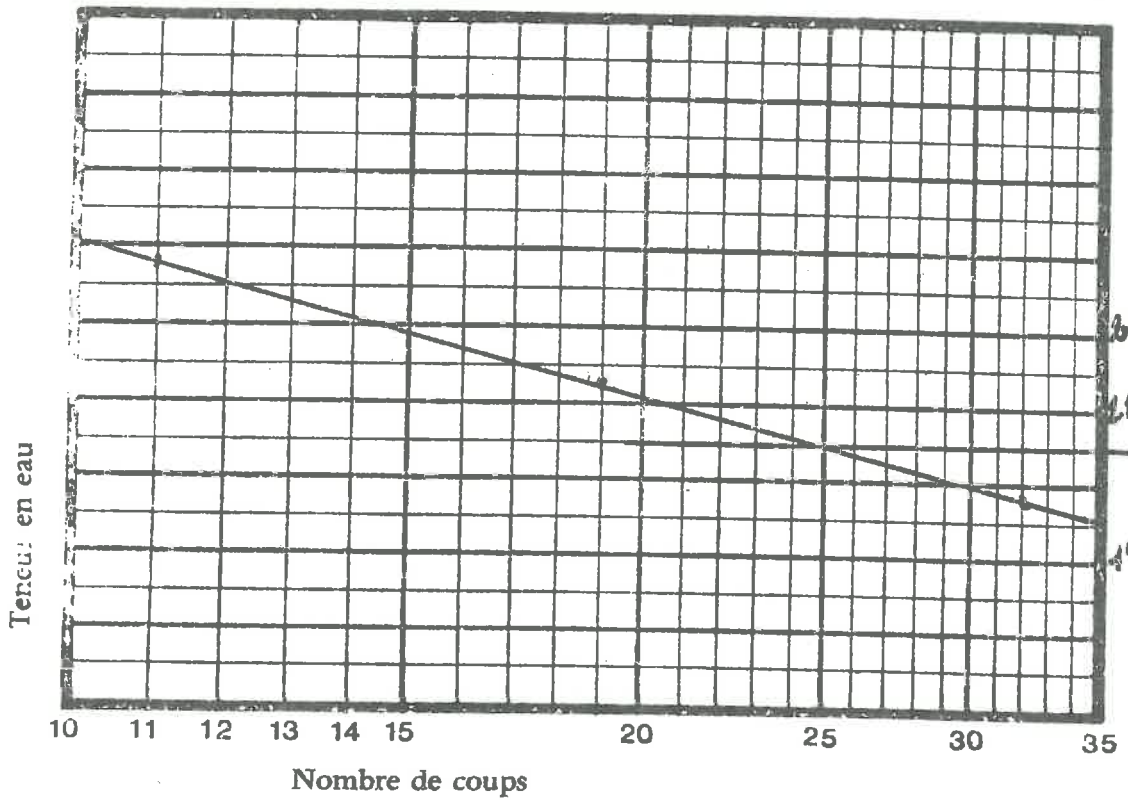
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 28 / 3 / 77
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : ST MARC
Sondage n° : P 6
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	11	19	32				
N° de la Tare	10	11	12				13
Tare	45.3550	46.9270	45,1617				47.6242
Poids humide avec tare	109.4531	94.8422	92.4813				60.5305
Poids sec avec tare	91.0444	86.4387	84.6442				58.6837
Poids d'eau	18.4087	8.4035	7.8371				1.8468
Poids de sol sec	45.6894	39.5117	39.4825				11.0595
Teneur en eau (%)	22.78	21.26	19.84				16.69



W_L = 20,50

W_P = 16,69

I_P = 3,81

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M. S.

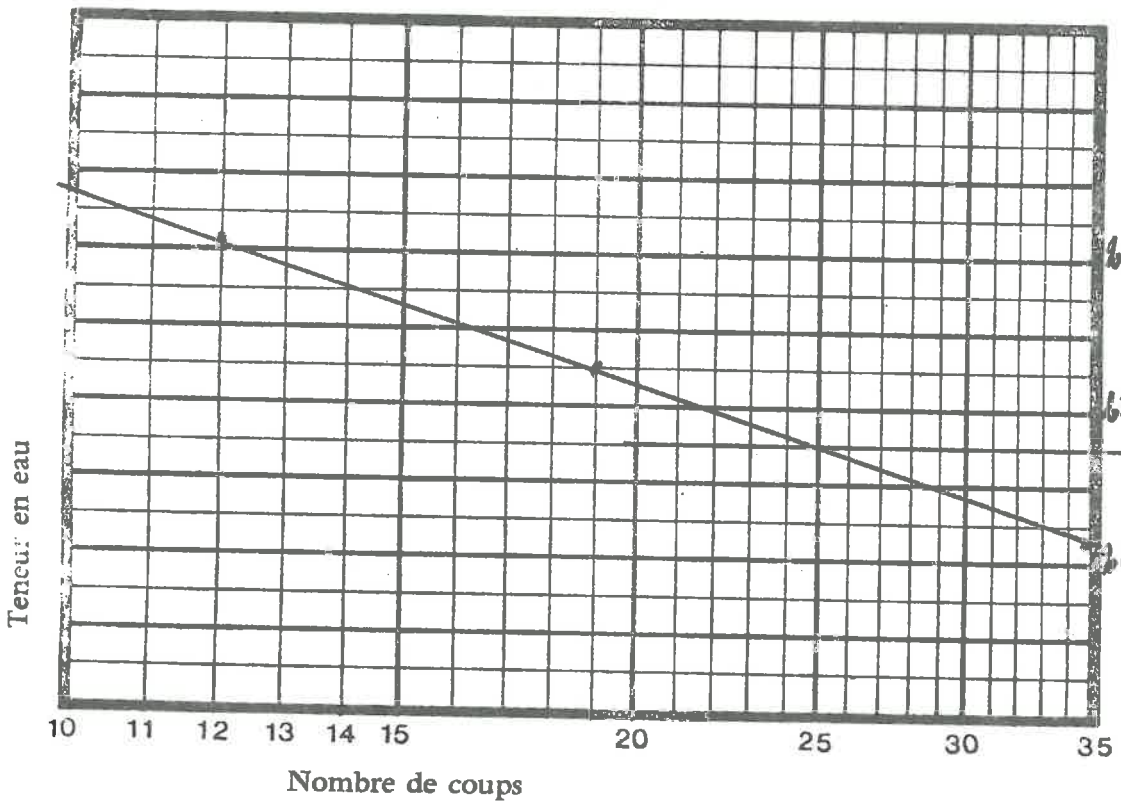
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 28 / 2 / 77
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : La ville
Sondage n° : P 4
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups							
N° de la Tare	1	2	3				1
Tare	48.6656	46.8011	44.6523				49.8056
Poids humide avec tare	101.9987	105.0621	98.8367				72.0027
Poids sec avec tare	91.6650	94.3611	89.1904				68.9444
Poids d'eau	10.3337	10.7010	9.6463				3.0613
Poids de sol sec	42.9994	47.5600	47.5381				19.1358
Teneur en eau (%)	24.03	22.50	20,29				15,99



$W_L = 21,50$

$W_P = 15,99$

$I_P = 5,51$

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S

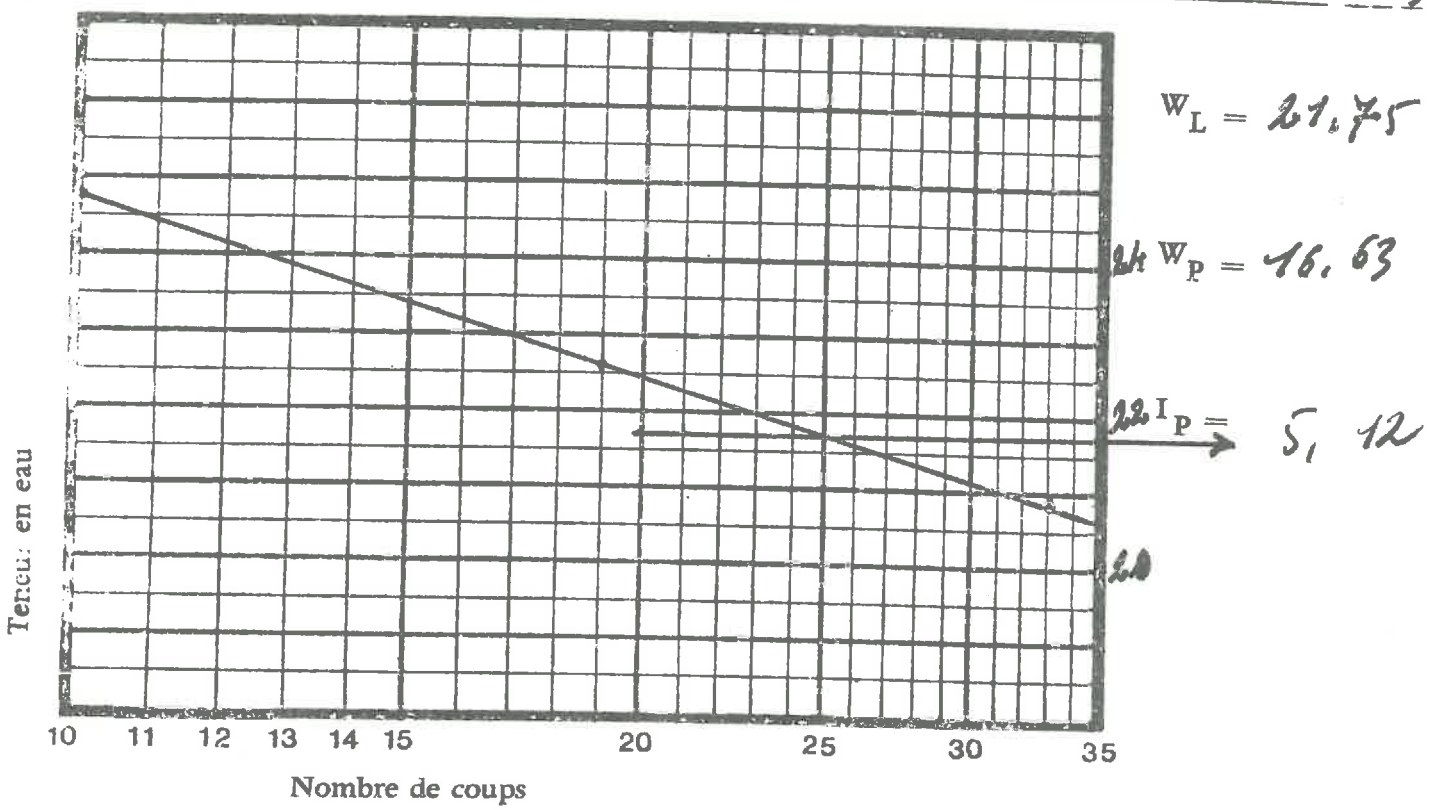
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 2/2/72
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : Lagadeau
Sondage n° : P3
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	10	19	33				
N° de la Tare	25	26	27				28
Tare	43,3635	52,2337	49,8372				52.6700
Poids humide avec tare	93,3992	98.8044	96,4731				70.4642
Poids sec avec tare	83,4713	90.2316	88,3962				67.8.926
Poids d'eau	9.9279	8.5728	8.07-69				2.5316
Poids de sol sec	40.1078	37.9979	38.5590				15.2226
Teneur en eau (%)	24.72	22.56	20,94				16.63



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S

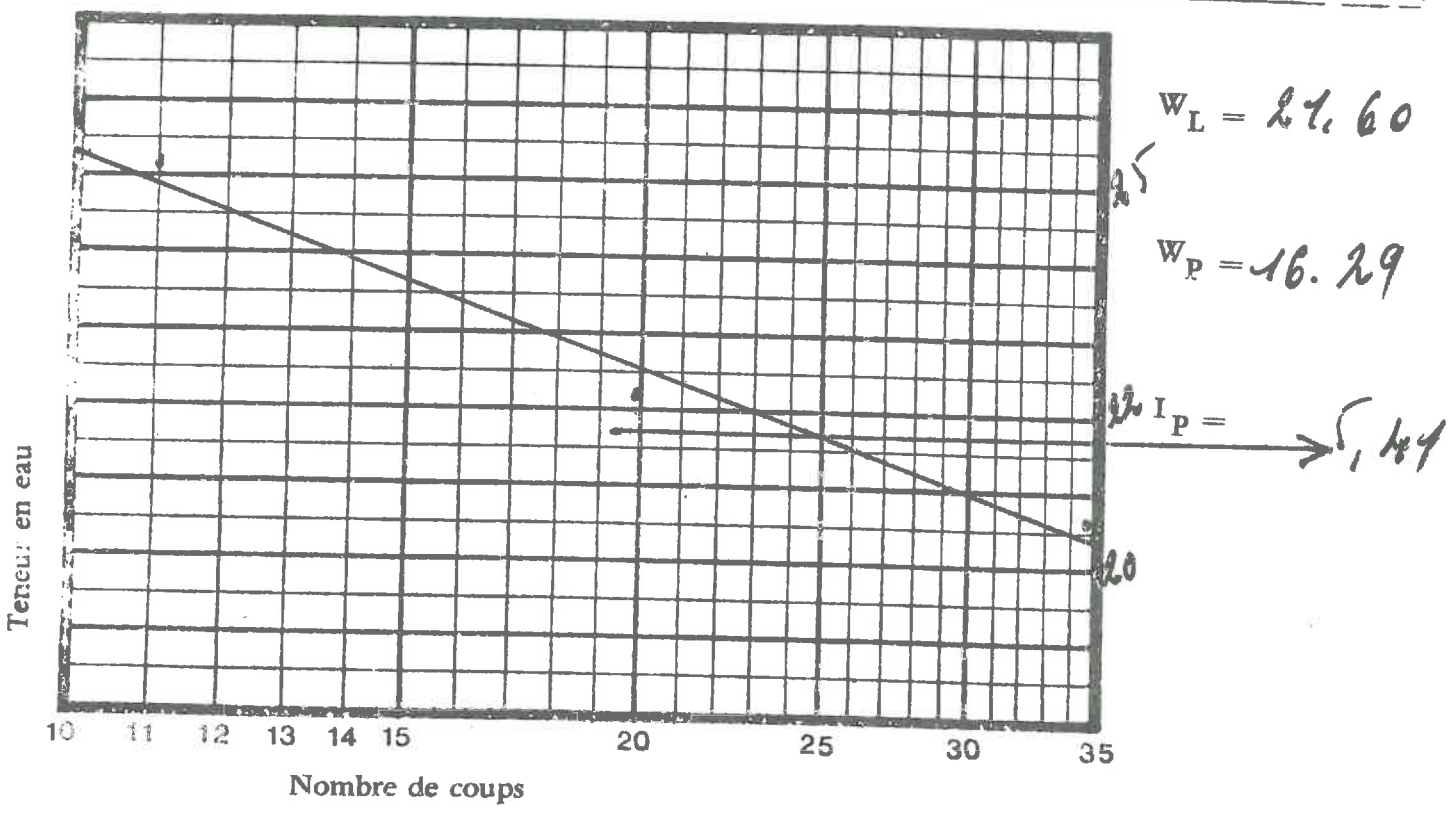
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 1 / 2 / 77
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : Bentegeac
Sondage n° : P 2
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	15	20	35				
N° de la Tare	5	6	7				8
Tare	42,4367	50,6745	51,5241				45,8671
Poids humide avec tare	100,3911	102,4871	99,7445				65,5978
Poids sec avec tare	88,7663	93,0765	91,5120				62,8330
Poids d'eau	11,6248	9,4106	8,2325				2,7648
Poids de sol sec	46,3296	42,402	33,9879				16,9659
Teneur en eau (%)	25,09	22,19	20,58				16,29



W_L = 21,60

W_P = 16,29

I_P = 5,44

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

M.S

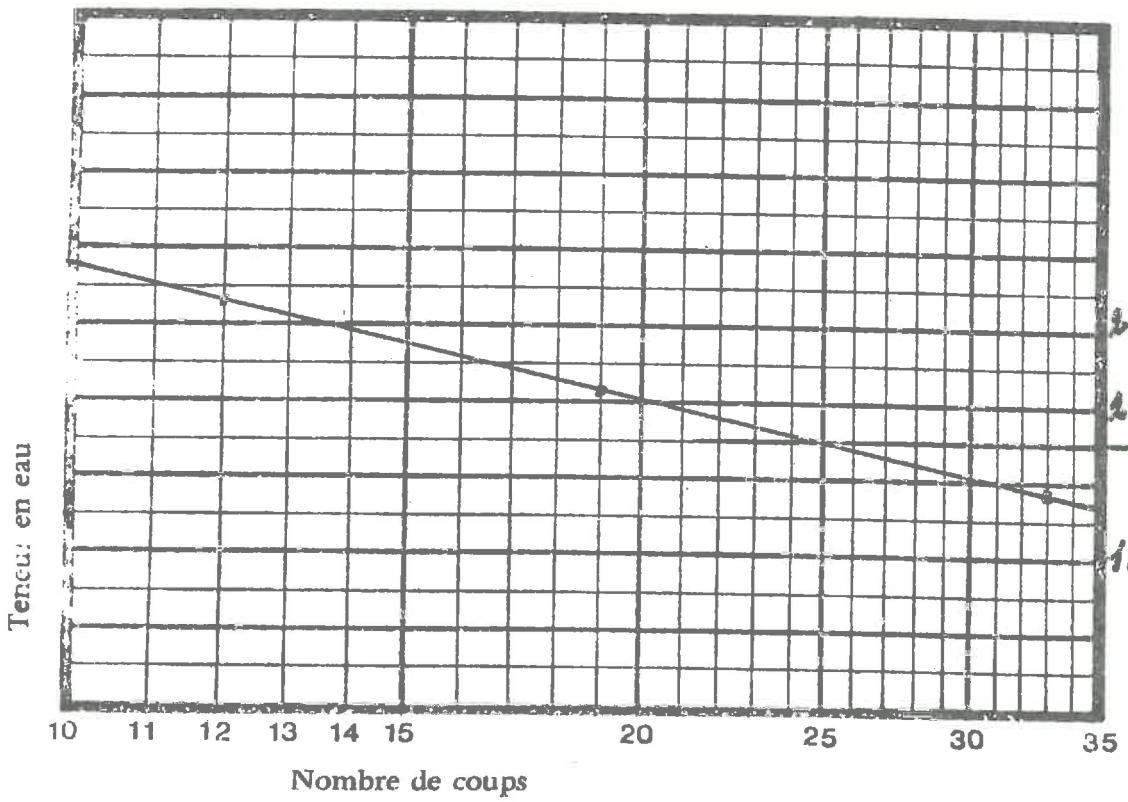
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 26 / 2 / 57
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : La Cour
Sondage n° : P 1
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	12	19	33				
N° de la Tare	14	15	16				17
Tare	51.6068	51.0226	50.0090				48.1257
Poids humide avec tare	107.1730	114.2703	108.5891				
Poids sec avec tare	97.3795	103.6661	99.2548				
Poids d'eau	9.7935	10.6046	9.3373				
Poids de sol sec	45.7727	52.6435	49.2428				
Teneur en eau (%)	21,39	20,14	18.96				



W_L = 19,50

W_P =

I_P = < 3

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES TECHNIQUES ET DE RECHERCHES TECHNOLOGIQUES
POUR L'AGRICULTURE, LES FORÊTS ET L'ÉQUIPEMENT RURAL

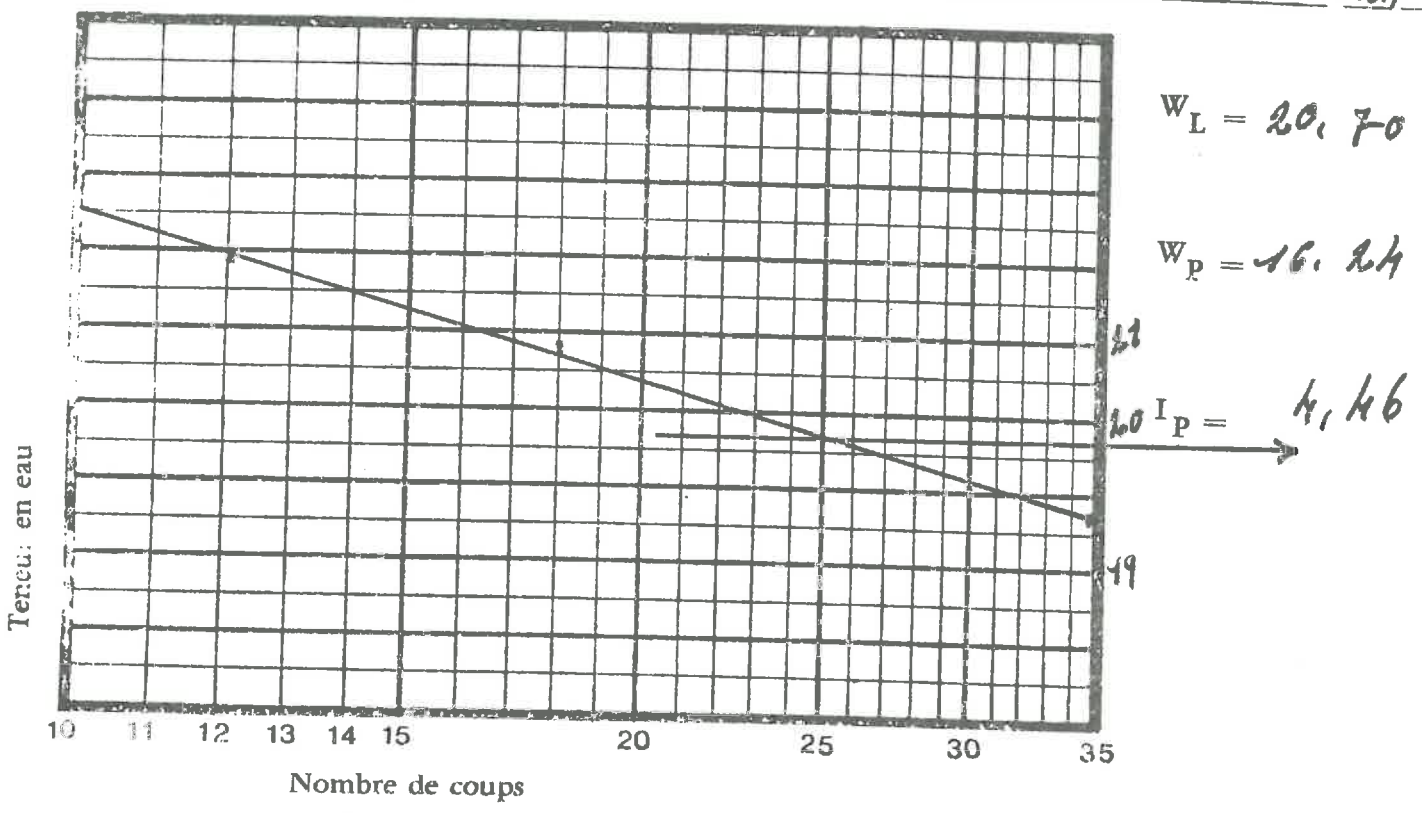
Laboratoire de Mécanique des Sols
de l'Échelon :

LIMITES D'ATTERBERG
(Liquidité - Plasticité)

Dossier n° :
Nature de l'étude :
Date de l'essai : 26 / 3 / 87
Opérateur :

Echantillon n° :
Provenance et date : La Ville
Sondage n° : P 10
Profondeur :

	LIQUIDITÉ					PLASTICITÉ	
Nombre de coups	12	18	35				
N° de la Tare	25	26	27				28
Tare	43,3630	52,2340	43,8372				52,4704
Poids humide avec tare	96.3154	105.1600	106.1501				70,7330
Poids sec avec tare	86,7673	96,0161	96.8968				68.2087
Poids d'eau	9,5478	9.1439	9,2533				2,5243
Poids de sol sec	43,4043	43.7821	47,0596				15,5383
Teneur en eau (%)	21.99	20,88	19,66				16,24



W_L = 20,70

W_P = 16,24

I_P = 4,46

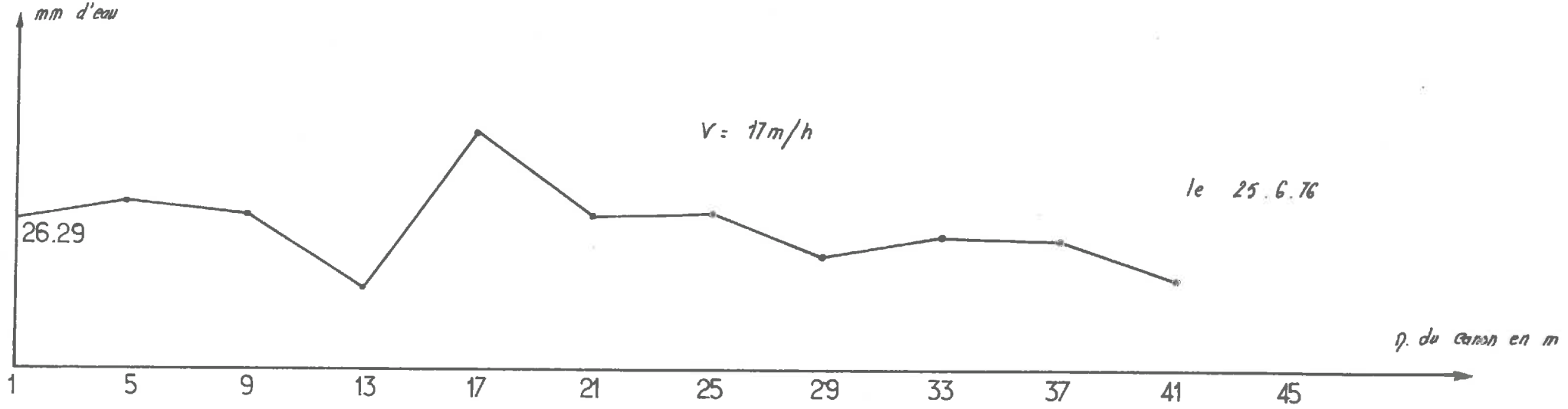
- A N N E X E - 15 -

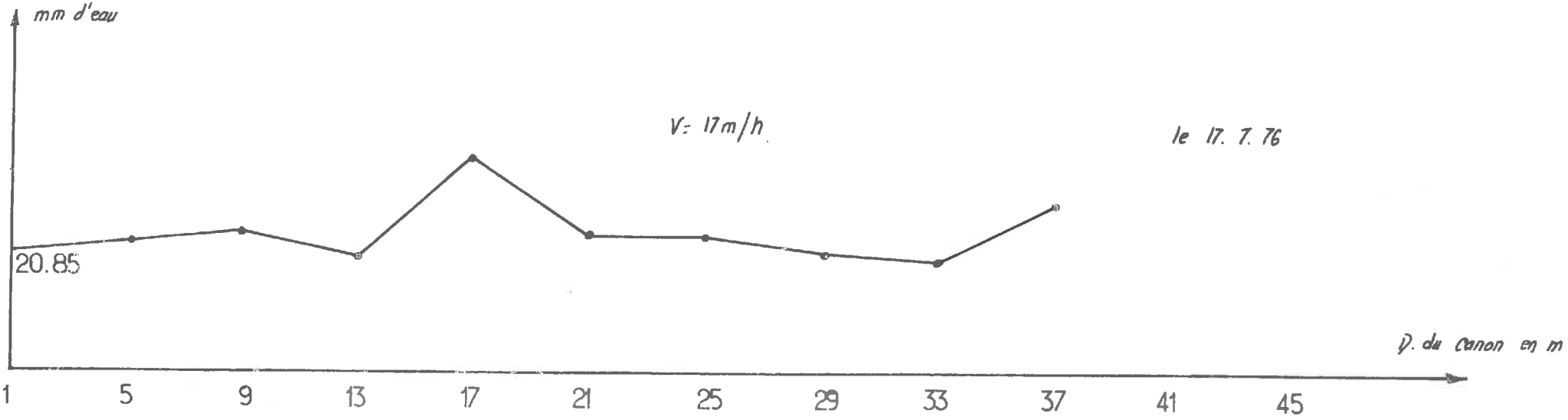
LAIBEAU

Parcelle : 1

Appareil : DIPALMA Redoutable Ø 80

Canon : RAIN IBRID 105 c buse pastille 25.4 mm



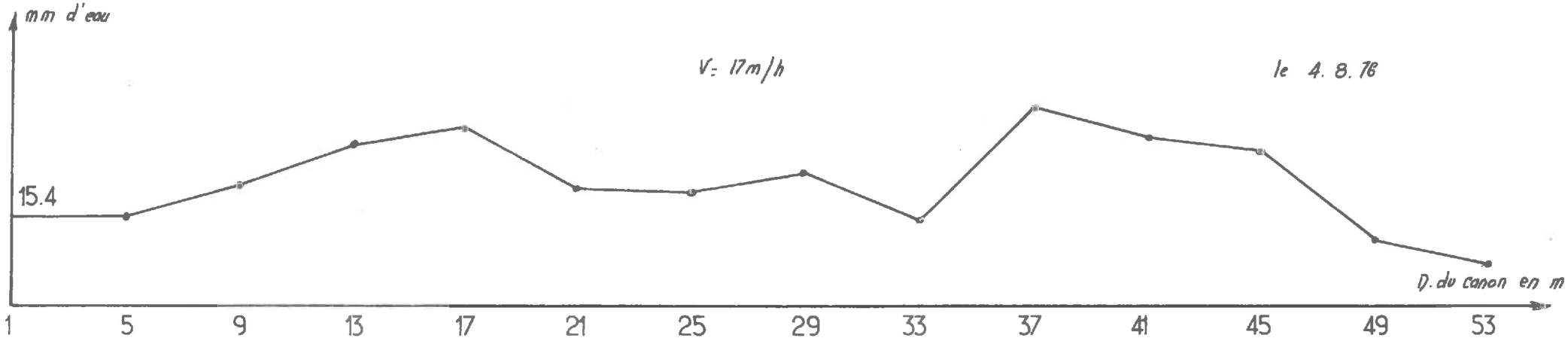


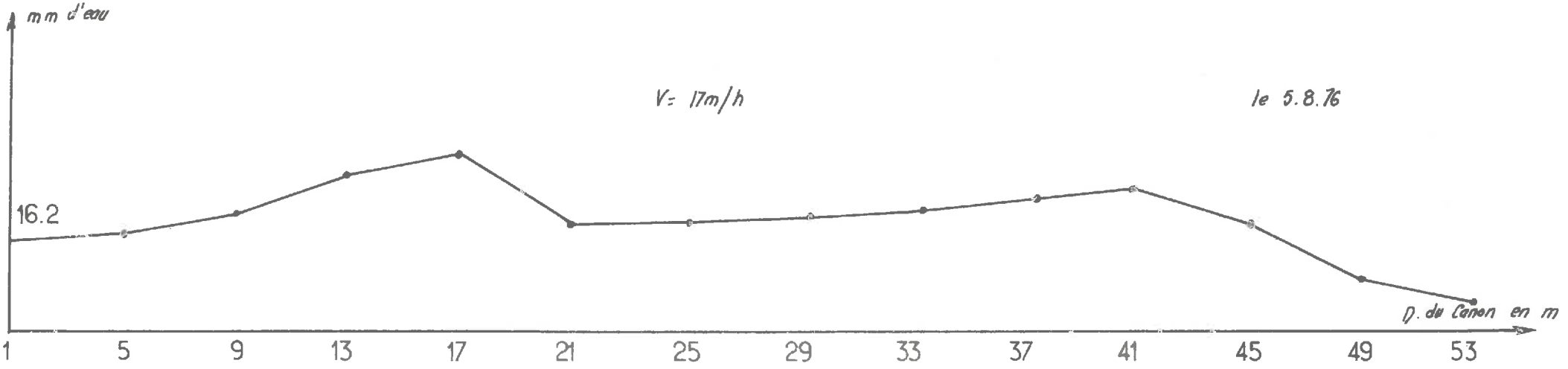
LAIBEAU

Parcelle : 1

Appareil : DIPALMA Redoutable Ø 80

Canon : RAIN BRID 105 c buse pastille 25.4 mm



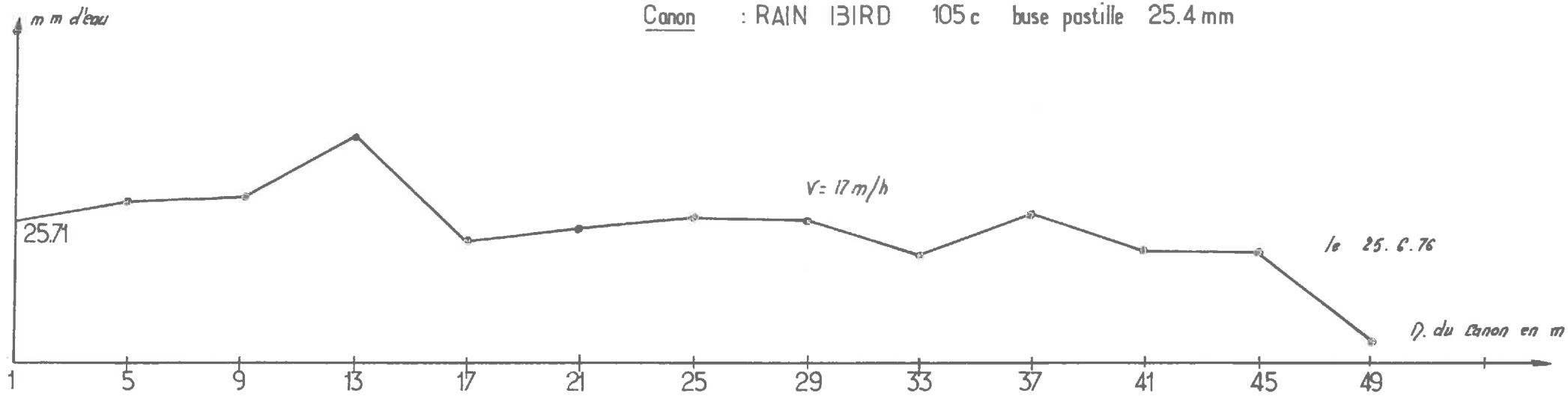


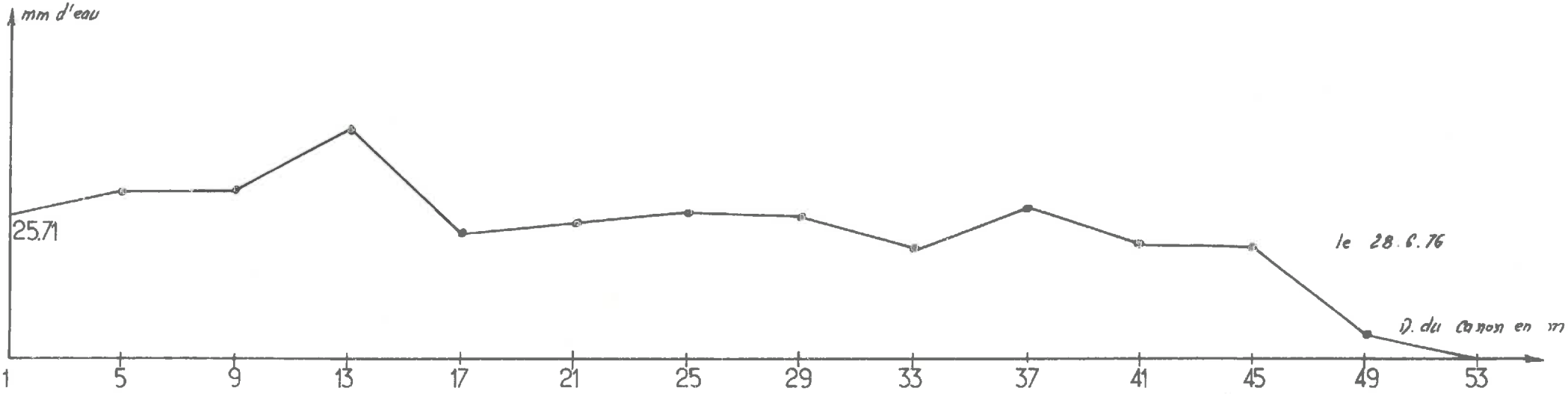
BENTEGEAL

Parcelle : 2

Appareil : DI PALMA Redoutable Ø 80

Canon : RAIN BIRD 105 c buse pastille 25.4 mm



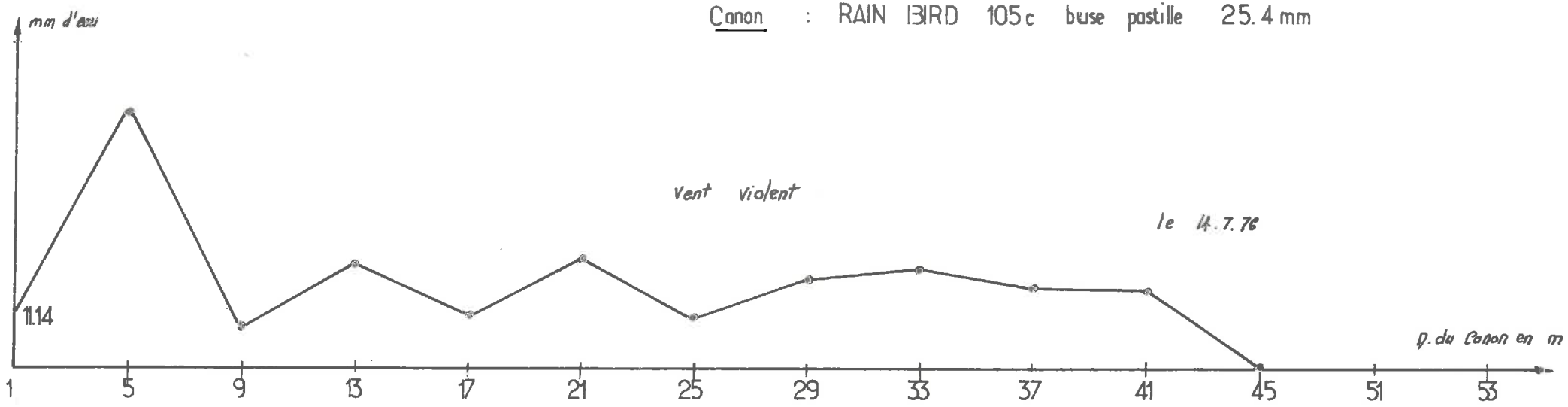


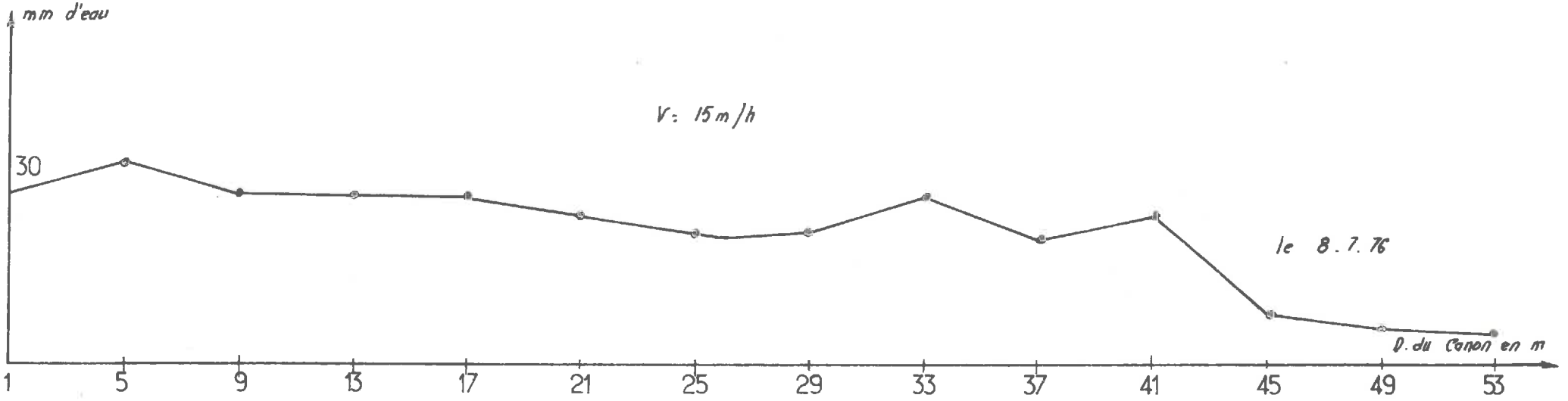
IBENTEGEAL

Parcelle : 2

Appareil : DI PALMA Redoutable Ø 80

Canon : RAIN IBIRD 105 c buse pastille 25.4 mm





IBENTEGEAL

Essais sur banc RAIN GUN 105c

buse pastille 25.4 mm

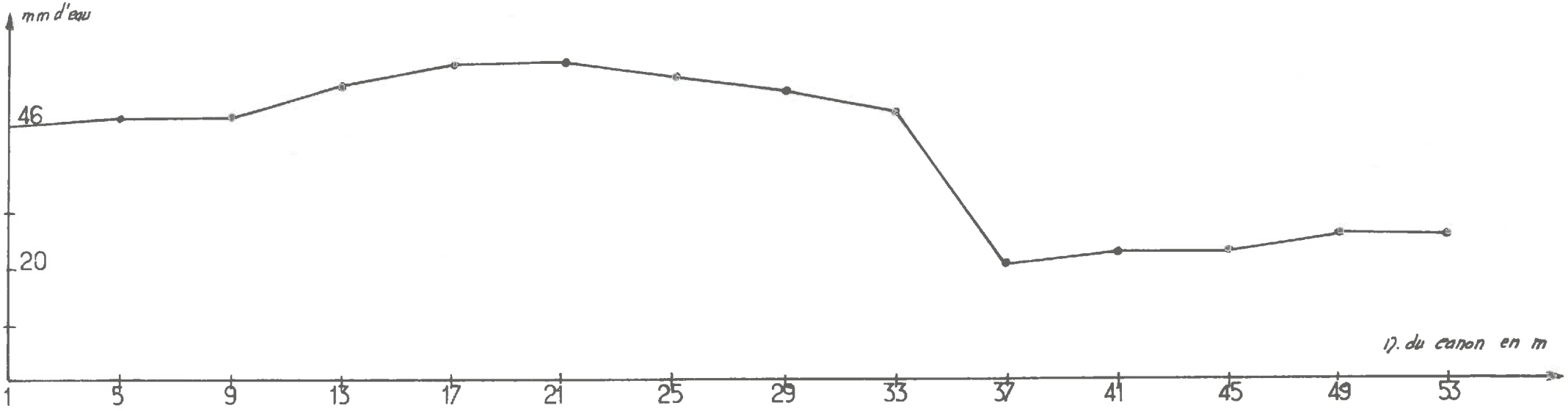
P au Canon : 5 bar

V : 20m/h

E : 80m

Angle : 260°

Courbe témoin d'essai sur banc du RAIN GUN 105c

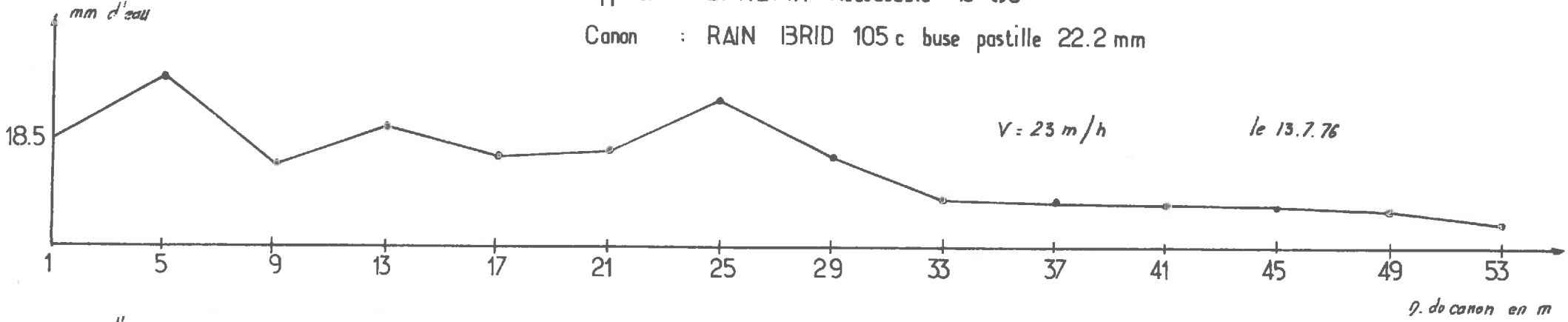


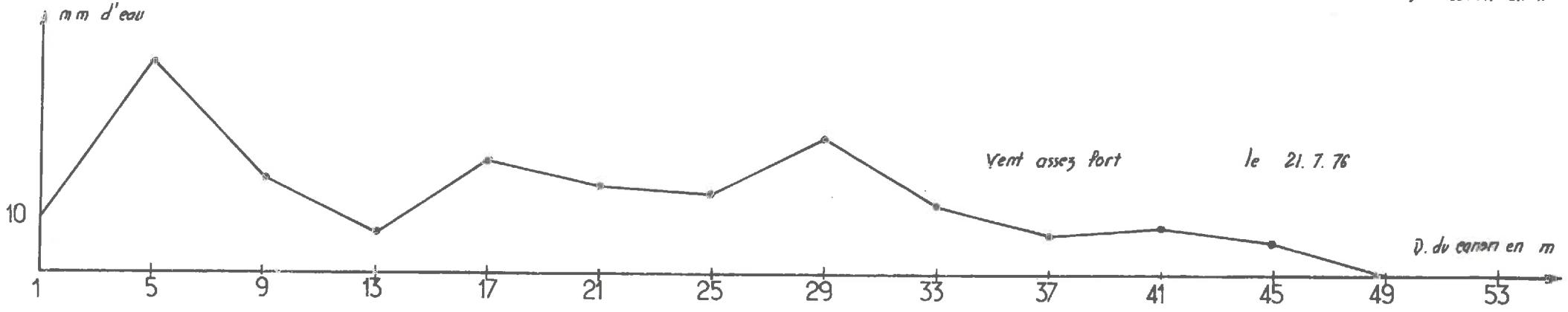
LAVILLE

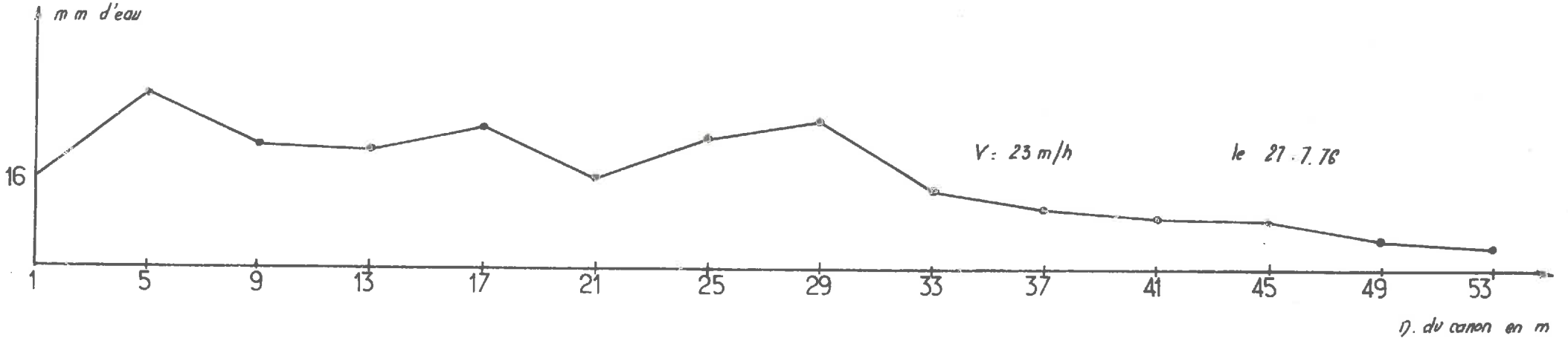
Parcelle : 4

Appareil : DIPALMA Redoutable Ø 830

Canon : RAIN BIRD 105 c buse pastille 22.2 mm





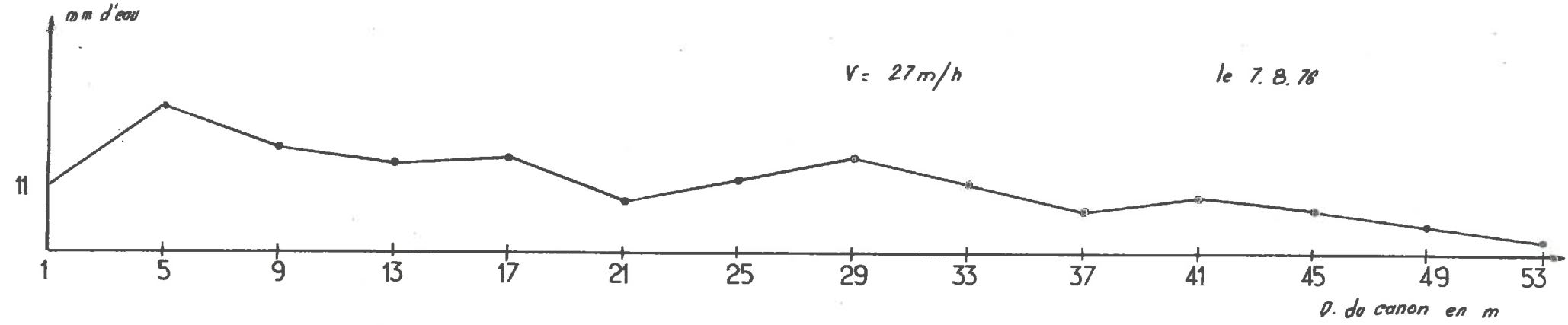


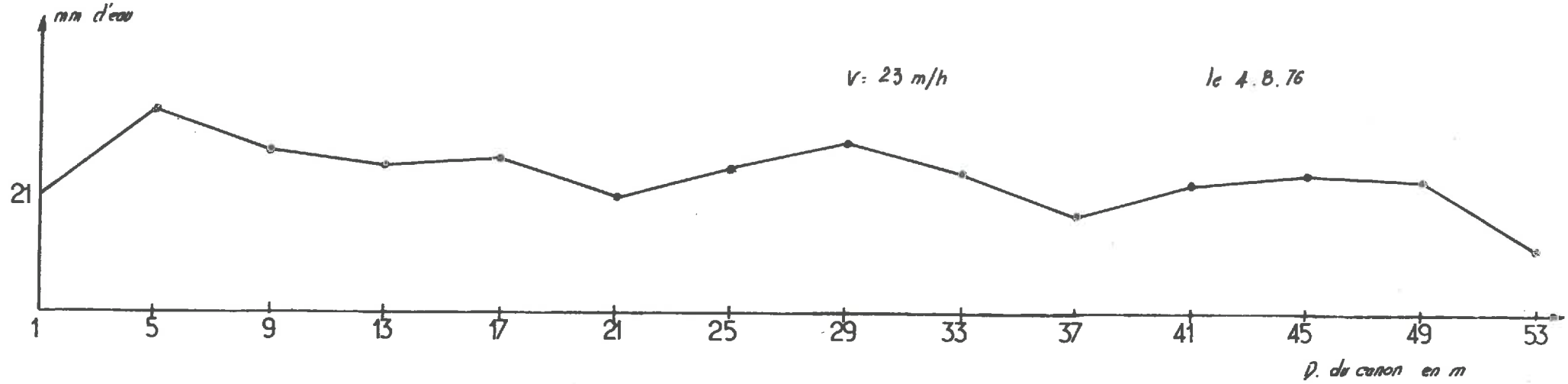
LAVILLE

Parcelle : 4

Appareil : DIPALMA Redoutable Ø 80

Canon : RAIN BIRD 105 c buse pastille 22.2 mm





LAVILLE

Essais sur banc RAIN GUN 105 c

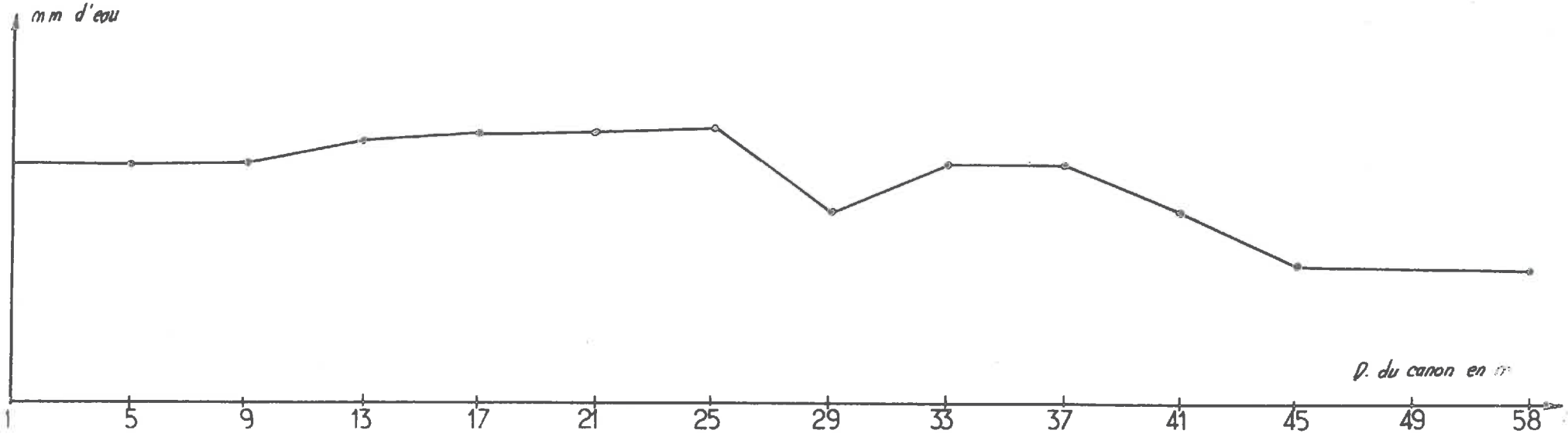
P au Canon : 5 bar

V : 20 m/h

E : 70 m

Angle : 260°

Courbe témoin d'essai sur banc du RAIN GUN 105 c

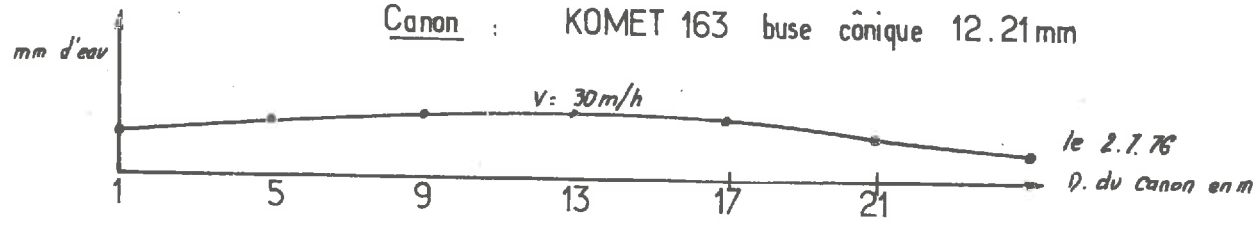


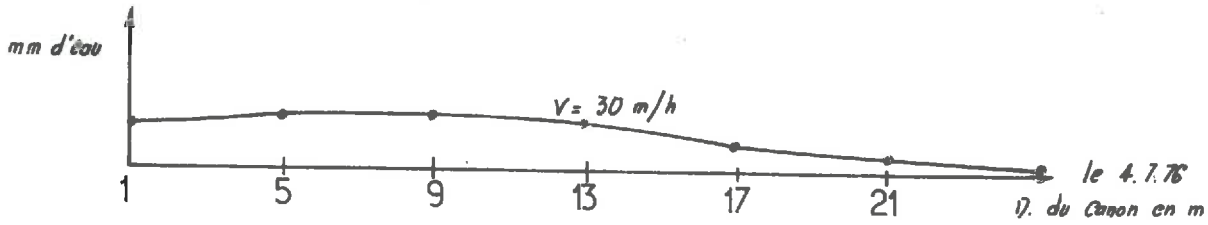
LAGARDERE

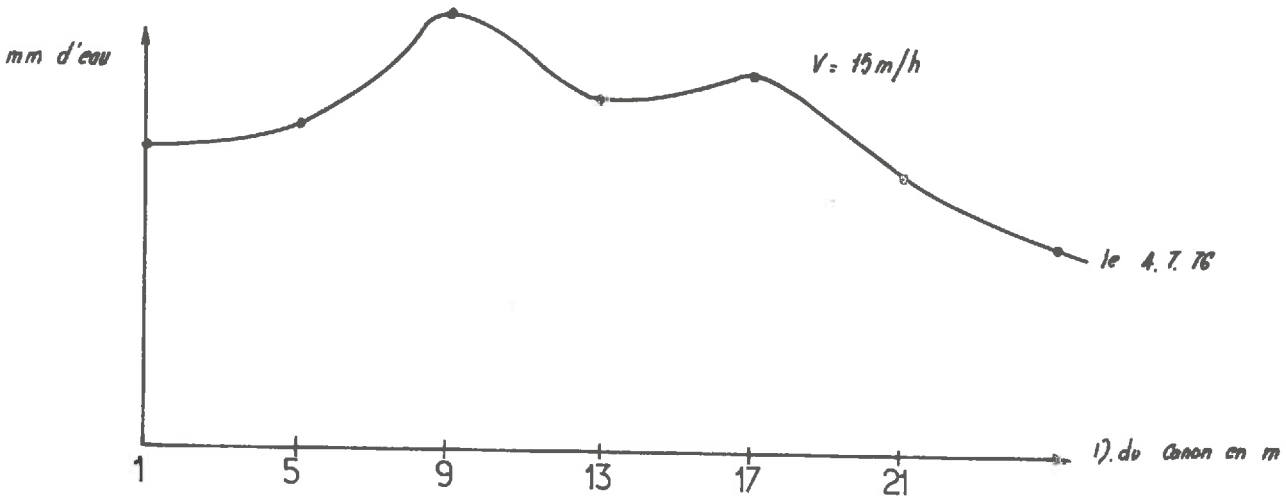
Parcelle : 3

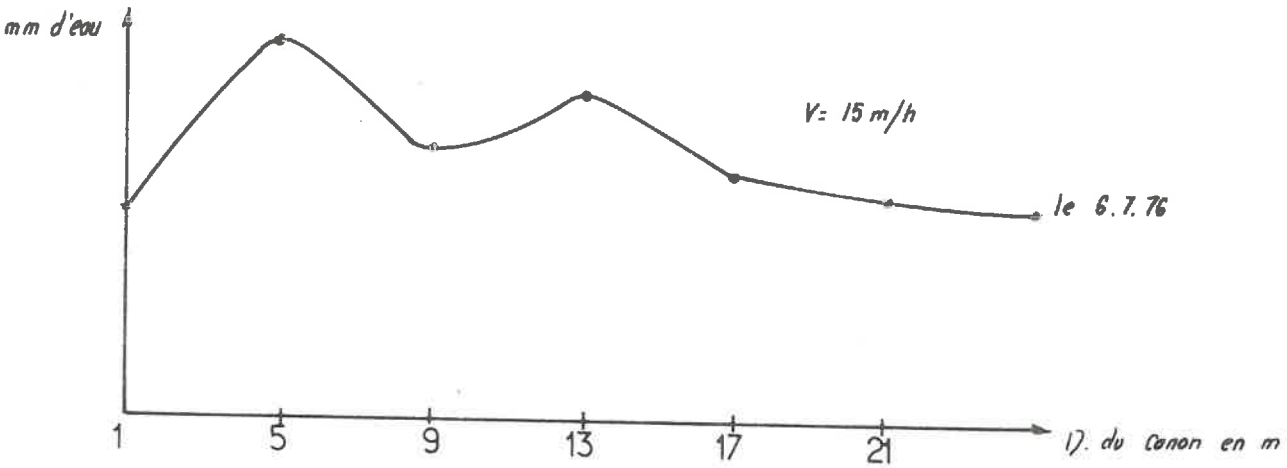
Appareil : PERROT MINIMAT 63 mobile

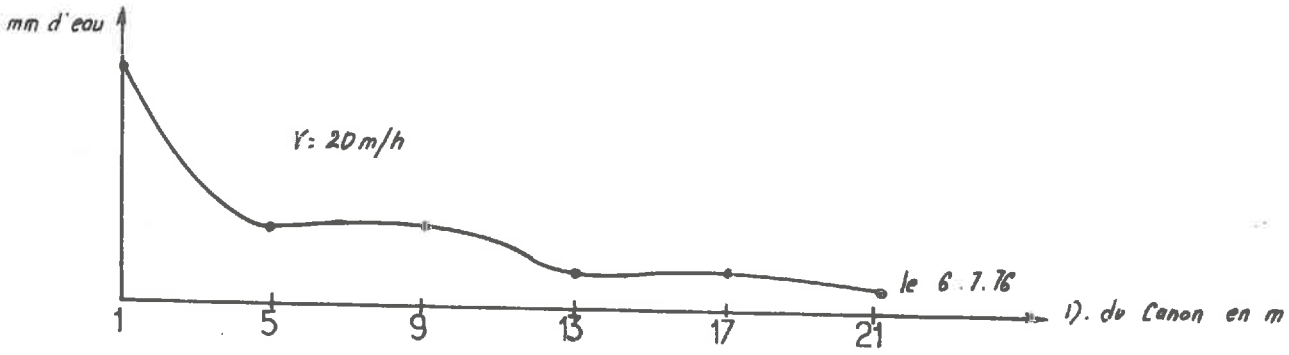
Canon : KOMET 163 buse cônique 12.21 mm









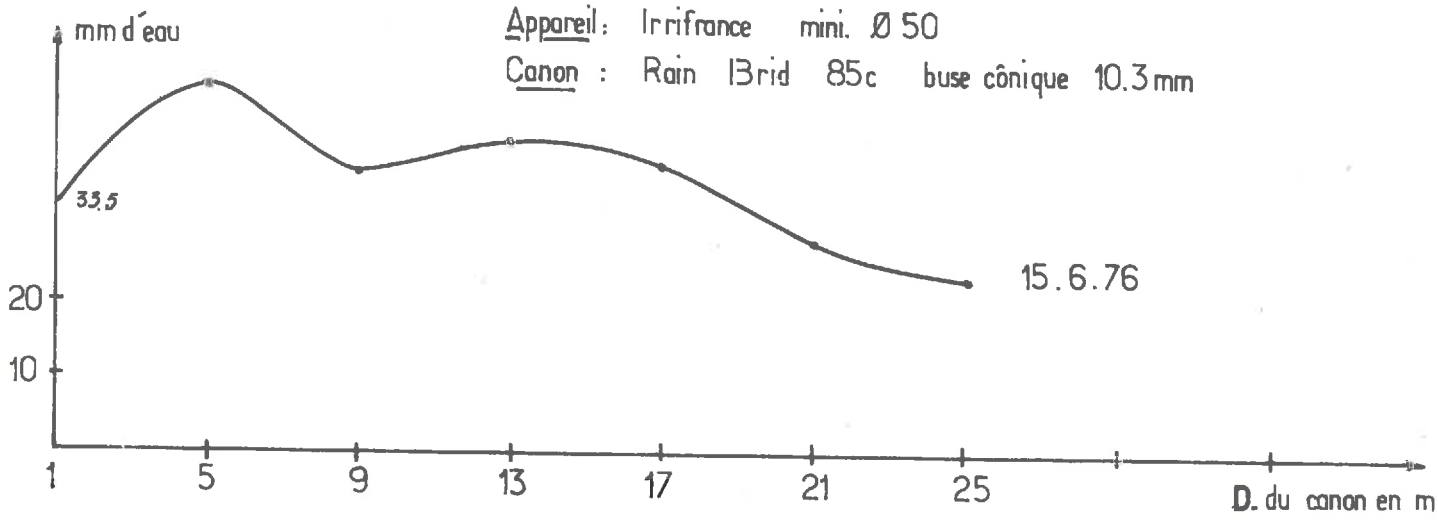


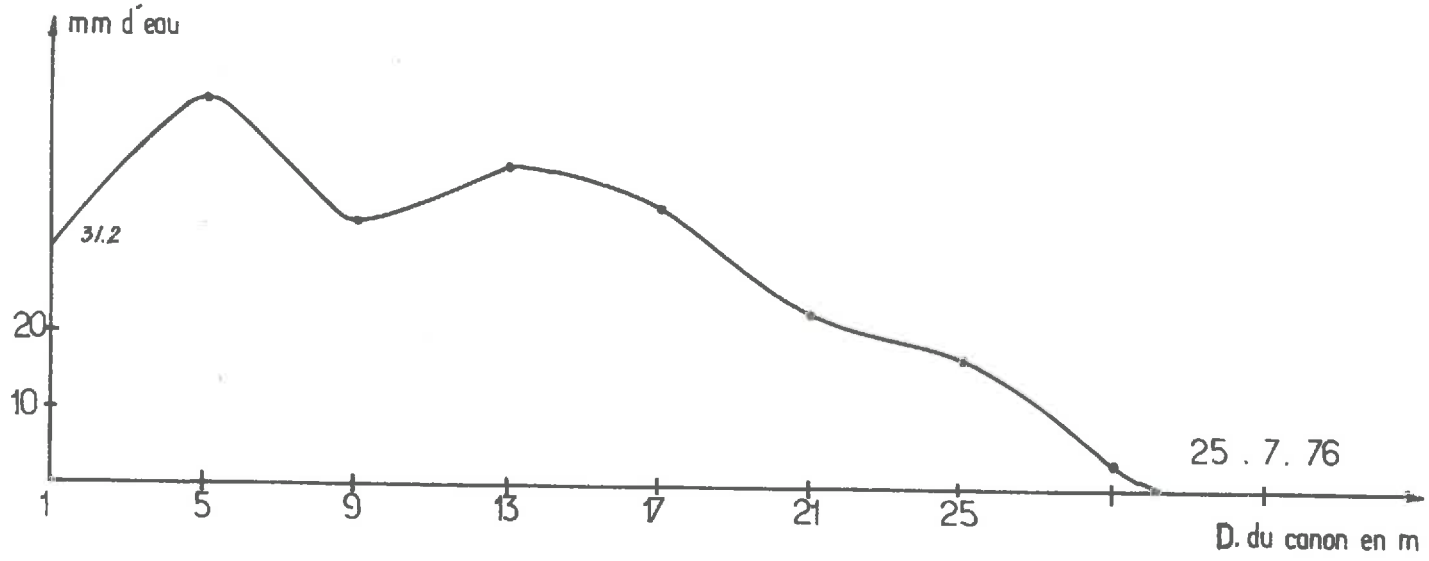
ST. MARC

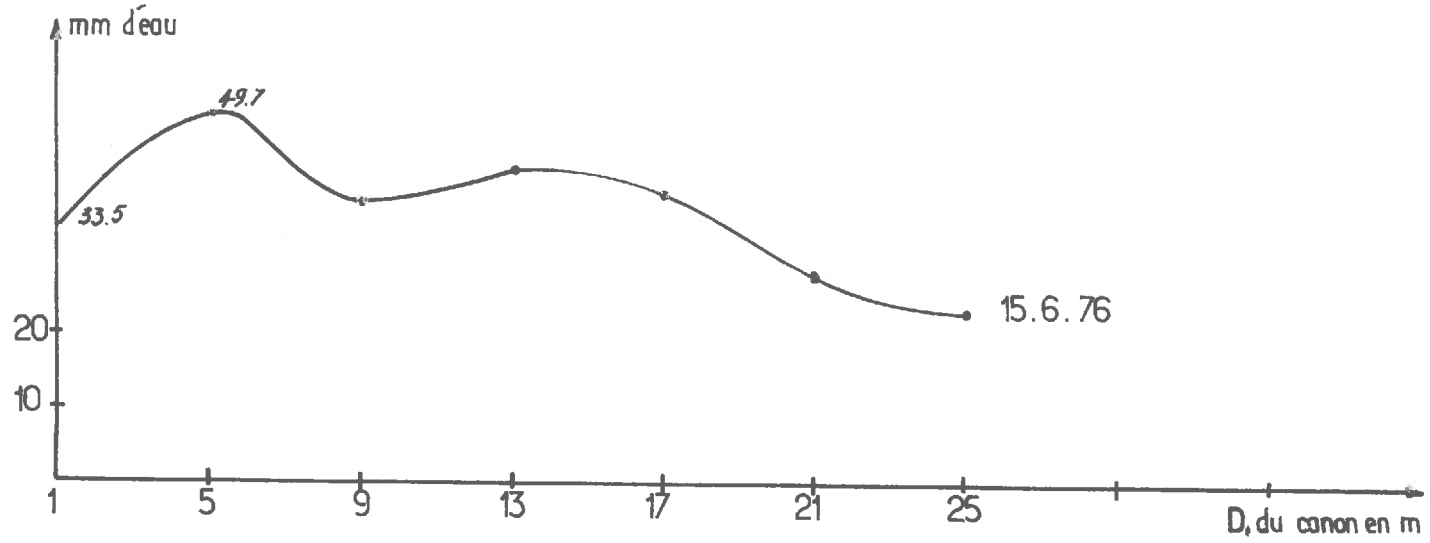
Parcelle : 6

Appareil : Irrifrance mini. Ø 50

Canon : Rain Bird 85c buse cônique 10.3 mm





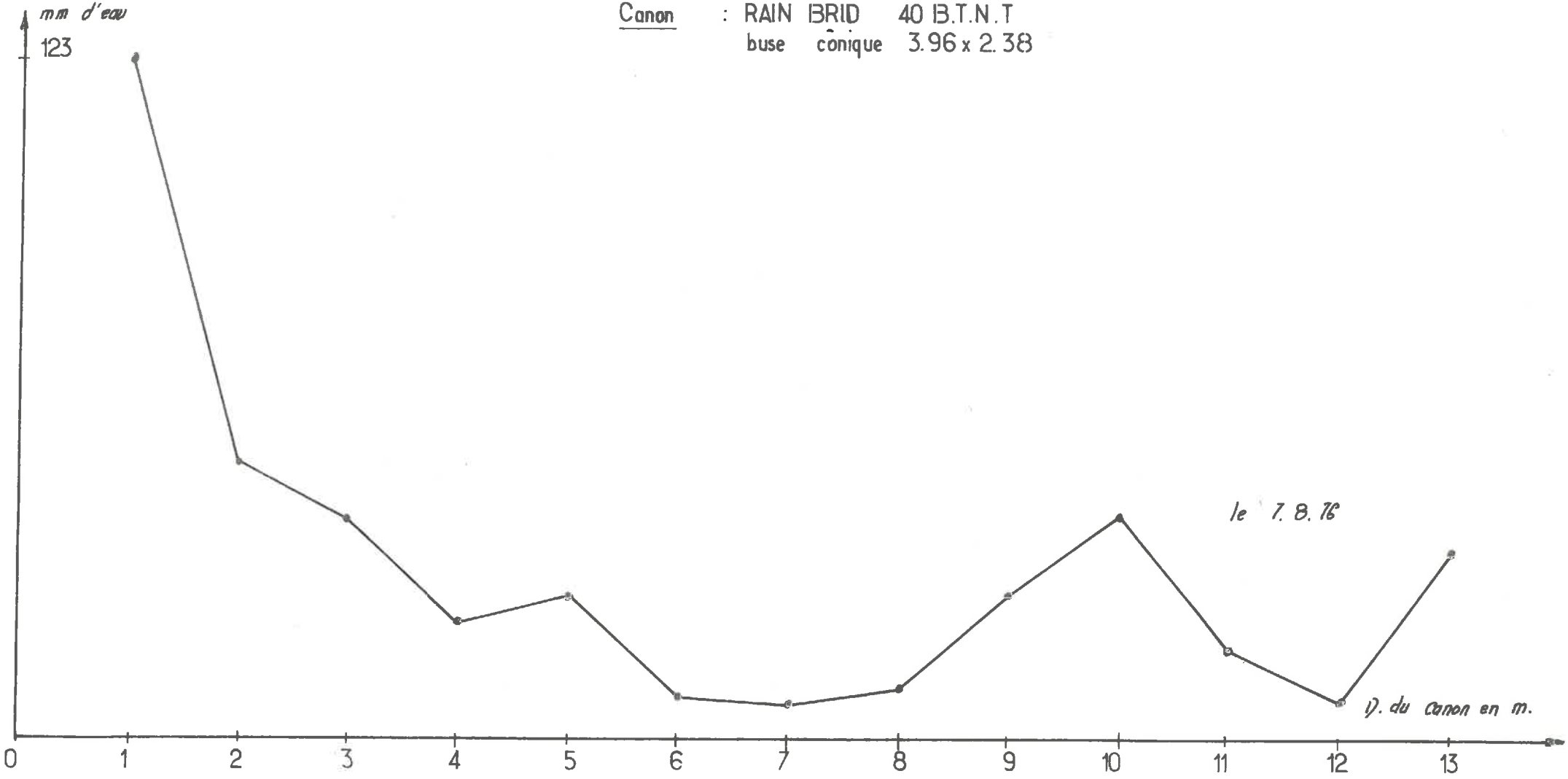


DU THURON

Parcelle : 9 Arrosage durée 20h.

Appareil : ligne mobile avec 6 arroseurs

Canon : RAIN BIRD 40 B.T.N.T
buse conique 3.96 x 2.38

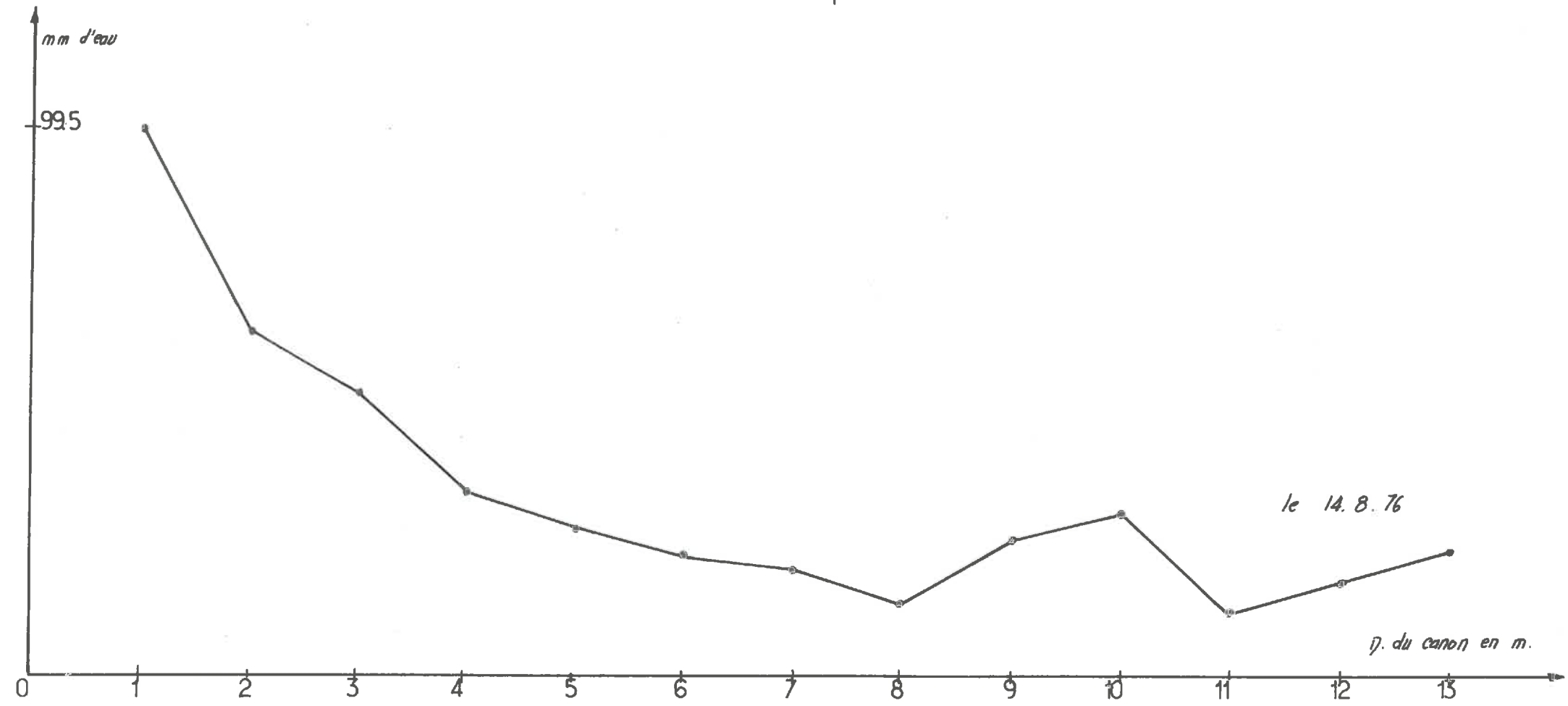


DU THURON

Parcelle : 83 Arrosage durée 12h.

Appareil : ligne mobile avec 6 arroseurs

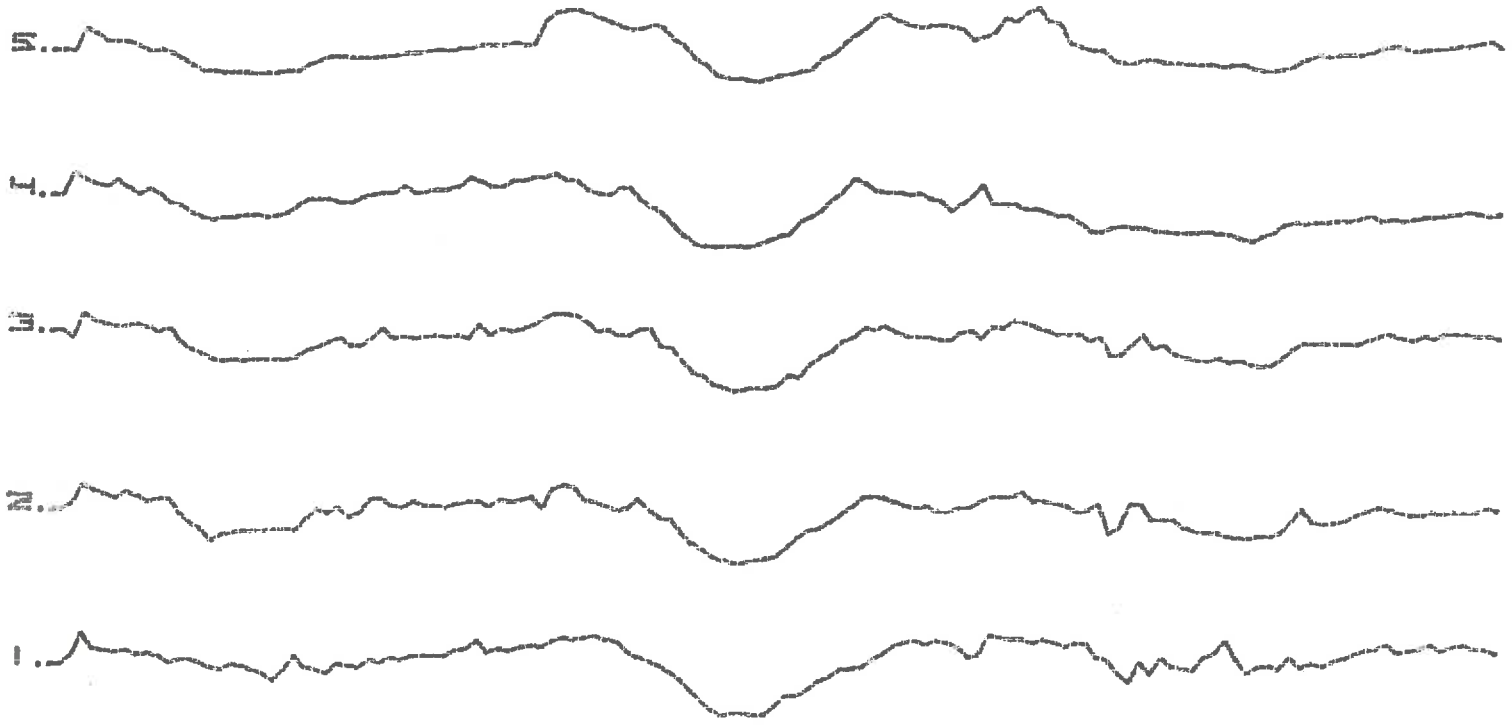
Canon : RAIN BRID 40 IB.T.N.T
buse conique 3.96 x 2.38



- A N N E X E - 16 -

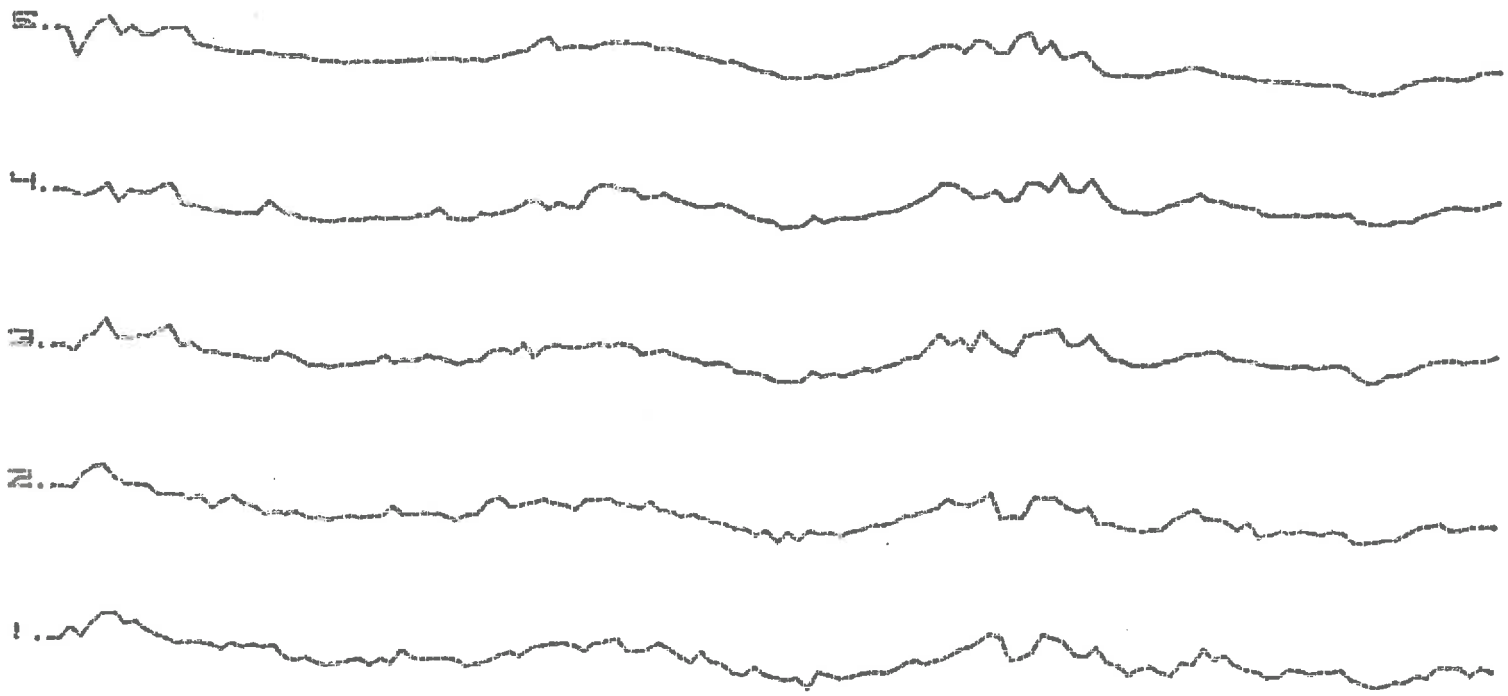
PARCELLE 1.

EMPLACEMENT 1.



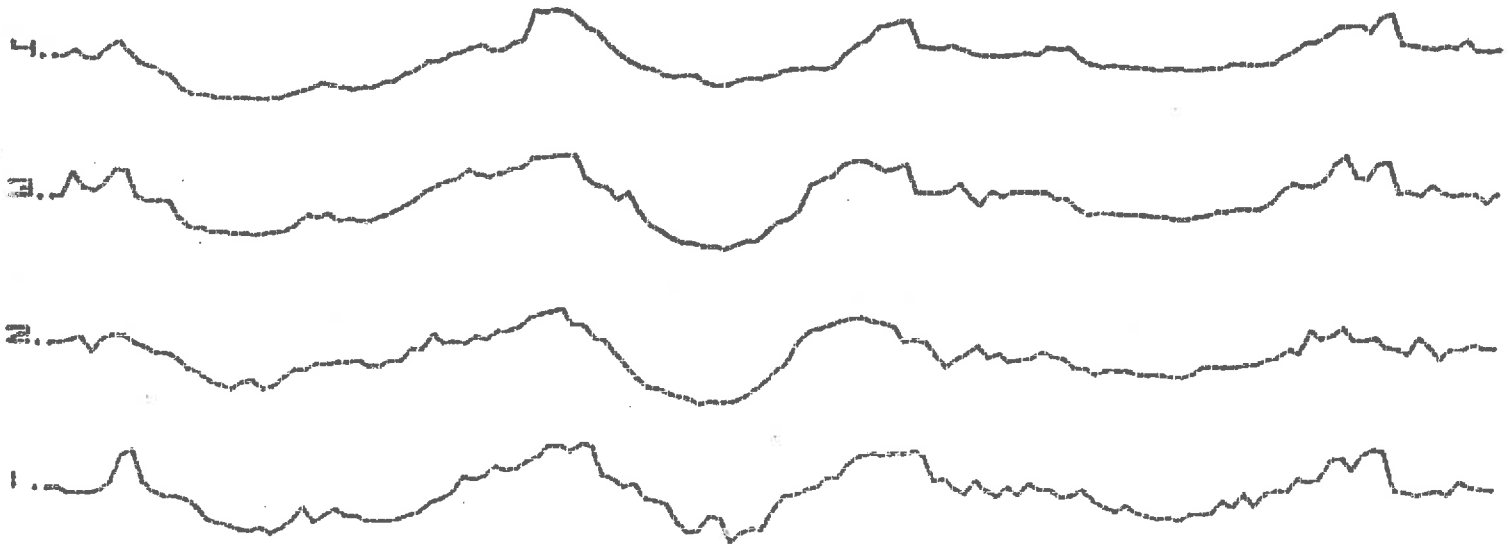
PARCELLE 1.

EMPLACEMENT 2.



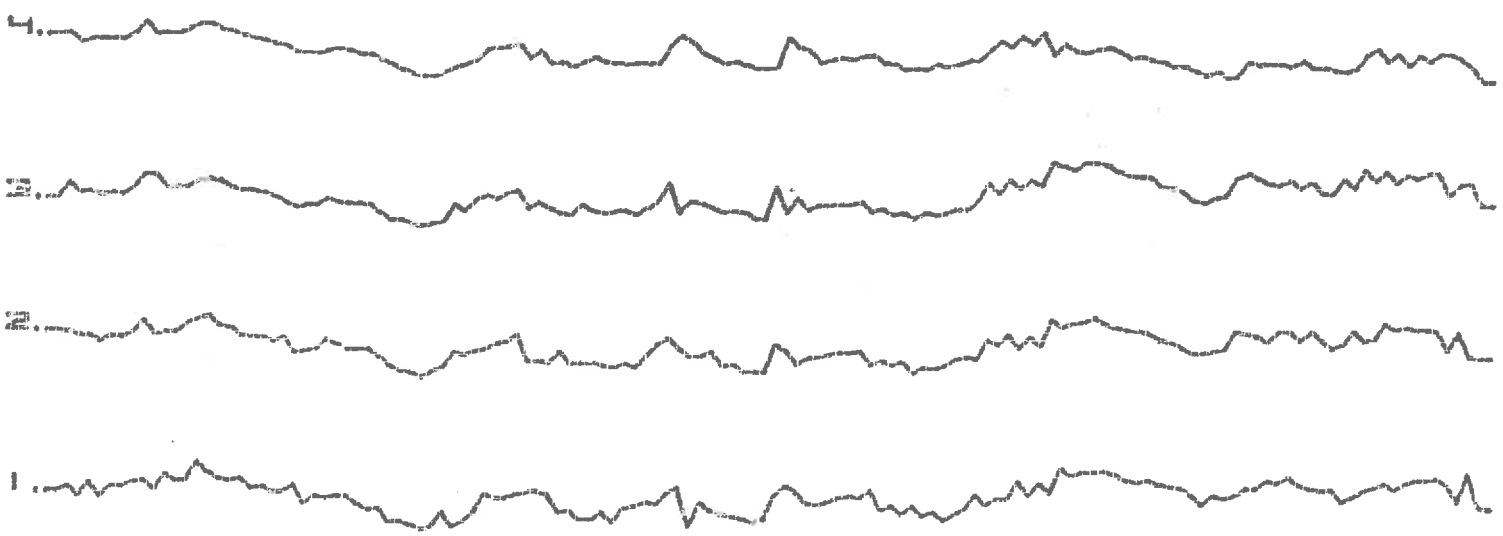
PARCELLE 2.

EMPLACEMENT 1.



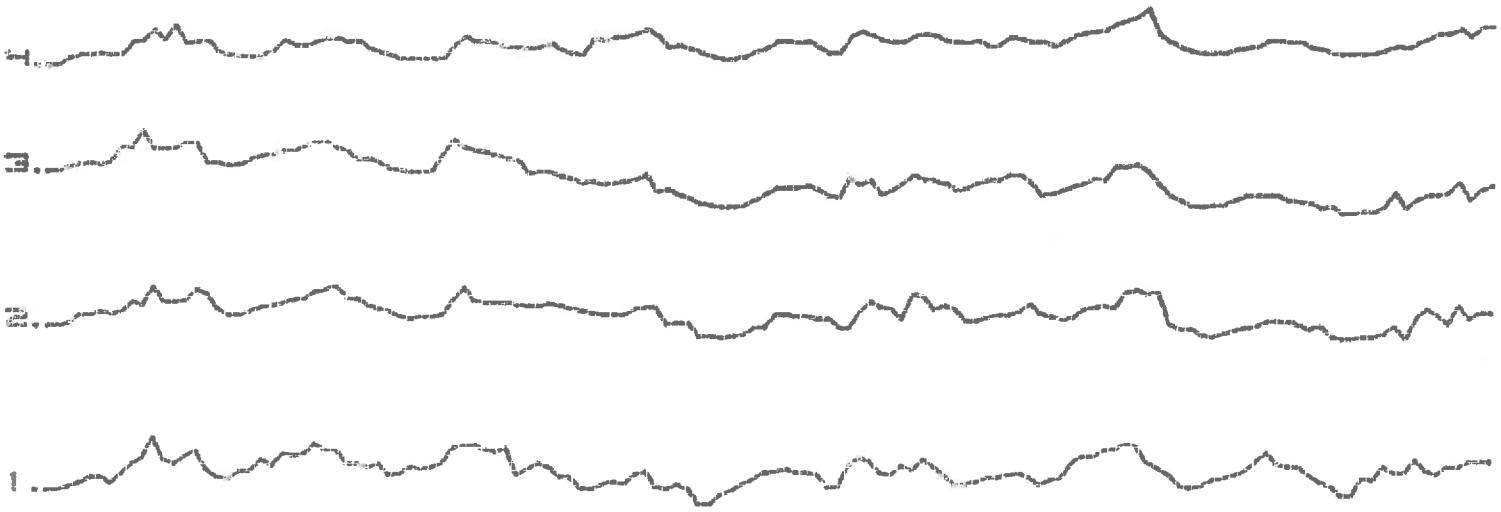
PARCELLE 4.

EMPLACEMENT 1.



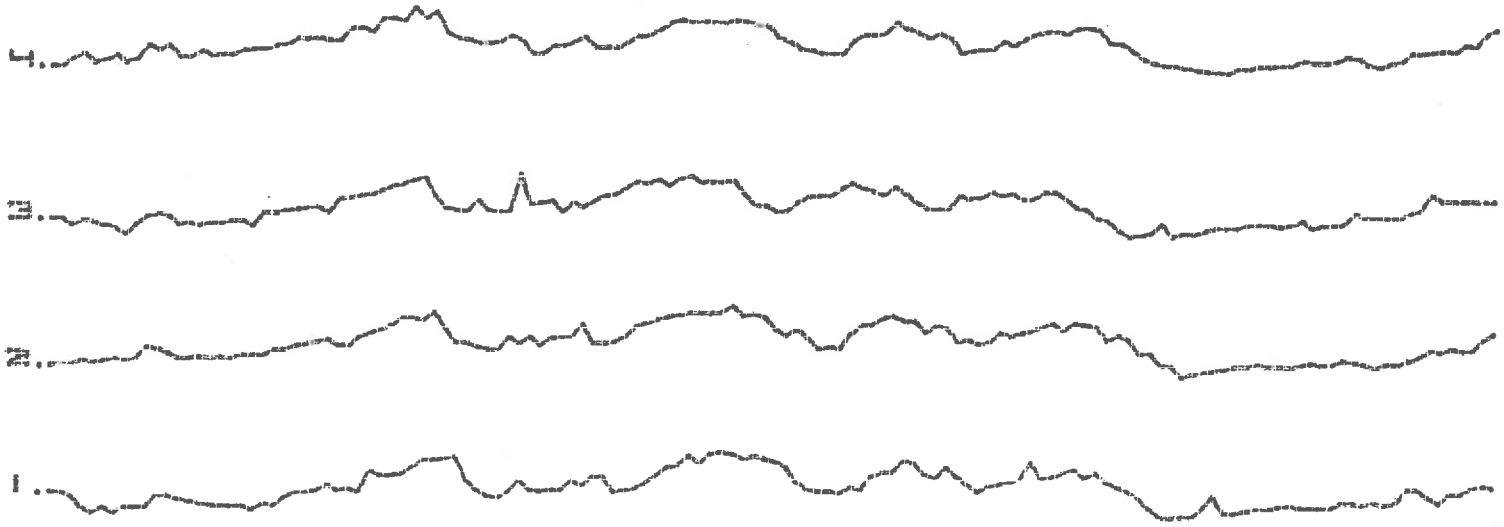
PARCELLE 4.

EMPLACEMENT 2.



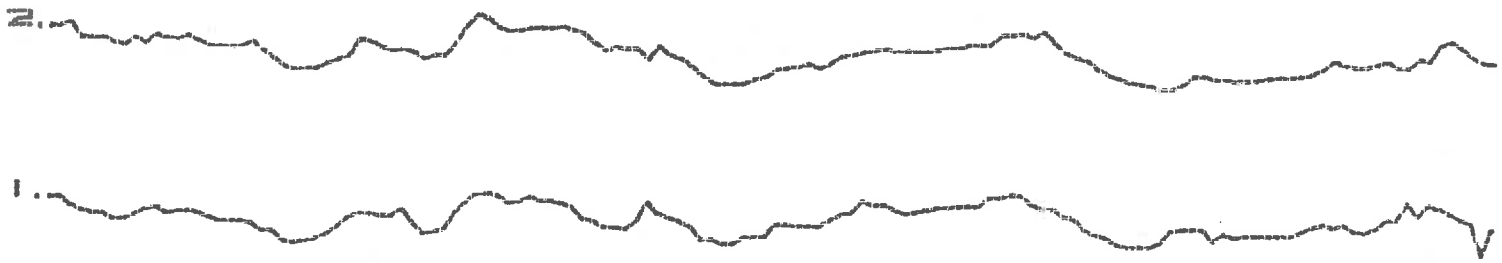
PARCELLE 3.

EMPLACEMENT 2.



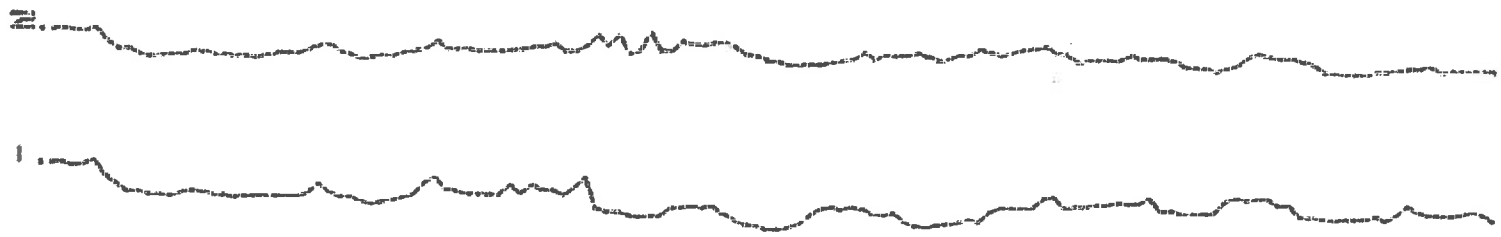
PARCELLE 6.

EMPLACEMENT 1.



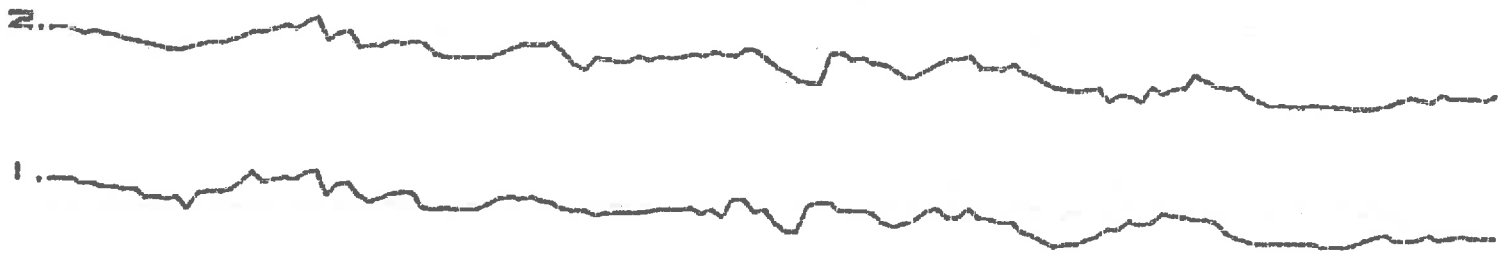
PARCELLE B.

EMPLACEMENT 2.



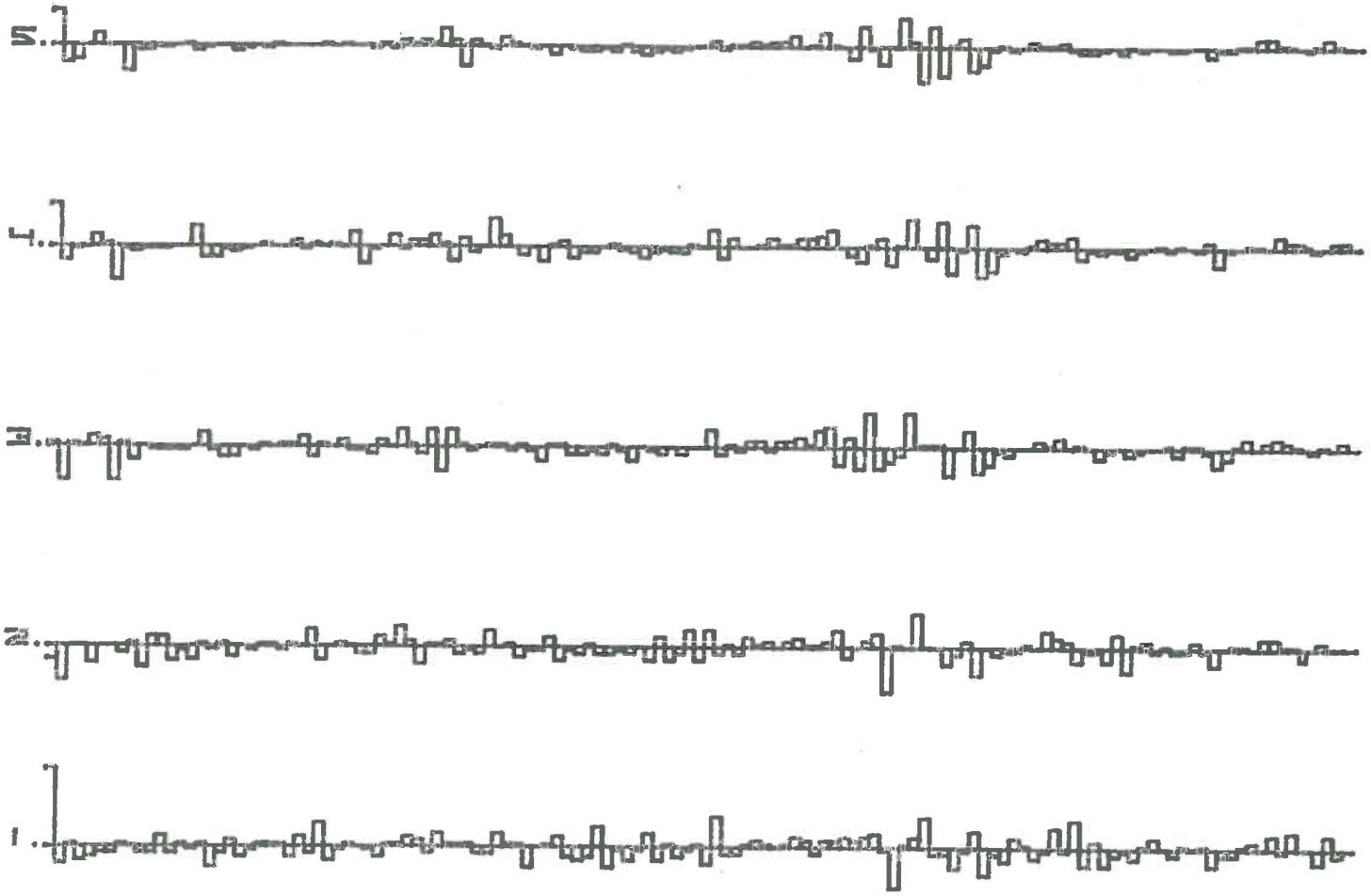
PARCELLE 7.

EMPLACEMENT 1.



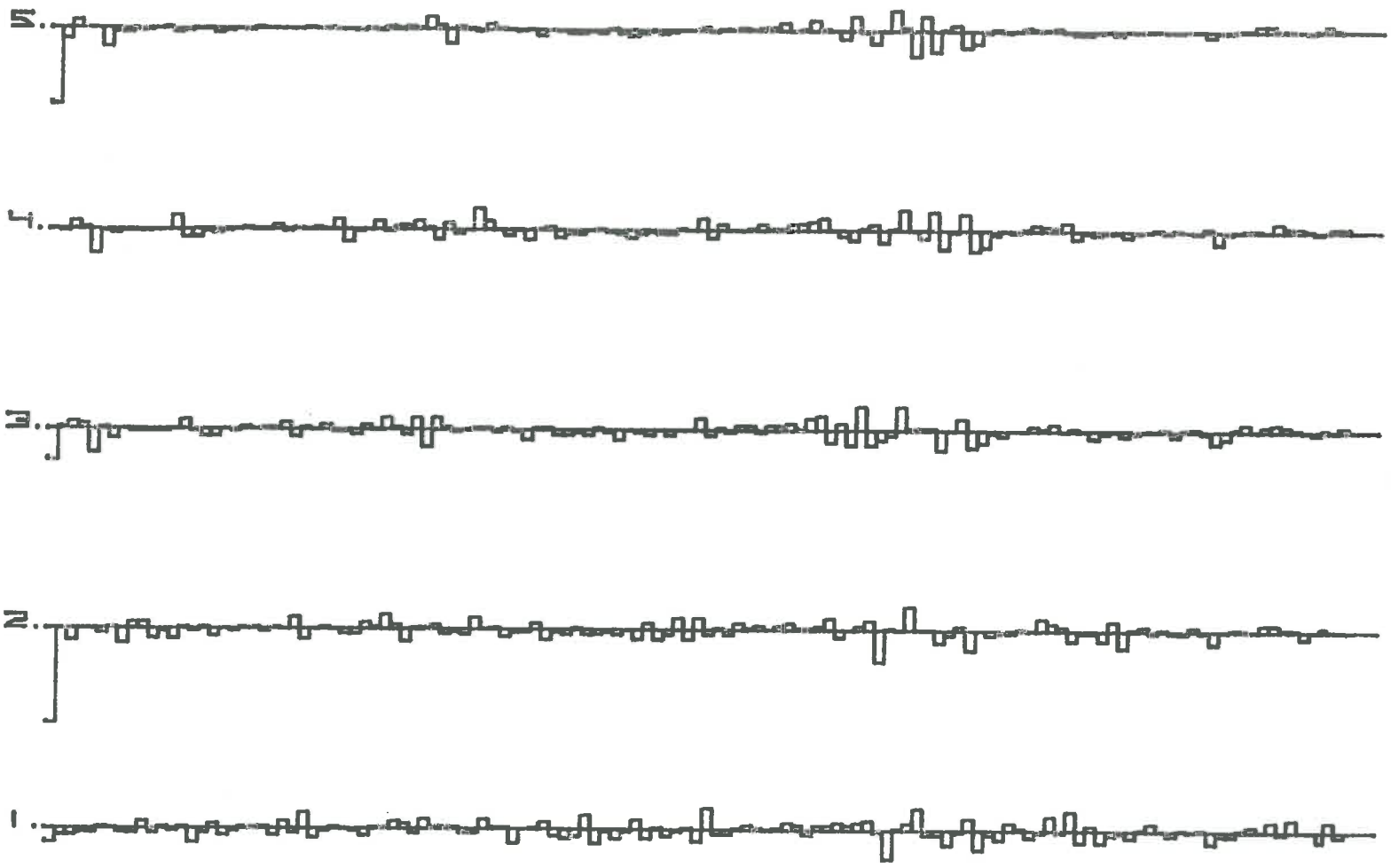
PARCELLE 1.

EMPLACEMENT 2. PAS DE 5



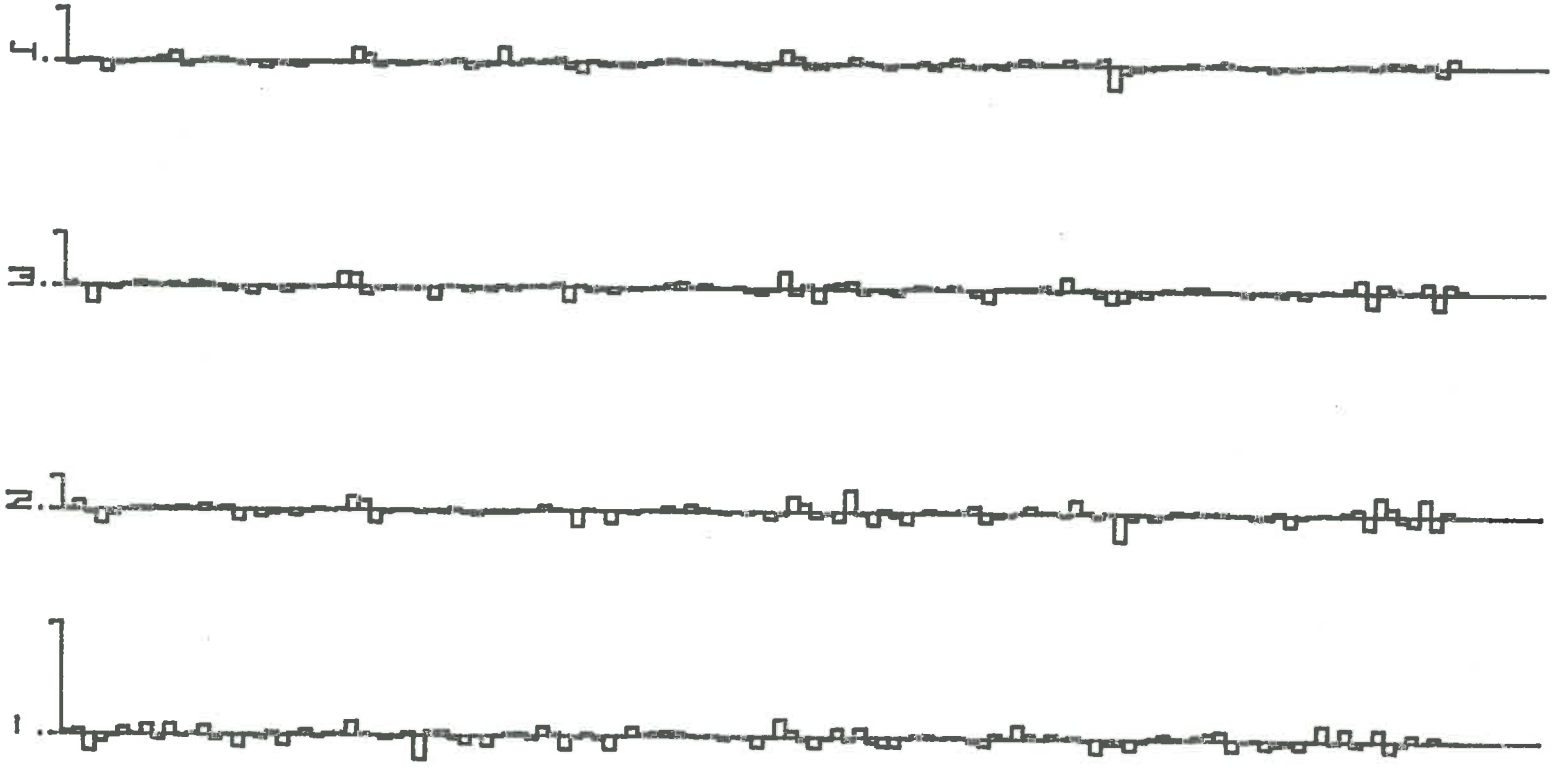
PARCELLE 1.

EMPLACEMENT 2. PAS DE 7



PARCELLE 4.

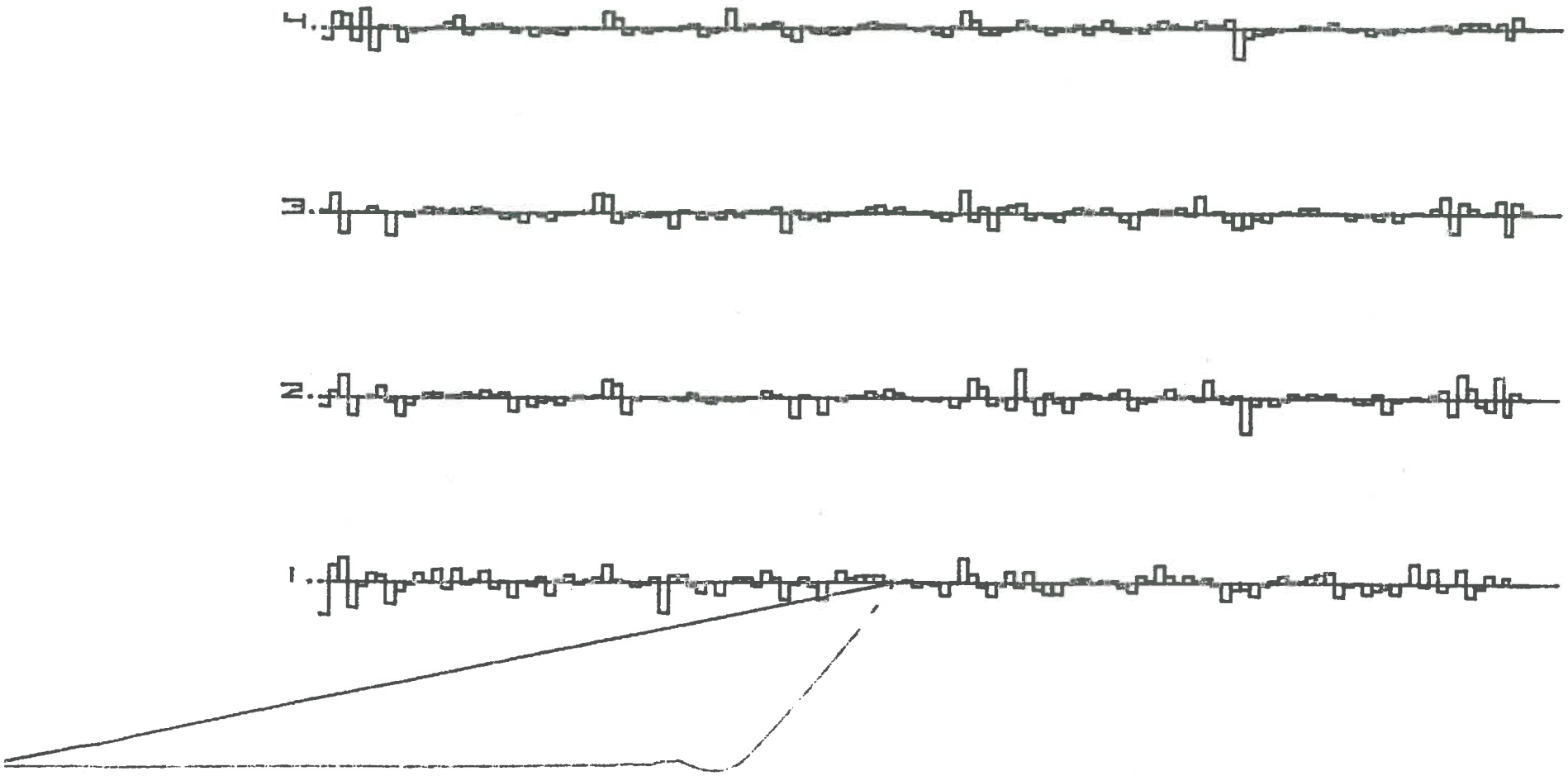
EMPLACEMENT 2. PAS DE 5



PARCELLE 4.

EMPLACEMENT 2.

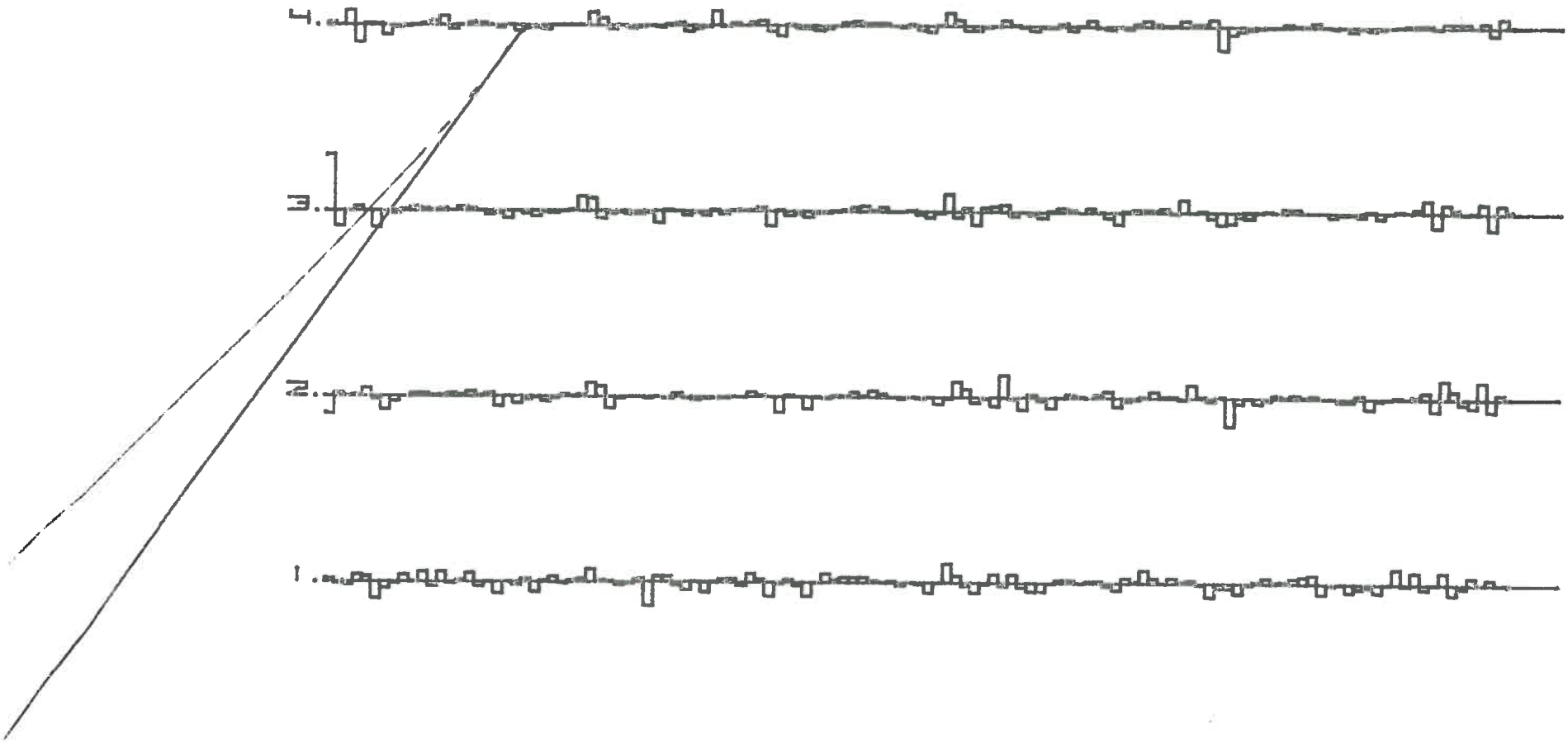
PAS DE 7



PARCELLE 4.

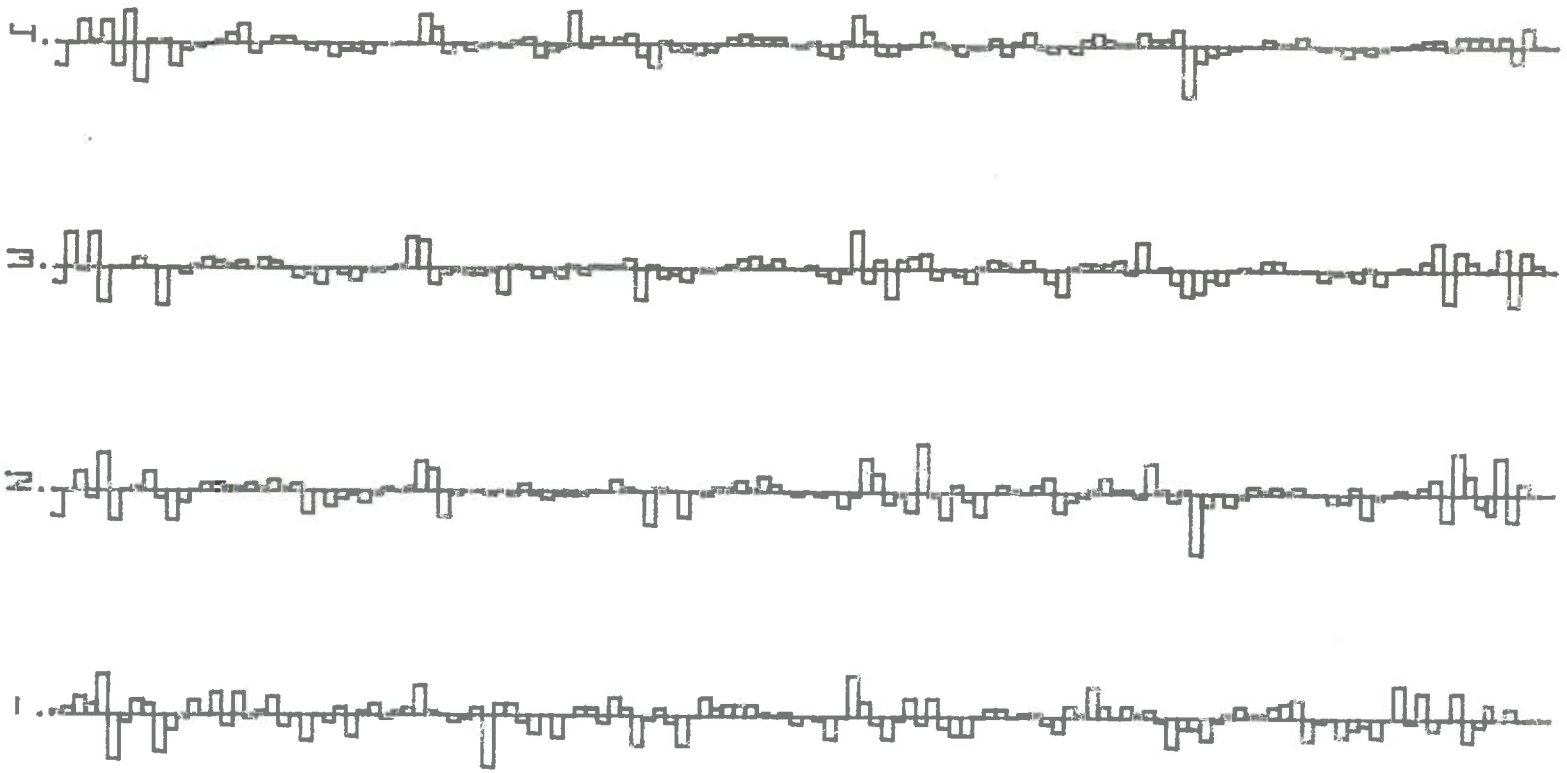
EMPLACEMENT 2.

PAS DE 9



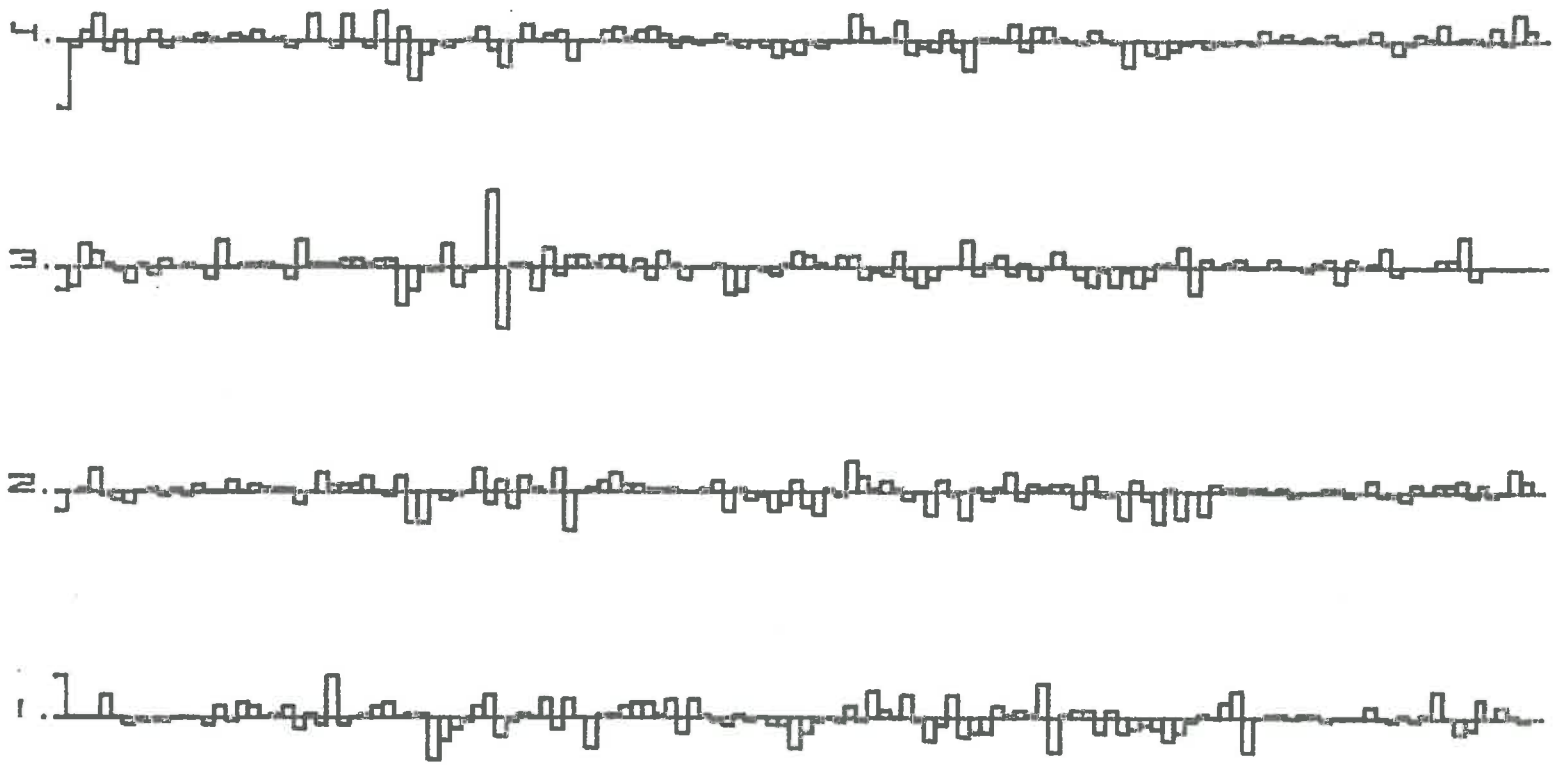
PARCELLE 4.

EMPLACEMENT 2. PAS DE 11



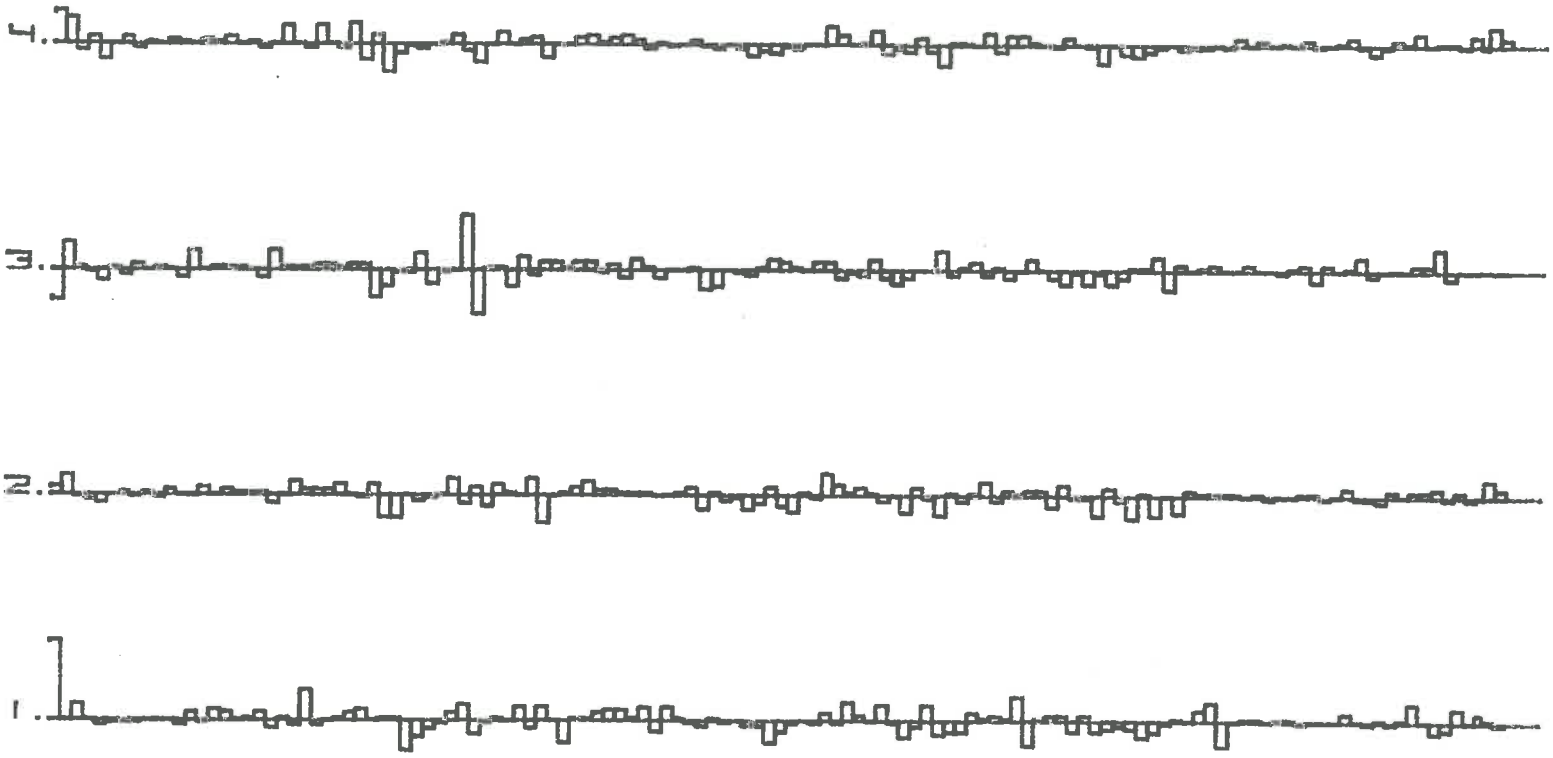
PARCELLE 3.

EMPLACEMENT 2. PAS DE 5



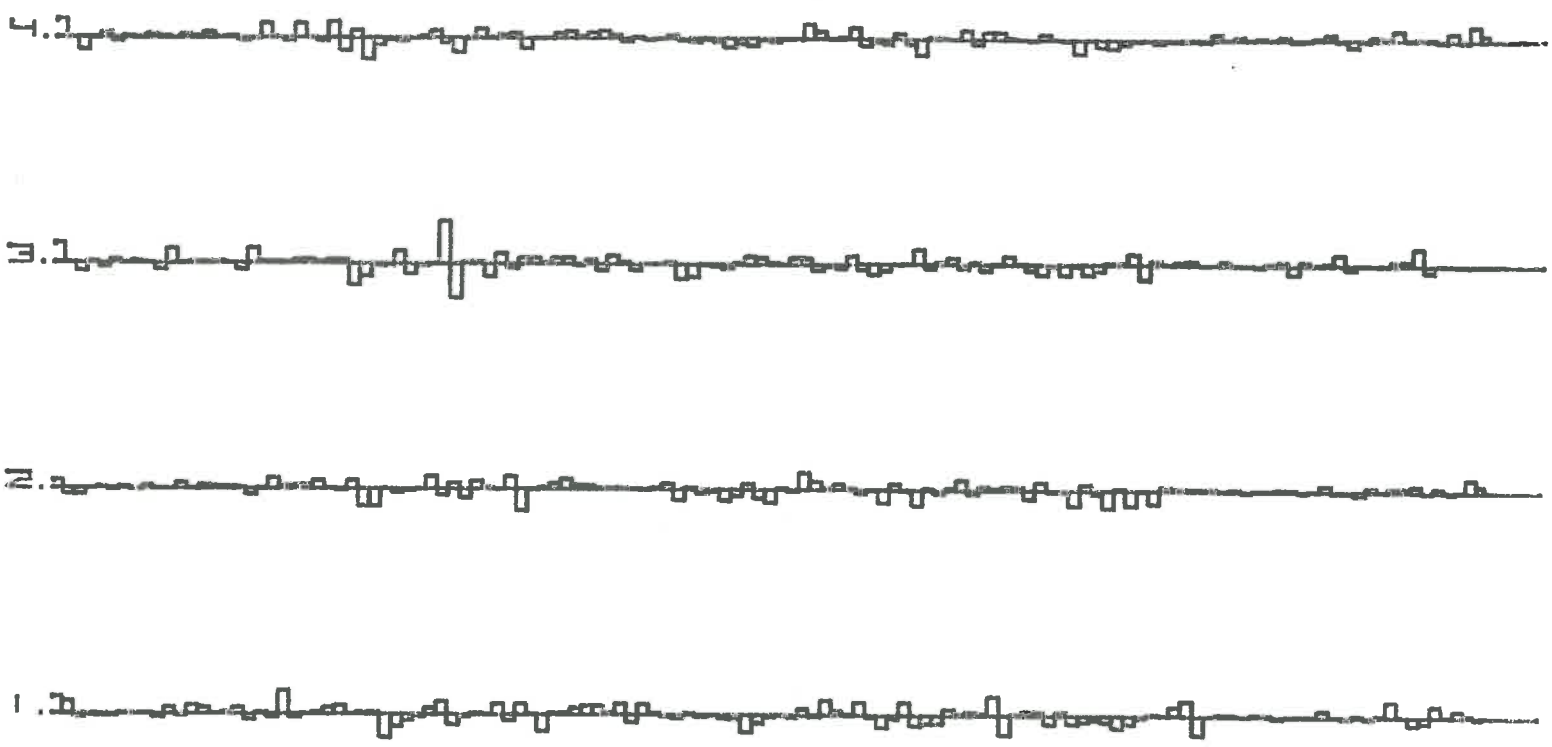
PARCELLE 3.

EMPLACEMENT 2. PAS DE 7



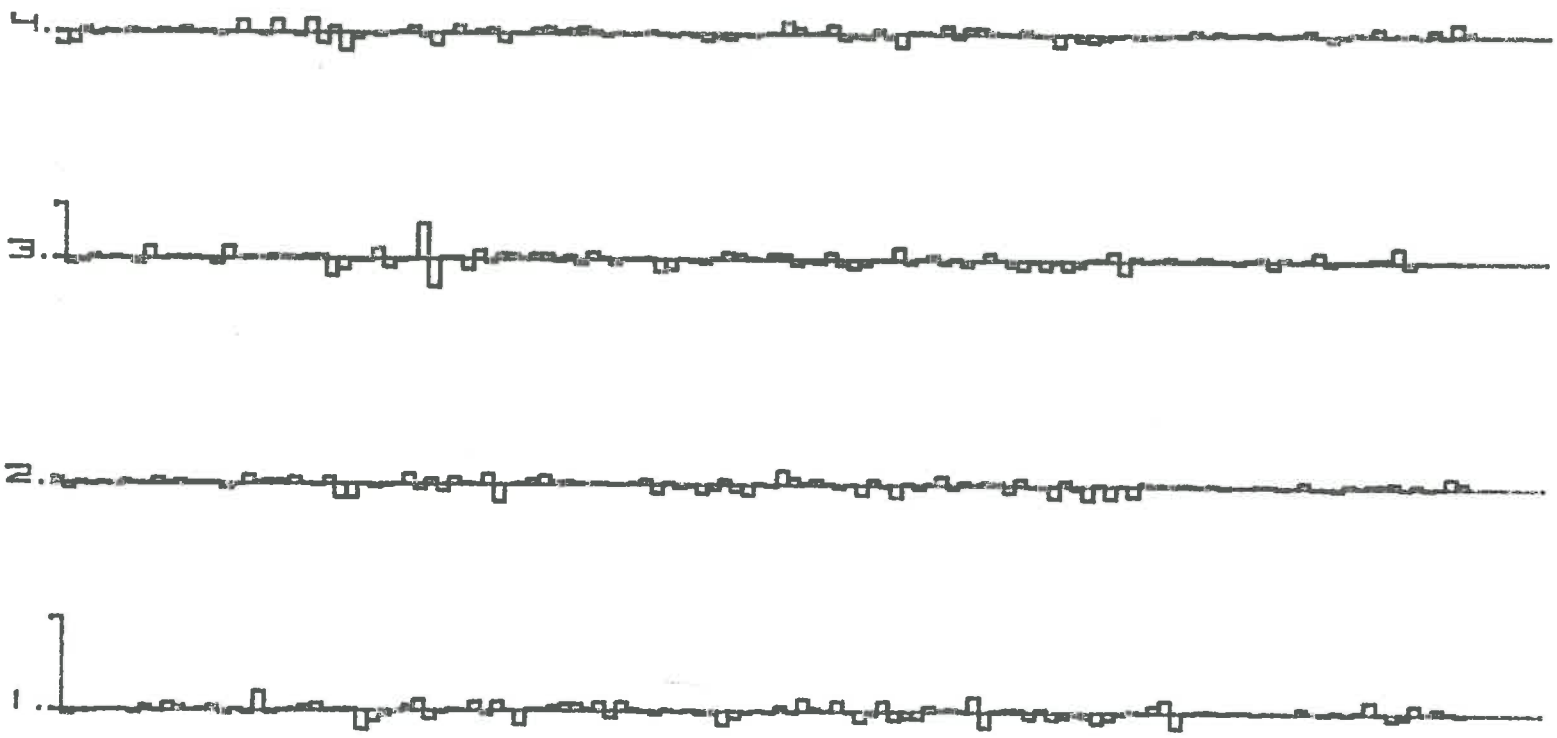
PARCELLE 3.

EMPLACEMENT 2. PAS DE 9

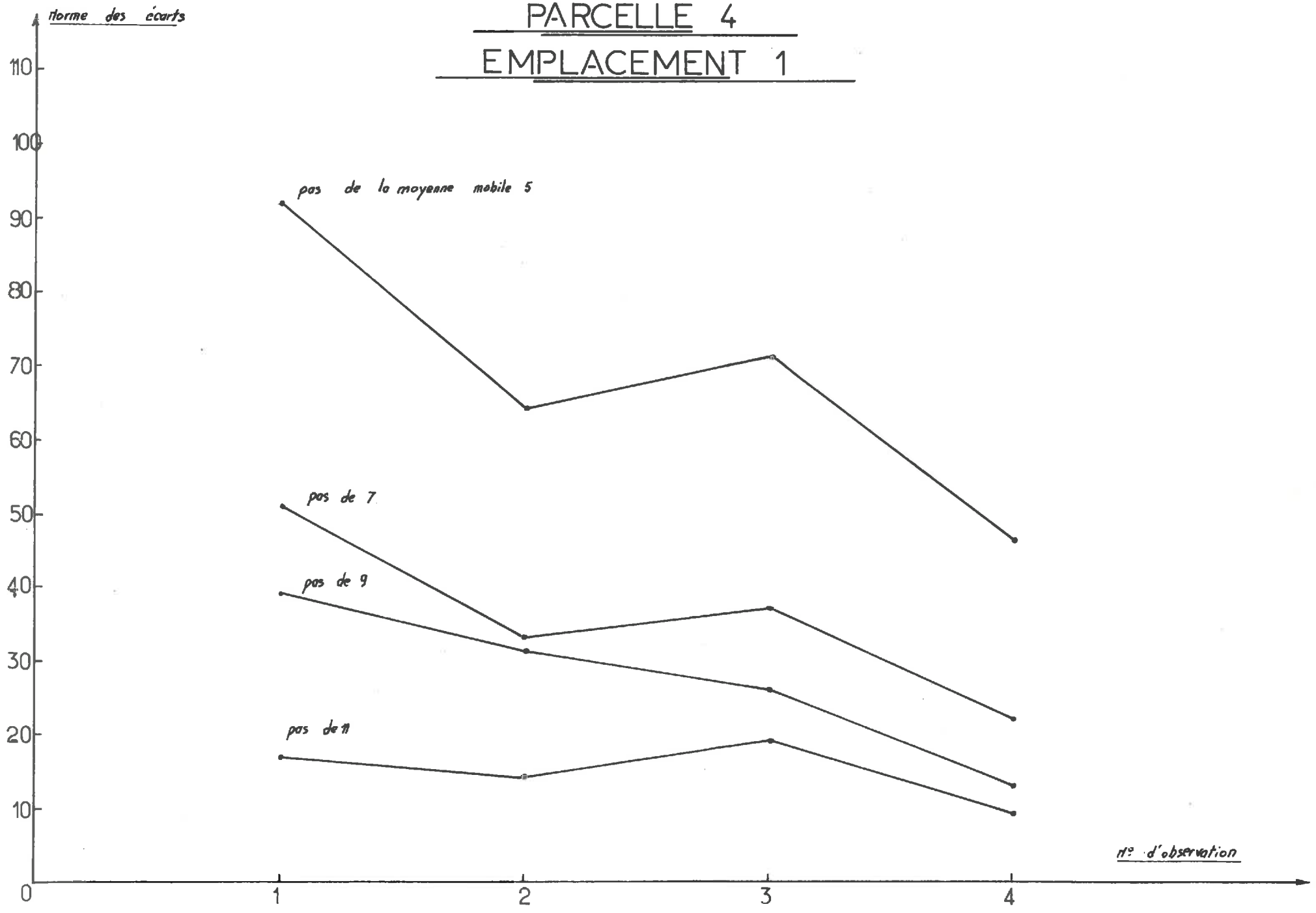


PARCELLE 3.

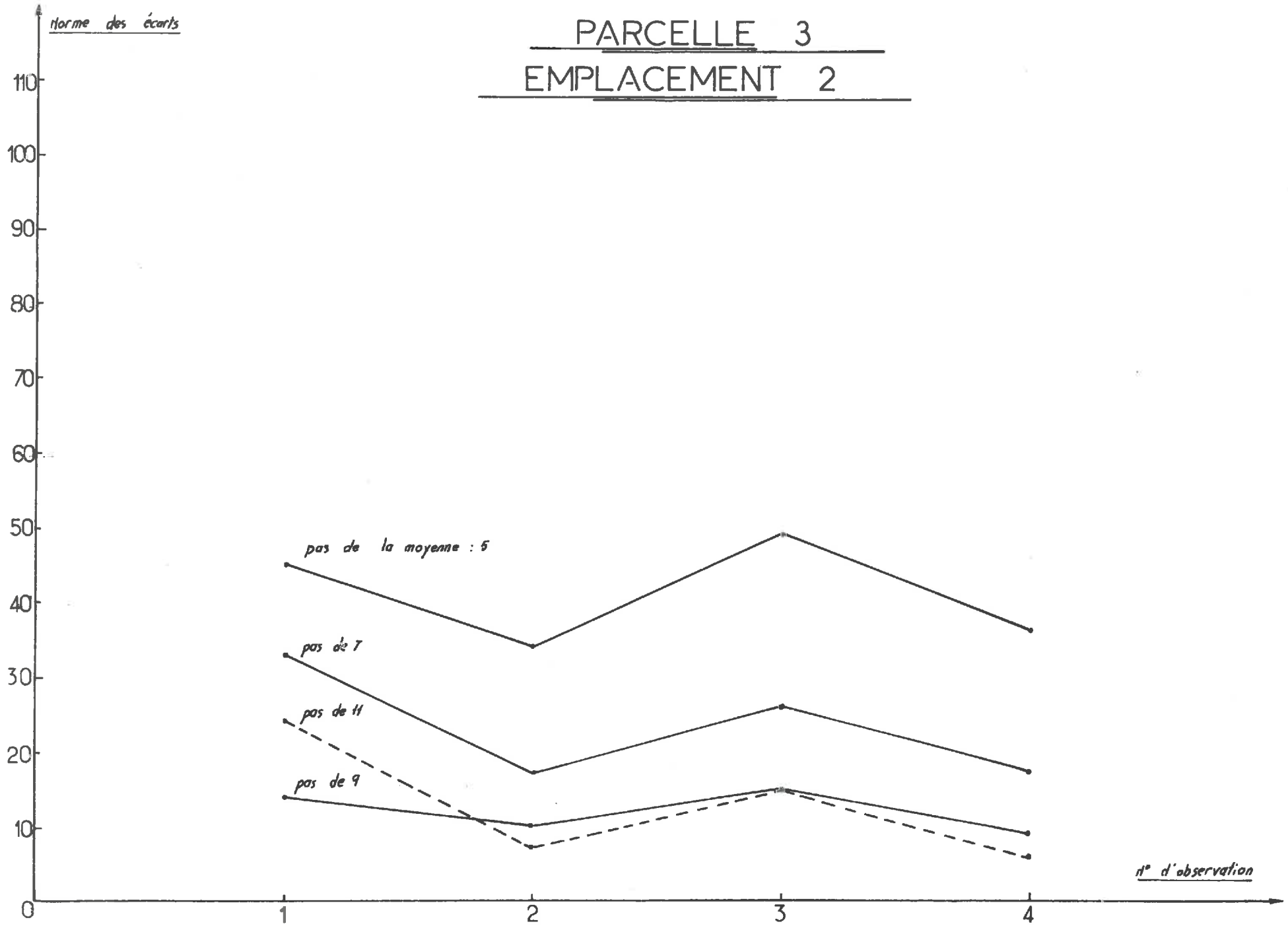
EMPLACEMENT 2. PAS DE 11



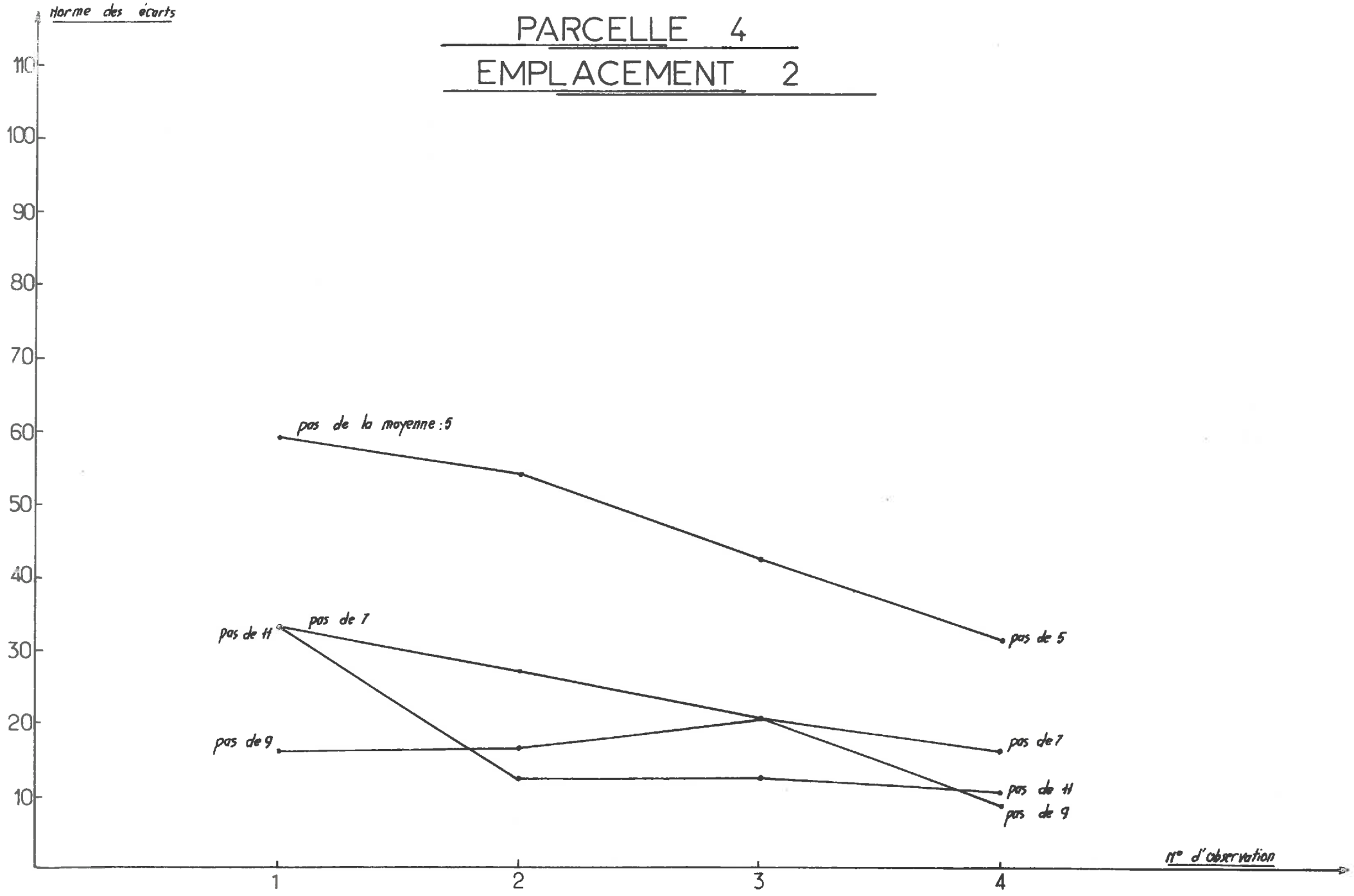
PARCELLE 4
EMPLACEMENT 1



PARCELLE 3
EMPLACEMENT 2

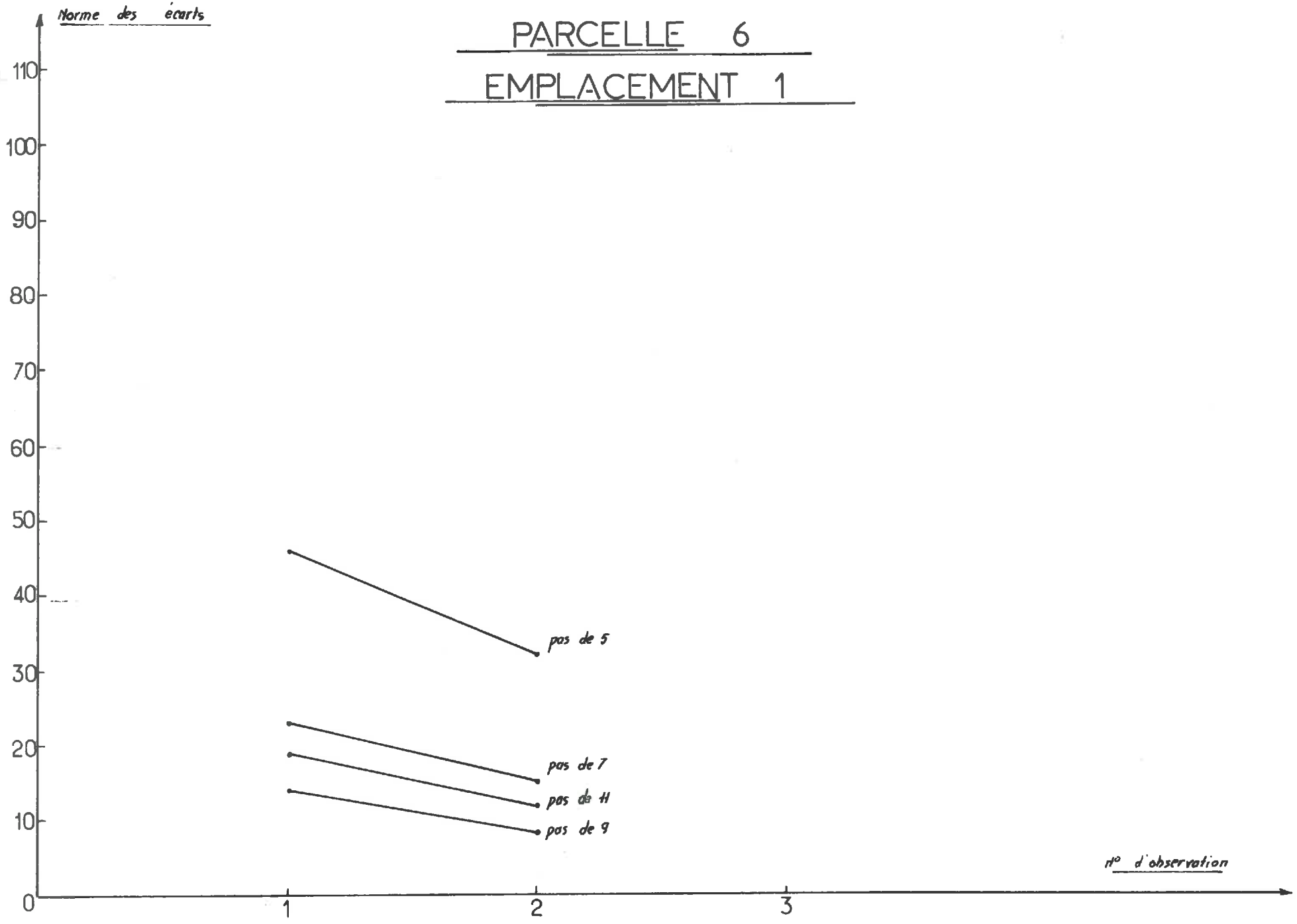


PARCELLE 4
EMPLACEMENT 2



PARCELLE 6

EMPLACEMENT 1



ENTER"
CELL WIDTH
1.1.1
0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
95.00
74.22

2.00
22.00
17.19

3.00
7.00
5.47

4.00
3.00
2.34

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

Ecart-type 0.27
Moyenne 0.19
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

2.83
0.00
2.83

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH
1.1.2
0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
98.00
76.56

2.00
20.00
15.63

3.00
6.00
4.69

4.00
2.00
1.56

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.22
0.17
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.95
0.00
1.95

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH
1.1.3
0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
100.00
78.13

2.00
21.00
16.41

3.00
4.00
3.13

4.00
1.00
0.78

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.22
0.16
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

2.02
0.00
2.02

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH
1.1.4
0.20*

ENTER "X0"
0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
97.00
75.78

2.00
29.00
22.66

3.00
0.00
0.00

4.00
2.00
1.56

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.12
0.12
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.64
0.00
0.64

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH
1.1.5
0.20*

ENTER "X0"
0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
104.00
81.25

2.00
17.00
13.28

3.00
4.00
3.13

4.00
2.00
1.56

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.21
0.13
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

2.02
0.00
2.02

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

Bloc 10

0.00
0.00

```
ENTER
   CELL WIDTH

124          0.20*

ENTER "X0"

             0.00*


CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

                1.00
               94.00
               73.44

                2.00
               24.00
               18.75

                3.00
                7.00
                5.47

                4.00
                3.00
                2.34

                5.00
                0.00
                0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

                0.15
                0.14
              128.00

XMAX
XMIN
RANGE

                0.78
                0.00
                0.78

NUMBER OFF SCALE

     ABOVE
     BELOW

                0.00
                0.00
```

```
ENTER
   CELL WIDTH

             0.20*

ENTER "X0"

125          0.00*


CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

                1.00
              109.00
               85.16

                2.00
               12.00
                9.38

                3.00
                5.00
                3.91

                4.00
                2.00
                1.56

                5.00
                0.00
                0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

                0.14
                0.11
              128.00

XMAX
XMIN
RANGE

                0.64
                0.00
                0.64

NUMBER OFF SCALE

     ABOVE
     BELOW

                0.00
                0.00
```

Bloc 20

ENTER CELL WIDTH	ENTER CELL WIDTH	ENTER CELL WIDTH
121 0.20*	122 0.20*	123 0.20*
ENTER "X0"	ENTER "X0"	ENTER "X0"
0.00*	0.00*	0.00*
CELL # # OBS. IN CELL % RELATIVE FREQ.	CELL # # OBS. IN CELL % RELATIVE FREQ.	CELL # # OBS. IN CELL % RELATIVE FREQ.
1.00 97.00 75.78	1.00 101.00 78.91	1.00 104.00 81.25
2.00 25.00 19.53	2.00 21.00 16.41	2.00 16.00 12.50
3.00 4.00 3.13	3.00 3.00 2.34	3.00 4.00 3.13
4.00 1.00 0.78	4.00 2.00 1.56	4.00 4.00 3.13
5.00 0.00 0.00	5.00 1.00 0.78	5.00 0.00 0.00
STANDARD DEV. MEAN N	STANDARD DEV. MEAN N	STANDARD DEV. MEAN N
Trail Type 0.17 Program 0.17 128.00	0.14 0.14 128.00	0.14 0.14 128.00
XMAX XMIN RANGE	XMAX XMIN RANGE	XMAX XMIN RANGE
1.45 0.00 1.45	0.82 0.00 0.82	0.63 0.00 0.63
NUMBER OFF SCALE	NUMBER OFF SCALE	NUMBER OFF SCALE
ABOVE BELOW	ABOVE BELOW	ABOVE BELOW
0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

ENTER "X0"

211

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
78.00
60.94

2.00
28.00
21.88

3.00
15.00
11.72

4.00
2.00
1.56

5.00
3.00
2.34

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.22
0.23
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.26
0.00
1.26

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

ENTER "X0"

212

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
87.00
67.97

2.00
29.00
22.66

3.00
9.00
7.03

4.00
2.00
1.56

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.16
0.17
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.88
0.00
0.88

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

SET FLAG TO
PLOT HISTOGRAM

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

213

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
92.00
71.88

2.00
23.00
17.97

3.00
6.00
4.69

4.00
3.00
2.34

5.00
2.00
1.56

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.22
0.18
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.20
0.00
1.20

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

```
ENTER
   CELL WIDTH

              0.20*
  2 14
ENTER 'X0"

              0.00*


CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.



               1.00
              96.00
              75.00

               2.00
              23.00
              17.97

               3.00
               5.00
               3.91

               4.00
               1.00
               0.78

               5.00
               2.00
               1.56

STANDARD DEV.
MEAN
N

               0.17
               0.14
             128.00

XMAX
XMIN
RANGE

               1.01
               0.00
               1.01

NUMBER OFF SCALE

    ABOVE
    BELOW

               0.00
               0.00
```

Bloc 89 1

```
SET FLAG TO
PLOT HISTOGRAM
```

ENTER
CELL WIDTH

411 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00	
79.00	
61.72	
2.00	
28.00	
21.88	
3.00	
11.00	
8.59	
4.00	
5.00	
3.91	
5.00	
3.00	
2.34	

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.23	
0.23	
128.00	

XMAX
XMIN
RANGE

1.26	
0.00	
1.26	

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00	
0.00	

ENTER
CELL WIDTH

412 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00	
86.00	
67.19	
2.00	
26.00	
20.31	
3.00	
9.00	
7.03	
4.00	
3.00	
2.34	
5.00	
3.00	
2.34	

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.22	
0.20	
128.00	

XMAX
XMIN
RANGE

1.51	
0.00	
1.51	

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00	
0.00	

ENTER
CELL WIDTH

413 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00	
78.00	
60.94	
2.00	
34.00	
26.56	
3.00	
10.00	
7.81	
4.00	
5.00	
3.91	
5.00	
1.00	
0.78	

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.19	
0.19	
128.00	

XMAX
XMIN
RANGE

0.99	
0.00	
0.99	

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00	
0.00	

```
ENTER
   CELL WIDTH

  414        0.20*

ENTER "X0"

             0.00*


CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.



              1.00
             89.00
             69.53

              2.00
             30.00
             23.44

              3.00
              6.00
              4.69

              4.00
              1.00
              0.78

              5.00
              2.00
              1.56

STANDARD DEV.
MEAN
N

              0.16
              0.16
            128.00

XMAX
XMIN
RANGE

              0.90
              0.00
              0.90

NUMBER OFF SCALE

    ABOVE
    BELOW
Bloc 441    0.00
              0.00
```

```
ENTER
   CELL WIDTH

   421        0.20*
ENTER "X0"

              0.00*

CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

              1.00
             85.00
             66.41

              2.00
             29.00
             22.66

              3.00
              9.00
              7.03

              4.00
              4.00
              3.13

              5.00
              1.00
              0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

              0.18
              0.20
            128.00

XMAX
XMIN
RANGE

              0.88
              0.00
              0.88

NUMBER OFF SCALE

    ABOVE
    BELOW

              0.00
              0.00
```

```
ENTER
   CELL WIDTH

   422        0.20*
ENTER "X0"

              0.00*

CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

              1.00
             94.00
             73.44

              2.00
             17.00
             13.28

              3.00
             12.00
              9.38

              4.00
              3.00
              2.34

              5.00
              1.00
              0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

              0.19
              0.17
            128.00

XMAX
XMIN
RANGE

              1.01
              0.00
              1.01

NUMBER OFF SCALE

    ABOVE
    BELOW

              0.00
              0.00
```

```
ENTER
   CELL WIDTH

   423        0.20*
ENTER "X0"

              0.00*

CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

              1.00
             93.00
             72.66

              2.00
             19.00
             14.84

              3.00
             14.00
             10.94

              4.00
              2.00
              1.56

              5.00
              0.00
              0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

              0.16
              0.15
            128.00

XMAX
XMIN
RANGE

              0.63
              0.00
              0.63

NUMBER OFF SCALE

    ABOVE
    BELOW

              0.00
              0.00
```

ENTER
CELL WIDTH

424 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
101.00
78.91

2.00
21.00
16.41

3.00
4.00
3.13

4.00
1.00
0.78

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.14
0.13
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.85
0.00
0.85

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

Bloc 52 ↓

0.00
0.00

```
ENTER
   CELL WIDTH

   324        0.20*
ENTER "X0"

              0.00*


CELL #
# OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.



               1.00
              95.00
              74.22

               2.00
              22.00
              17.19

               3.00
               9.00
               7.03

               4.00
               1.00
               0.78

               5.00
               0.00
               0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

               0.16
               0.14
             128.00

XMAX
XMIN
RANGE

               1.11
               0.00
               1.11

NUMBER OFF SCALE

     ABOVE  Bloc 36
     BELOW

               0.00
               0.00
```

321

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
91.00
71.09

2.00
26.00
20.31

3.00
8.00
6.25

4.00
3.00
2.34

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.16
0.17
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.69
0.00
0.69

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

322

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
101.00
78.91

2.00
18.00
14.06

3.00
7.00
5.47

4.00
1.00
0.78

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.16
0.15
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.07
0.00
1.07

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

323

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
98.00
76.56

2.00
21.00
16.41

3.00
6.00
4.69

4.00
1.00
0.78

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.18
0.16
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.26
0.00
1.26

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

611 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
96.00
75.00

2.00
23.00
17.97

3.00
6.00
4.69

4.00
1.00
0.78

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.18
0.16
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.07
0.00
1.07

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

612 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
94.00
73.44

2.00
28.00
21.88

3.00
5.00
3.91

4.00
0.00
0.00

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.14
0.14
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.85
0.00
0.85

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

Bloc 56 ↓ 0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

0.20*

821
ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
99.00
77.34

2.00
26.00
20.31

3.00
2.00
1.56

4.00
0.00
0.00

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.14
0.12
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

1.01
0.00
1.01

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

822 0.20*

ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
105.00
82.03

2.00
20.00
15.63

3.00
3.00
2.34

4.00
0.00
0.00

5.00
0.00
0.00

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.11
0.10
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.58
0.00
0.58

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

Bloc 641 0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

711 0.20*
ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
101.00
78.91

2.00
20.00
15.63

3.00
4.00
3.13

4.00
1.00
0.78

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.22
0.14
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

2.08
0.00
2.08

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

0.00
0.00

ENTER
CELL WIDTH

712 0.20*
ENTER "X0"

0.00*

CELL #
OBS. IN CELL
% RELATIVE FREQ.

1.00
101.00
78.91

2.00
19.00
14.84

3.00
6.00
4.69

4.00
1.00
0.78

5.00
1.00
0.78

STANDARD DEV.
MEAN
N

0.15
0.13
128.00

XMAX
XMIN
RANGE

0.96
0.00
0.96

NUMBER OFF SCALE

ABOVE
BELOW

Bloc 60 ↓
0.00
0.00

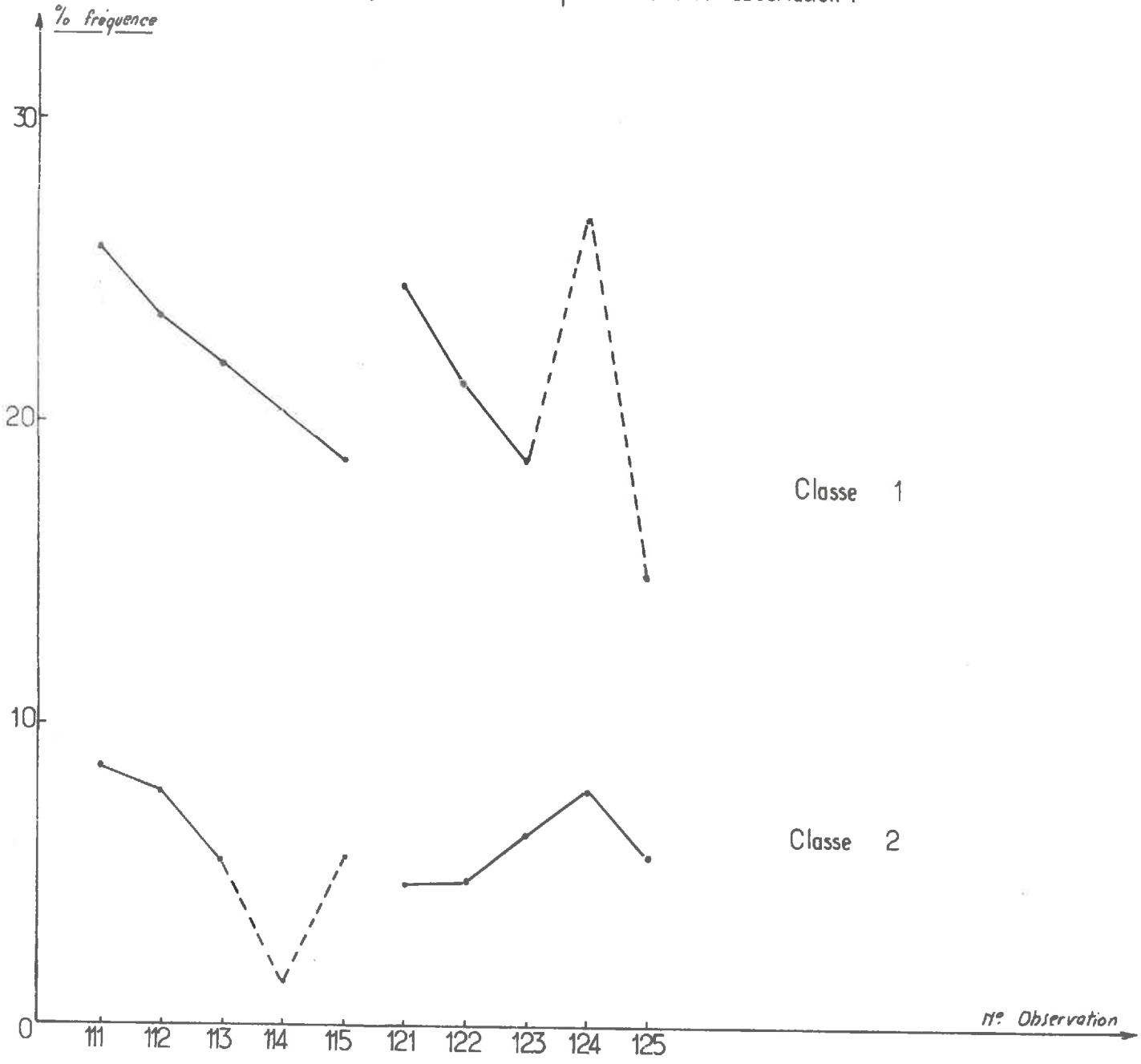
VARIATIONS DES FREQUENCES DES MOYENNES DE DONNEES D'ASPERIMETRIE

Agriculteur : LAIBEAU

Arroseur : REDOUTAIBLE 80

PARCELLE 1 Emplacement 1 passage arroseur
2 bout de portée

111 → Parcelle 1 . Emplacement 1 . N° observation 1



Classe 1 : pas de classe de 0.2 cm . ce qui correspond à des variations réelles de 0.4 cm

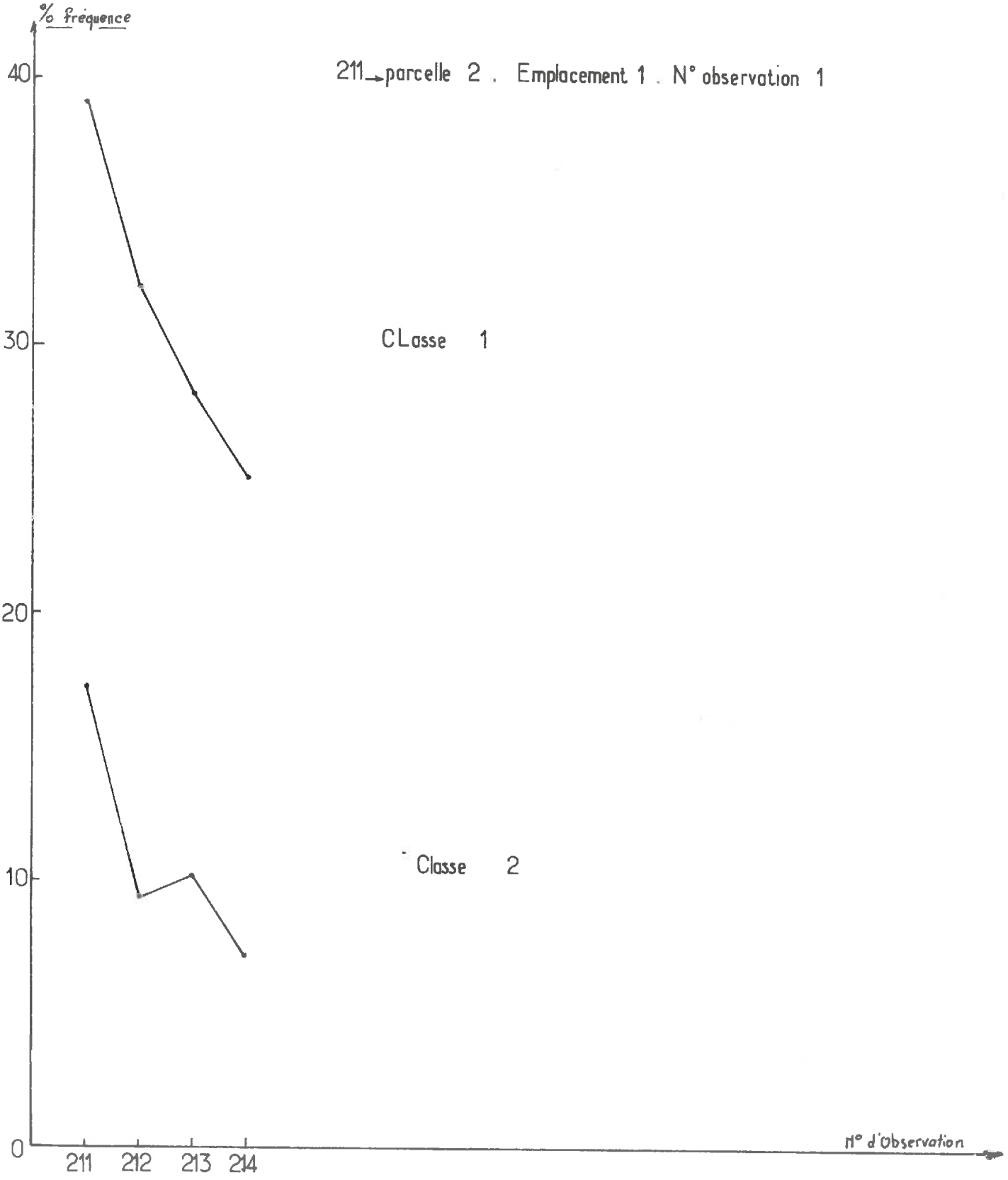
Classe 2 : " " " " 0.4 cm " " " " " " " " 0.8 cm

VARIATIONS DANS LE TEMPS DES FREQUENCES

Agriculteur : IBENTEGEAC

Arroseur : REDOUTAIBLE 830

PARCELLE 2 Emplacement 1 passage arroseur

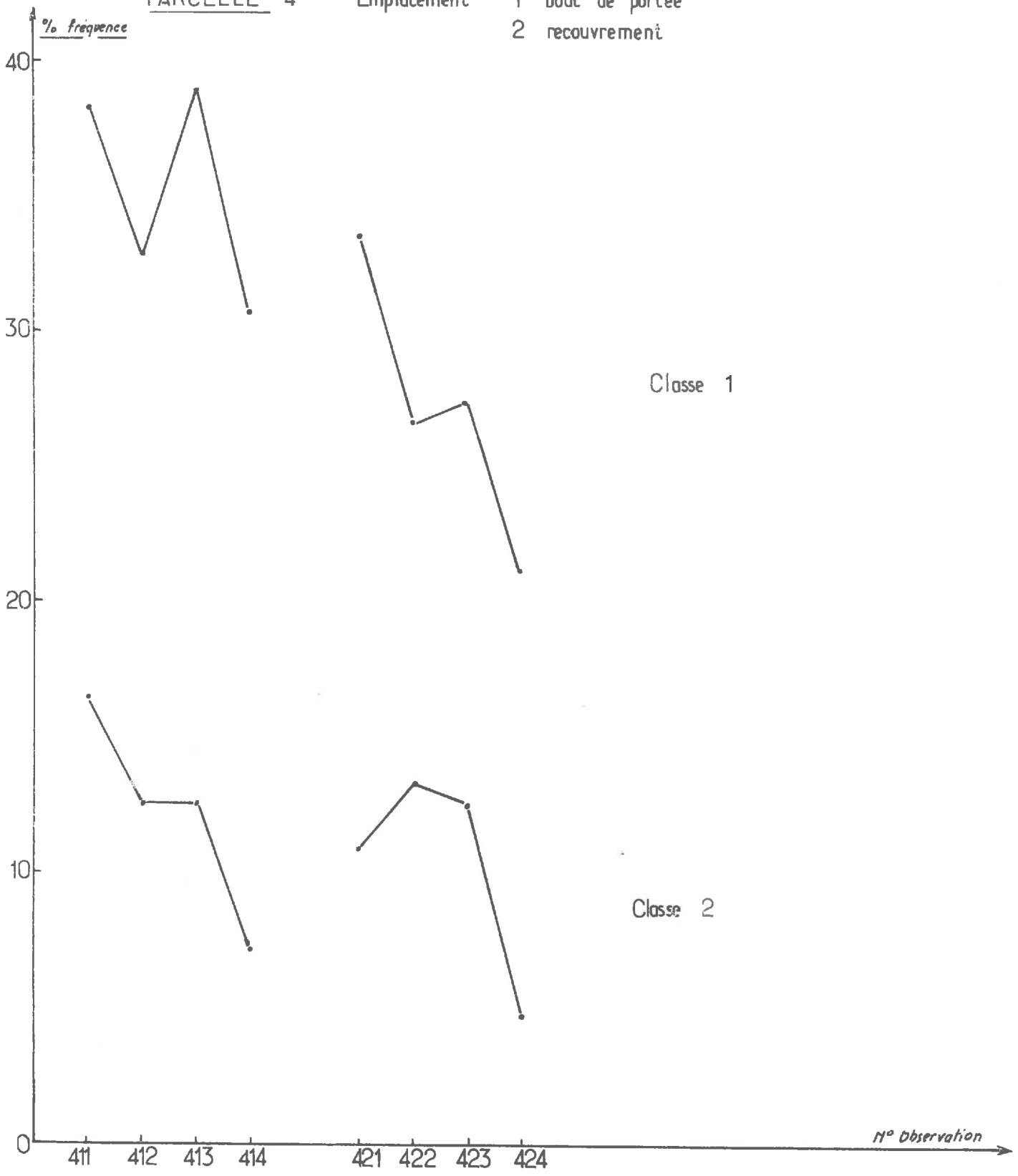


VARIATIONS DES FREQUENCES DES MOYENNES DE DONNEES D'ASPERIMETRIE

Agriculteur : LAVILLE

Arroseur : REDOUTAIBLE 80

PARCELLE 4 Emplacement 1 bout de portée
2 recouvrement

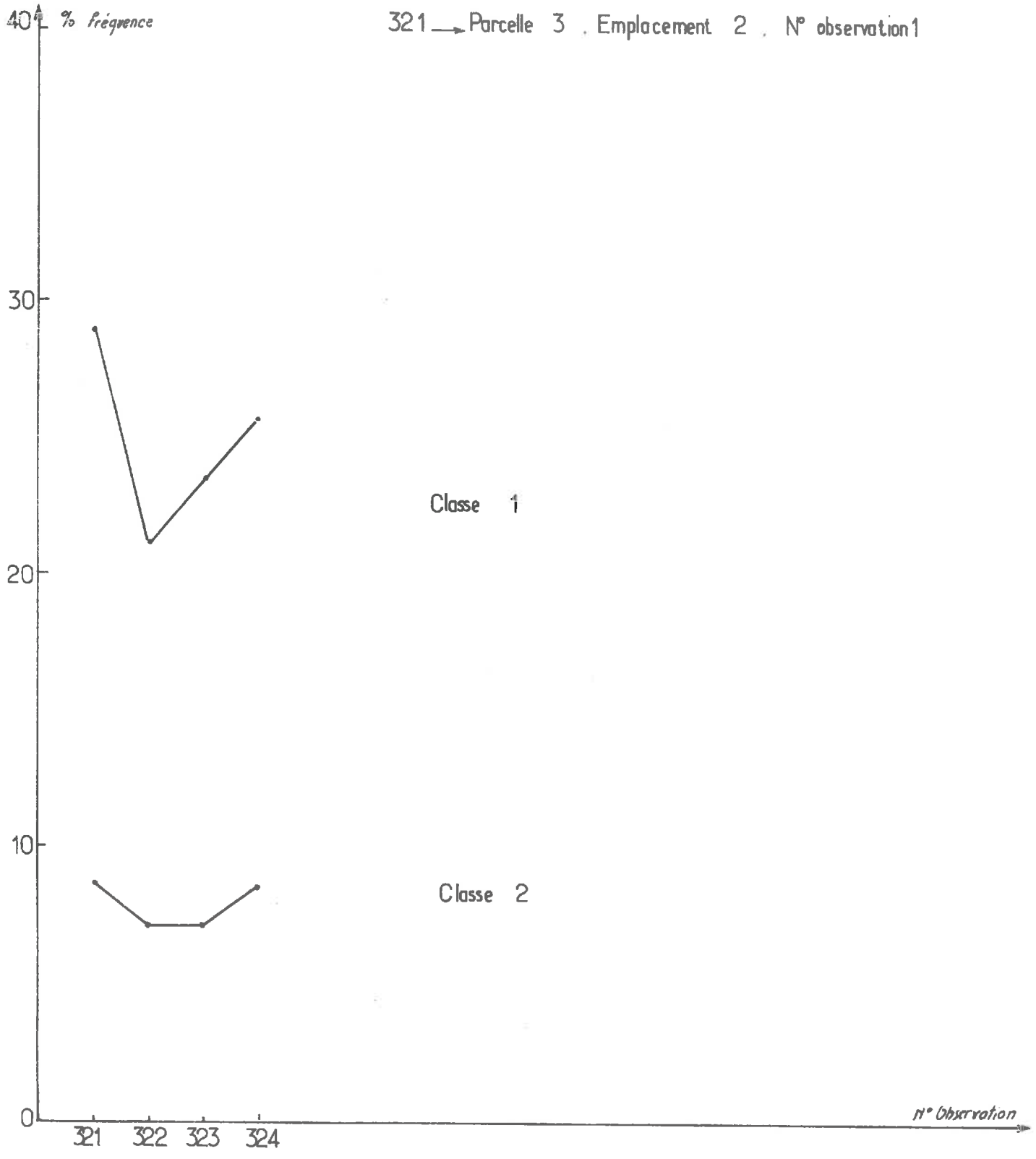


VARIATIONS DANS LE TEMPS DES FREQUENCES

Agriculteur : LAGARDERE

Arroseur : PERROT 63

PARCELLE 3 Emplacement 2

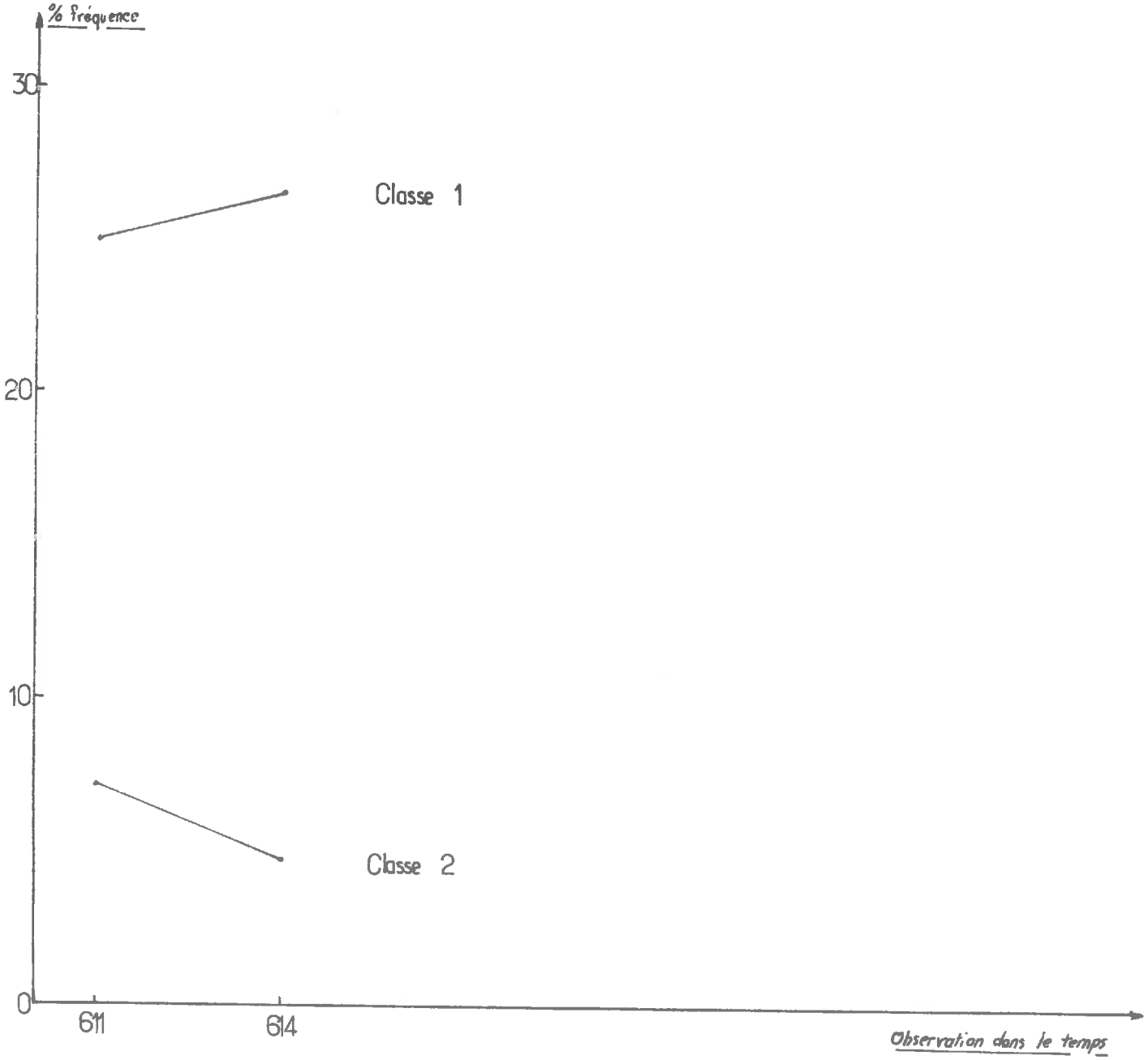


VARIATIONS DES FREQUENCES DES MOYENNES DE DONNEES D' ASPERIMETRIE

Agriculteur : ST. MARC

Arroseur : IRRIFRANCE Mini Ø 50

PARCELLE 6 Emplacement 1

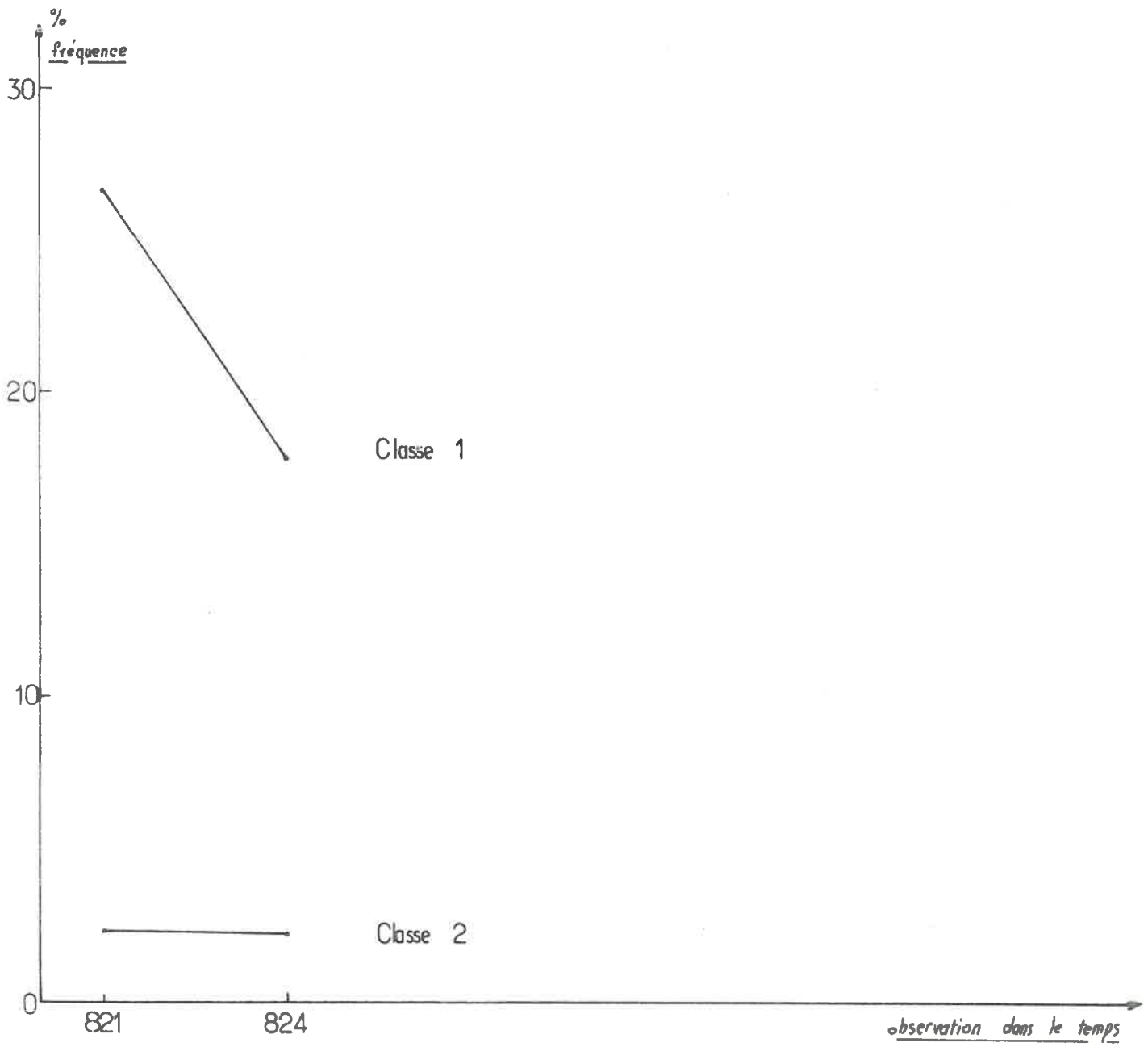


VARIATIONS DES FREQUENCES DES MOYENNES MOBILES DES RELEVES D'ASPERIMETRIE

Agriculteur : DUTHURON

Arroseur : SPRINKLER

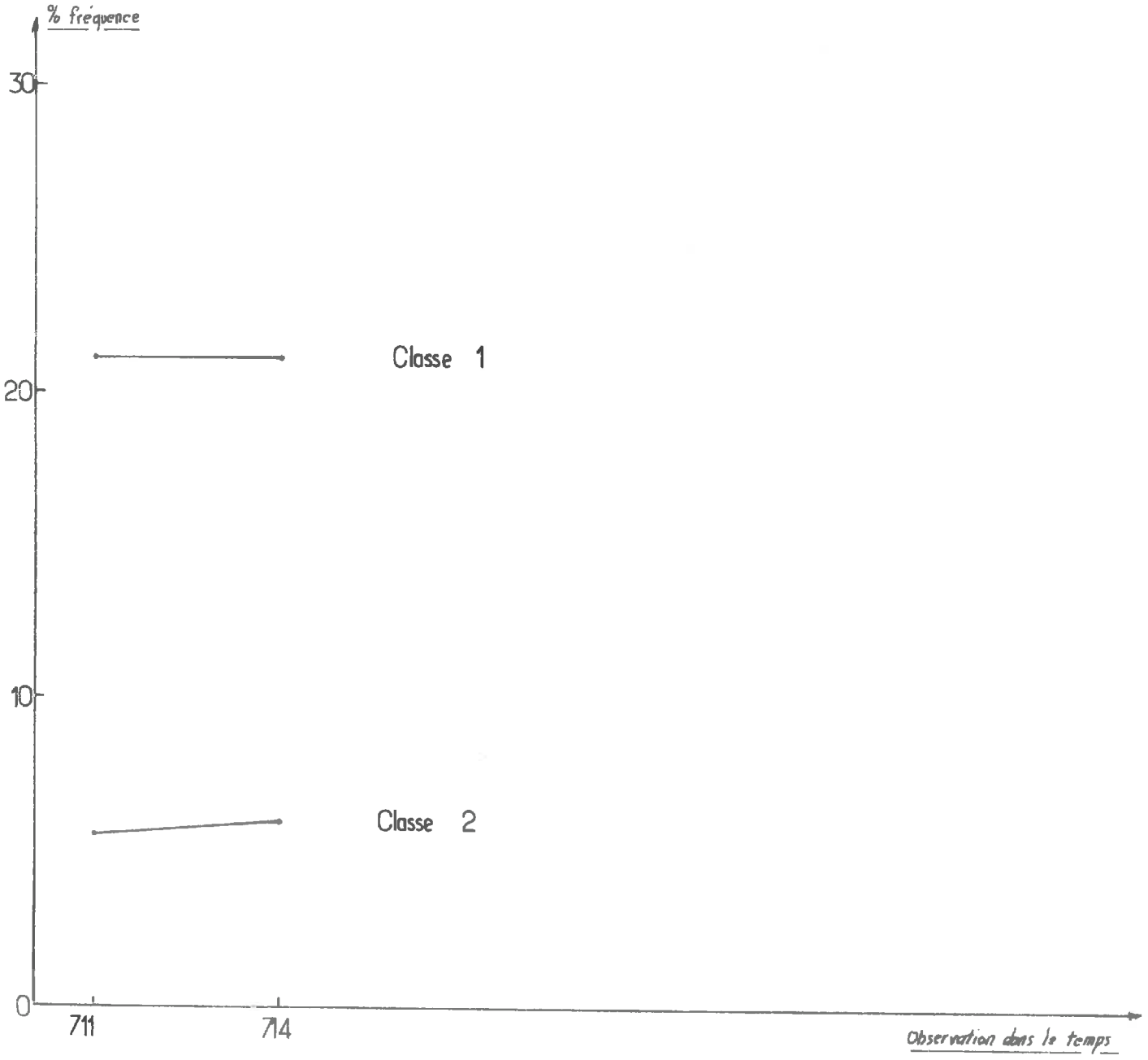
PARCELLE 83 Emplacement 2



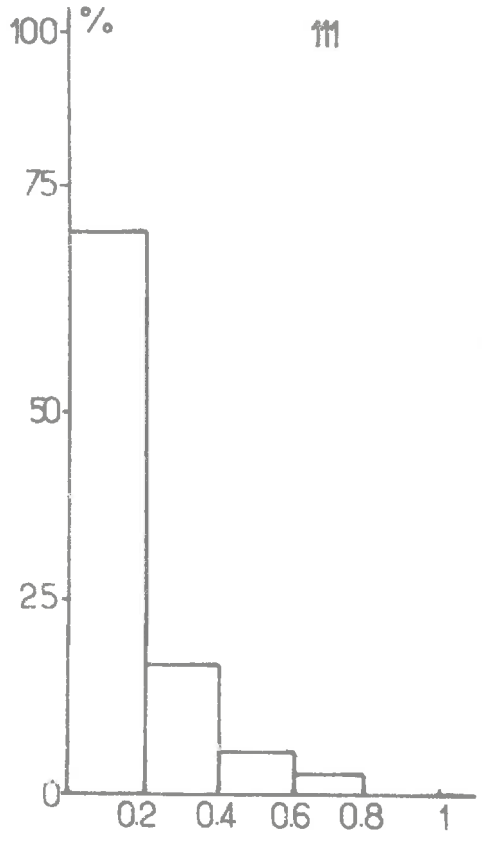
VARIATIONS DES FREQUENCES DES MOYENNES MOIBILES DES RELEVES D'ASPERIMETRIE

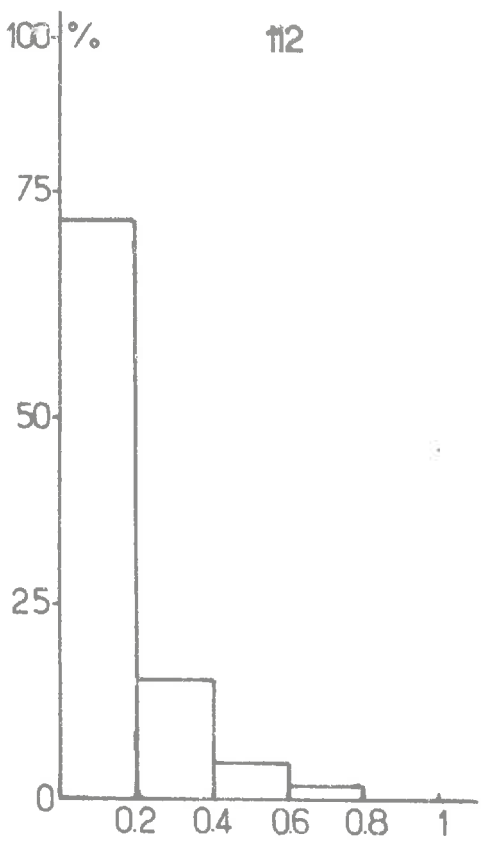
Agriculteur : DELAGE TEMOIN sec

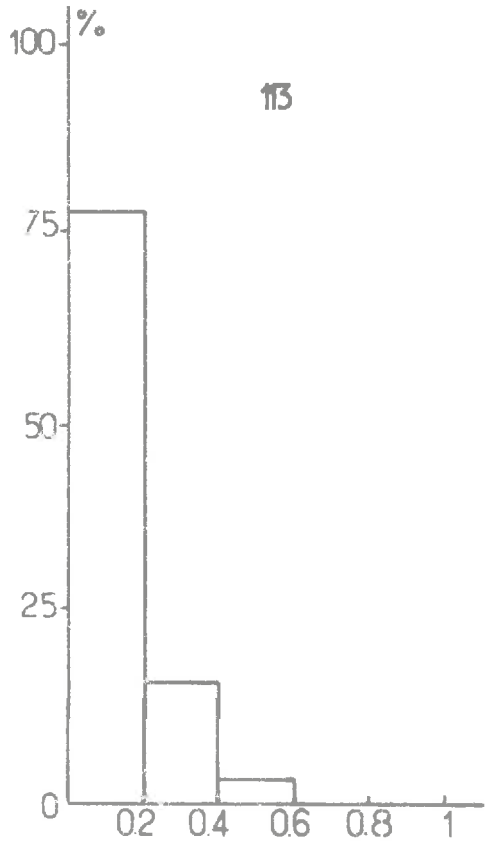
PARCELLE 7 Emplacement 1

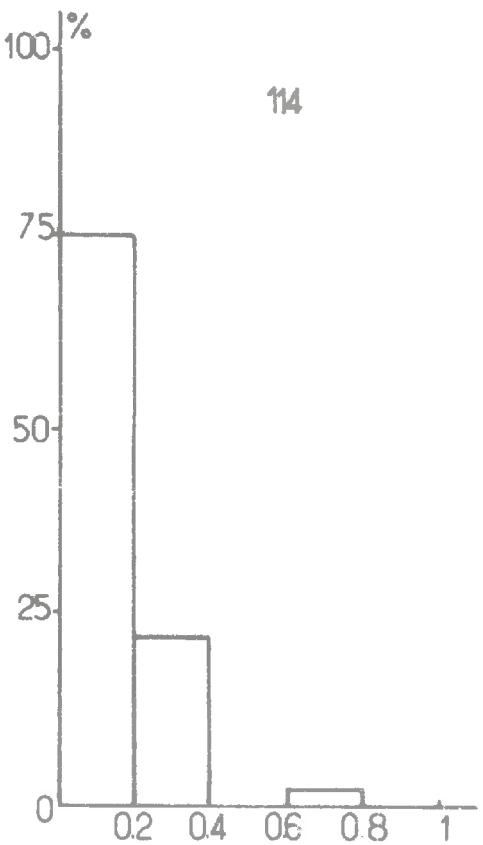


HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT

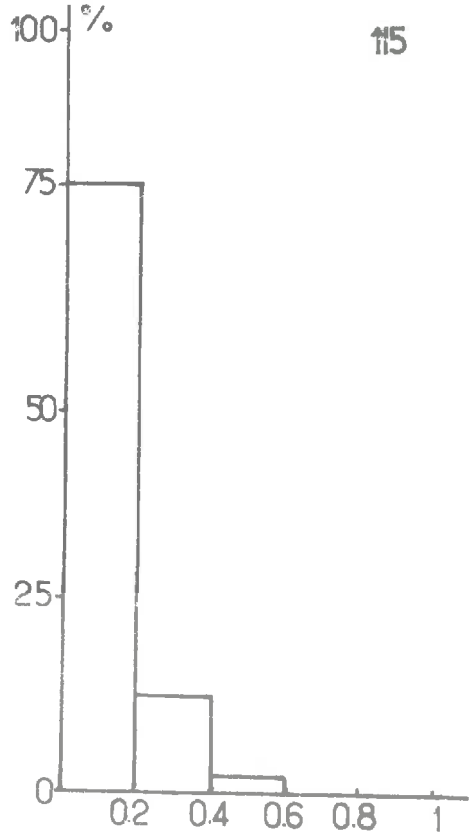




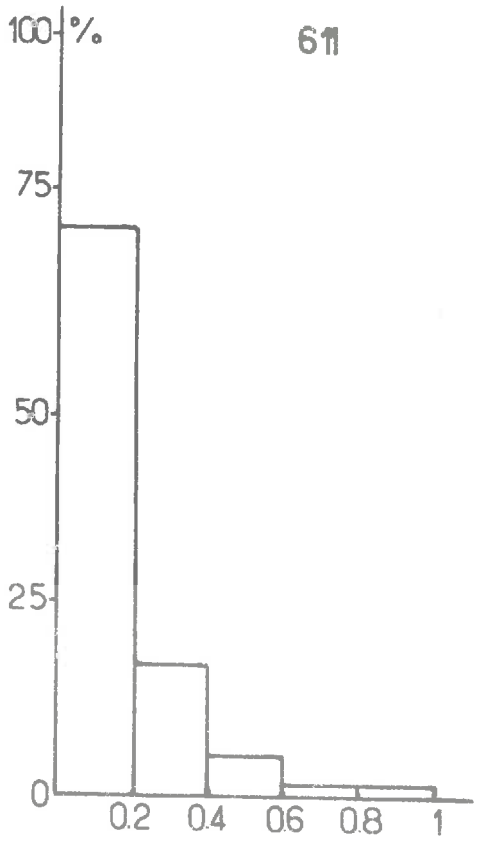




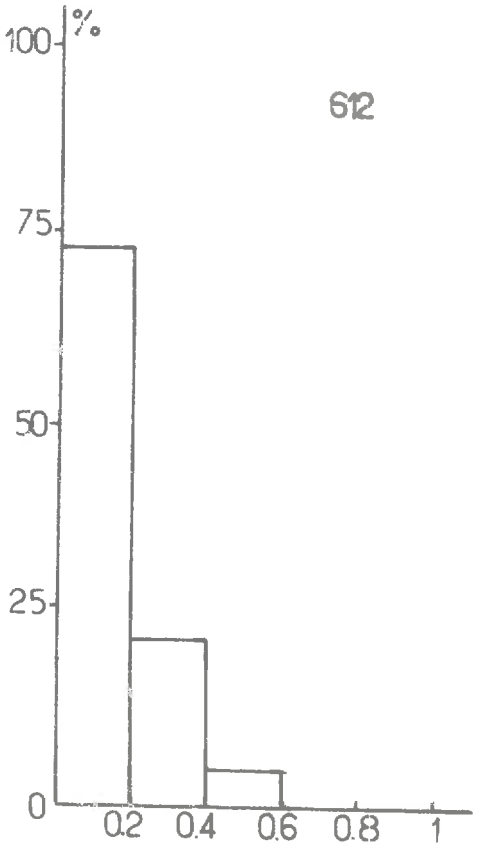
HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT



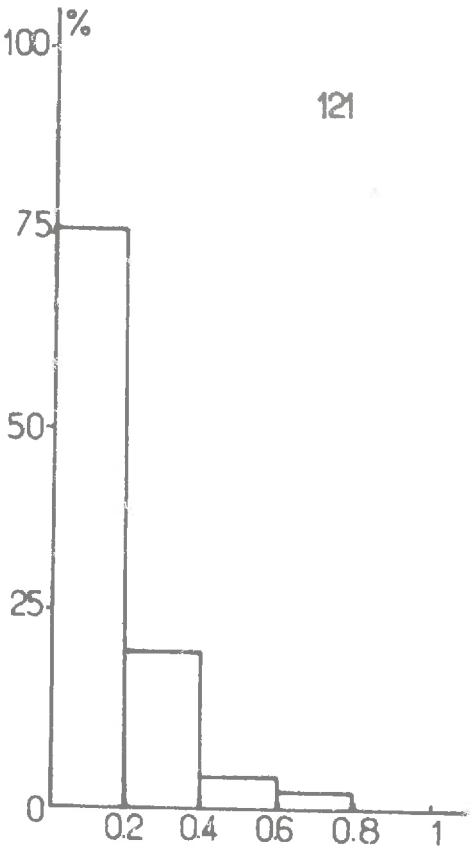
115



611

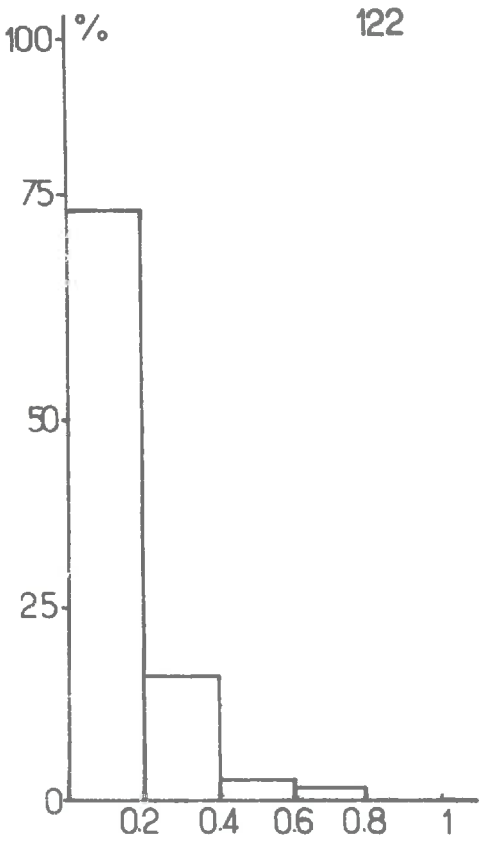


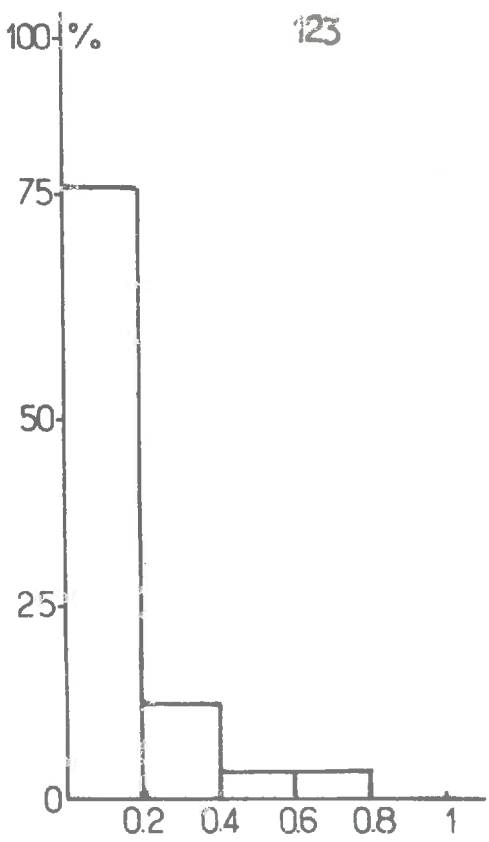
612

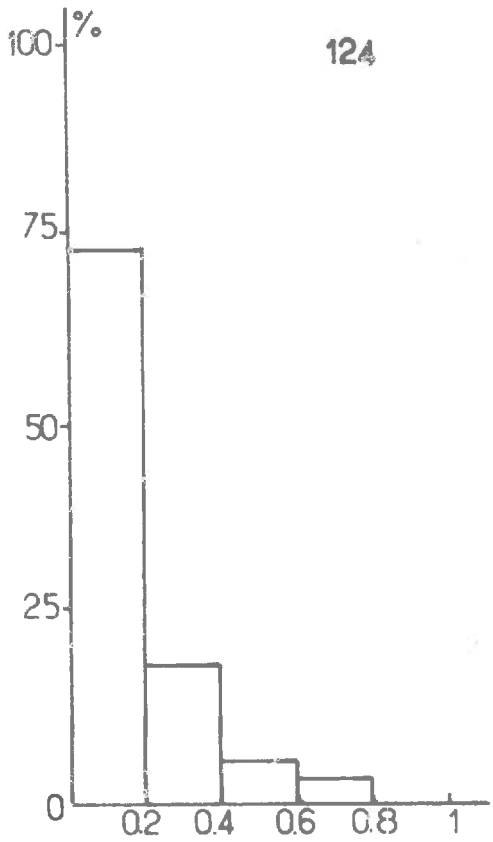


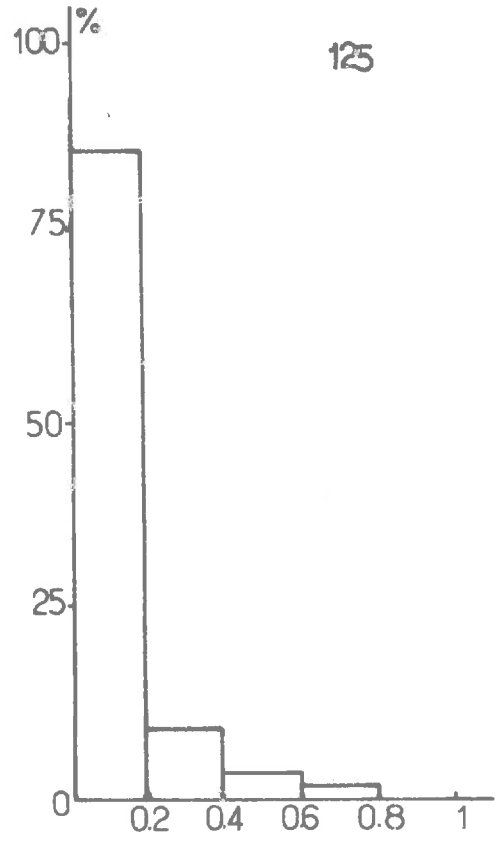
121

HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT

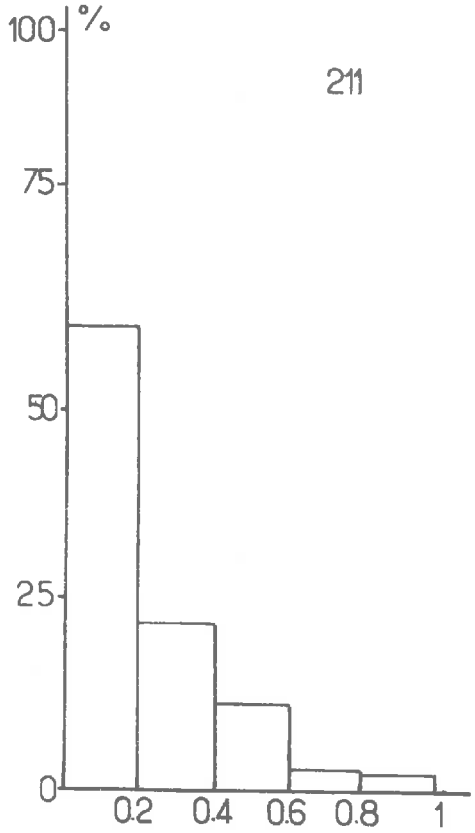


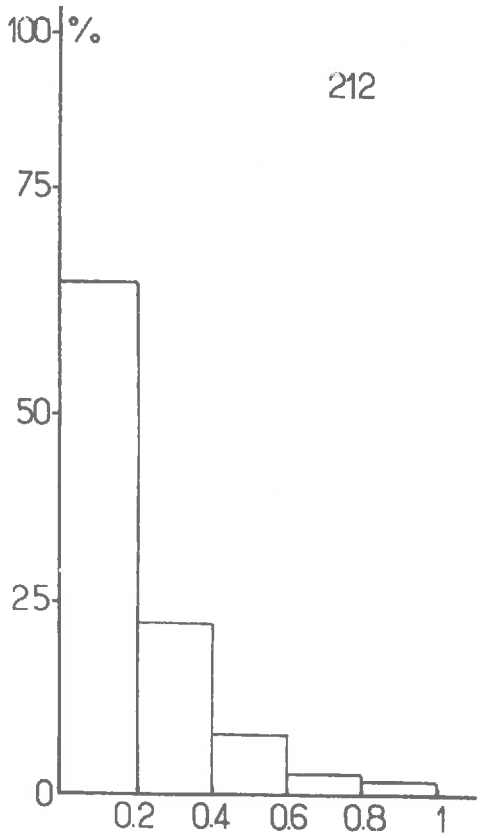


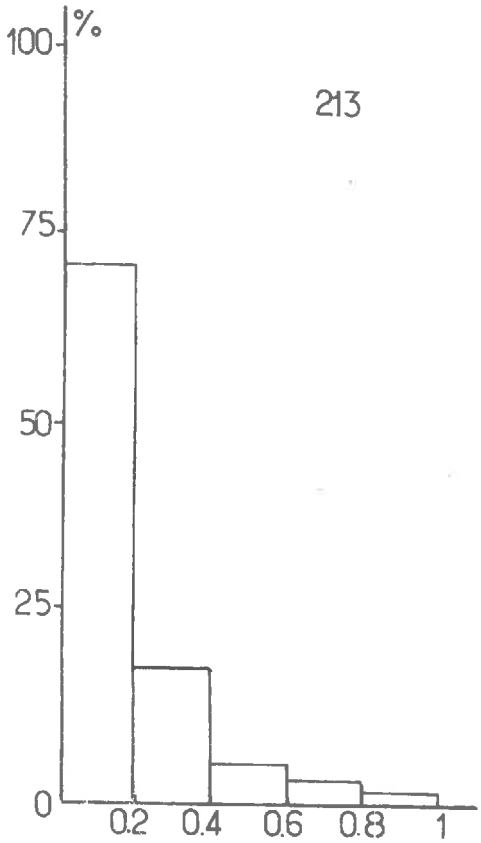


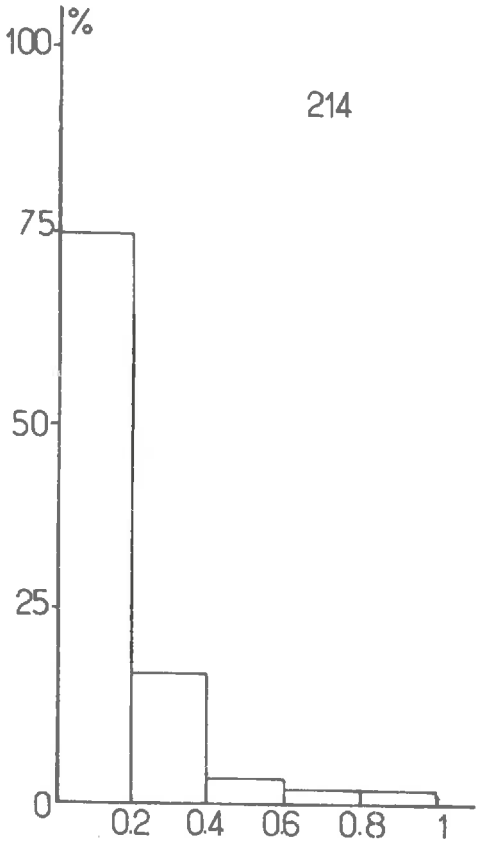


HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT

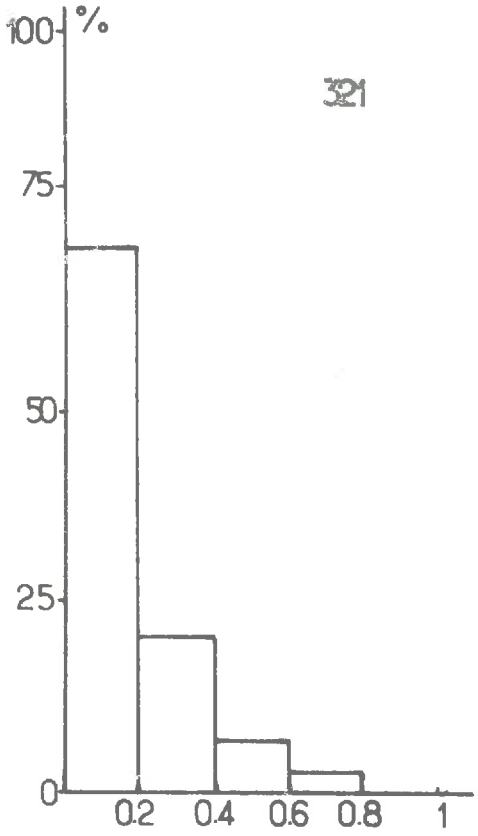


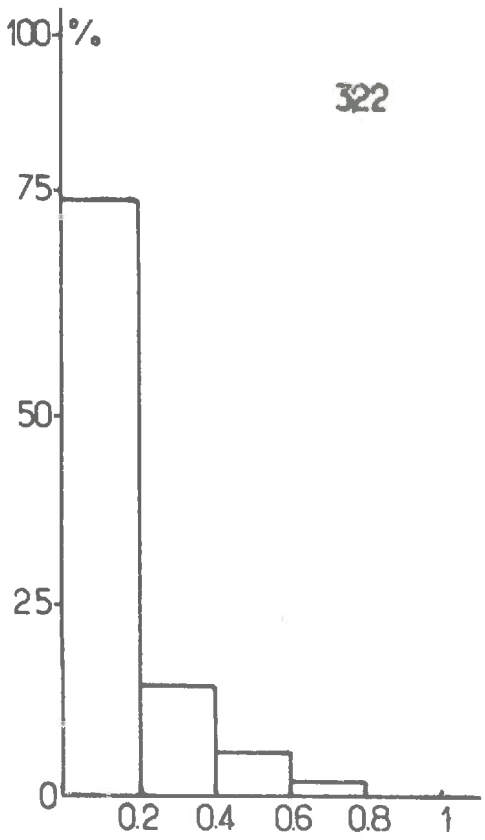


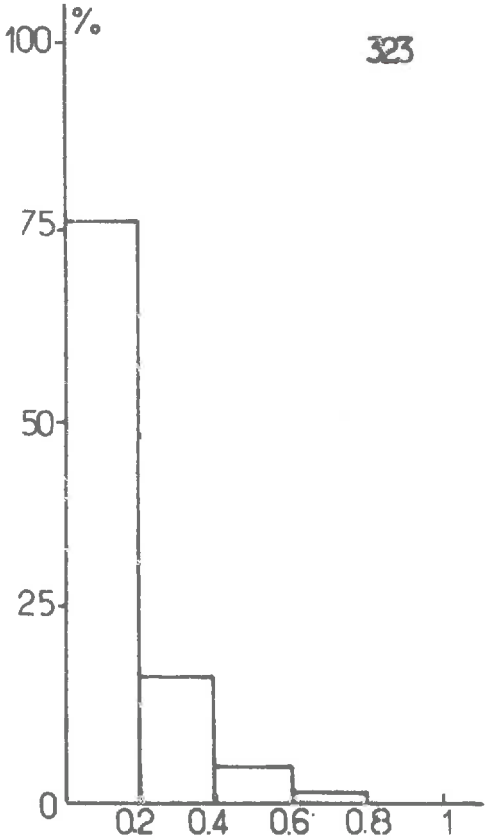


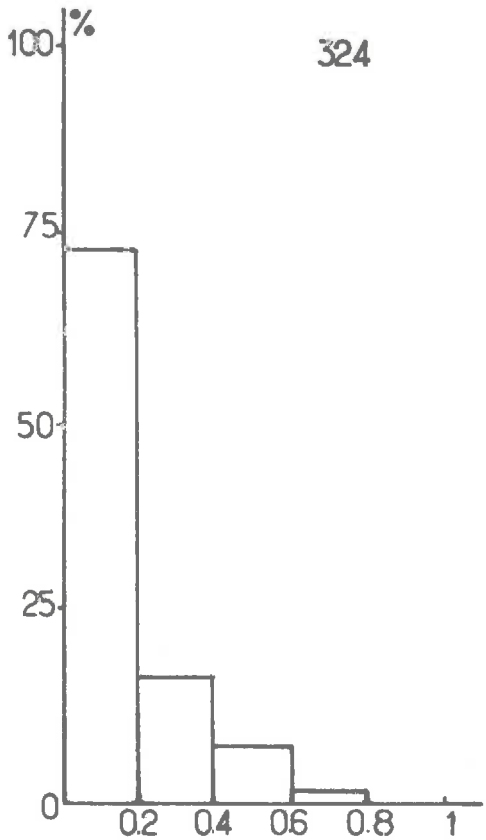


HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT

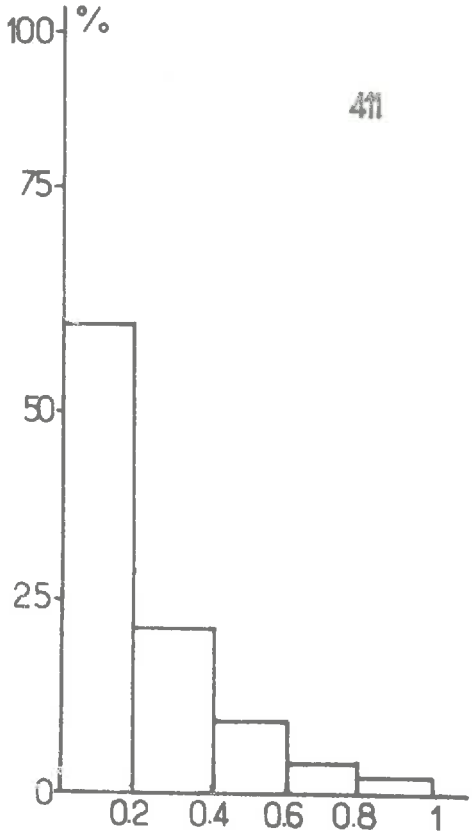




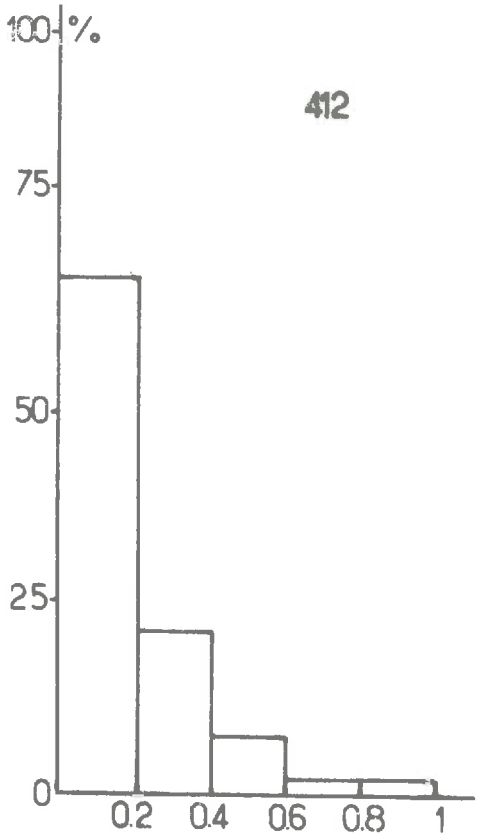




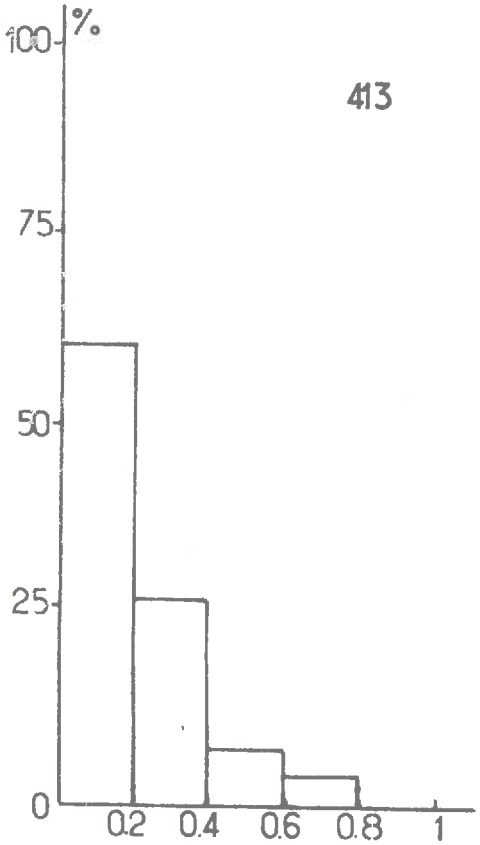
HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT



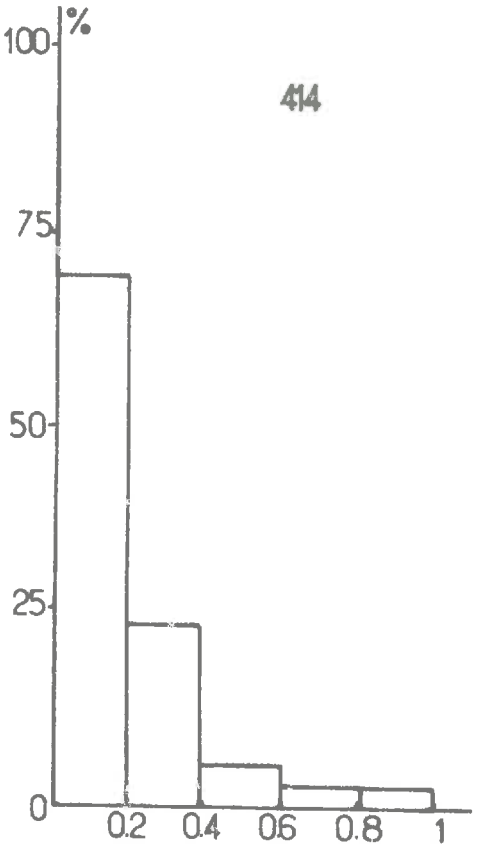
411



412

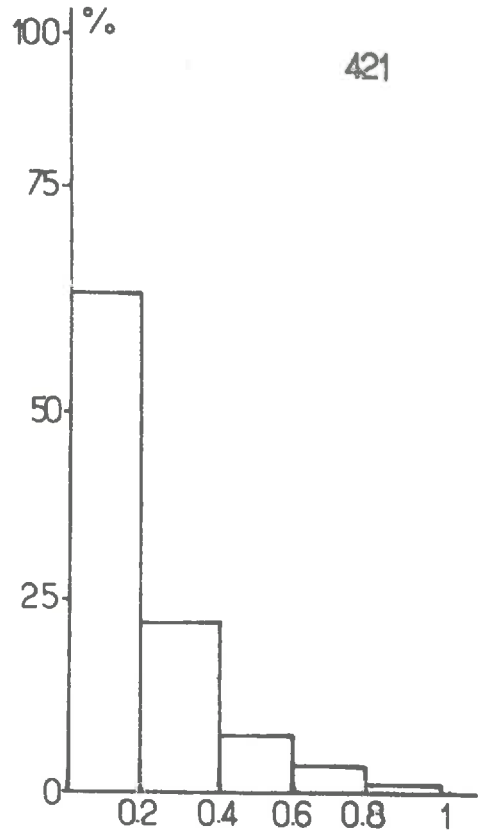


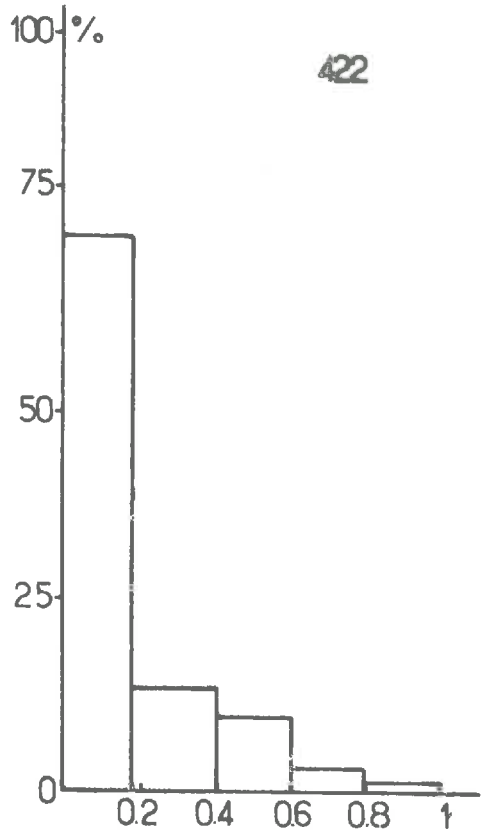
413

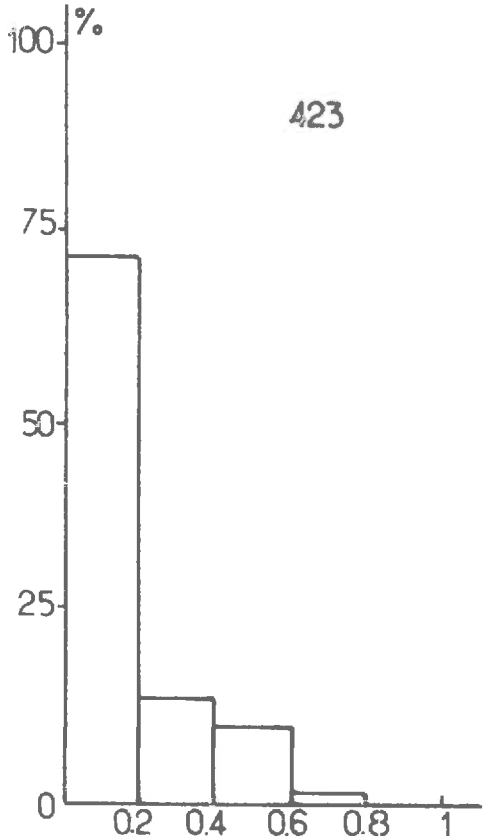


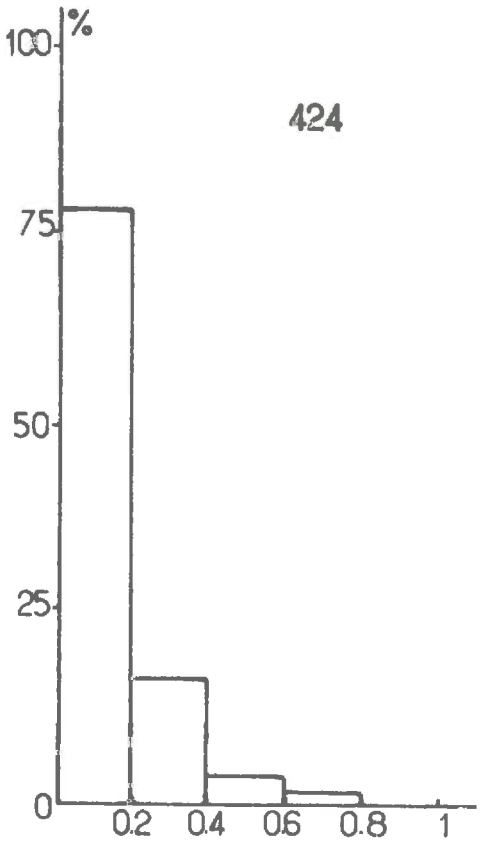
414

HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT

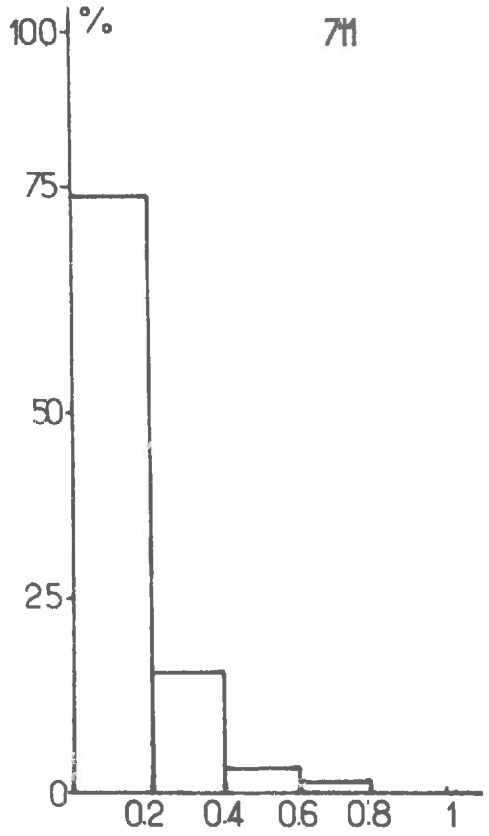


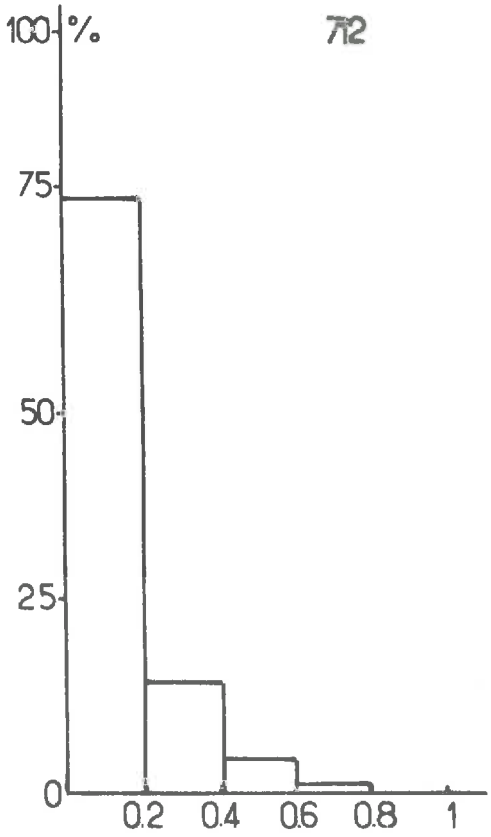


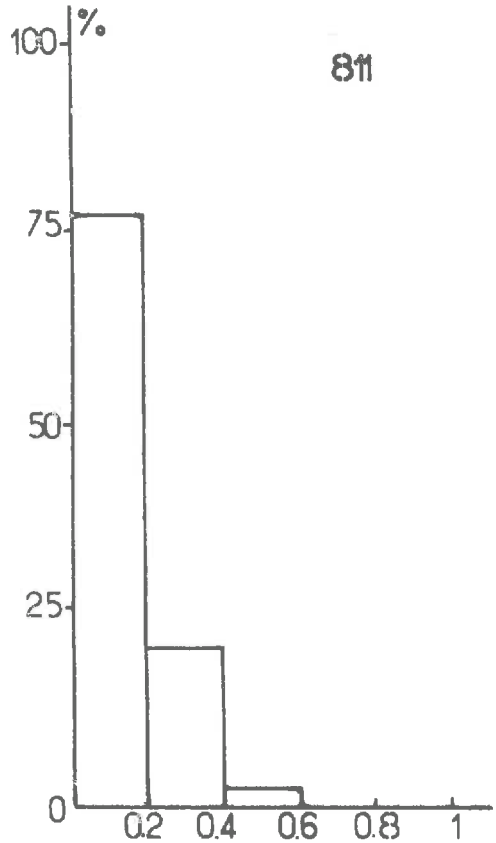


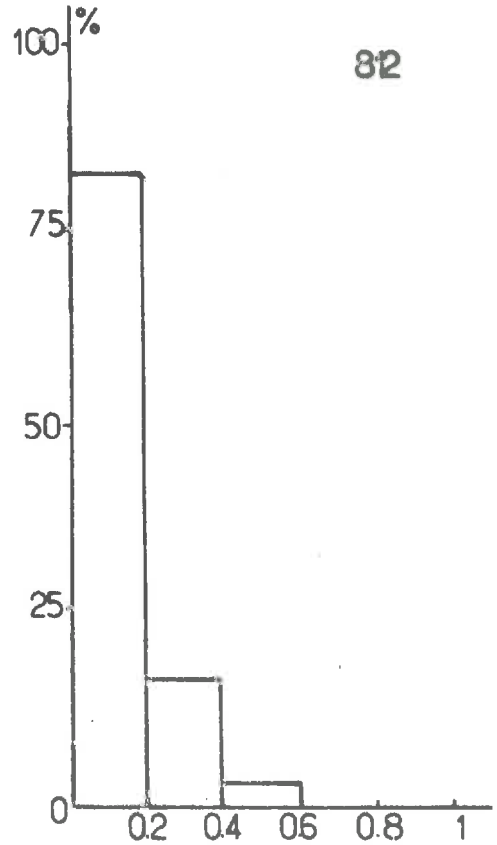


HISTOGRAMMES DE NON DEPASSEMENT









- A N N E X E - 17 -

LABEAU

PARCELLE 1

Mode d'irrigation : Redoutable 830

Emplacements :

I : sur passage ①

II : à 32m du passage ①

f à 1m " " "

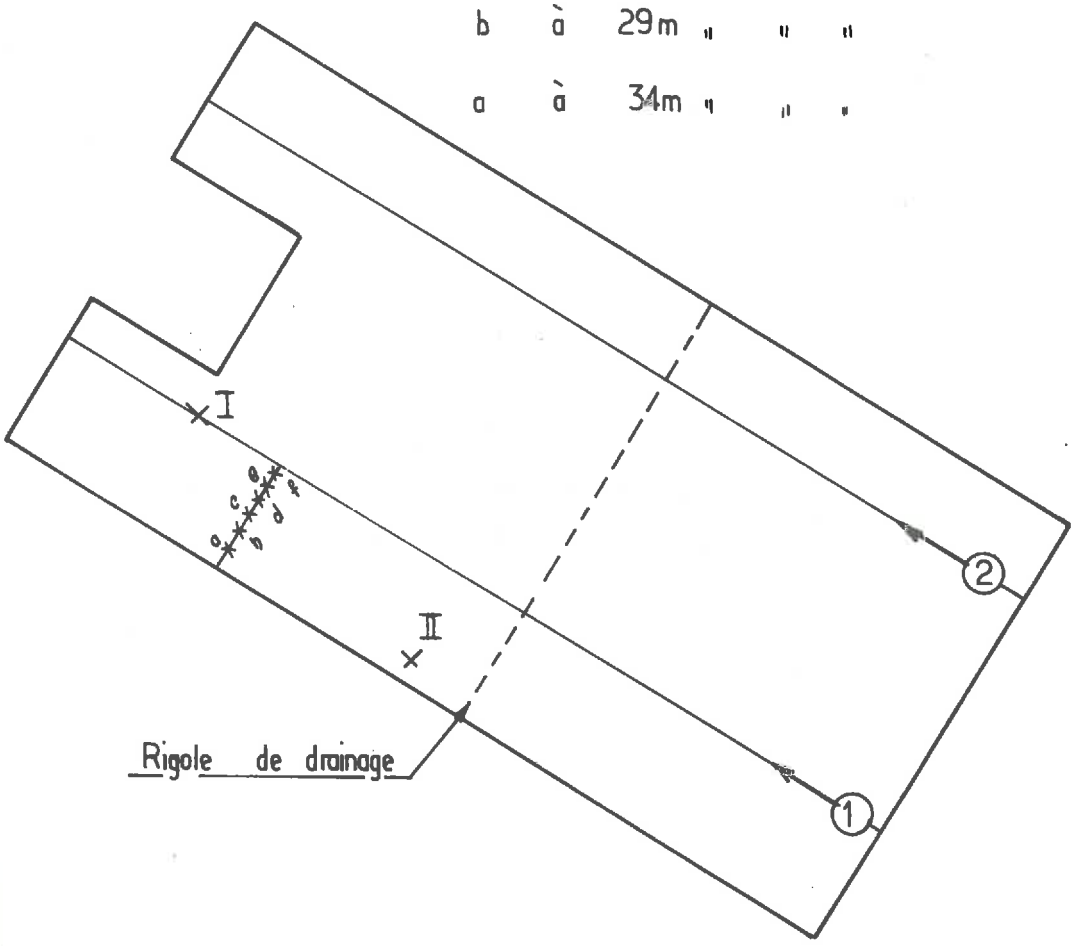
e à 8m " " "

d à 15m " " "

c à 22m " " "

b à 29m " " "

a à 34m " " "



Echelle : 1/2500

LAIBEAU

Parcelle 1

Mode d'irrigation : Redoutable 830

Emplacements :

I : à 6m du passage (1)

II : à 30m " "

f : à 6m " "

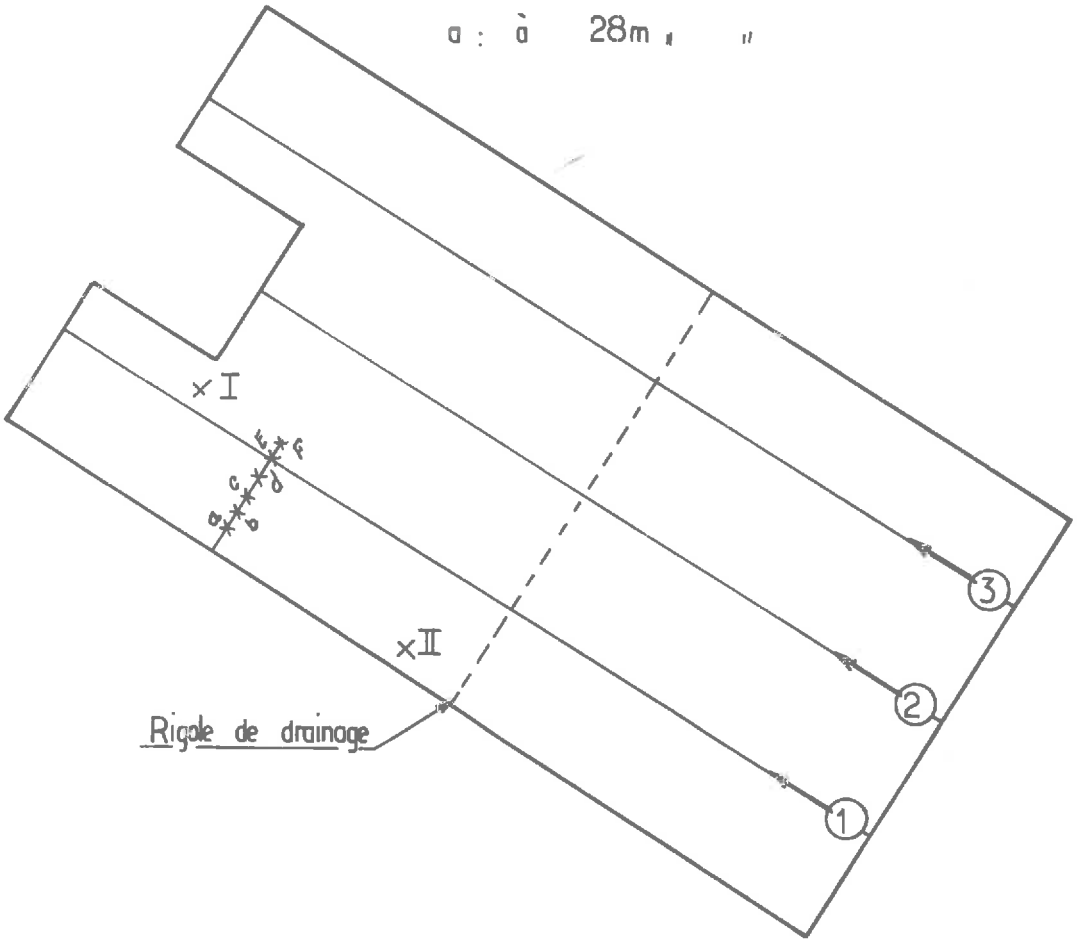
e : à 1m " "

d : à 7m " "

c : à 14m " "

b : à 21m " "

a : à 28m " "



Echelle : 1/2500

BENTEGEAC

PARCELLE 2

Mode d'irrigation : Rediutable 80

Emplacements :

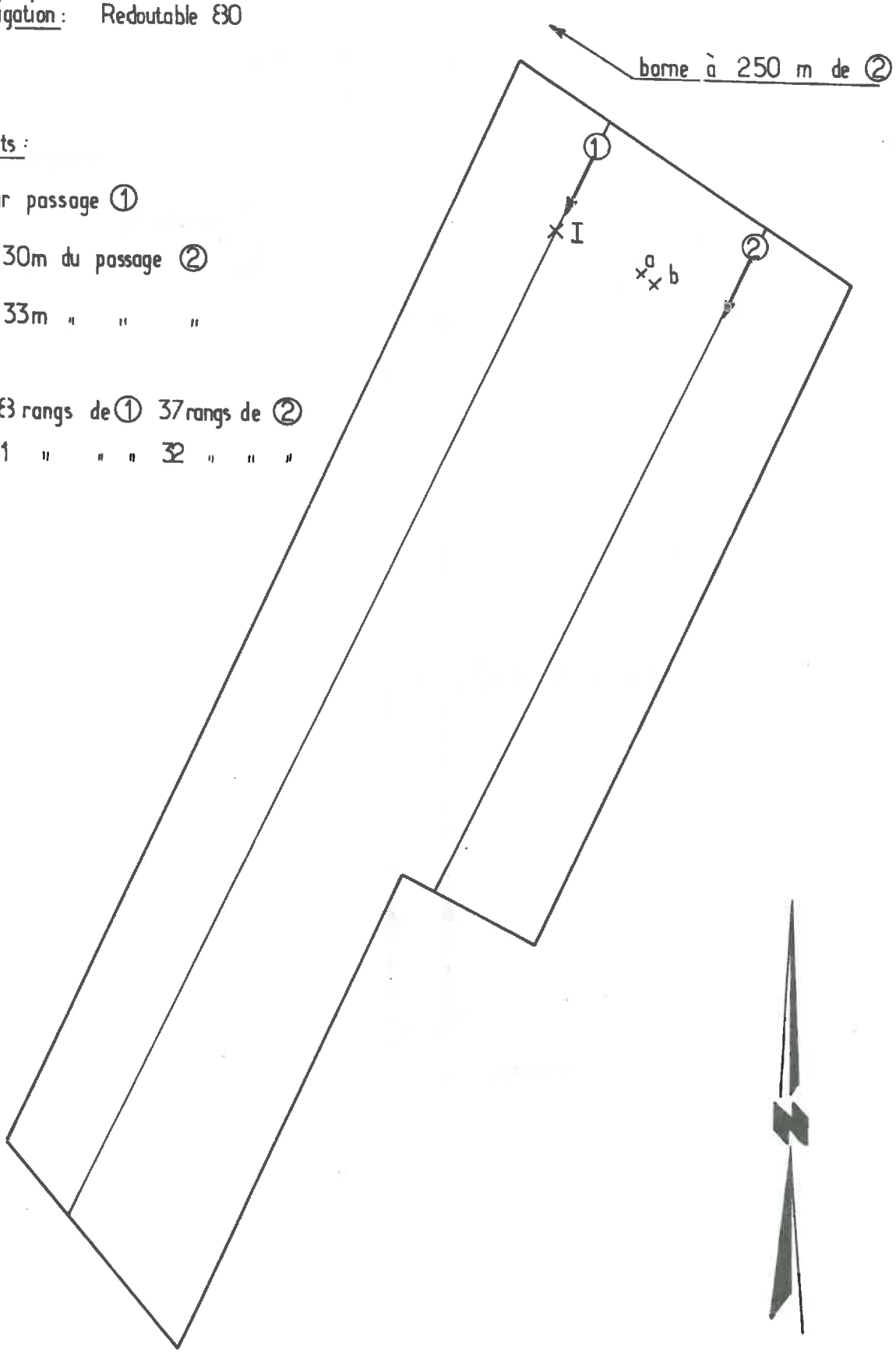
I : sur passage ①

a : à 30m du passage ②

b : à 33m " " "

a : à 383 rangs de ① 37 rangs de ②

b : à 41 " " " 32 " " "



Echelle : 1/2000

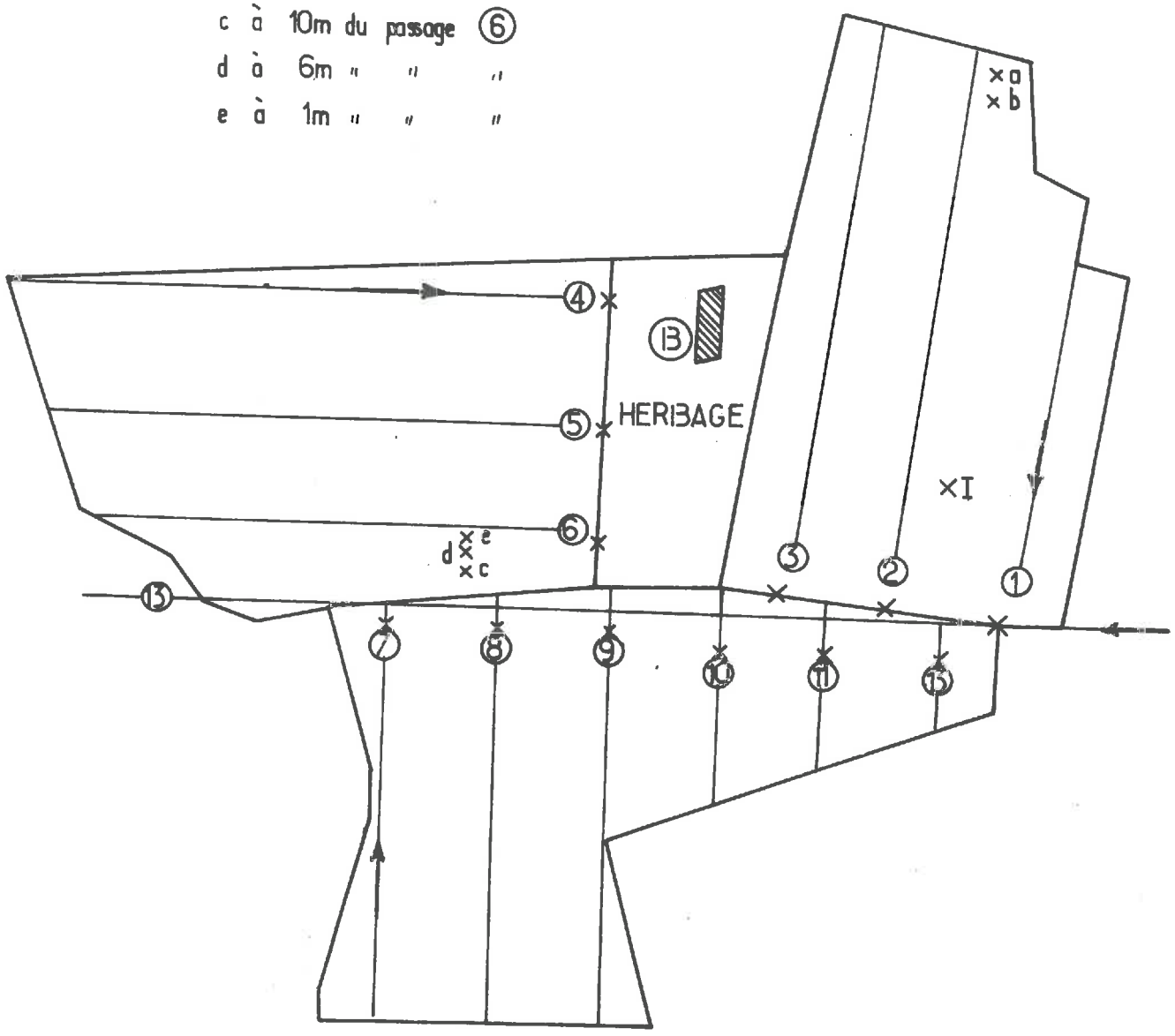
LAGARDERE

PARCELLE N° 3

Mode d'irrigation : PERROT MINIMAT 63

Emplacements :

I à 10m du passage ②
a } à 8m " " "
b
c à 10m du passage ⑥
d à 6m " " "
e à 1m " " "



Echelle : 1/2500

LAVILLE

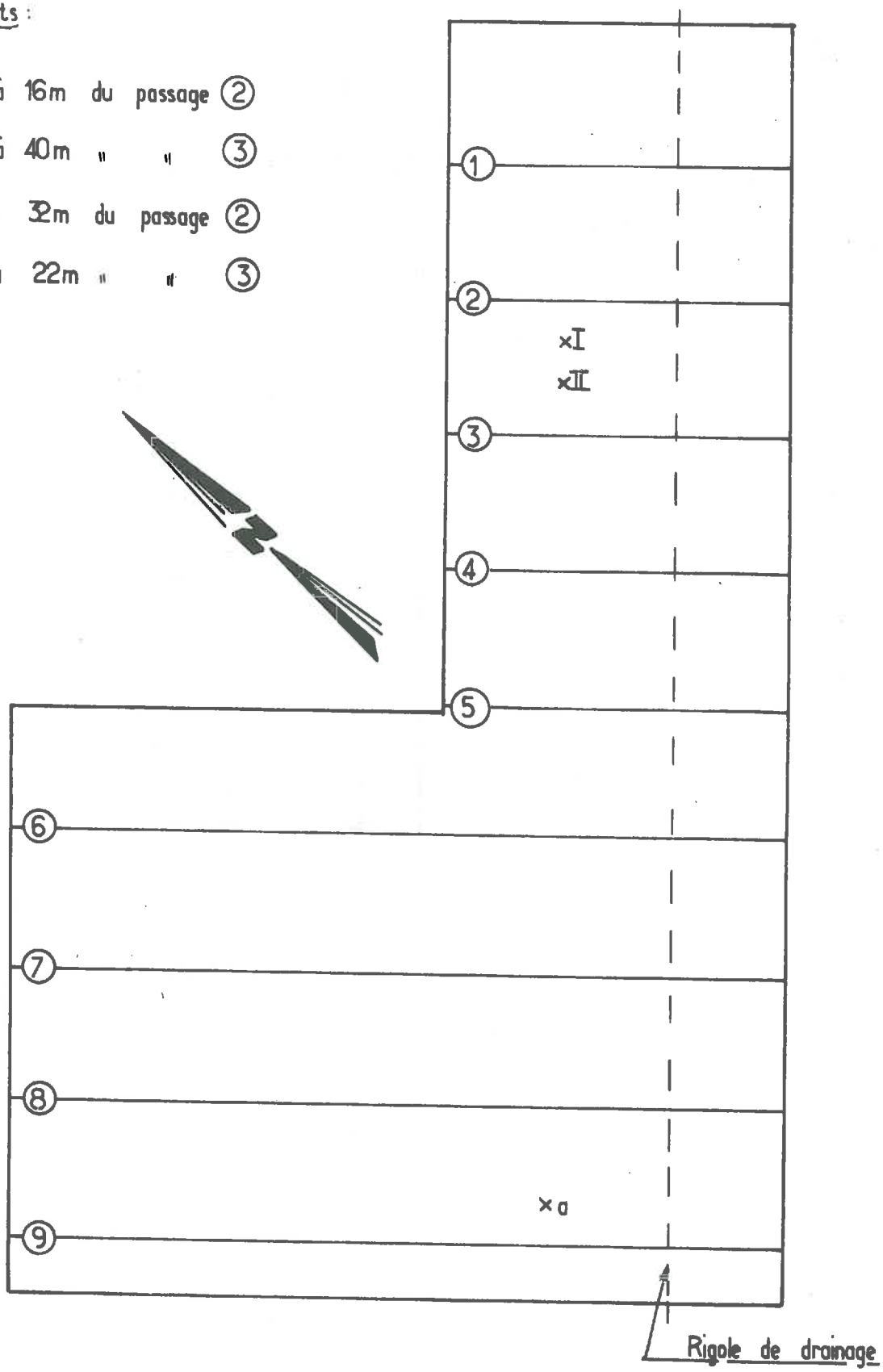
PARCELLE 4

Mode d'irrigation : Redoutable 80

Emplacements :

I { à 16m du passage ②
  { à 40m " " ③

II { à 32m du passage ②
   { à 22m " " ③



Echelle : 1/2500

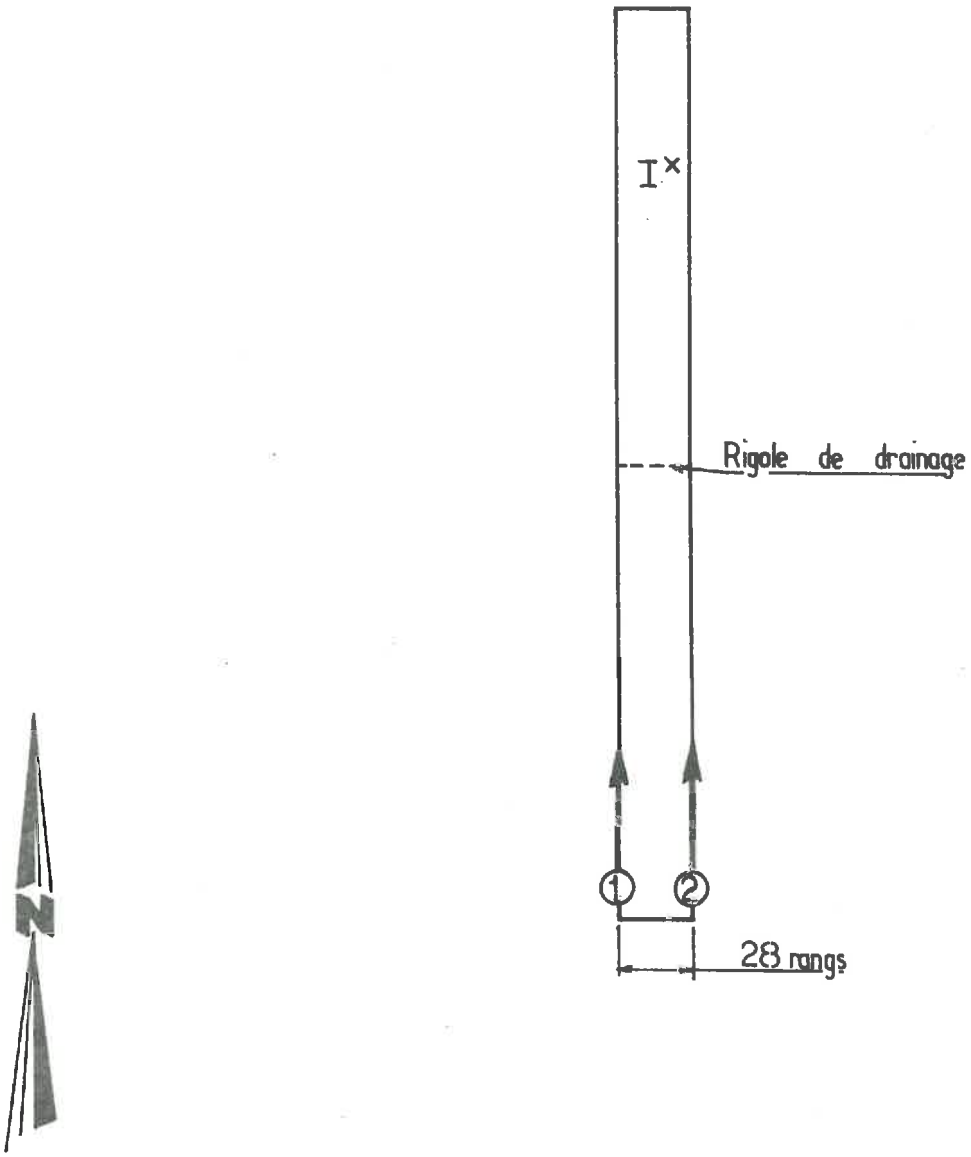
ST MARC

PARCELLE 6

Mode d'irrigation: IRRIFRANCE Mini enrouleur Ø 50

Emplacement :

I { à 6m du passage ①
  { à 18m ②



Echelle 1/2500

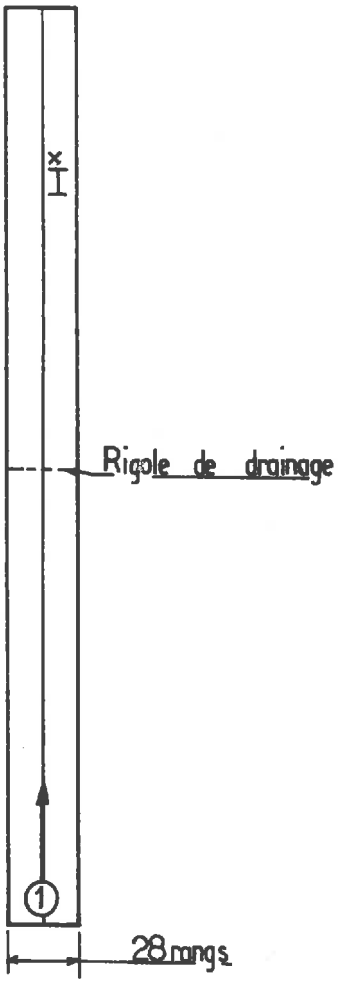
ST MARC

PARCELLE 6

Mode d'irrigation : IRRIFRANCE Mini enrouleur Ø 50

Emplacement :

I à 4m du passage du canon

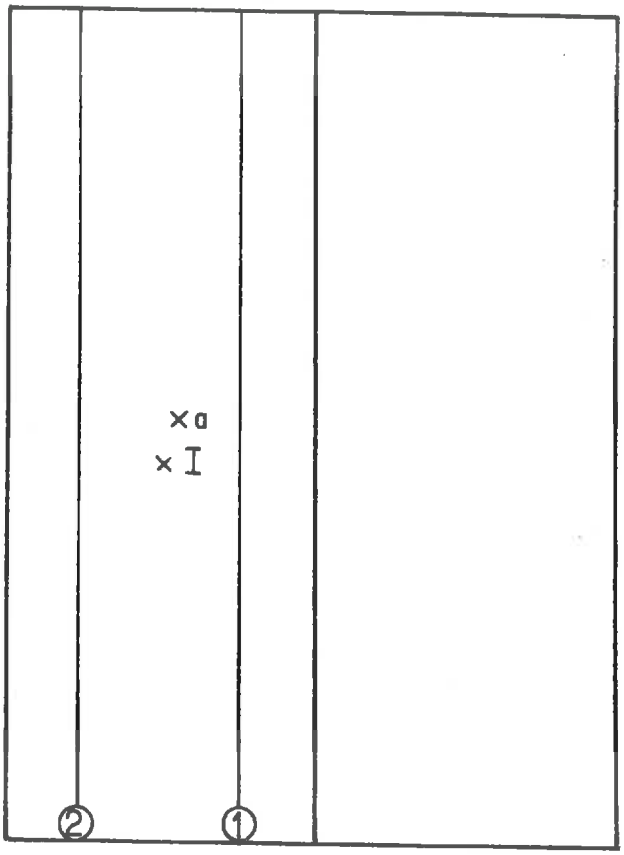


Echelle 1/2500

DUTHURON

PARCELLE 8

Mode d'irrigation : Ligne mobile



Emplacements

I : à 10 m du passage ①

a : à 6 m " " "

Echelle : 1/1000

DUTHURON

PARCELLE 9

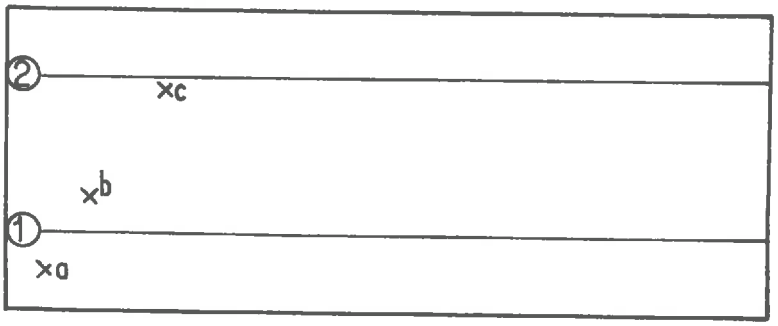
Mode d'irrigation : Ligne mobile

Emplacements

a : à 5m du passage ①

b : à " " " "

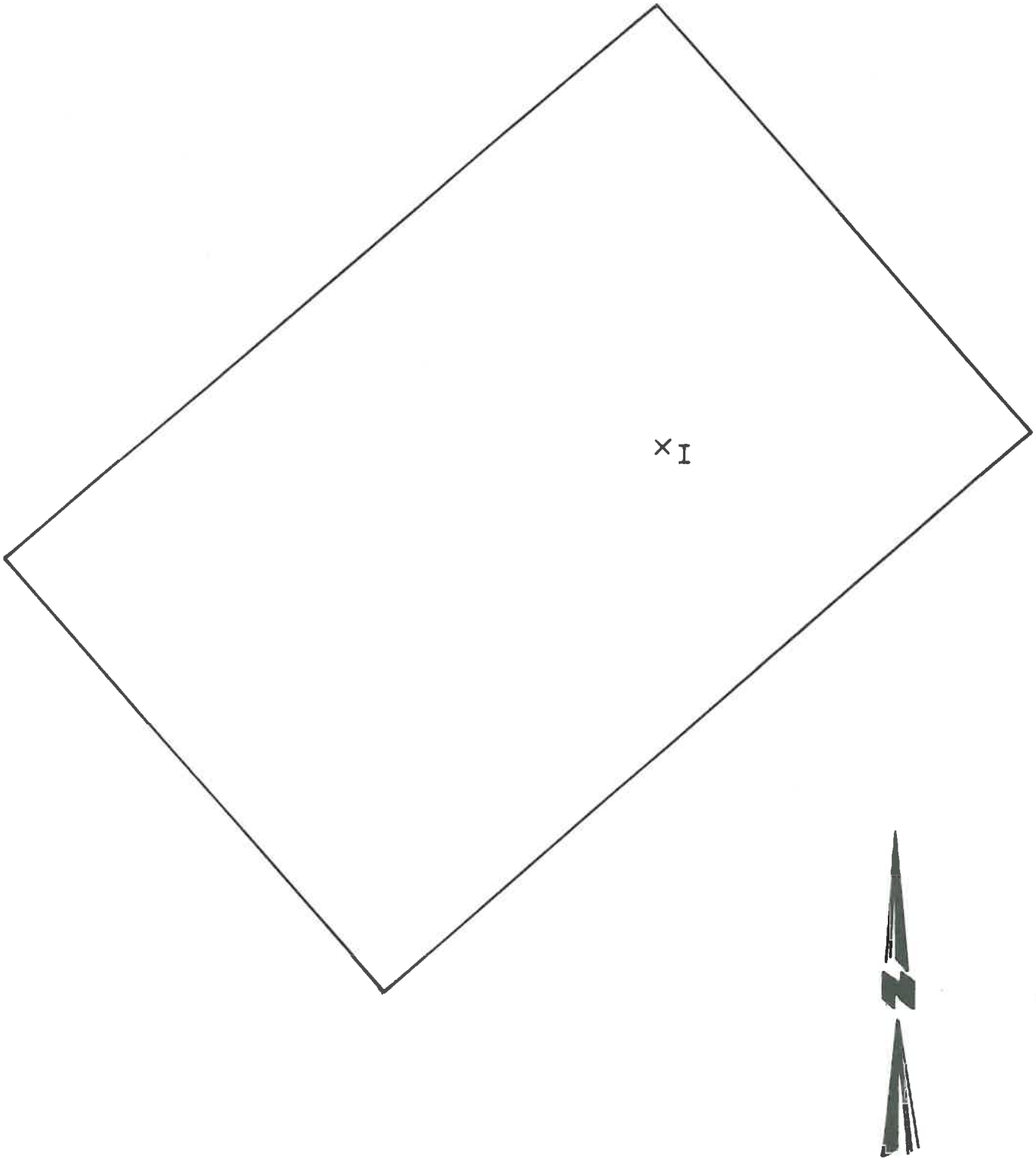
c : à 1m " " "



DELAGE

PARCELLE 7

PARCELLE NON IRRIGUEE



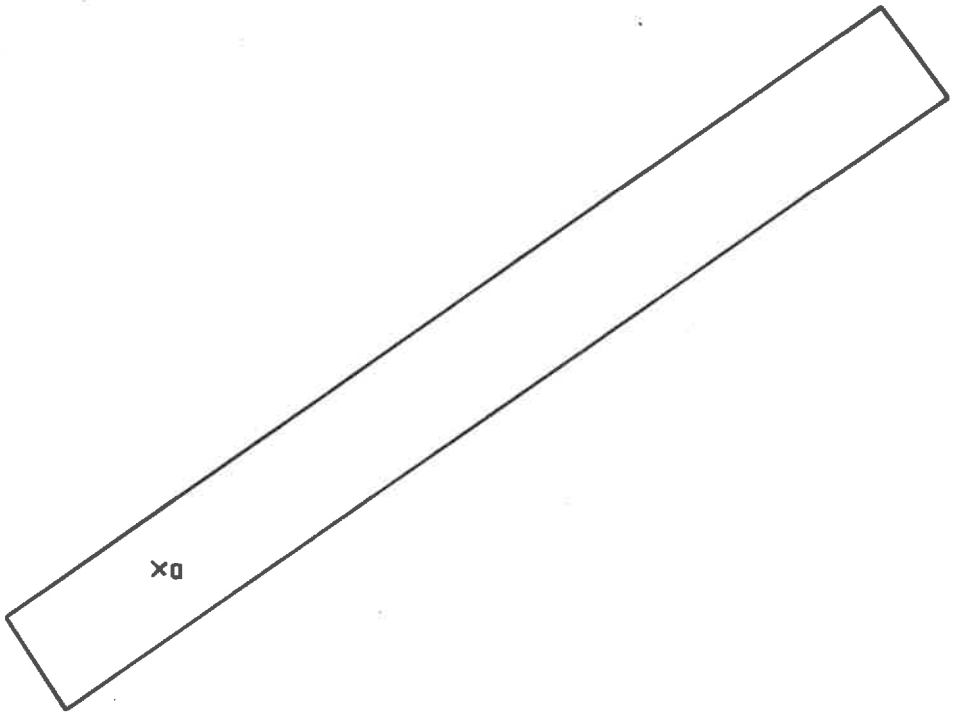
Echelle : 1/ 2000

LAVILLE

PARCELLE 10

PARCELLE TEMOIN SEC

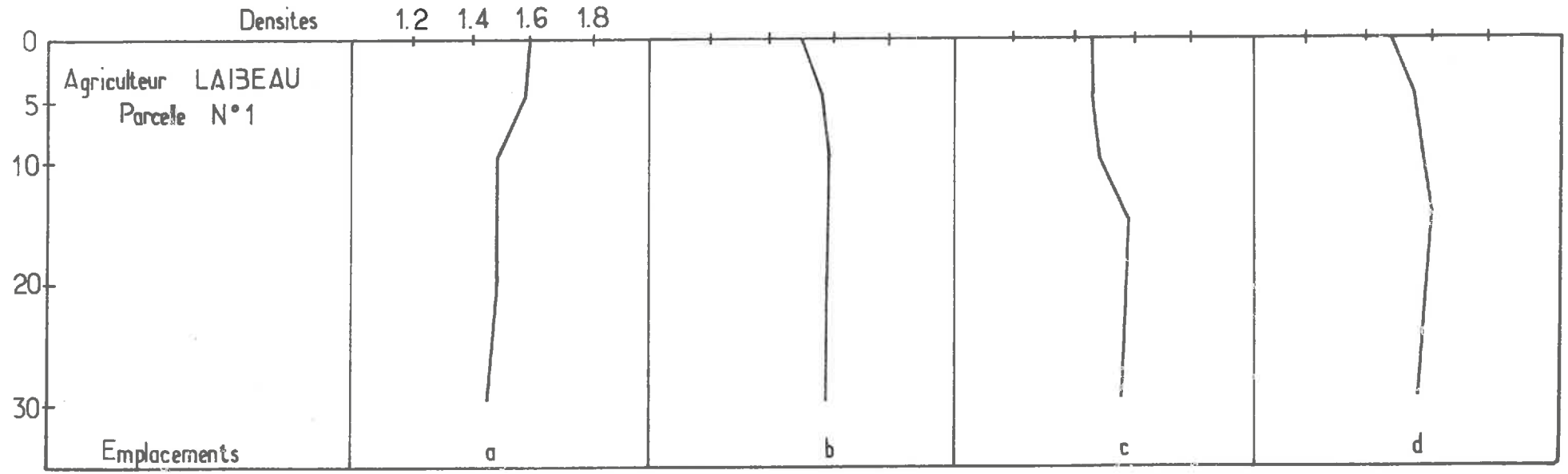
a : à 20m du bout de la parcelle



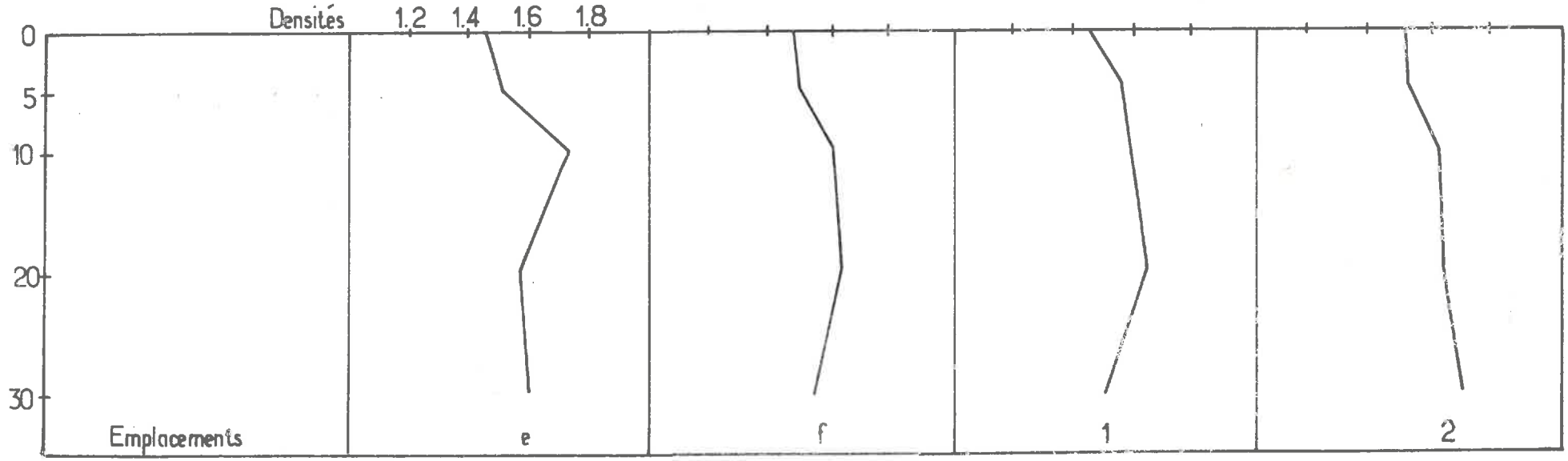
Echelle : 1/1000

- A N N E X E - 18 -

COURBES DE DENSITES APPARENTES

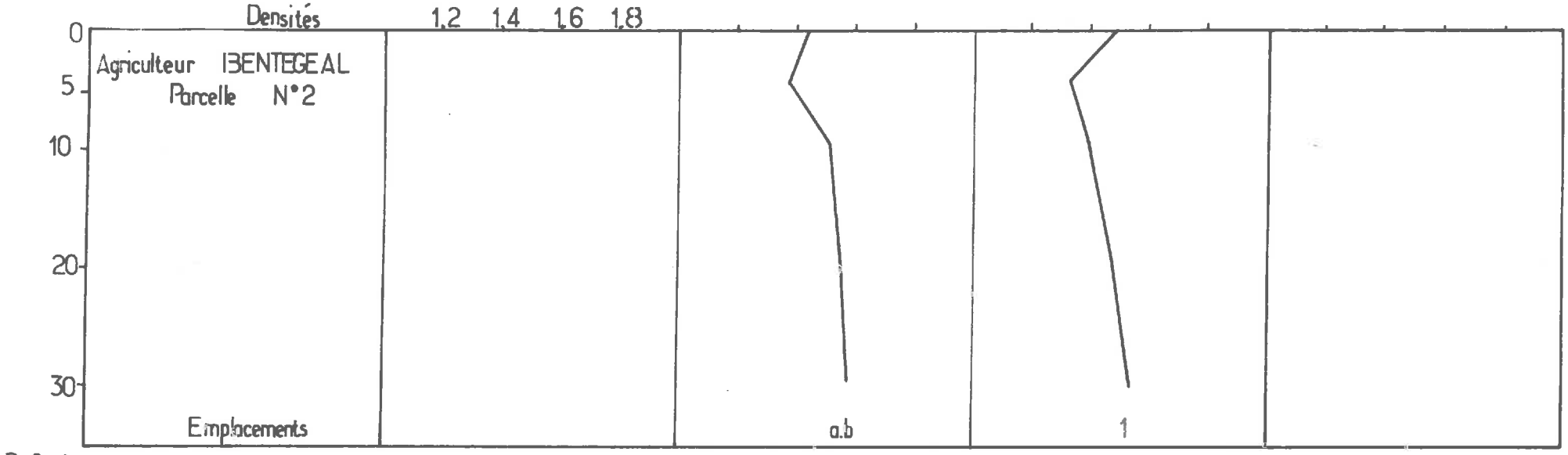


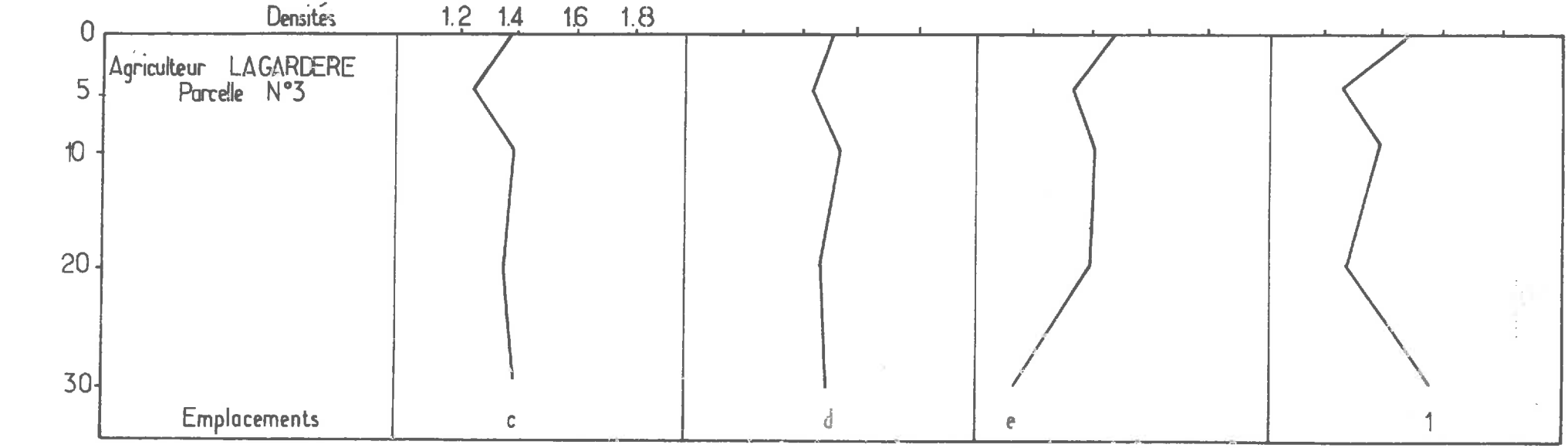
Profondeur en cm



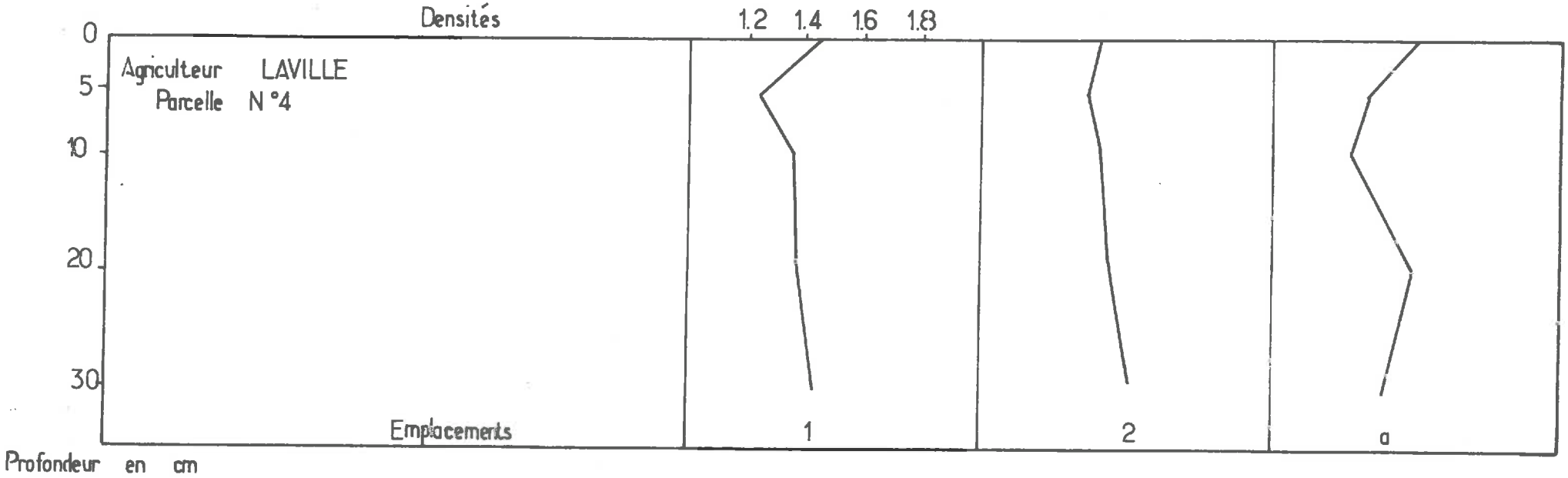
Profondeur en cm

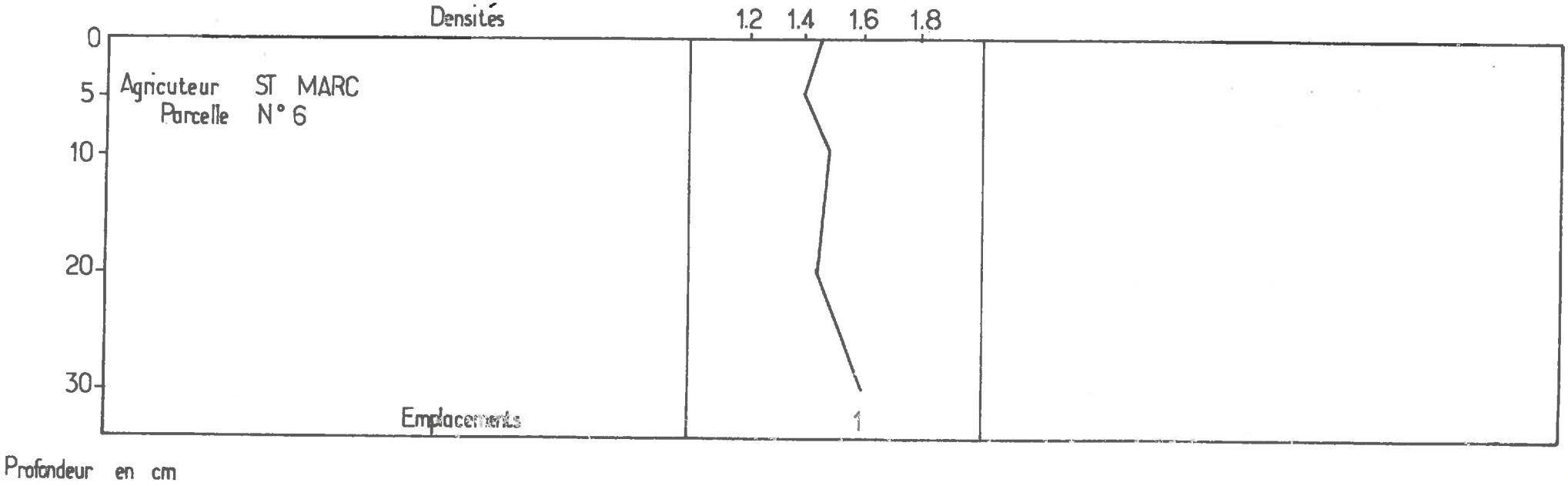
COURBES DE DENSITES APPARENTES



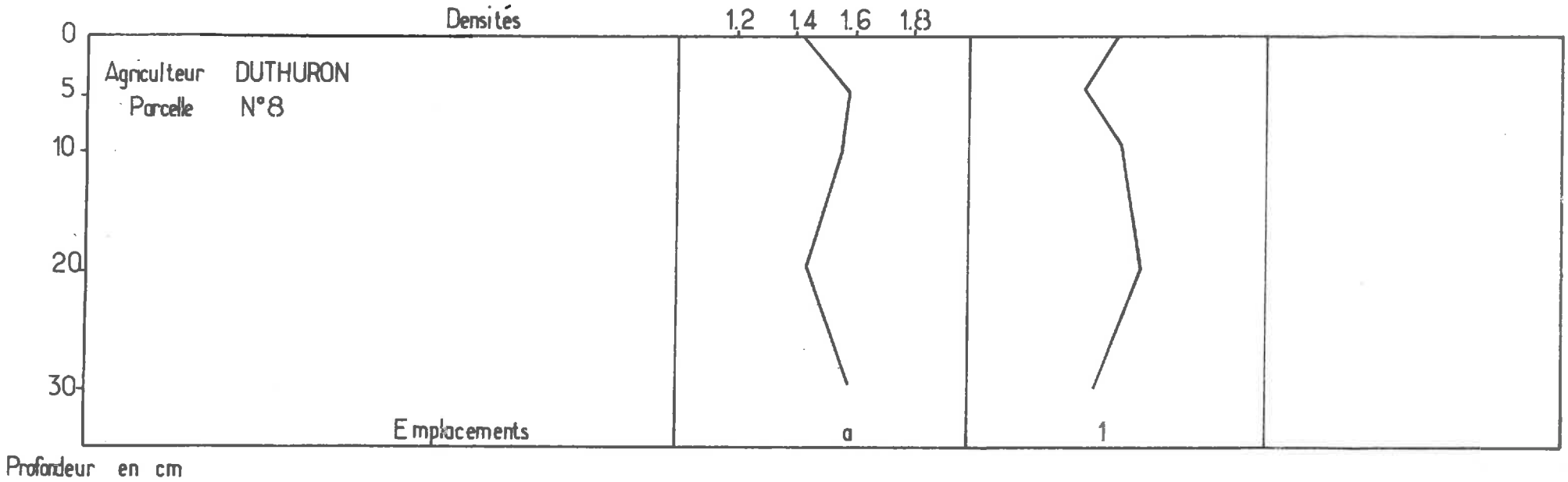


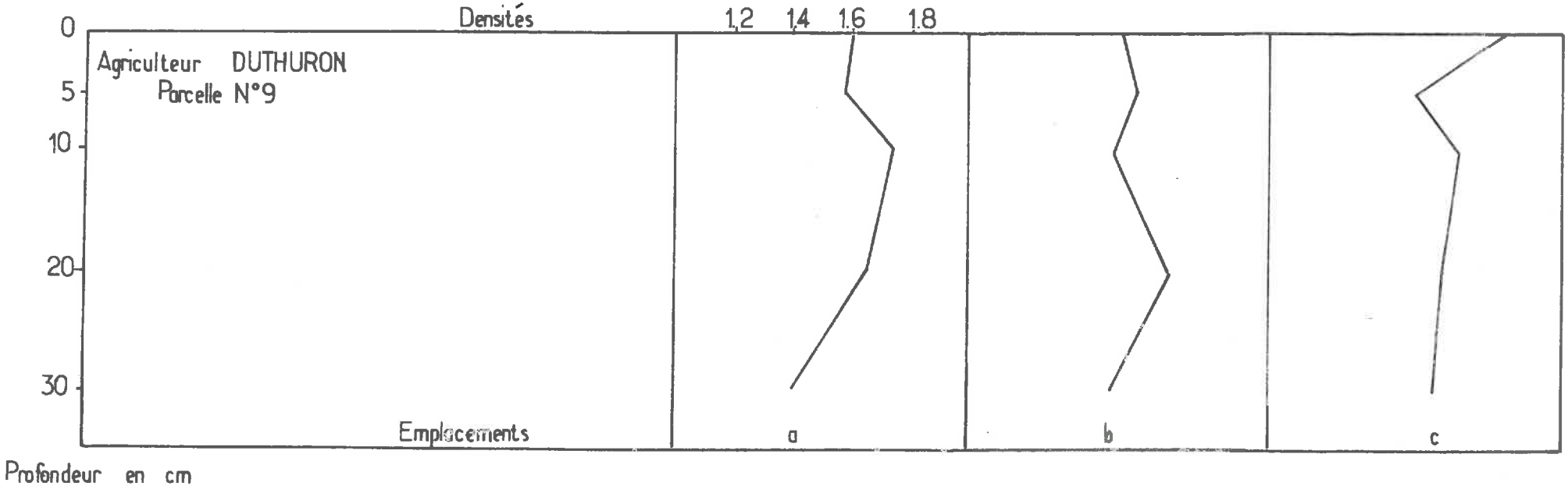
COURBES DE DENSITES APPARENTES



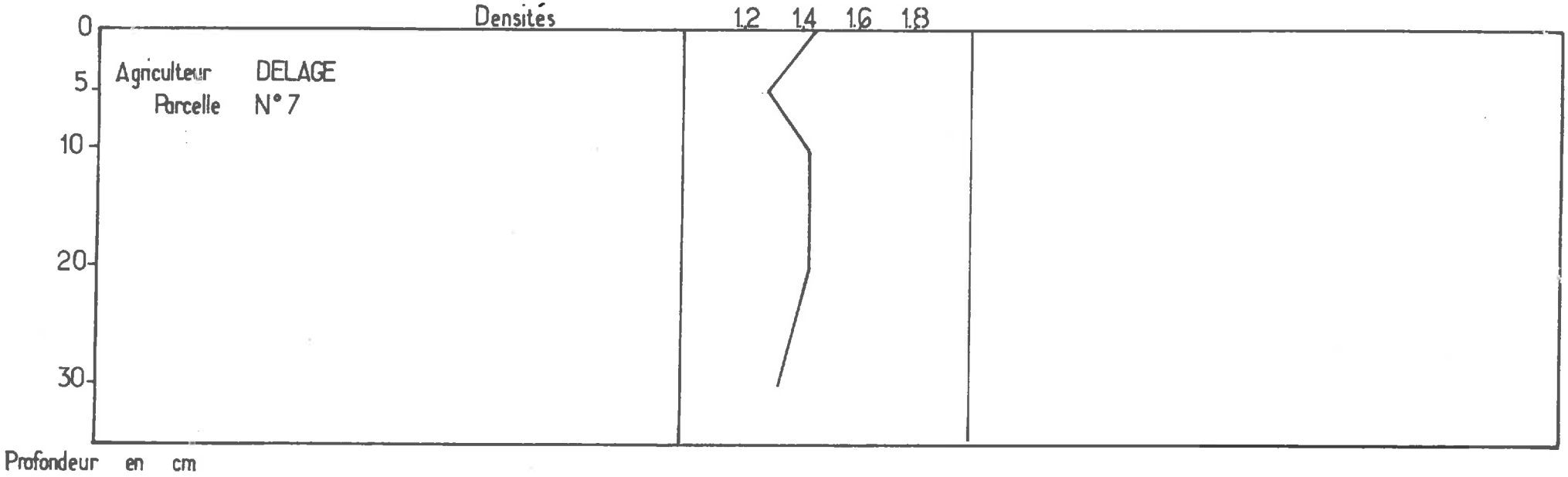


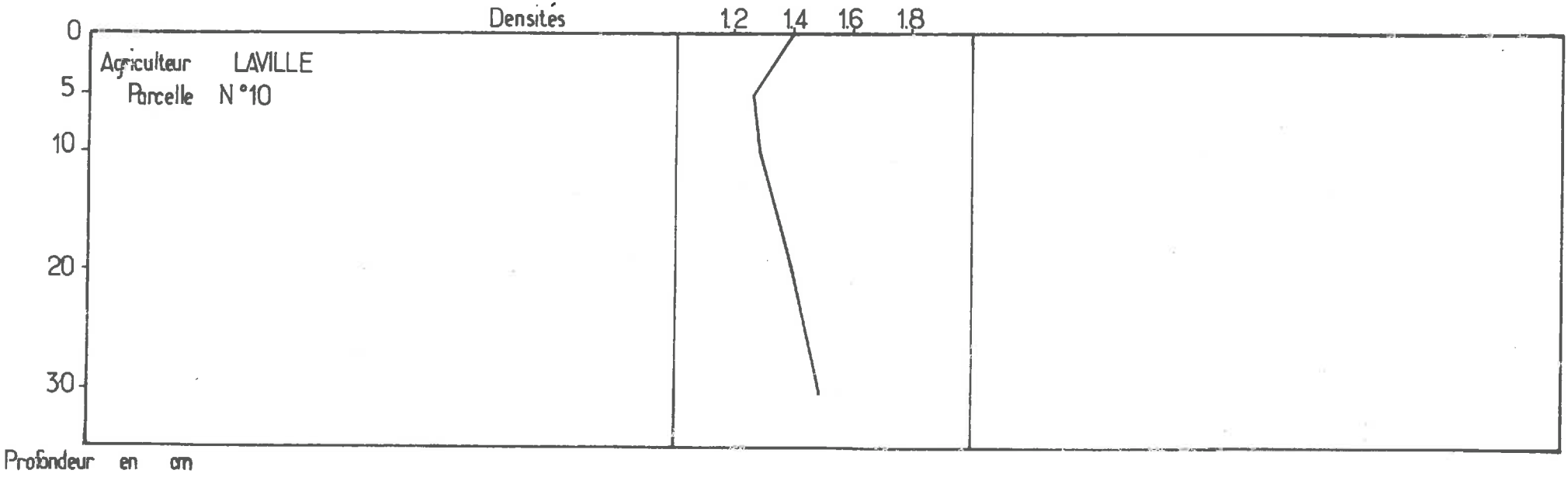
COURBES DE DENSITES APPARENTES



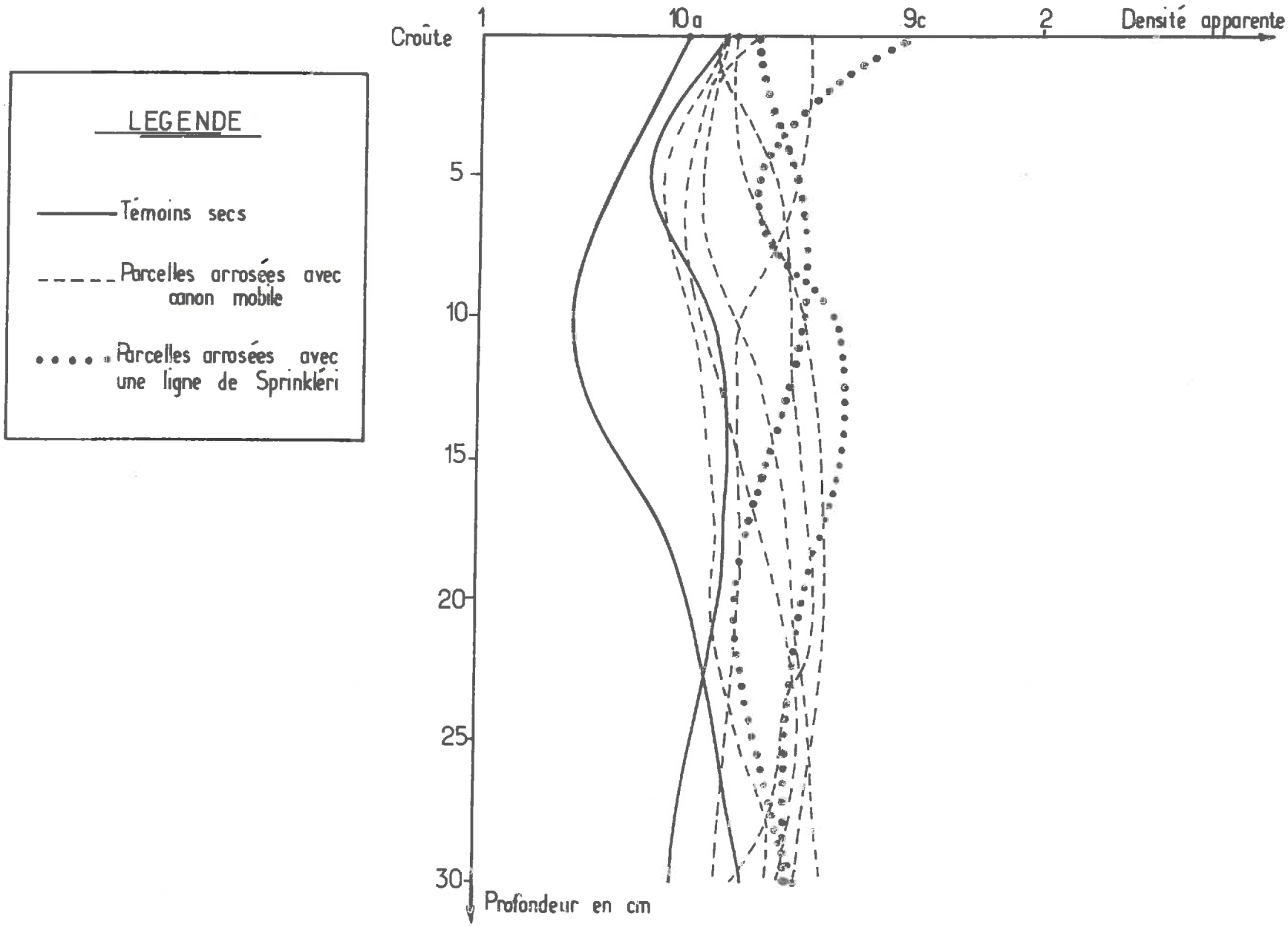


COURBES DE DENSITES APPARENTES





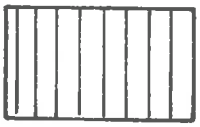
COURBES DES DENSITES APPARENTES

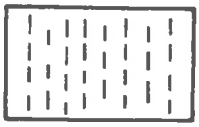


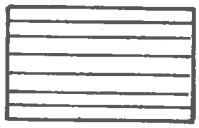
- A N N E X E - 19 -

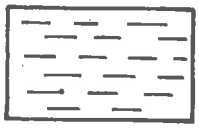
LEGENDE

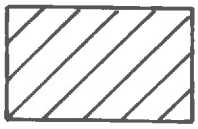
COULEUR

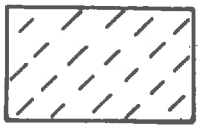

Olive


Brun gris

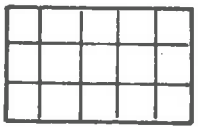

Brun foncé


Brun jaune

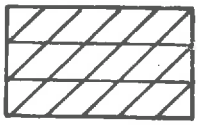

Brun gris foncé

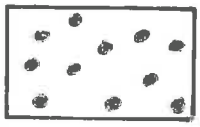

Gris brun clair

TEXTURE

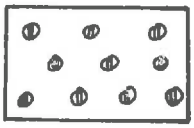

Limono sableuse

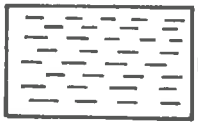
Limoneuse

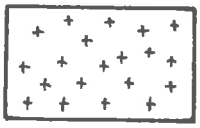

Limono argileuse

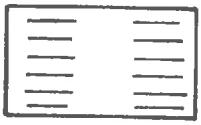

Concrétions ferromanganésifères

Limono sableuse argileuse

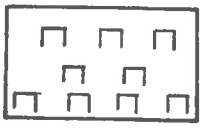

Taches rouilles

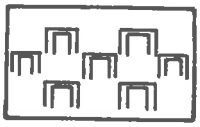

Croûte de battance soufflée

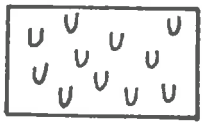

Graviers


Croûte de battance compacte

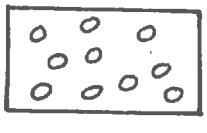
STRUCTURE


Polyédrique fine


Polyédrique grossière


Polyédrique subanguleuse fine

Polyédrique subanguleuse grossière


Grumeleuse

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : LABEAU

Parcelle : 1

Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
					1,44	10,8			
				24	1,46				
					1,56				
					1,53				
40									
100									

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : BENTEGEAC

Parcelle : 2

Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
4o				26,17	1,43 1,5o 1,54 1,56	1o,6			
6o									
1oo									

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : LAGARDERE

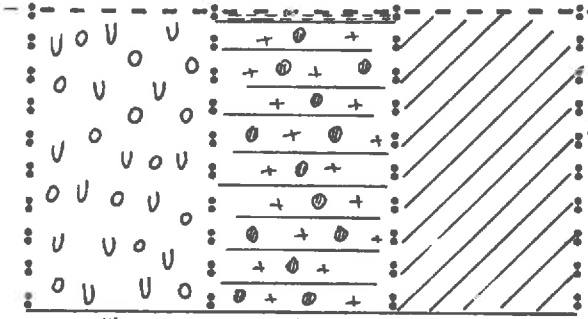
Parcelle : 3

Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
					1,47	11,5			
					1,36				
				2 8,4o			o,32	o,14	
3o					1,22				
					1,52				
							o,32	5,58	
8o									
1oo									

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : LAVILLE

Parcelle : 4

Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
					1,45	9,3			
					1, 35				
				23,85	1,36		o,9	o,2	
					1,42				
4o									
							o,o1	o,1	
1oo									

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : ST MARC

Parcelle : 6

Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
					1,44				
				27,41	1,46	11,1			
2o					1,42		o;o7	o,o5	
3o					1,58				
							o,3	4,6	
6o									
1oo									

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : DELACE

Parcelle : 7

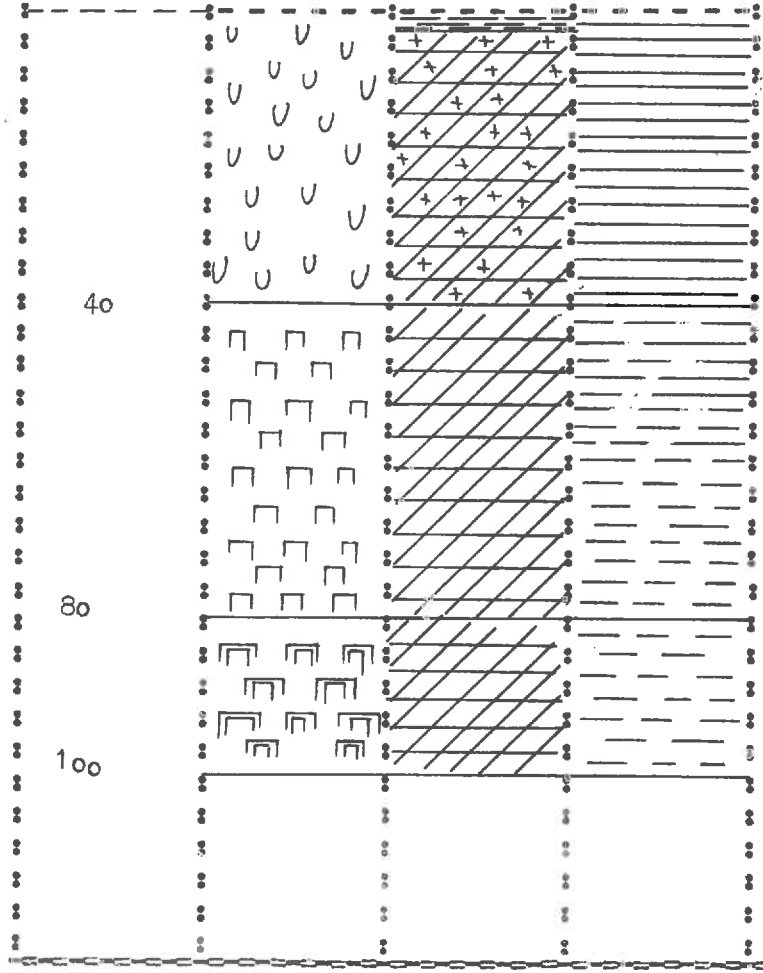
Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
					1,44				
					1,42				
				26,86	1,43				
							0,6	0,08	
					1,33				
40									
							0,4	0,08	
80									
100									

PROFIL PEDOLOGIQUE

Agriculteur : DUTH URON

Parcelle : 9

Profondeur en cm	Structure	Texture	Couleur	Humidité équivalente He en %	Densité apparente Da	Dose pratique d'arrosage par dm	Perméabilité horizontale cm / h	Perméabilité verticale cm / h	OBSERVATIONS
					1,5o	11,2			
				24,1	1,48				
					1,66		1,32	o,o2	
					1,46				
4o									
							o,oo1	o,o3	
8o									
1oo									



C. T. G. R. E. F.

GROUPEMENT DE BORDEAUX

E. S. I. T. P. A.

A N N E X E S

MINISTERE DE L'AGRICULTURE
— I. N. R. A. —
STATION de SCIENCE du SOL
Domaine Saint-Paul
84140 MONTFAVET

TH-
6013

Hervé MONTIGNY - Juin 1977 -