

T H E S E

présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE PARIS

pour l'obtention

DU DOCTORAT 3ème CYCLE

Spécialité : Géologie dynamique

Mention : Pédologie

par

Ali MHIRI

ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE
DES HORIZONS DE SURFACE
DE QUELQUES SOLS DU NORD DE LA TUNISIE

Soutenue le 6.6.70 devant la Commission d'Examen

MM. L. GLANGEAUD Président

H. FAURE
G. AUBERT }Examineurs

A. VERNET Invité

T H E S E

présentée à

LA FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

pour l'obtention

du DOCTORAT 3^e CYCLE

Spécialité : GEOLOGIE DYNAMIQUE
Mention : PEDOLOGIE

par

Ali MHIRI

ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE
DES HORIZONS DE SURFACE DE QUELQUES SOLS
DU NORD DE LA TUNISIE

Soutenue le 6.6.1970 devant la Commission

composée de M.M.	GLANGEAUD L.	Président
	FAURE H.	} Examinateurs
	AUBERT G.	
	VERNET A.	Invité

S o m m a i r e

	page
I - A V A N T - P R O P O S	1
II - I N T R O D U C T I O N : B U T D E L ' E T U D E .	4
1°. NOTION DE STRUCTURE DU SOL	5
2°. NOTION DE STABILITE STRUCTURALE DES SOLS	7
3°. VARIATIONS DE LA STABILITE STRUCTURALE DU SOL	9
a. Variations saisonnières de la stabilité structurale	9
b. Variation de la stabilité structurale en fonction de la profondeur du sol	11
III - M A T E R I E L E T M E T H O D E S	13
A. M a t é r i e l : L e s s o l s é t u d i é s .	13
1°. SOLS DE L'ORANGERAIE ZERIGUE (MATEUR)	13
a. Situation géographique	13
b. Géologie	14
c. Topographie	14
d. Climatologie	14
e. Pédologie	15
2°. SOLS DE L'ORANGERAIE KHELIL (BOU SALEM)	18
a. Situation géographique	18
b. Géologie	18
c. Topographie	18
d. Climatologie	19
e. Pédologie	19

3°. SOLS DE L'ORANGERAIE DU C.E.E. (TUNIS)	21
B. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	23
1°. ANALYSES PEDOLOGIQUES	23
2°. ECHANTILLONNAGE POUR L'ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE	24
a. Type d'échantillons	24
b. Localisation de l'échantillonnage	24
3°. METHODE D'ESTIMATION DE LA STABILITE STRUCTURALE ..	25
4°. MESURE DE L'HUMIDITE DU SOL ET DE LA DENSITE APPARENTE	28
5°. PRECISION DE LA METHODE D'ESTIMATION DE LA STABILITE STRUCTURALE	29
a. Variabilité de I.S. au laboratoire	29
b. Variabilité de I.S. due à l'échantillonnage.	30
6°. VARIABILITE DE I.S. DANS LE C.E.E.....	31
IV - R E S U L T A T S E T D I S C U S S I O N S	33
A. Etude de la stabilité structurale	33
1°. VARIATION DE I.S. AVEC LA PROFONDEUR.....	37
a. "Sous" les arbres	37
b. "Entre" et "en dehors" des arbres	37
2°. VARIATION SAISONNIERE DE LA STABILITE STRUCTURALE .	42
a. A Mateur et à Bou Salem	42
b. Au C.E.E.....	43
c. Amplitudes des variations saisonnières de la stabilité structurale des sols étudiés	47
3°. VARIATION SAISONNIERE DE L'INDICE DE PERMEABILITE K	48
4°. INTERACTION DES EFFETS DE LA DATE ET DE LA PROFON- DEUR SUR LA STABILITE STRUCTURALE	52
5°. VARIATION SAISONNIERE DE LA DENSITE APPARENTE	52
6°. CAUSES DE L'EVOLUTION SAISONNIERE DE LA STABILITE STRUCTURALE DES SOLS	53

	a. L'humidité du sol	53
	b. La température	54
	c. L'activité biologique	54
	d. Autres facteurs	55
	7°. REMARQUES CONCERNANT LES RESULTATS DE LA DEUXIEME ANNEE DE MESURE	56
	B. Relation entre l'état structural du sol et "l'état" des arbres	56
V	- RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES	62
VI	- BIBLIOGRAPHIE	68
VII	- LISTE DES GRAPHIQUES ET TABLEAUX	71

I .

A V A N T - P R O P O S

Ce travail a été réalisé à la Faculté d'Agronomie de Tunis sous la direction de MM. Louis GLANGEAUD, membre de l'Académie des Sciences de France et Directeur du Laboratoire de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences de Paris, et Georges AUBERT, membre de l'Académie d'Agriculture de France et Directeur de la Section de Pédologie de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer.

Durant l'accomplissement de cette étude, nous avons eu recours à la compétence de plusieurs spécialistes et organismes qui ont bien voulu nous aider, nous tenons à les remercier ici chacun personnellement.

Monsieur le Professeur GLANGEAUD nous a fait l'honneur en nous comptant parmi ses élèves de l'option "Pédologie" et en patronnant ce travail. Nous lui adressons nos plus vifs remerciements et l'assurons de notre plus haute considération.

Monsieur AUBERT nous a dirigé dès le début de nos recherches et nous a fait profiter de sa grande compétence et très longue expérience. Nous lui devons tout ce que nous avons appris en pédologie et le remercions pour nous avoir accompagné sur le terrain et pour la confiance qu'il nous a témoignée et dont nous lui saurons gré.

Monsieur FAURE, Président du Comité Technique de Géologie à l'O.R.S.T.O.M., a bien voulu accepter d'être membre du Jury et juger ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre sincère gratitude.

Nous rendons hommage à Monsieur André VERNET, Professeur à l'Institut National Agronomique de Paris et à la Faculté d'Agronomie de Tunis. Pour nous avoir facilité notre séjour à Paris, pour nous avoir initié à l'étude des sols et pour les conseils et encouragements qu'il n'a cessé de nous prodiguer, nous le remercions et l'assurons de notre profonde gratitude.

Nous avons profité aussi de l'expérience de Monsieur COINTEPAS J.P. dans la reconnaissance des sols de la Tunisie et des problèmes de leur mise en valeur. C'est d'ailleurs lui qui nous accompagnait sur le terrain et nous fournissait de nombreux renseignements sur les sols à oranger. Nous lui adressons nos remerciements sincères pour l'aide qu'il nous a accordée.

Monsieur COMBEAU A., expert de l'O.R.S.T.O.M. au C.R.U.E.S.I.* est parmi ceux qui ont le plus étudié la stabilité structurale des sols en Afrique. Il s'est particulièrement intéressé à notre travail et nous a très efficacement aidé dans l'interprétation des résultats que nous avons obtenus et révélé certains aspects qui nous avaient échappés. Nous le prions de croire à notre entier dévouement.

MM. HAMZA M., Chef du Service Pédologique de Tunisie, BELKHODJA K., Pédologue, CHELBI N., maître de conférence à la Faculté des Sciences de Tunis, m'ont rendu de grands services et de précieux conseils, nous leur témoignons notre sympathie et notre reconnaissance.

MM. ZEGHONDA H. et SKOURI M., Directeurs de la Faculté d'Agronomie de Tunis, nous ont accordé toute leur aide et leur bienveillance, nous les remercions et leur exprimons notre gratitude.

Les techniciens du Laboratoire d'Agronomie de notre Faculté nous ont aidé dans les prélèvements des échantillons et leurs préparations, qu'ils trouvent ici l'expression de nos remerciements et de notre reconnaissance.

* C.R.U.E.S.I. : Centre de recherche à l'utilisation de l'eau salée à l'irrigation.

Nous désirons aussi mentionner toute l'aide sympathique et dévouée que m'a accordée le personnel du Service Central de Documentation de l'O.R.S.T.O.M. Nous assurons MM. BONNET-DUPEYRON F., HIERNAUX C., Melle DARDENNE et Mme DAVID de nos remerciements chaleureux et de notre gratitude.

Enfin, nous ne pouvons terminer cet avant-propos sans avoir mentionné toute l'aide et la bienveillance que nous avons trouvées auprès du Gouvernement français. Ses représentants en Tunisie et en France nous ont toujours accordé leur assistance et leur compréhension. Ils nous ont fait profiter de bourses d'étude et de stage en 1967 et en 1970. Nous leur exprimons très chaleureusement nos remerciements et notre gratitude.

Notre vœu est d'être digne de l'aide et de la confiance dont nous avons bénéficié auprès de tous.

I I .

INTRODUCTION

La structure d'un sol est l'une de ses propriétés physiques essentielles. Elle conditionne souvent les échanges d'air, d'eau et d'énergie entre le sol et l'atmosphère, et constitue de ce fait un critère de base dans la détermination des aptitudes culturales des sols.

Dans beaucoup de sols d'Afrique du Nord, cette structure est fonction de leur richesse en matière organique. Mais ces sols en sont généralement pauvres, et n'ont donc pas toujours une bonne structure stable.

Certaines plantes cultivées, installées sur des sols à texture fine et à mauvaise structure se développent mal. C'est souvent le cas des agrumes. En Tunisie, ces derniers ont été installés depuis très longtemps sur les sols à texture grossière. Les sols à texture fine dits "lourds", même bien structurés au départ, risquent de voir leur structure se dégrader à la suite des irrigations de complément de la saison sèche. Mais depuis quelques décades, des expériences de plantation de Citrus sur des sols à texture fine ont été menées dans différents pays et particulièrement en Algérie (Plaine de la Mitidja, à Orléansville, et dans l'Oranais). A la suite des résultats concluants de ces essais, certains agrimculteurs de Tunisie avaient tenté la même expérience dans le nord du pays.

Dans les exploitations bien entretenues, les résultats obtenus sont satisfaisants, et le rendement à l'hectare y est sinon supérieur à la moyenne générale du pays, du moins lui est comparable.

Mais la crainte de voir la structure du sol se dégrader sous l'effet des irrigations subsiste, car on a pu noter des signes de dégérescence des arbres dans certaines de ces orangeraias (chute de production, jaunissement des feuilles, envahissement de maladies cryptogamiques ...).

Dans cette étude, nous nous proposons de vérifier si la dégra-

dation de la structure des horizons de surface des sols de quelques orangeraias du nord de la Tunisie est effective, puis dans quelle mesure, elle peut être la cause principale des anomalies physiologiques enregistrées.

Pour nous rendre compte de l'effet des irrigations sur la stabilité structurale moyenne des sols irrigués des orangeraias, nous avons étudié aussi les sols non irrigués qui avoisinent les orangeraias.

Mais l'estimation de la stabilité structurale du sol à un moment donné peut ne pas être suffisante, car les arbres peuvent souffrir au cours de l'année, d'une mauvaise structure passagère. Pour cela, nous avons été amené à étudier l'évolution saisonnière de la stabilité structurale des sols irrigués et des sols non irrigués.

Par ailleurs, nous avons essayé de voir l'influence de la qualité d'eau d'irrigation sur la stabilité structurale des sols et sur le cycle de variation saisonnière de cette stabilité.

Mais avant de passer à l'étude proprement dite, il est utile de rappeler quelques notions de base.

1°. NOTION DE "STRUCTURE DU SOL"

Le terme "Structure" du sol désigne l'arrangement spatial des agglomérats terreux qui résultent de l'assemblage des constituants minéraux et organiques élémentaires du sol.

Mais si les différents spécialistes du sol s'accordent sur cette définition générale, ils peuvent avoir différents concepts de cette propriété et utiliser différentes méthodes pour son appréciation. Suivant l'intérêt porté à l'étude du sol, il existe trois concepts différents, relatifs aux pédologues, agronomes et physiiciens du sol.

a. Concept pédologique.

Il est descriptif. Le pédologue définit et apprécie la structure par les formes et les tailles des éléments structuraux. Souvent le type de structure constitue un critère d'investigation sur la genèse des sols, ou le degré de leur évolution.

Aussi, certains horizons caractéristiques de types de sols déterminés sont reconnus par leur structure. C'est ainsi que dans la classe des sols calcomagnésimorphes (très répandus en Tunisie) qui englobe les sols à complexe absorbant saturé par des cations bivalents, les rendzines comportent un horizon superficiel relativement riche en matière organique intimement liée aux minéraux du sol. Cet horizon est

caractérisé par une structure grenue très exprimée.

Exemple de rendzine - P r o f i l P21, décrit par PRUNIER J. (1961) en Tunisie.

- | | |
|--------------|---|
| 0-20 cm | Limon très sableux, gris foncé, <u>structure grenue</u> , cohésion faible très calcaire, nombreux débris calcaires et chevelu racinaire très important. |
| 20-95 cm | Calcaire marneux, banc assez tendre, s'effritant très facilement. Blanc avec petites taches rouilles. |
| 95 cm à plus | Banc calcaire blanc à patine rouille, dur. |

Dans la classe des sols isohumiques, la structure des horizons de surface est grenue en climat humide, elle devient nuciforme à polyédrique lorsque le climat est plus sec et que la teneur en matière organique diminue.

Exemple de sol brun steppique - P r o f i l n° 13 décrit par DUYT SCHAEVER B. (1962) en Tunisie.

- | | |
|-----------|---|
| 0-15 cm | Sablo argileux, brun à brun clair, <u>structure nuciforme</u> . |
| 15-40 cm | Sablo argileux, brun rouge, structure nuciforme à polyédrique, nombreuses racines et radicelles. |
| 40-70 cm | Horizon d'accumulation calcaire du sol steppique, sablo-argileux à argilo-sableux, rouge brun, petits nodules ronds, amas calcaire à noyau durci. Transition nette. |
| 70-180 cm | Epandage à nodule et amas calcaires. Texture équilibrée, bariolé vers le bas. |

Dans les vertisols, l'horizon de surface présente souvent une structure polyédrique fine durant la saison sèche, alors que les horizons profonds se présentent dans une structure prismatique grossière, gauchie, à faces luisantes et striées.

b. Concept agronomique.

Un type de structure donnée engendre des propriétés physiques caractéristiques (porosité, perméabilité, rétention de l'eau ...) qui intéressent directement les plantes. L'agronome apprécie la structure par le biais de ces propriétés.

c. Concept physique.

Le physicien considère plutôt la genèse des éléments structuraux fins appelés agrégats, et les forces qui favorisent ou défavorisent leur formation et leur consolidation. Les agrégats du sol en place sont en équilibre dynamique de nature physico-chimique avec le milieu extérieur. Les changements des conditions de ce milieu affectent nécessairement les forces dites agrégeantes et cela peut avoir des conséquences sur la structure du sol.

Il existe donc un aspect dynamique dans le concept physique de la structure du sol.

Cependant, le pédologue peut s'intéresser aussi à certains types de modifications de la structure, sinon de tout le profil d'un sol, du moins de certains horizons caractéristiques. Ces modifications peuvent être très importantes. L'exemple des vertisols le montre bien : les horizons de profondeur d'un vertisol, observés pendant la saison sèche, présentent une structure prismatique très grossière caractéristique. Pendant la saison pluvieuse, cette structure se défait et devient continue.

Ce deuxième aspect dynamique de la structure diffère de celui observé par le physicien du sol car si ce dernier porte son attention sur les modifications qui affectent les agrégats élémentaires du sol, le pédologue observe plutôt celles qui atteignent les "mottes" (Macro-structure).

2°. NOTION DE STABILITE STRUCTURALE DES SOLS.

Les agrégats du sol sont plus ou moins résistants à la destruction vis-à-vis des facteurs naturels. Parmi ceux là, le plus important est l'eau. On sait depuis longtemps que l'eau de pluie ou d'irrigation peut dégrader la structure de certains types de sols, particulièrement celle des sols limoneux. D'autres sols résistent plus ou moins bien à cette destruction. Expérimentalement, lorsqu'on plonge des agrégats de sol dans l'eau, on peut assister à leur destruction et à la séparation plus ou moins totale des constituants solides élémentaires. Suivant le degré de cette destruction, on dit que la structure est plus ou moins stable.

Les causes de l'instabilité de la structure à l'eau sont multiples. Elles sont d'ordre physico-chimique. Pour mettre en évidence ces causes et expliquer le mécanisme de la dégradation de la structure, plusieurs théories ont été émises :

SCHLOESING (In DEMOLON 66) avait attribué l'instabilité à l'eau de la structure à la dispersion des colloïdes. Certes la dispersion joue un rôle dans ce phénomène, mais elle ne suffit pas pour l'expliquer : il existe des sols qui se dispersent peu et dont la structure est instable. Tel est le cas de certains sols dérivés de calcaire très tendre à grains très fins.

D'autres auteurs ont tenté d'expliquer l'instabilité par le gonflement des argiles.

YODER (1936) puis HENIN (1939) et ultérieurement d'autres chercheurs ont montré que la destruction des agrégats de sols plongés dans l'eau peut être imputée à deux processus, à savoir :

- L'éclatement des éléments structuraux.
- La dispersion des colloïdes.

a. Eclatement des éléments structuraux.

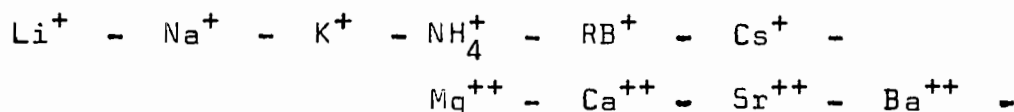
Lorsque l'eau pénètre brusquement dans les capillaires des agrégats, elle comprime l'air qu'ils renferment. Si la pression ainsi développée est supérieure à la cohésion, les agrégats se détruisent par éclatement.

b. La dispersion des colloïdes.

Elle peut intervenir en détruisant les ciments qui retiennent les particules élémentaires entre elles. Elle dépend des cations fixés par le complexe absorbant et de la solution du sol. Le pouvoir dispersant des cations est en relation avec leur valence.

Les cations hydratés sont entourés d'une pellicule d'eau d'épaisseur variable. Plus elle est épaisse, plus son pouvoir dispersant est grand. Ainsi les alcalins et alcalino-terreux diffèrent par leur diamètre ont un pouvoir dispersant proportionnel à ce paramètre. Les cations bivalents de même diamètre que les monovalents absorbent en général une quantité d'eau double et, de ce fait, ils ont tendance à accroître leur pouvoir dispersant.

En se fondant sur ces considérations, HOLFMEISTER a dressé la liste des cations par ordre croissant du pouvoir flocculant.



La composition ionique de la solution du sol intervient dans

la dispersion car elle détermine les équilibres dynamiques entre les cations de la solution du sol et ceux du complexe absorbant, et le pH qui en résulte.

3°. VARIATION DE LA STABILITE STRUCTURALE DU SOL.

La stabilité structurale d'un sol donné n'est pas une propriété constante définitivement acquise. Elle est sujette à des variations dans le temps.

A partir du moment où cette stabilité est fonction de plusieurs caractéristiques physiques et chimiques (humidité, matière organique, conductivité électrique, activité biologique ...) variables dans le temps et dans l'espace, elle acquiert immédiatement ce caractère de variabilité.

Il n'est donc pas suffisant de connaître la stabilité structurale d'un sol à un moment donné, il faut en plus vérifier son évolution au cours de l'année.

a. Variations saisonnières de la stabilité structurale.

Cette propriété a été mise en évidence par HENIN (1938). ALDERFER (1946), COMBEAU (1963) et d'autres chercheurs ont confirmé l'existence des variations de la stabilité structurale en fonction des saisons.

Travaillant avec des méthodes différentes sur des sols et sous des climats variés, ils s'accordent sur le fait que la variation de la stabilité structurale prend la forme d'un cycle annuel avec un minimum de stabilité se situant dans la saison humide et un maximum dans la saison sèche.

Le minimum de cette stabilité correspond à une phase de sensibilité maximum de la structure vis-à-vis de l'effet destructeur de l'eau. Le maximum succède à une phase de régénération des facteurs stabilisateurs et à une dessiccation du sol.

En étudiant l'influence des facteurs climatiques sur la stabilité structurale des sols de limon (Versailles), et considérant la valeur relative de la variation du taux d'agrégats stables à l'eau, HENIN (1939) trouve que la phase de régénération de la stabilité se produit entre mars et mai, c'est-à-dire à la fin de la saison pluvieuse. Sur des sols sodiques, il trouve deux phases de régénération, la première au mois de novembre, la deuxième entre mars et mai.

Dans les sols non sodiques, le minimum de stabilité se situe entre octobre et février, donc durant la saison de la chute de la plus grande quantité de pluie.

R.B. ALDERFER (1946) étudiant l'effet des conditions saisonnières sur la stabilité structurale des sols limoneux de Hagerstown Silt Loam, et mesurant le taux d'agrégats ($< 0,25\text{m/m}$) stables à l'eau, conclut que la stabilité est à sa valeur minimum durant la saison humide (hiver et début du printemps).

Il est à remarquer que ces résultats sont relatifs à des sols séchés à l'air avant leur analyse. ALDERFER a démontré que le cycle est inversé lorsque la détermination des agrégats stables à l'eau est faite sur des échantillons humides.

Plus tard, A. COMBEAU et P. QUANTIN (1963), travaillant sur des sols évoluant sous un climat du type tropical humide, caractérisé par :

- Une longue saison sèche de novembre à mai-juin (avec une $P \leq 50 \text{ m/m}$ par mois de début novembre au 15 février).
- Une saison des pluies très humide en août-septembre-octobre.

et utilisant la méthode HENIN (1958) de l'estimation de la stabilité structurale, retrouvent une périodicité annuelle très nette. Elle est d'autant plus apparente que l'indice moyen annuel de stabilité est plus élevé, c'est-à-dire que les variations saisonnières sont plus importantes dans les sols instables que dans les sols stables.

Sous ce climat tropical, le maximum de stabilité se situe en général de février à avril (saison sèche). Le minimum de stabilité est compris entre juillet et fin octobre (les trois mois les plus pluvieux).

En outre, ils observent une amélioration nette et brutale de la stabilité en fin octobre et fin novembre, c'est-à-dire au cours du premier mois de la saison sèche. L'amélioration se poursuit ensuite plus lentement pendant toute la saison sèche.

Dans une étude plus récente, COMBEAU (1965) compare les variations saisonnières de la stabilité structurale du sol en région tempérée avec celles de la zone tropicale. La stabilité étant estimée à l'aide de la méthode HENIN, les résultats de cette étude peuvent se résumer ainsi :

1°. En climat tempéré, le cycle de variation est parallèle à celui de l'humidité du sol qui dépend partiellement de l'évaporation dont les deux facteurs déterminants sont le degré hygrométrique et la température de l'air.

2°. En climat tropical, le cycle de la stabilité structurale est parallèle à celui de la pluviométrie. La relation entre la stabilité structurale et l'humidité du sol a été déjà mentionnée par HENIN (1939). Cependant, COMBEAU (1965) en climat tempéré, trouve que ce parallélisme est limité à la période allant d'avril à novembre en dehors de laquelle le sol se trouve constamment au voisinage de la capacité au champ, alors que la stabilité structurale reste soumise à des variations notables

En climat tempéré, COMBEAU (1965) a mis en évidence la relation entre la température moyenne mensuelle et l'indice de stabilité structurale (I.S.). Au maximum de température correspond un minimum de I.S. et inversement, mais il existe un léger retard de la variation de I.S. sur celle de la température (environ un mois).

En région tropicale, un phénomène analogue se produit mais il est peu apparent par suite de la faible amplitude de la température mensuelle au cours de l'année.

La comparaison du cycle de I.S. avec celui du degré hygrométrique de l'air montre un certain parallélisme entre les deux cycles, durant certaines périodes de l'année mais avec un retard de la variation de I.S. (un mois) sur celle du degré hygrométrique de l'air.

Ces différents facteurs, humidité du sol, température moyenne mensuelle, degré hygrométrique ... agissent sur la stabilité structurale soit directement en desséchant le sol donc en augmentant la cohésion, soit indirectement par l'intermédiaire de l'activité biologique qui a un effet certain (MONNIER, 1965) d'abord dans la formation de la structure puis dans sa consolidation.

4°. VARIATION DE LA STABILITE STRUCTURALE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DU SOL.

Du fait que la stabilité structurale est influencée par l'activité biologique, la croissance des plantes, par les régimes d'humidité et de température, par les traitements culturels, il est logique que lorsque ces facteurs varient avec la profondeur, leurs effets se fassent sentir différemment en fonction de cette profondeur sur la stabilité structurale du sol.

Même dans un sol très homogène par sa composition, les conditions climatiques n'ont pas le même effet sur toute la profondeur du sol.

ALDERFER (1946) travaillant sur les sols de Hagerstown (Pennsylvania Agricultural Experiment Station), ayant subi différents trai-

tements, trouve que le taux d'agrégats stables à l'eau est maximum dans l'horizon qui va de 3 à 7 cm de profondeur quelque soit le traitement effectué sur le sol. En outre, la couche 0-3 cm possède la plus petite quantité de gros agrégats.

La couche 7-15 cm est généralement moins stable que la couche 3 à 7 cm.

Sur un sol à "mulch organique", il note une diminution de la stabilité avec la profondeur du sol et que la couche allant de 10 à 20 cm n'est pas affectée par la présence du mulch organique.

COMBEAU (1960) étudiant la variation de I.S. en fonction de la profondeur du sol trouve des résultats analogues aux précédents.

Sur un sol non remanié, la stabilité diminue avec la profondeur et cela se traduit par une diminution de la fraction agrégée.

Sur le même sol mais remanié et homogénéisé sur toute la profondeur étudiée, les différences de stabilité entre les couches s'estompent. Mais par suite des arrosages répétés, la couche de surface voit sa stabilité diminuer par suite d'une augmentation du taux de dispersion.

Cependant, après une année, les valeurs de I.S. des différentes couches retrouvent un ordre de classement logique en relation avec la répartition de la matière organique sur le profil du sol étudié.

I I I .

M A T E R I E L E T M E T H O D E S

A. M a t é r i e l : L e s s o l s é t u d i é s

Cette étude a été faite sur des sols très fréquents dans les plaines du nord de la Tunisie. Les observations ont été réalisées dans des sols à texture fine de trois vergers d'agrumes, d'autant plus intéressants qu'ils sont qualifiés de "douteux" quant à leur aptitude pour ce genre de culture.

Ces trois vergers sont ceux de :

. La Coopérative Zérigue (Ex ferme de M. ROEDERER) à Mateur où l'on peut noter, particulièrement durant la saison humide et dans les parcelles situées dans une position topographique mal drainante, des anomalies physiologiques dans le comportement des arbres.

. La Coopérative Khelil (Ex ferme de M. MARES) à Bou Salem (Ex Souk El Khemis) où les arbres sont plus jeunes qu'à Mateur et apparemment sains.

. Le Centre de l'Etude de l'Eau (C.E.E.) de la Faculté d'Agro-nomie de Tunis (Ex Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Tunis) où les arbres irrigués à l'eau salée commencent à dégénérer.

1°. SOLS DE L'ORANGERAIE ZERIGUE.

a. Situation géographique.

x	=	471,8 - 473,5	}	de la feuille n° 6
y	=	419,6 - 421	}	Djebel Ichkeul au 1/50 000

Cette orangerie se situe dans la plaine de Mateur, à 12 km au nord-ouest de cette ville, à droite de la route qui va vers Tabarka entre le Djebel Ichkeul et les collines qui limitent la plaine vers le sud.

b. Géologie.

La plaine de Mateur est une plaine de remplissage du Quaternaire, bordée :

- . Au nord par le Djebel Ichkeul, d'âge jurassique, et qui a très peu contribué à son remplissage.

- . Au sud par une série de collines du Crétacé et de l'Eocène.

Elle est alimentée par un certain nombre d'oueds qui drainent le relief environnant pour aboutir au lac Ichkeul pendant la saison pluvieuse. Le versant nord des collines est constitué par des formations du Crétacé (marnes jaunes, marne calcaire et calcaire du Sénonien).

Plus au sud, on rencontre des formations de l'Eocène (marne danomontienne et argile jaune de l'Eocène moyen). Ces collines sont recouvertes de colluvions quaternaires. Le remplissage quaternaire de cette plaine est assuré par le produit de l'érosion des collines par les oueds Joumine, M'Saken, Dum El Jema.

c. Topographie.

Elle est plane avec une pente très faible qui va vers la Garaat Ichkeul.

d. Climatologie.

D'après la carte des bioclimats de H.N. LE HOUEROU et GOUMOT (Annales de l'I.N.R.A.T., 1967), la plaine de Mateur est située dans le bioclimat subhumide à hiver doux (500-600 mm de pluie). La température moyenne des minima de janvier est comprise entre 6° et 8,5°.

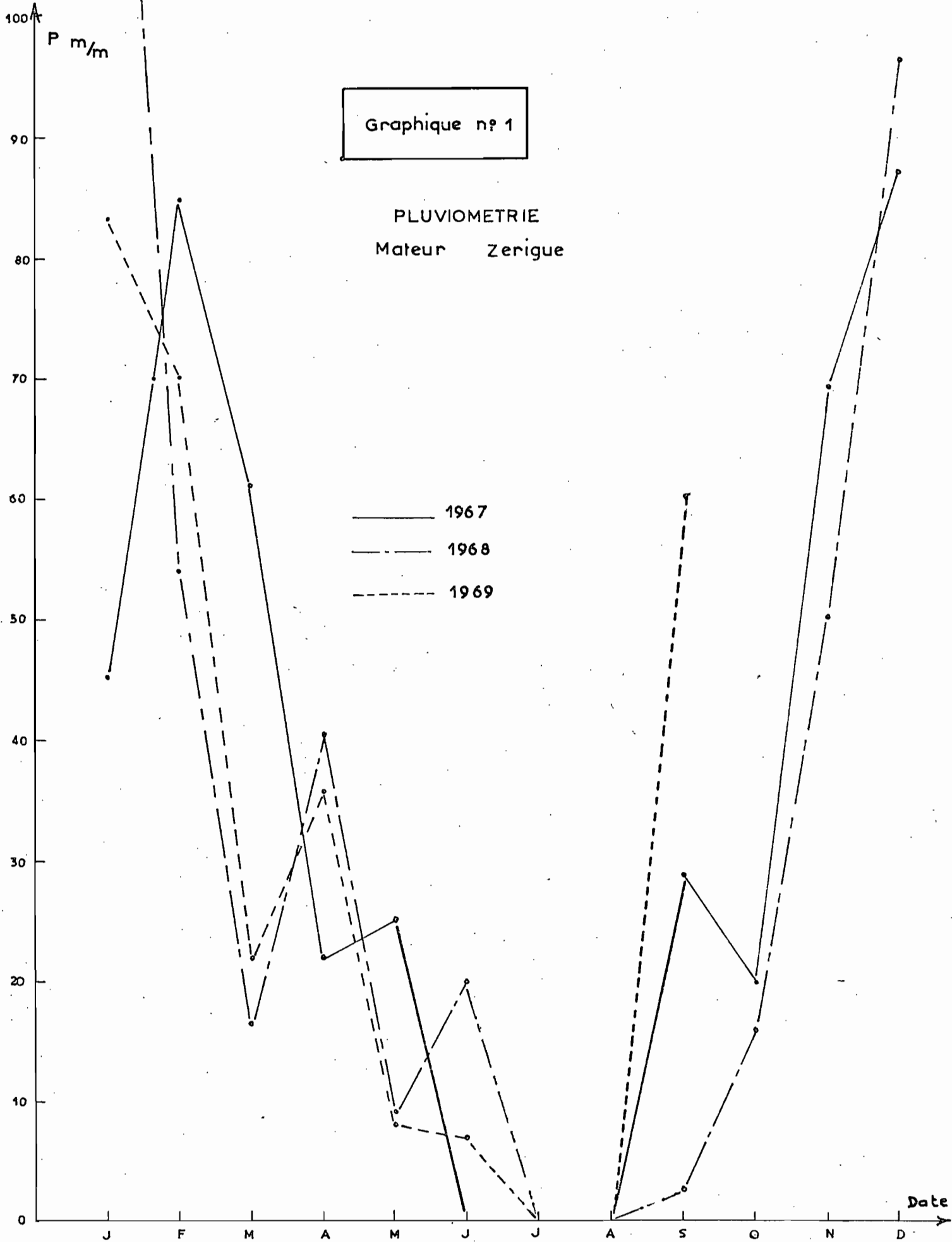
De 1930 à 1946, la pluviométrie moyenne a été de 512 mm avec des mois très pluvieux allant d'octobre à février.

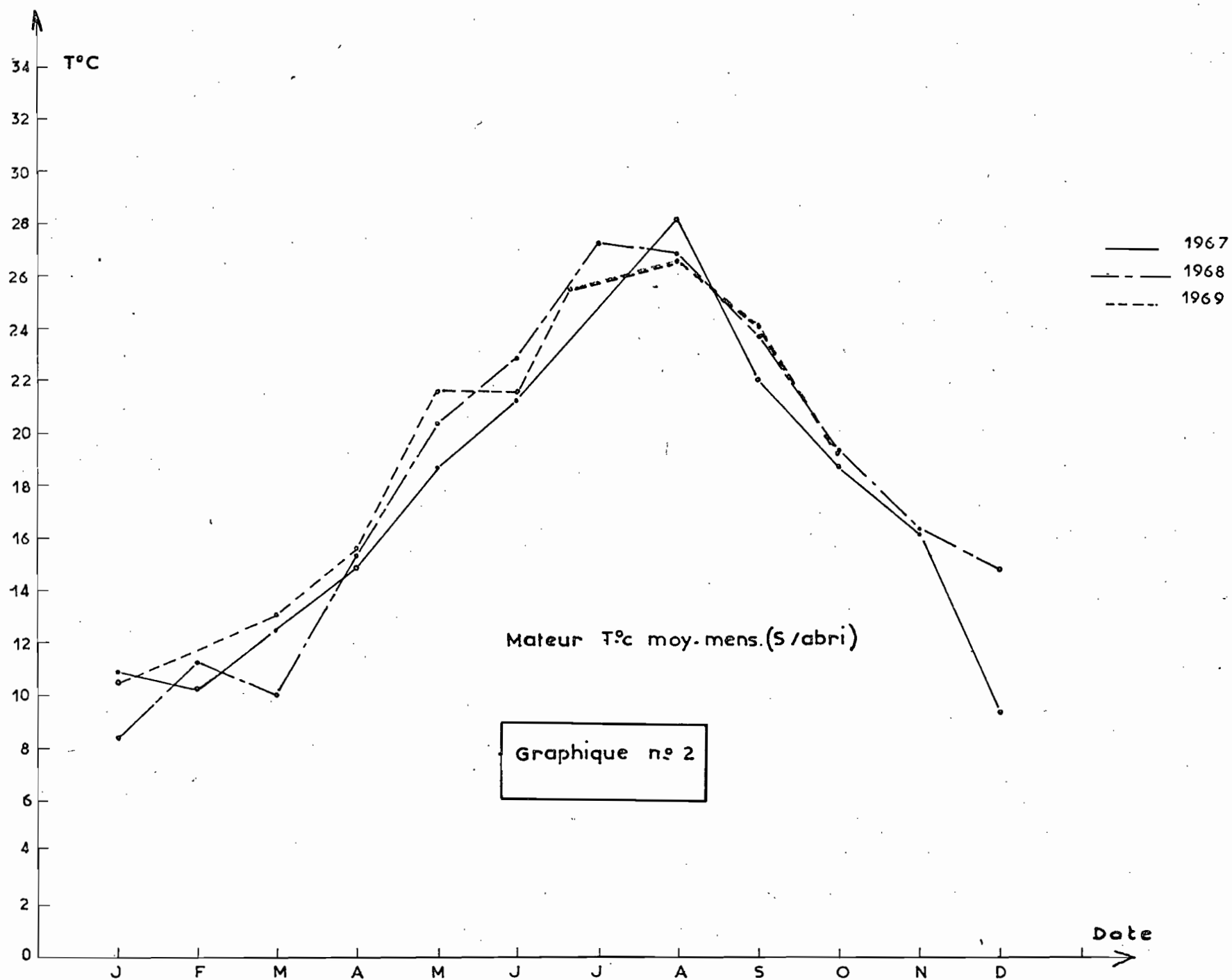
Les températures mensuelles moyennes des années 67, 68, 69 sont portées dans le graphique n° 2.

Graphique n° 1

PLUVIOMETRIE
Mateur Zerigue

— 1967
- - 1968
- . - 1969

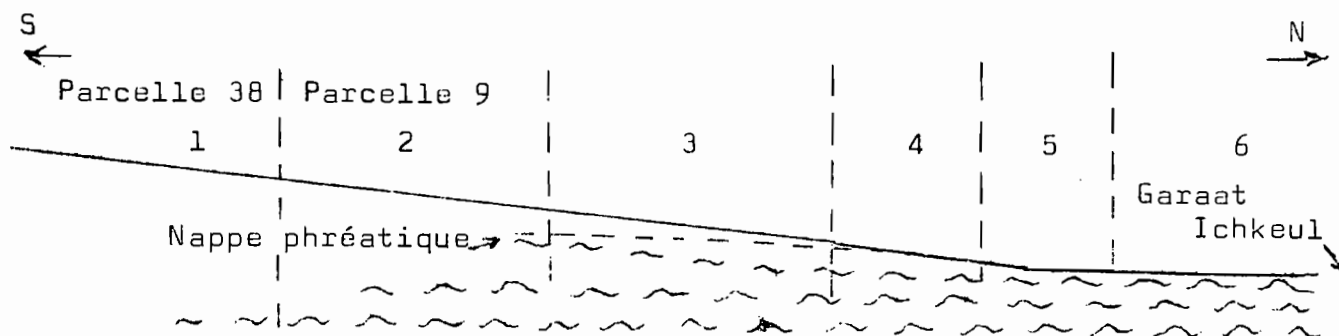




e. Pédologie.

Les sols de cette plaine ont pour roche-mère des alluvions quaternaires argilo-limoneuses. L'épaisseur de ces dépôts varie avec la topographie et le principal facteur qui détermine la pédogenèse semble être la profondeur et la salure de la nappe phréatique.

Situés sur la bordure sud de la Garaat Ichkeul, les sols se différencient donc par rapport au plan d'eau. D'après FOURNET (1963), on peut schématiser cette différenciation par une chaîne * de sols qui va des collines bordant le sud de la plaine à la Garaat Ichkeul.



- 1 - Sol peu évolué non climatique d'apport et bien drainé.
- 2 - Sol alluvial plus ou moins hydromorphe en profondeur, argileux à argilo-limoneux sur argile. Formation de vertisol dans certaines positions où l'hydromorphie est accentuée.
- 3 - Sol hydromorphe sur tout le profil sur argile, sale, non alcali en profondeur.
- 4 - Sol hydromorphe sur tout le profil sur argile, salé à alcali en profondeur.
- 5 - Sol salé à alcali à submersion temporaire avec hydromorphie de surface et de profondeur.
- 6 - Sol hydromorphe à submersion. Salé à alcali sur tout le profil.

* Le terme de "Chaîne de sols" ne serait valable dans ce cas précis que dans la mesure où l'on admet qu'il existe un entraînement des sels solubles de la zone amont vers le bas-fond. Autrement, il faudrait utiliser le terme toposéquence.

L'orangerie étudiée est installée sur les zones 1 et 2 de cette chaîne de sols.

Parmi les profils que nous avons observés, nous rapportons :

Le p r o f i l 33 - vertisol modal - zone 2 - Décrit le 8.12.67.

Culture:Clémentinier (Parcelle 9), arbres volumineux mais chute de production depuis quelques années. Certains arbres sont malades.

0-15 cm	Horizon de labour, gris noirâtre (10 YR 3/2 sur échantillon sec), argileux, structure polyédrique fine à moyenne émoussée. Tendance à structure grumeleuse. Très calcaire. Radicelles, quelques cailloux et galets calcaires, nombreux fins débris de coquilles, humide.
15-45 cm	Passage à un horizon plus cohérent de même couleur, argileux. Structure polyédrique fine aplatie à macrostructure prismatique grossière. Très calcaire, nombreuses radicelles et racines fines (0,5 cm), fins débris de coquilles, humide.
45-100 cm	Passage progressif à un horizon beige grisâtre, humide, argileux, structure fondue, nombreuses grosses racines (2 cm de diamètre) surtout dans la partie supérieure. Très calcaire. Débris de coquilles.
100-155 cm	Passage progressif à un horizon grisâtre. Argileux à structure prismatique grossière. Prismes à faces gauchies bien développés. Faces luisantes. Très calcaire. Fins débris de coquilles. Poterie; humide.
A partir de 155 cm	Passage progressif à un horizon brun grisâtre. Argileux, structure continue à microstructure polyédrique anguleuse fine. Très calcaire, très humide.

Le p r o f i l 44 - Sol peu évolué non climatique d'apport sur sol vertique enterré - Zone 1 - Décrit le 6.12.67

Culture : Clémentinier (Parcelle 38). Arbres plus jeunes que les précédents, moins développés, production moyenne.

0-15 cm	Horizon de labour, brun-gris (2,5 Y 5/2 sur échantillon sec), argilo-limoneux, structure polyédrique fine, meuble, très calcaire.
15-30 cm	Passage à horizon gris brunâtre. Argileux, nombreuses radicelles. Structure polyédrique moyenne à grossière. Consistant. Porosité moyenne, nombreux débris de coquilles. Très calcaire.

Tableau n° I

ANALYSES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS DE MATEUR

n°	P.cm	Granulométrie					Humidité		pH	Calcaire		M.O. %	HPS %	C.E.	Sels solubles m.e./litre					Cations fixés par complexe m.e./100 g de sol					
		A	L	StF	S.F.	S.G.	C.R.	PFP		tot.	actif				Cl	CO ₃ H	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na	T	Na/T × 100
33	0.15	65	16,5	7	7	I	34,9	18,7	8,18	27,7	II	1,5	60	0,52	4,50	1,25	3,0	1,0	1,70	34,1	6,94	1,63	0,35	43	0,8
	15.45	63,5	18	7	5,5	I,5	36,8	19,1	8,44	26,9	12,5		60	0,47	3,25	1,25	2,5	1,0	3,30	31,7	4,74	0,68	0,38	37,5	I
	45.100	67	18,5	6,5	4,5	I	36,2	18,8	8,50	27,3	12,0		57,5	1,05	3,00	1,50	4,0	1,5	5,20	32,28	5,11	0,38	1,23	39	3,2
	100.155	64	21	7	4	I	38,1	20,0	8,34	27,3	14,5		65	2,1	2,25	7,00	8,5	3,5	8,0	29,09	7,77	0,38	1,36	38,6	3,5
	155	67,5	18	6	4,5	I,5	39,1	20,3	8,34	26,5	17,0		67,5	2,1	2,50	8,75	7,5	3,5	8,6	32,5	4,16	0,48	1,57	38,7	4,1
44	0.15	43,9	24,1	15	16	I	32,2	18	8,26	40,4	12,5	1,17	56,5	0,77	2,0	4,25	5,0	0,40	1,50	21,2	4,77	1,40	0,65	28	2,3
	15.30	47	26,3	13	12	I	31,3	16,1	8,22	38,4	13,5		57,5	1,25	4,25	3,50	7,0	0,25	1,90	24,6	3,19	0,93	0,72	30	2,4
	30.60	48,4	25,1	13	12	I	31,1	18,1	8,22	38,4	9,5		57,5	1,80	6,25	4,0	9,50	0,15	5,0	25,4	4,59	0,48	0,71	31,2	2,3
	60.90	34,7	34,2	15	16	2	29,9	16,3	8,20	42,8	8,5		60	2,62	9,0	4,0	16,50	0,30	7,60	20,8	4,98	0,33	0,77	26,9	2,9
	90	43,7	39,5	11	11	I	34,2	19,0	8,20	33,2	12,5		55	2,45	8,75	3,0	13,50	0,55	7,90						

L é g e n d e : N° = numéro du profil.

P.cm = Profondeur en cm.

Granulométrie

A = % d'argile.

L = % de limon.

StF = Sable très fin.

S.F. = Sable fin.

S.G. = Sable grossier.

Humidité

C.R. = Teneur du sol à la capacité au champ (1/3 d'atmosphère).

PFP = Teneur du sol au point de flétrissement permanent (15 atmosphères)

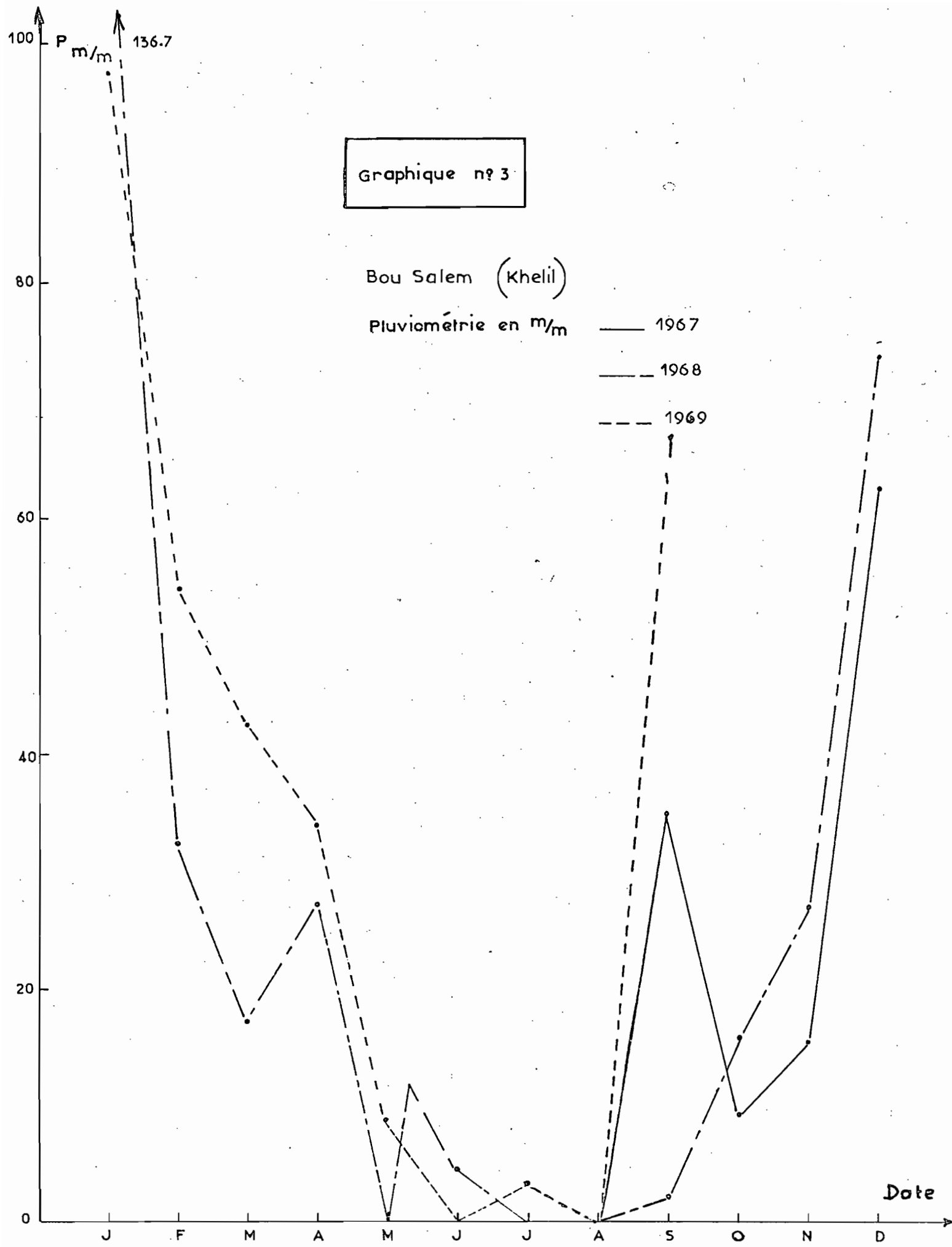
pH du sol dans un mélange $\frac{\text{sol}}{\text{eau}} = \frac{1}{2,5}$

M.O. = % de matière organique.

HPS = Humidité de la pâte saturée.

C.E. = Conductivité électrique en m/mhos/cm.

m.e. = Milliéquivalent.



30-60 cm	Passage progressif à un horizon de même nature mais plus riche en racines moyennes à grossières (0,5 à 2 cm de diamètre). Quelques dépôts blancs sur surfaces sèches. Nombreux fins débris de coquilles. Très calcaire humide.
60 à 90 cm	Passage progressif à un horizon plus clair que le précédent. Argileux compact, structure fondue, humide. Racines rares.
90 cm à plus	Passage brutal et irrégulier à un horizon gris-noir vertique. Argileux, structure prismatique à faces gauchies et luisantes. Quelques amas blancs calcaires. Il s'agit d'un horizon d'un sol vertique enterré.

La description de ces deux profils et l'analyse de leurs horizons nous montrent que le vertisol est beaucoup plus riche en argile et légèrement plus riche en matière organique que le sol peu évolué. La structure du sol est également plus stable dans le vertisol.

Quant aux arbres, ils sont sains dans le sol peu évolué alors qu'ils sont souffrants dans le vertisol. Dans ce dernier, la nappe phréatique se trouvait à environ 50-60 cm de la surface du sol après de grandes pluies d'hiver.

2°. SOLS DE L'ORANGERAIE KHELIL A BOU SALEM.

a. Situation géographique.

x = 420,0 : y = 371,7 de la carte de Souk El Khemis au 1/50 000.

Elle se situe à deux kilomètres à l'est de Bou Salem sur la route qui va au Djebel Halouf.

b. Géologie.

L'orangerie est installée sur la bordure nord de la plaine de Bou Salem, constituée par les alluvions de la Medjerda, bordée au sud par un diapir de trias. Le Miopliocène forme l'essentiel des zones des collines et des bordures montagneuses.

c. Topographie.

Elle est plane avec une légère pente vers l'oued Kasseb qui

limite la propriété vers le sud. Il s'agit d'une terrasse de cet Oued, affluent de la Medjerda. La terrasse est limitée au nord par des collines encroûtées.

d. Climatologie.

La station météorologique de Zaouem située à quelques kilomètres de Bou Salem présente les caractéristiques suivantes :

Pluviométrie annuelle = 500 m/m.

La moyenne des maxima moyens du mois le plus chaud est 35°. Celle des minima moyens est de 4 °C.

Le coefficient pluviothermique d'Emberger $\frac{100 p}{M2 - m2} = 33,7$

Cela correspond au climat méditerranéen semi-aride. La saison sèche va d'avril - mai à octobre - novembre. D'après la carte des bioclimats de LE HOUEROU et GOUNOT, il s'agit du bioclimat semi-aride supérieur à hiver tempéré. Remarquons que la zone de l'orangerie étudiée est légèrement plus pluvieuse que Zaouem.

e. Pédologie.

La terrasse de l'oued Kasseb, d'extension latérale faible est formée d'alluvions de couleur brune et de texture fine et homogène.

Les sols de l'orangerie sont peu évolués, non climatiques d'apport. Ils sont limités au nord par des rendzines rouges sur les collines encroûtées. Les produits de l'érosion de ces rendzines se déversent en dehors de la zone étudiée.

P r o f i l typique 45 - Décrit le 20.12.67.

0-15 cm	Horizon brun-gris sombre (10 YR 4/2 sur échantillon sec). Argileux. Structure polyédrique fine émoussée à grumeleuse peu développée. Très calcaire, nombreux fins débris de coquilles. Cohésion moyenne.
15-40 cm	Passage à un horizon de même couleur. Argileux. Structure continue. Nombreuses racines (3 cm de diamètre) horizontales peu ramifiées, sinueuses, nombreuses radicelles. Très calcaire. Débris de coquilles, porosité moyenne, cohésion moyenne.

Tableau n° II

ANALYSES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS DE BOU SALEM ET DU C.E.E.D.

n°	P.cm.	Granulométrie					Humidité		pH	Calcaire		M.O. %	HPS %	C.E.	Sels solubles m.e./litre					Cations fixés par complexe m.e./100 g de sol					
		A	L	StF	S.F.	S.G.	C.R.	PFP		tot.	actif				Cl	CO ₃ H	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na	T	Na/T x 100
45	0 15	44	17	16	15	6	30,1	15,7	8,32	26,1	9	0,98	52,5	1,4	4,50	3,50	7,0	1,0	5,0	20,9	4,35	0,98	0,59	26,8	2,2
	15 40	46,3	23,5	13	16	4	29,6	15,7	8,34	26,1	8,5		52,5	1,15	3,75	3,75	5,0	1,0	4,7	21,66	4,75	0,25	0,79	27,4	2,9
	40 55	50	15,3	15	15	5	29,8	15,5	8,38	26,5	9,5		55	1,13	3,0	4,0	5,5	1,0	4,5	25,7	3,94	0,28	0,60	30,5	2
	55 80	45,4	16,8	16	18	4	28,9	14,9	8,48	26,1	7,5		52	1,23	3,75	3,0	4,5	2,5	5,4	12,78	7,47	0,25	0,90	27,4	3,3
	80	55,4	22,4	7	9	5	33,1	17,2	8,46	21,6	9,5		35	1,42	3,75	4,0	4,5	3,5	6,7	25,72	5,41	0,28	1,53	33	4,6
C.E. E.D.	0.10	33,3	26,7	14	19	3	27,4	15,2	8,00	34,1	14,5	2,43	49	1,4	6,0	3,25	7,5	2,5	4,5	17,41	3,88	2,13	0,28	23,7	1,18

L é g e n d e : N° = numéro du profil.

P.cm = Profondeur en cm.

Granulométrie

A = % d'argile

L = % de limon.

StF = Sable très fin.

S.F. = Sable fin.

S.G. = Sable grossier.

Humidité

C.R. = Teneur du sol à la capacité au champ (1/3 d'atmosphère)

PFP = Teneur du sol au point de flétrissement permanent (15 atmosphères).

pH du sol dans un mélange $\frac{\text{sol}}{\text{eau}} = \frac{1}{2,5}$

M.O. = % de matière organique.

HPS = Humidité de la pâte saturée.

C.E. = Conductivité électrique en m/mhos/cm.

m.e. = Milliéquivalent.

- 40-55 cm Passage progressif à un horizon identique mais plus clair que le précédent, dépourvu de grosses racines. Racines moyennes coudées, nombreuses radicelles. Très calcaire, structure continue, cohésion faible, se débite en polyèdres fins aplatis; quelques galets; humide.
- 55-80 cm Passage progressif à un horizon brun. Très calcaire, coquilles et galets, porosité moyenne, structure continue, se débite en polyèdres fins aplatis verticalement, racines moyennes, nombreuses radicelles.
- 80 cm Passage à un horizon gris très riche en radicelles bien ramifiées, structure à caractère verticale peu développé.

Les arbres, dans cette exploitation, sont peu développés mais apparemment sains. Leur production est moyenne.

3°. ORANGERAIE DU CENTRE D'ETUDE DE L'EAU DE TUNIS (C.E.E.).

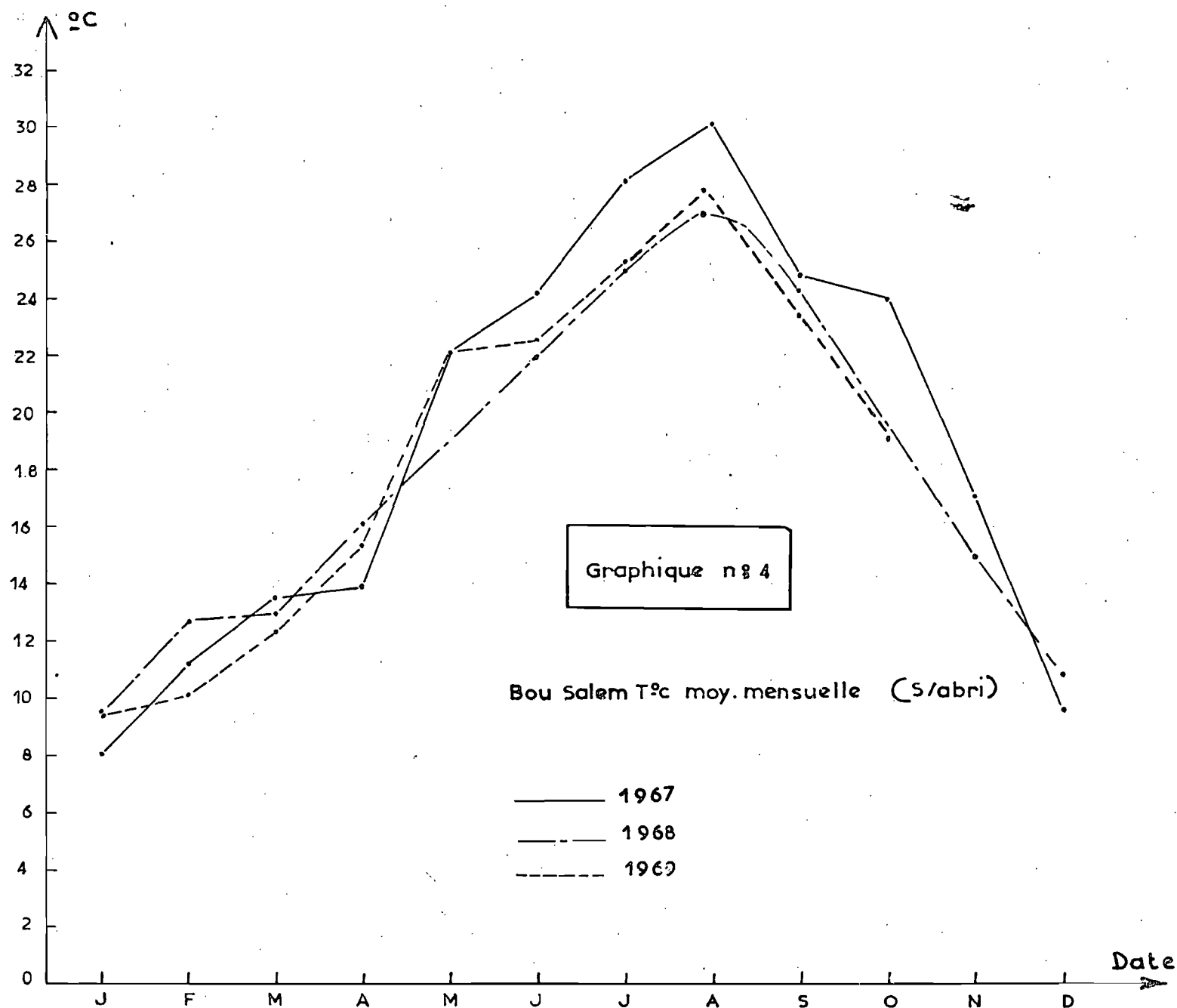
Elle se situe à la périphérie nord de Tunis dans la plaine de l'Ariana. Les sols sont développés sur des dépôts argilo-sableux, produits de l'érosion des collines qui bordent cette plaine à l'Est. Les sols sont peu évolués et recouvrent un sol enterré de couleur gris foncé à 2 m de profondeur. Les résultats des analyses physiques et chimiques de l'horizon de surface figurent dans le tableau n° 2.

Dans le C.E.E., le secteur de l'orangerie couvre 34 ares divisés en deux parcelles plantées en agrumes (orange maltaise 1/2 sanguine) à 4 m d'écartement (Date de plantation : avril 1956). Un des buts de l'installation de cette orangerie est l'étude du comportement de l'oranger vis-à-vis de trois doses d'irrigation avec deux eaux de qualités différentes.

La parcelle sud est irriguée à l'eau douce de Tunis (C.E.E.D.). La parcelle nord à l'eau salée (C.E.E.S.) dont l'extrait sec est maintenu constant grâce à un bassin de mélange. Cette eau provient d'un puits dont l'eau titrait en 1956, lors de sa mise en service, 1,10 g de Cl/l. La composition chimique actuelle des deux types d'eau d'irrigation est donnée dans le tableau n° 3.

Les doses d'irrigation correspondent à :

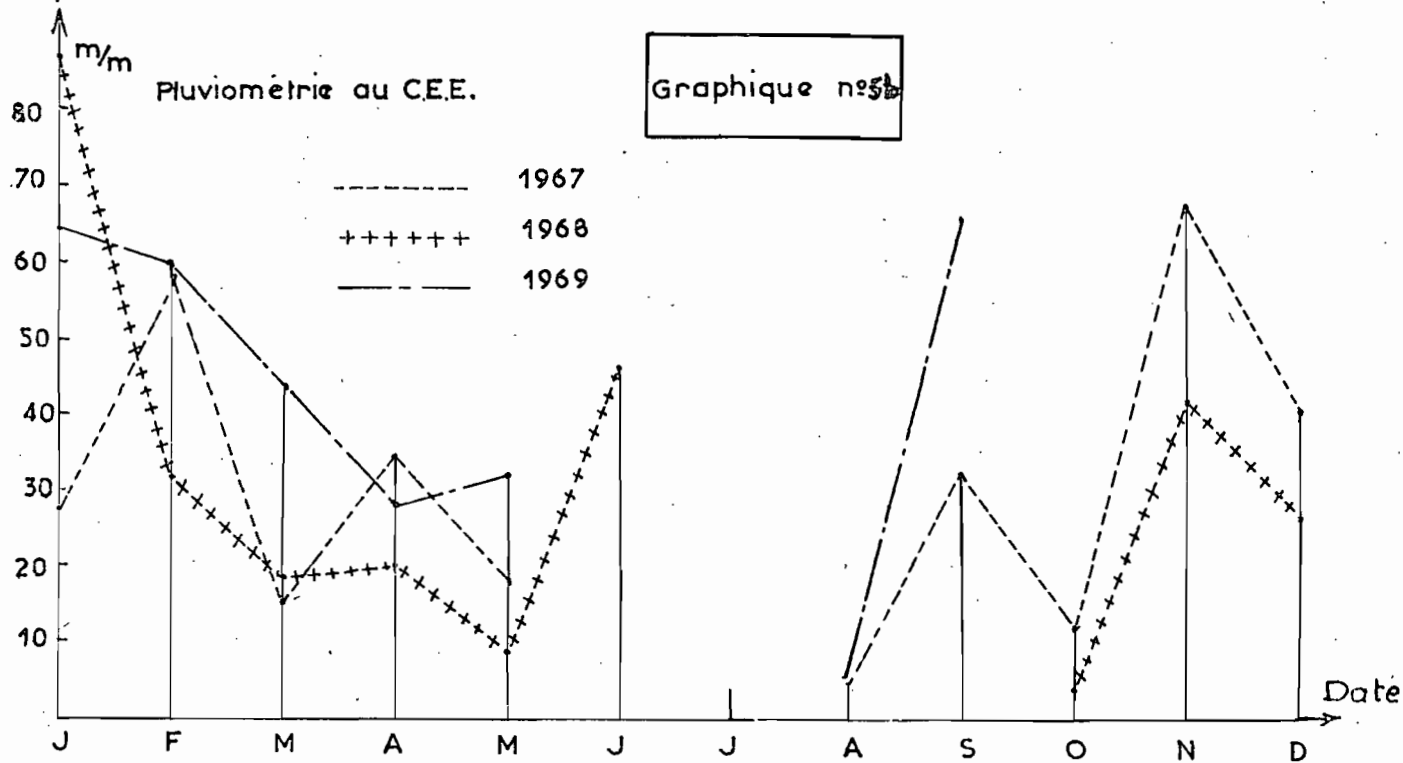
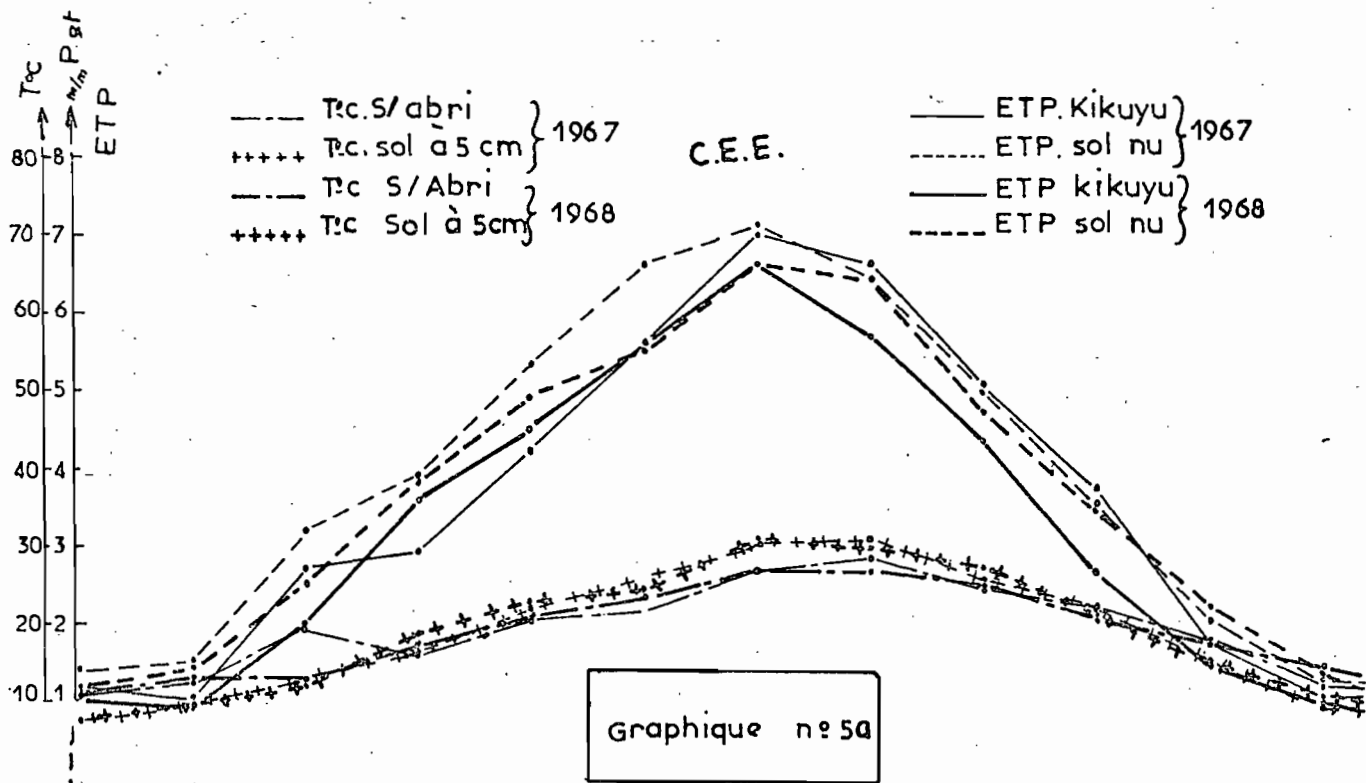
Dose A	=	75 %	)	
Dose B	=	50 %	)	
Dose C	=	25 %	)	
			)	de l'E.T.P. Moyenne mesurée sur un gazon
			)	de kikuyu et sur un sol nu au C.E.E.
			)	(Voir graphique n° 5)



T a b l e a u n ° I I I
R E S U L T A T S D ' A N A L Y S E D E S E A U X D ' I R R I G A T I O N

Milliéquivalents pour 1 000											
	Date Prélèvement	R.S. mg	C.E. mmhos/cm	Ca	Mg	Na	SO ₄	Cl	CO ₃	pH	S.A.R.
Puits 9 S/A (1)	7.7.69	860	1.4	5.2	1.6	6.26	2.6	5.6	5.0	8.2	3.40
Puits 9 S/A (2)	29.8.69	840	1.35	5.9	1.3	6.8	1.2	7	6.5	7.6	3.58
Puits 38 S/A (3)	7.7.69	820	1.3	4.4	1.4	6.56	1.8	6.0	5.05	8.3	3.86
Puits " (4)	29.8.69	820	1.30	6	1.6	7	2.2	5.8	5.9	7.5	3.61
Puits CEE.S (5)	6.9.69	3 100	4.5	19	10.6	24.6	5.8	37	11.9	7	6.38
CEED Tunis (6)	6.9.69	340	0.52	1.8	1.6	2.4	1.4	2.4	1.7	8.2	1.85
B. Salem Oued Kasseb (7)	11.9.69	640	1.00	2.65	3.75	4.5	2.2	5.2	3.9	8.2	2.51

L é g e n d e : R.S. = Résidu sec.
C.E. = Conductivité électrique.
S.A.R. = Pourcentage d'absorption de sodium.



L'E.T.P. calculée d'après la formule de Thornthwaite par PREZIOSI (1955) pour la région de Tunis est :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An.
ETP mm	20	23	36	55	88	127	159	157	118	87	40	22	932

Cependant, l'E.T.P. mesurée peut atteindre en été 220 m/m mois.

Les températures moyennes mensuelles mesurées respectivement sous abri et dans le sol (à 5 cm de profondeur et à 9H du matin) années 67, 68, 69 sont portées sur le graphique n° 5.

La pluviométrie moyenne annuelle au C.E.E. est de 410,5 m pour les années allant de 61 à 69; le graphique n° 6 donne les pluviométries des années 67, 68, 69.

Dans cette orangerie, les arbres irrigués à l'eau douce sont sains. Ceux irrigués à l'eau salée commencent à manifester des signes de dégénérescence. Les plus souffrants sont les plus irrigués à l'eau salée (Dose A = jaunissement des feuilles, dessèchement des rameaux, chute de production).

B. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

1°. ANALYSES PEDOLOGIQUES.

Les analyses physiques et chimiques relatives à la reconnaissance des sols ont été effectuées au Laboratoire du Service pédologique de Tunis.

Les échantillons ont été pris dans chaque horizon caractérisé dans chaque type de sol et les principales méthodes d'analyse utilisées sont :

Analyse

Méthodes (HOLDERBACH, 1963)

Granulométrie	Pipette de Robinson
Taux d'humidité au prélèvement	Gravimétrie
Taux d'humidité à C.R. et p.f.p.....	Sur échantillon remanié avec appareil de Richards

pH eau	Rapport $\frac{\text{sol}}{\text{eau}} = \frac{1}{2,5}$
C.E. et sels solubles	Mesurés sur l'extrait de pâte saturée
Cations échangeables	Méthode Bondy (OLLAT)
Matière organique (D'après le carbone) ...	Walkley et Black
Calcaire total	Calcimétrie Bernard
Calcaire actif	Drouineau modifiée par Gallet

2°. ECHANTILLONNAGE POUR L'ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE.

a. Types d'échantillons.

Les échantillons sont prélevés tous les deux mois environ.

A chaque date, en un endroit et dans une couche déterminés, deux types d'échantillons sont prélevés :

- . Un échantillon de sol à structure non détruite dans ses agrégats pour l'estimation de la stabilité structurale et l'indice de perméabilité (Hénin).

- . Un échantillon pour la détermination de l'humidité au prélèvement et de la densité apparente. Cet échantillon est prélevé dans un cylindre de volume = 100 cm³ et de diamètre = 6,3 cm.

A Mateur et à Bou Salem, les échantillons ont été prélevés dans quatre couches successives : 0-5, 5-10, 10-15 et 20-25 cm. Ces couches ne correspondent pas à des horizons pédologiques individualisés, mais à des niveaux choisis arbitrairement, compte-tenu des différences qui peuvent exister entre leur teneur en eau et en matière organique.

b. Localisation des prélèvements des échantillons.

L'étude de la stabilité structurale a porté sur les sols irrigués (durant la saison sèche) cultivés en oranger, et sur les sols non irrigués voisins en dehors de l'orangerie.

Dans les orangeries de Mateur (irriguées), nous distinguons deux emplacements voisins mais différents. Ces emplacements sont "Sous" les arbres et "Entre" les arbres. Cette distinction est basée aussi sur les différences observées dans l'humidité du sol et sa richesse en matière organique entre ces deux emplacements.

Les clémentiniers ont des frondaisons relativement grandes et

7x7 m

Sens du travail
du sol

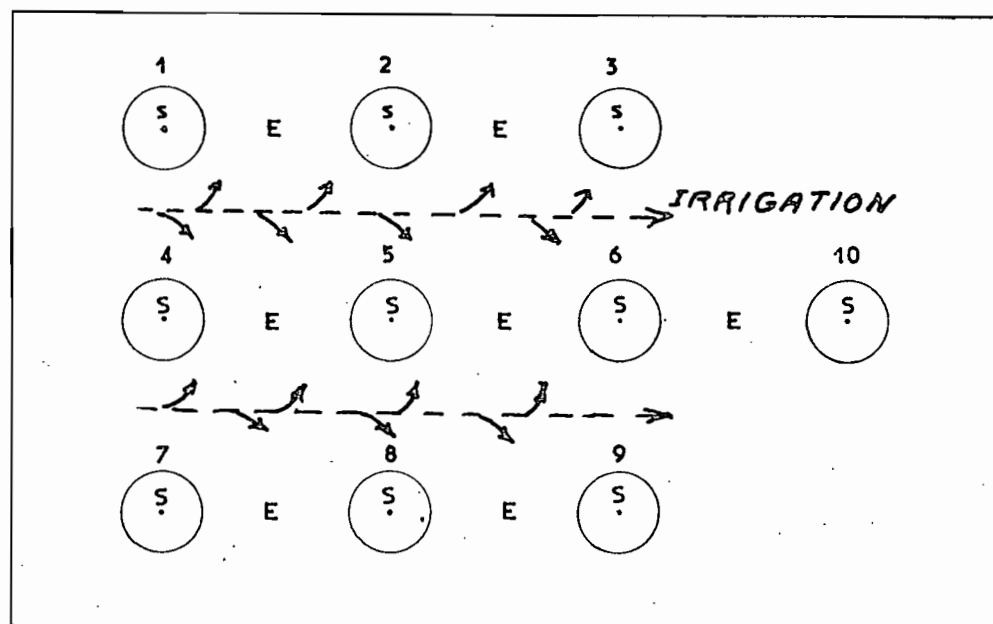


Schéma des prélèvements d'échantillons sous et entre
les arbres dans les parcelles 9;38 (Mateur) et 6 (Bou Salem)

S = sous

E = entre

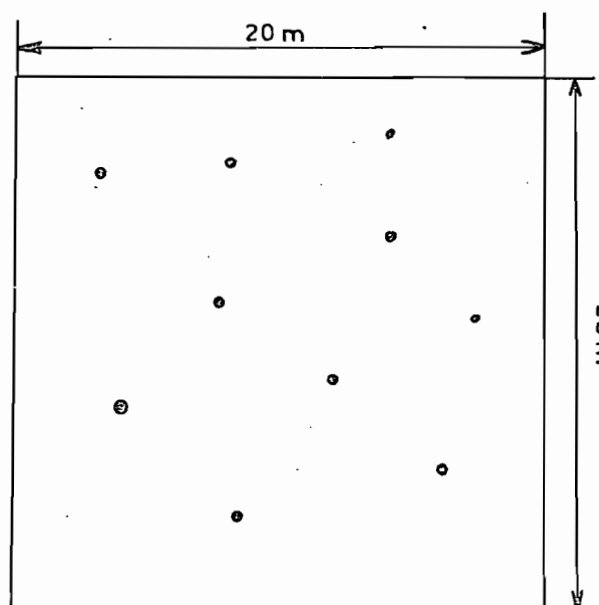


Schéma des prélèvements dans les parcelles N. et B.S.C.
(10 prélèvements au hasard dans une surface de 400m²)

denses, ce qui crée "Sous" l'arbre un microclimat particulier susceptible d'influencer la variation saisonnière de la stabilité structurale.

L'évaporation y est notablement réduite et la matière organique y atteint parfois 4 % (feuilles mortes, mauvaises herbes ...). En outre, l'effet mécanique des irrigations et des pluies semble être plus prononcé "entre" les arbres que "sous" les arbres. Pour éviter les influences perturbatrices des façons culturales, l'emplacement "Entre" les arbres est choisi sur la ligne des arbres, car le sol est travaillé souvent dans une seule direction (interligne).

A Bou Salem, les orangers sont moins développés qu'à Mateur et l'emplacement "Entre" les arbres n'est pas pris en considération.

L'emplacement "En dehors" de l'orangerie se caractérise particulièrement par l'absence des irrigations en été, et par une dessiccation et un craquèlement excessifs en été; pour cette raison, la détermination de la densité apparente (cylindre) n'a pas été possible.

Au Centre d'Etude de l'Eau (C.E.E.) de la Faculté d'Agronomie, les prélèvements n'intéressent que "Sous" les arbres et la couche de surface 0-5 cm. Des prélèvements allant jusqu'à 25 cm auraient gêné d'autres expérimentations en cours dans ce Centre.

3°. METHODE D'ESTIMATION DE LA STABILITE STRUCTURALE.

Il existe de nombreuses méthodes, plus ou moins empiriques, d'estimation de la stabilité structurale du sol. Elles sont fondées sur différentes considérations et peuvent de ce fait se classer en trois catégories :

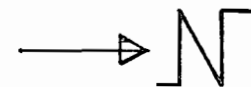
- . Méthodes des modèles : où l'on essaie de mesurer l'effet de la chute de pluie sur les agrégats (Ex. = Quantité d'eau nécessaire pour détruire tous les agrégats).

- . Méthodes des comportements du sol : ce sont des mesures indirectes de la stabilité (Ex. : la perméabilité, la porosité ...).

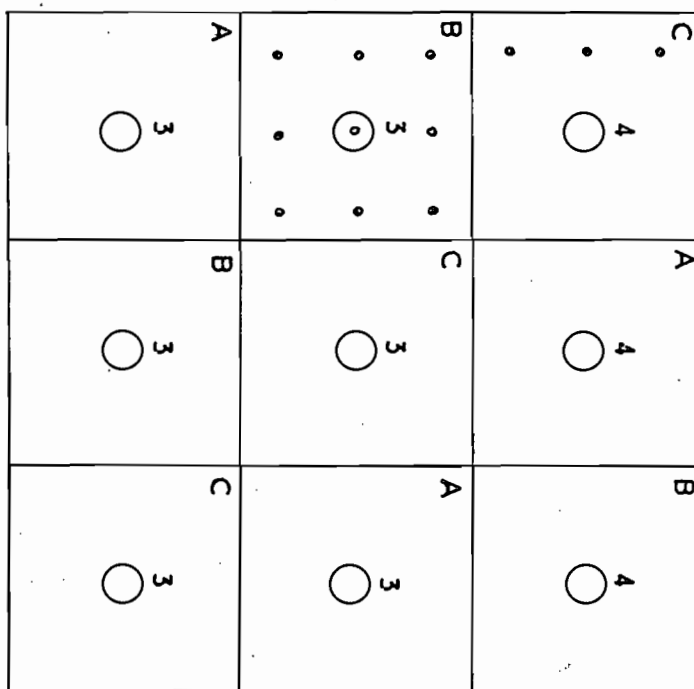
- . Détermination du taux d'agrégats stables à l'eau par le tamisage dans l'eau.

Dans chacune de ces trois catégories, on trouve plusieurs méthodes qui peuvent différer les unes des autres, particulièrement par les caractéristiques de l'échantillon du sol :

- Le taux d'humidité du sol.
- Dimension des agrégats avant tamisage.



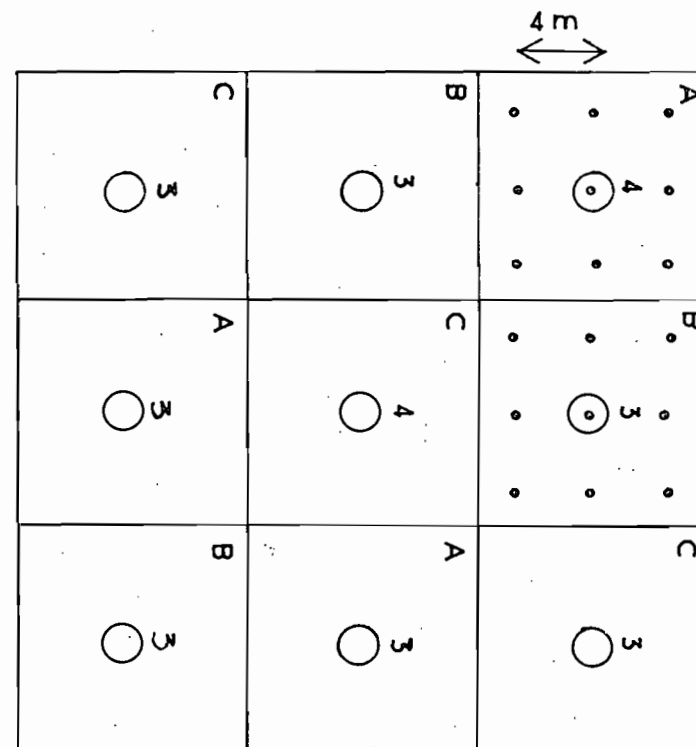
Parcelle irriguée à l'eau douce



◦ Arbre
○ Cuvette
d'irrigation

A = Dose A
B = Dose B
C = Dose C

Parcelle irriguée à l'eau salée



3 et 4 représentent le nombre de prélèvements
d'échantillons sous l'arbre central de chaque
carré

T a b l e a u n ° I V

RECAPITULATIF DES STATIONS ET EMPLACEMENTS
DES PRELEVEMENTS D'ECHANTILLONS DE LA STABILITE STRUCTURALE

Station	Type de sol	Emplacement	Traitement	Nbre de couches	Mesures
Mateur	Vertisol	(9 S/A	) Irrigué du-	4	(
		(	) rant saison		(H %
		(9 E/A	) sèche	4	(
		(	) (mai-octobre)		(d.a.
	Peu évolué d'apport	(N	non irrigué	4	(I.S.
		38 S/A	)	4	(K
		38 E/A	) Irrigués	4	(
Bou Salem	Peu évolué d'apport	B.S.G.	Irrigué	4	(H %
		B.S.C.	Non irrigué	4	(s.a.
C.E.E.	Peu évolué d'apport	C.E.E.D.	Irrigué à)3 do	1	(
		C.E.E.S.	l'eau dou-)ses ce)A)B Irrigué à)C l'eau sa-) lée)	1	(I.S.
					(K.

L é g e n d e : S/A = Sous les arbres.
 E/A = Entre les arbres.
 N-B.S.C. = En dehors des arbres.
 H % = Humidité au prélèvement.
 d.a. = Densité apparente
 I.S. = Indice de stabilité structurale.
 K. = Indice de perméabilité.

- Dimensions des mailles du tamis, donc les dimensions des agrégats pris en considération.
- Techniques du tamisage.

Chaque méthode a le mérite de rendre compte de l'importance d'un ou de plusieurs facteurs de la dégradation de la structure (dispersion, éclatement, gonflement ...). Le choix de la méthode doit donc être fonction du but recherché dans l'estimation de la stabilité structurale des sols.

La méthode utilisée dans cette étude est celle de S. HENIN (1958). Elle est décrite en détail par l'auteur. Nous rappelons qu'elle comporte une estimation de la stabilité structurale à la fois par l'analyse des agrégats (tamisage sous eau) et par le comportement du sol (Indice de perméabilité).

L'indice de stabilité I.S. est exprimé par :

$$I.S. = \frac{A + L \text{ (Max)}}{\frac{AqE + AqA + AqB}{3} - 0,9 \text{ S.G.}} \quad \text{où}$$

$A + L \text{ (Max)}$ = Le plus fort pourcentage d'argile et limon dispersés dans l'un des trois pré-traitements suivants :

AgE = % d'agrégats stables à l'eau
 AgA = % d'agrégats stables à l'alcool
 AgB = % d'agrégats stables au benzène
 S.G. = %Sable grossier

Les sols étudiés sont pauvres en sable grossier et dans la relation de I.S., nous avons tenu compte de la totalité de cette fraction.

Dans tous les cas, nous avons toujours trouvé $A + L \text{ (Max)}$ dans le pré-traitement au benzène.

Plus I.S. est grand, plus le sol est instable. Par ailleurs, la perméabilité du sol remanié donne un indice K, en cm/h qui est en corrélation avec I.S.

Les avantages et les inconvénients de cette méthode ont été analysés par son auteur. Nous l'avons choisie pour les raisons suivantes :

- . Le matériel utilisé est très simple.
- . Les deux indices I.S. et K, permettent de classer les sols d'après leur stabilité structurale.
- . Les valeurs $A + L$, AgE, AgA, AgB, peuvent rendre compte

chacune de l'importance d'un ou de plusieurs facteurs prédominants dans le processus de la dégradation de la structure.

Ainsi :

- un fort pourcentage en A + L (Max) renseigne sur la prédominance de la dispersion.
- L'augmentation de AgE dénote l'atténuation de "l'éclatement".
- L'augmentation de AgA indique une grande cohésion des agrégats.
- L'augmentation de AgB indique une richesse en matière organique protectrice.

. Plusieurs auteurs dont HENIN, COMBEAU et QUANTIN ont utilisé cette méthode. Cela nous permet de comparer nos résultats avec les leurs.

. Cette méthode est suffisamment sensible et précise pour permettre de déceler de légères variations saisonnières.

L'erreur relative théorique maximum dans la mesure de IS admise par l'auteur de la méthode est de 8 %, alors que les variations saisonnières enregistrées sous différents climats sont de l'ordre de 50 %, donc facilement décelables.

Cependant, les sols de Mateur et de Bou Salem ont une très grande cohésion et le tamisage à sec à 2 m/m (maille carrée) n'a pu se faire qu'après un concassage ménagé systématique de tous les échantillons. Nous pensons avoir augmenté ainsi le taux des éléments fins (microagrégats et A + L).

L'indice de perméabilité K est mesuré par le volume d'eau percolé à une travers une colonne de sol tamisé à 2 m/m et ce, durant la première heure. L'évolution de cet indice durant les 4 ou 5 heures suivantes (Indice de perméabilité stabilité) peut renseigner sur la stabilité structurale du sol étudié. Nous avons adopté cette technique pour comparer les indices d'un même sol au maximum et minimum de stabilité observés au cours de l'année.

4°. MESURE DE L'HUMIDITE AU PRELEVEMENT ET DE LA DENSITE APPARENTE.

L'humidité au prélèvement est déterminée gravimétriquement en rapportant la quantité d'eau de l'échantillon humide, au poids de l'échantillon séché à 105 °C pendant 24 heures.

La densité apparente est déterminée en rapportant le poids de la colonne de terre sèche à son volume (100 cm³).

5°. PRECISION DE LA METHODE D'ESTIMATION DE LA STABILITE STRUCTURALE.

a. Variabilité de I.S. au Laboratoire.

L'erreur relative maximum entre deux mesures d'un même échantillon, admise dans la méthode HENIN est de 8 %.

Un entraînement de deux mois sur les techniques du tamisage nous a permis de nous rapprocher de cette précision.

En effet, trois échantillons (I-2-3) représentant trois types de sols de stabilités structurales différentes, ont été analysés chacun dix fois. Les résultats sont les suivants :

T a b l e a u n ° V

Sol	I.S.									
I	0,48	0,49	0,48	0,57	0,42	0,43	0,47	0,44	0,46	0,47
2	3,04	2,76	2,69	2,30	2,57	2,51	2,91	2,80	2,65	2,67
3	8,82	7,19	6,59	6,87	6,03	6,45	6,02	6,85	7,07	7,12

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces distributions et le coefficient de variation de chaque série de mesure. Ce coefficient C.V. étant défini par le rapport $\frac{s}{m}$ où s est la racine carrée de la variance estimée et m la moyenne.

T a b l e a u n ° V I

	m	s^2	s	C.V.
I	0,47	0,0017	0,04	8,5 %
2	2,69	0,0432	0,208	7,7 %
3	6,90	0,6312	0,80	11,5 %

Nous pouvons ainsi conclure, à la lumière de ces paramètres, que le degré de précision de l'estimation de I.S. au laboratoire est du même ordre de grandeur que le seuil de précision admis par HENIN.

b. Variabilité de I.S. due aux différents emplacements de l'échantillon.

Le sol n° I est celui de Mateur 9 S/A. Nous avons essayé, à l'aide de ce sol, de mettre en évidence la part de variation due à différents emplacements considérés dans ce même sol. La détermination de I.S. de 10 échantillons (avec une seule analyse par échantillon) prélevés sous 10 arbres distants de 7 m les uns des autres a donné les résultats suivants :

T a b l e a u n ° V I I

N° de l'arbre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.S.	0,42	0,79	0,75	0,67	0,57	0,53	0,82	0,52	0,73	0,49

Cette distribution a pour paramètres :

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 0,629 \\
 S^2 &= 0,02 \\
 s &= 0,14 \\
 C.V. &= \frac{0,14}{0,629} = 22,5 \%
 \end{aligned}$$

Ce qui montre que pour un sol donné, la variabilité totale entre emplacements différents est de 22,5 %.

Ainsi, pour un échantillon prélevé, nous avons deux sources de variabilité probables, à savoir :

- . Variabilité due aux répétitions 8,5 %
- . Variabilité due à "l'Emplacement" 22,5 %

Ces résultats confirment ceux trouvés par CORMARY et LOBERT (1964) pour d'autres caractéristiques physiques du sol : (Perméabilité et humidité du sol).

A la suite de ces résultats, les dix échantillons différents

d'un prélèvement provenant d'un même sol peuvent être considérés comme de véritables répétitions de nature à permettre l'estimation d'une valeur moyenne de I.S. du sol étudié. C'est pourquoi nous avons admis de caractériser un sol à l'aide de 10 échantillons que nous analysons une seule fois.

Ainsi, pour les stations de Mateur et Bou Salem, les échantillons sont pris sous 10 arbres (numérotés de I à 10) et entre les 10 arbres (schéma page 24bis).

Pour l'emplacement "En dehors" des arbres, les 10 échantillons sont pris au hasard dans une superficie de l'ordre de 400 m² (superficie comparable à celle occupée par 10 arbres).

6°. VARIABILITE DE I.S. AU CENTRE D'ETUDE DE L'EAU.

Chaque bloc (Eau douce - Eau salée) se compose de 9 carrés relatifs aux trois répétitions des 3 doses d'irrigation. Les arbres périphériques de chaque carré sont susceptibles d'être contaminés par les doses avoisinantes. Pour éviter ces perturbations, nous ne prenons en considération que l'arbre central, les 10 échantillons sont pris sous les 3 arbres des 3 répétitions de la même dose (3 + 3 + 4).

Le tableau suivant résume les résultats de détermination de I.S. de 10 échantillons prélevés sous trois arbres du C.E.E. (eau douce, dose A - du 28.4.68). Chaque échantillon a été analysé 3 fois.

T a b l e a u n ° V I I I

(A = arbres
(R = répétition)

Répétition arbre	R_I	R_2	R_3	T_A
AI	2,89 3,56 2,61	2,56 4,33 2,78	2,77 3,68	27,85
A2	3,09 2,61 2,25	3,10 2,91 1,80	3,17 2,76 1,44	23,13
A A3	2,46 2,88 2,65 2,95	2,43 2,97 2,67 3,42	2,44 2,58 2,88 3,07	33,40
T_R	27,95	28,97	27,46	

L'analyse de la variance a donné, pour 3 arbres et 3 répétitions :

T a b l e a u n ° I X

Origine de la variance	Somme des carrés	d.d.l.	S^2	F calculé	F théorique	Conclusion
Totale	8,3124	29	0,2866			
Répétition	0,0187	2	0,0093	0,033	3,39	P = 5 % N.S.
Arbre	1,2548	2	0,6274	2,23	3,39	N.S.
Résiduelle	7,0389	25	0,2816			

A la probabilité de 5 %, il n'existe pas de différence significative ni entre les I.S. des répétitions ni entre ceux des 3 arbres.

Dans ce qui suit, nous adopterons le même protocole pour les 2 blocs, sans toutefois répéter l'analyse au laboratoire.

R e m a r q u e :

Pour les autres types d'analyse -(densité apparente, humidité ...)- nous avons été amené, pour des raisons de commodité dans le travail et le calcul, à prélever le même nombre d'échantillons que pour I.S.

I V .

R E S U L T A T S E T D I S C U S S I O N S

A . E t u d e d e l a s t a b i l i t é s t r u c t u r a l e

La comparaison des indices I.S. et K de la couche 0-5 cm des différents sols durant la période des irrigations (août 1968 - graphique n° 24) nous montre :

. A Mateur :

- Au vertisol (Parcelle 9)

L'emplacement 9 S/A présente la meilleure stabilité structurale.

L'emplacement 9 E/A a une structure plus dégradée que celle de 9 S/A.

"En dehors" de l'orangerie possède une stabilité intermédiaire entre les deux précédentes.

- Sol peu évolué (Parcelle 38).

Comme précédemment, l'emplacement "Sous" les arbres est nettement plus stable qu' "Entre" les arbres.

. A Bou Salem :

Les stabilités structurales "Sous" les arbres et "En dehors" de l'orangerie sont comparables, mais "Sous" les arbres est plus perméable que "En dehors" de l'orangerie.

. Au Centre d'Etude de l'eau :

La parcelle irriguée à l'eau douce présente une structure plus stable que celle de la parcelle irriguée à l'eau salée.

Ainsi, à Mateur où l'eau d'irrigation arrive dans l'orange-raie par des rigoles, l'effet de cette irrigation sur I.S. ne se fait sentir qu' "Entre" les arbres. Par contre, au Centre d'Etude de l'Eau où l'irrigation se fait par submersion des cuvettes, la dégradation de la structure "Sous" les arbres est importante, et elle l'est d'autant plus que l'eau d'irrigation est plus salée.

Après ces constatations générales, nous allons passer à l'étude des variations de la stabilité structurale en fonction de la profondeur du sol, des saisons, et de la qualité d'eau d'irrigation.

Les résultats de I.S. d'une part et K d'autre part, relatifs à chaque station, ont été rassemblés dans des tableaux à double entrée (exemple, tableau n° X) et testés globalement par l'analyse de la variance (plan factoriel).

Cette analyse statistique nous a conduit aux résultats suivants :

A Mateur et à Bou Salem

a. Les indices I.S. et K montrent des variations très hautement significatives en fonction de la date.

b. Ils montrent également des variations très hautement significatives en fonction de la profondeur.

c. Il y a des interactions des effets "date" et "profondeur" sur I.S. et K.

T a b l e a u n ° X

RESULTATS DE I.S. EN FONCTION DE LA DATE
ET DE LA PROFONDEUR DANS 9 S/A

Date Prof ^{em.}	27.4.68	4.7.68	27.8.68	7.II.68	25.I2.68	20.2.69
0-5	0,86	I,08	0,60	0,54	0,84	0,74
	I,10	I,29	0,89	0,49	0,66	0,54
	I,15	I,17	0,90	0,71	0,70	0,62
	I,19	I,12	0,79	0,72	0,41	0,49
	0,87	I,16	0,62	0,50	0,65	0,78
	0,96	I,75	0,54	0,44	0,71	0,60
	0,90	I,69	0,62	0,61	0,51	0,62
	0,92	I,36	0,72	0,82	0,64	0,51
	0,94	I,82	0,72	0,83	0,52	0,52
	0,88	I,27	0,66	0,71	0,75	0,62
5-10	I,49	I,64	0,70	0,91	0,84	0,75
	I,85	I,61	I,07	0,73	I,00	0,84
	I,74	I,42	0,99	I,06	0,98	0,80
	I,55	I,53	0,87	I,15	I,01	0,72
	I,55	I,54	0,88	I,15	0,94	0,84
	I,50	I,53	0,80	I,17	0,85	0,77
	I,19	I,87	0,87	I,14	I,04	0,71
	I,43	I,69	I,00	0,94	0,78	0,95
	I,31	I,92	0,97	I,01	0,85	0,71
	I,30	I,19	0,93	0,92	0,77	0,92
10-15	I,45	I,37	I,14	I,09	0,99	0,92
	I,78	I,48	I,18	I,13	I,07	0,89
	I,54	I,37	I,46	I,06	I,11	I,10
	2,11	I,34	I,31	I,09	I,34	I,00
	I,57	I,52	I,15	I,09	I,11	0,99
	I,97	I,53	I,52	I,12	0,98	0,96
	I,83	I,67	I,23	I,28	0,94	0,91
	I,81	I,73	I,13	I,07	I,04	0,94
	I,52	I,57	I,33	I,06	0,83	0,91
	I,75	I,25	I,28	I,26	I,07	0,94
20-25	I,51	2,01	I,05	I,16	I,05	I,06
	I,64	I,34	I,13	I,10	0,92	0,87
	I,35	I,45	I,87	0,83	0,86	I,09
	I,60	I,53	I,81	0,91	I,35	I,14
	I,74	I,59	I,25	I,10	0,85	I,12
	I,54	I,61	I,27	0,98	0,87	I,06
	I,93	I,90	I,34	0,88	0,91	I,04
	I,64	I,65	I,11	0,99	I,06	I,13
	I,49	I,71	I,33	0,95	0,80	I,06
	I,42	I,28	I,12	I,25	I,03	I,05

T a b l e a u n ° X I

ANALYSE DE LA VARIANCE DE I.S. EN FONCTION
DE LA DATE ET DE LA PROFONDEUR ET DES INTERACTIONS
POSSIBLES ENTRE ELLES - 9 S/A

Origine de variance	carrés des écarts	d.d.l.	S2	F calculé	F théo- rique	Con- clusion
Totale	32.044	239	0.134			
Date	16.765	5	3.353	134	1°/°° 4.10	T.S.
Profondeur	7.832	3	2.610	104	1°/°° 5.42	T.S.
Interaction Date x Prof.	1.922	15	0.128	512	1 °/°° 2.51	T.S.
Résiduelle	5.525	216	0.025			

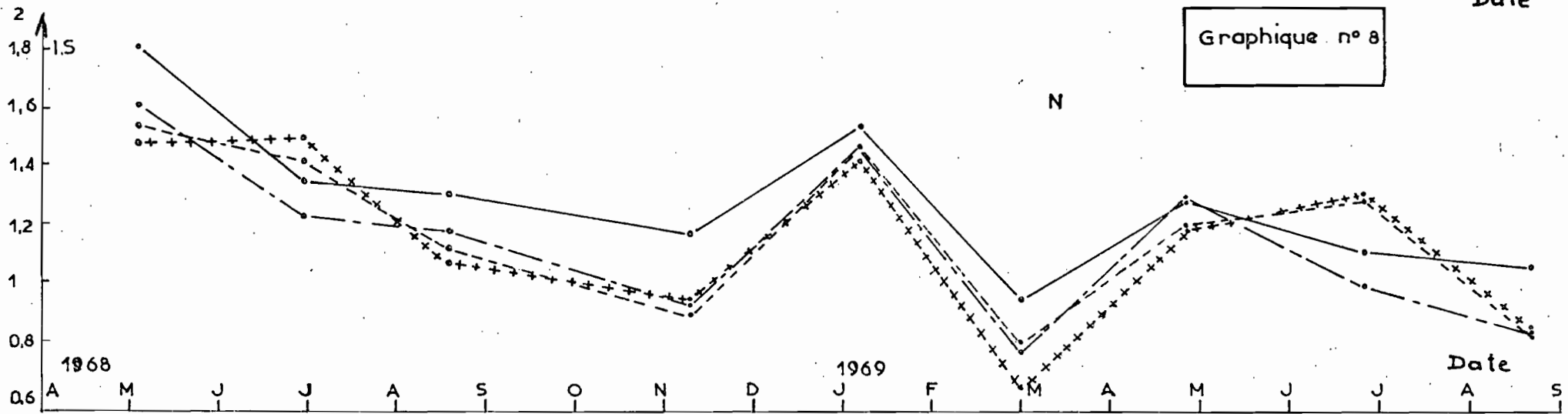
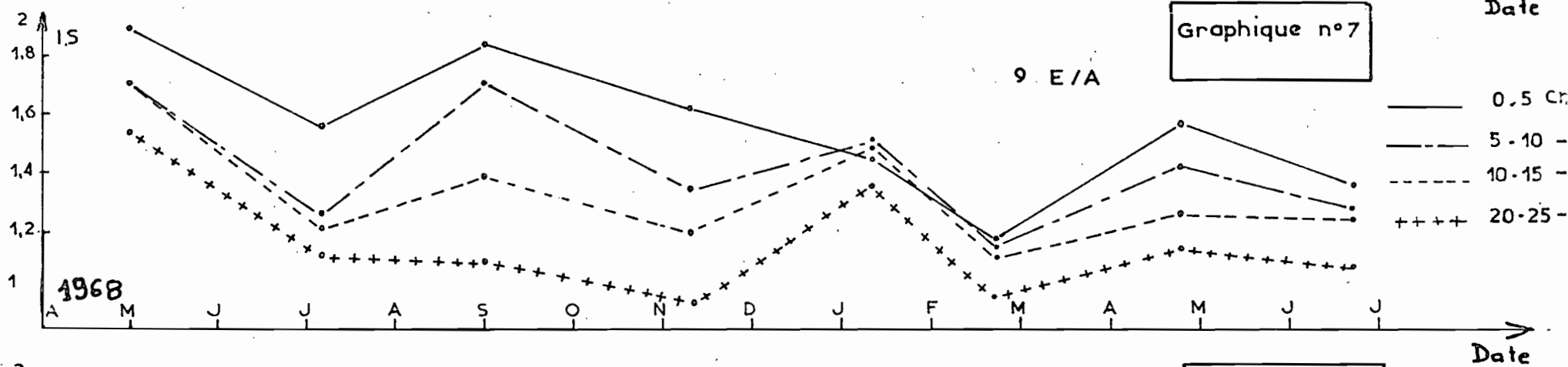
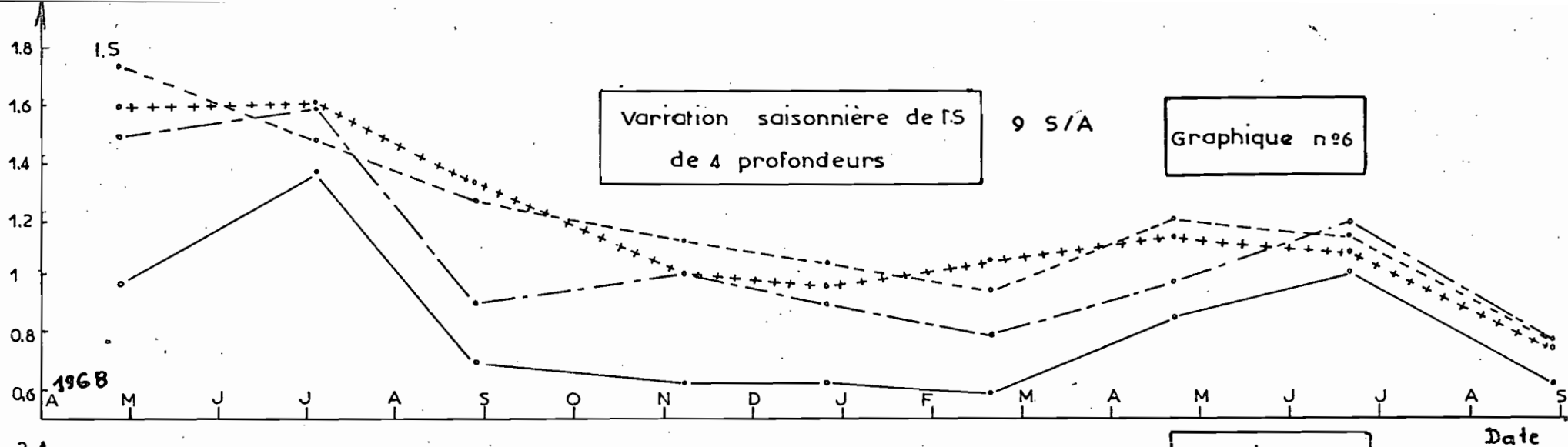
Les conclusions des analyses statistiques relatives aux différentes stations sont réunies dans le tableau n° XII.

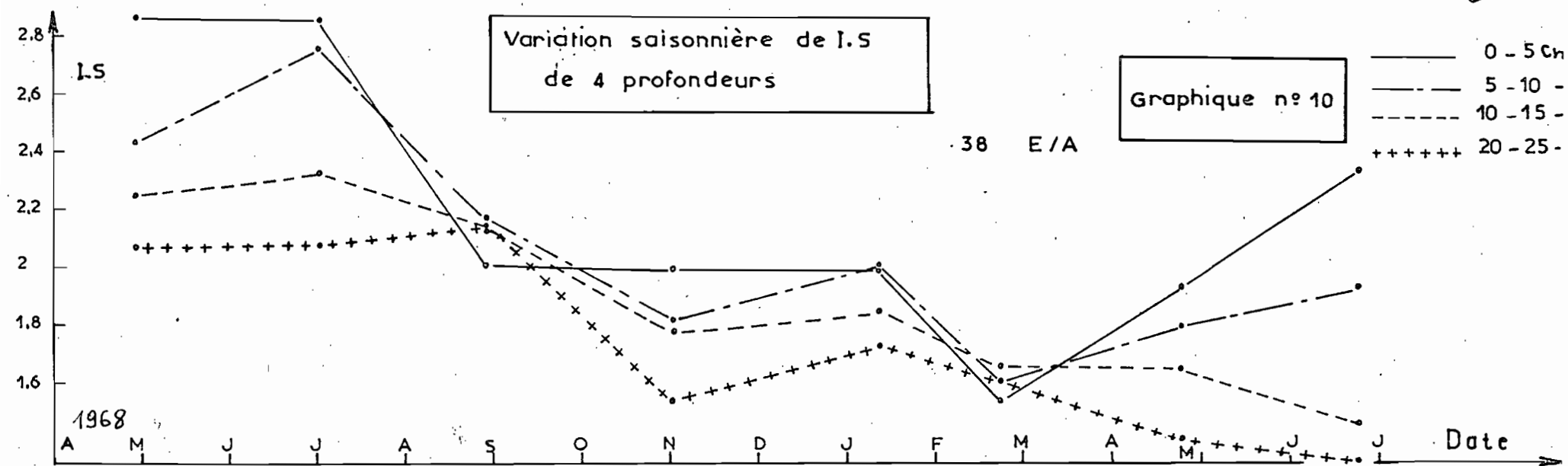
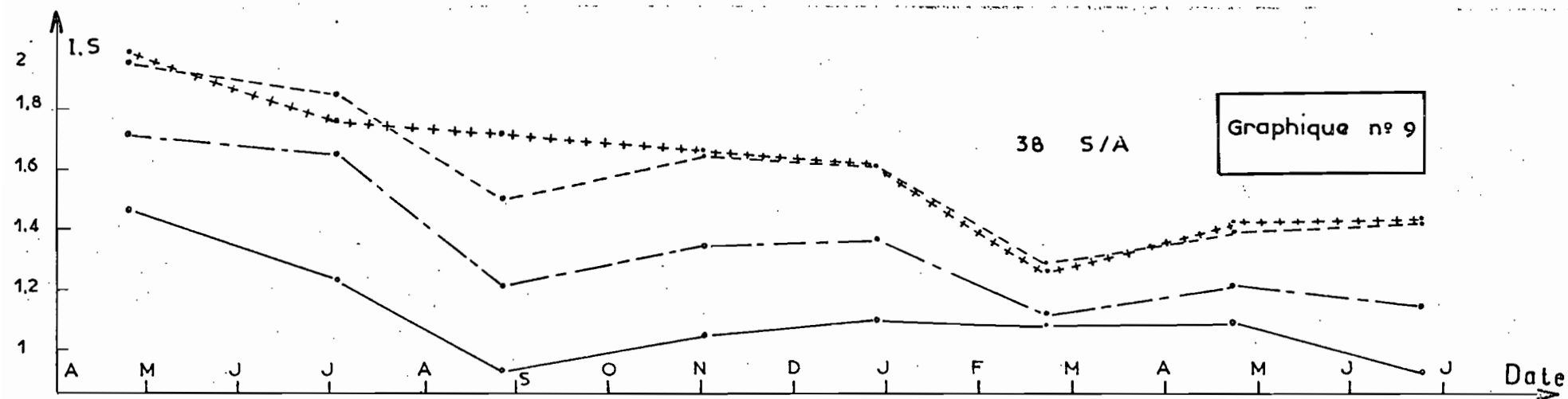
Au Centre d'Etude de l'eau, nous retrouvons les mêmes conclusions : les différences observées entre les valeurs de I.S. de différentes dates sont très hautement significatives. Les différences observées entre les I.S. de parcelles irriguées avec des eaux différentes et à la même dose sont hautement significatives.

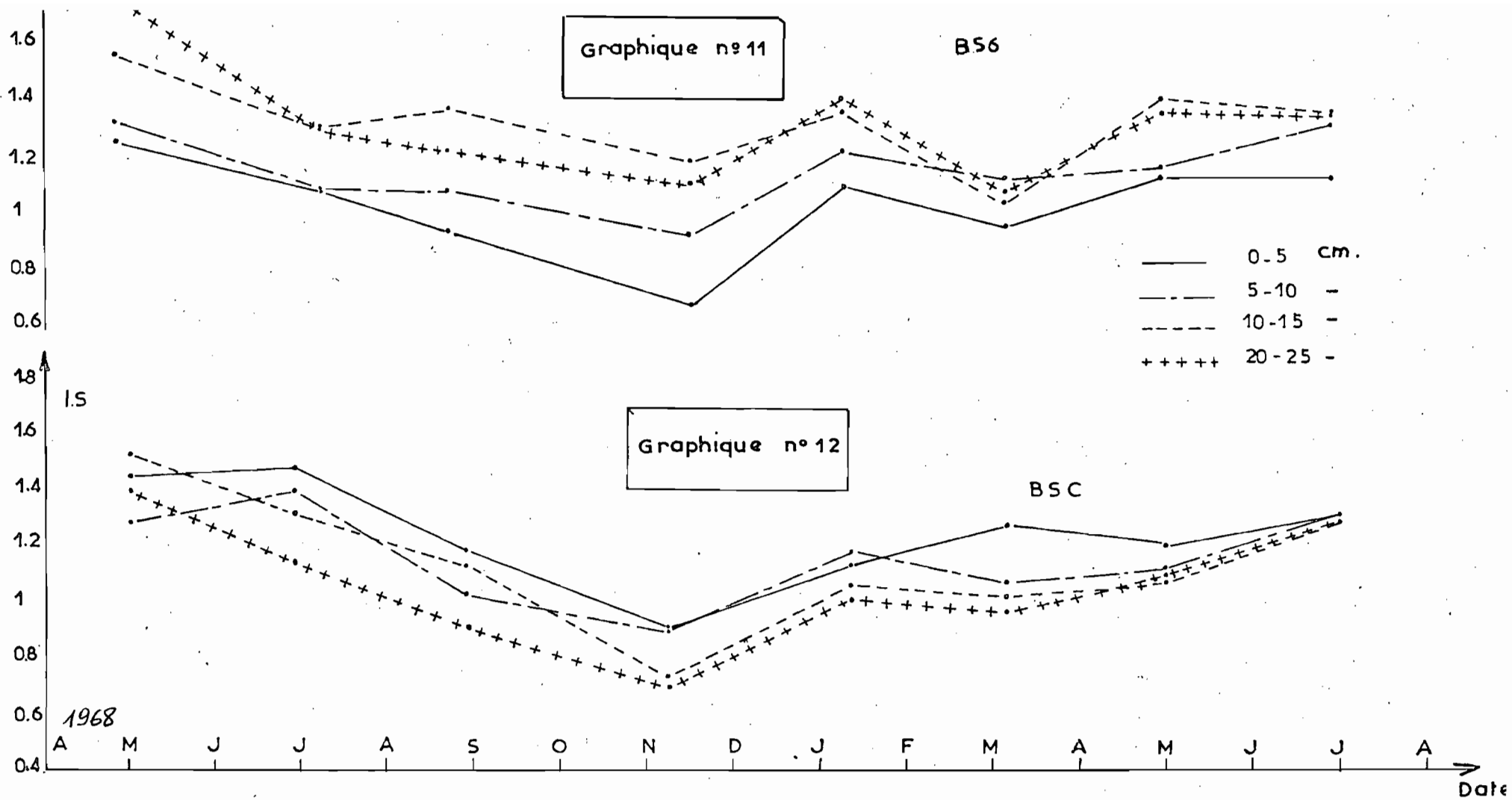
Cependant, les différences observées entre les I.S. des parcelles irriguées aux trois doses d'irrigation (à l'eau douce ou à l'eau salée) ne sont pas significatives au seuil de probabilité 5 %. Notons toutefois que les parcelles les moins irriguées (Dose C) auraient tendance à être légèrement plus instables que les parcelles les plus irriguées (Dose A).

Les variations de I.S. en fonction de la date et de la profondeur sont représentées dans les graphiques n° 6 à 13. Sur ces graphiques, chaque point représente la moyenne de I.S. de 10 échantillons.

Après l'analyse statistique globale, nous nous proposons d'étudier plus en détail les résultats obtenus.







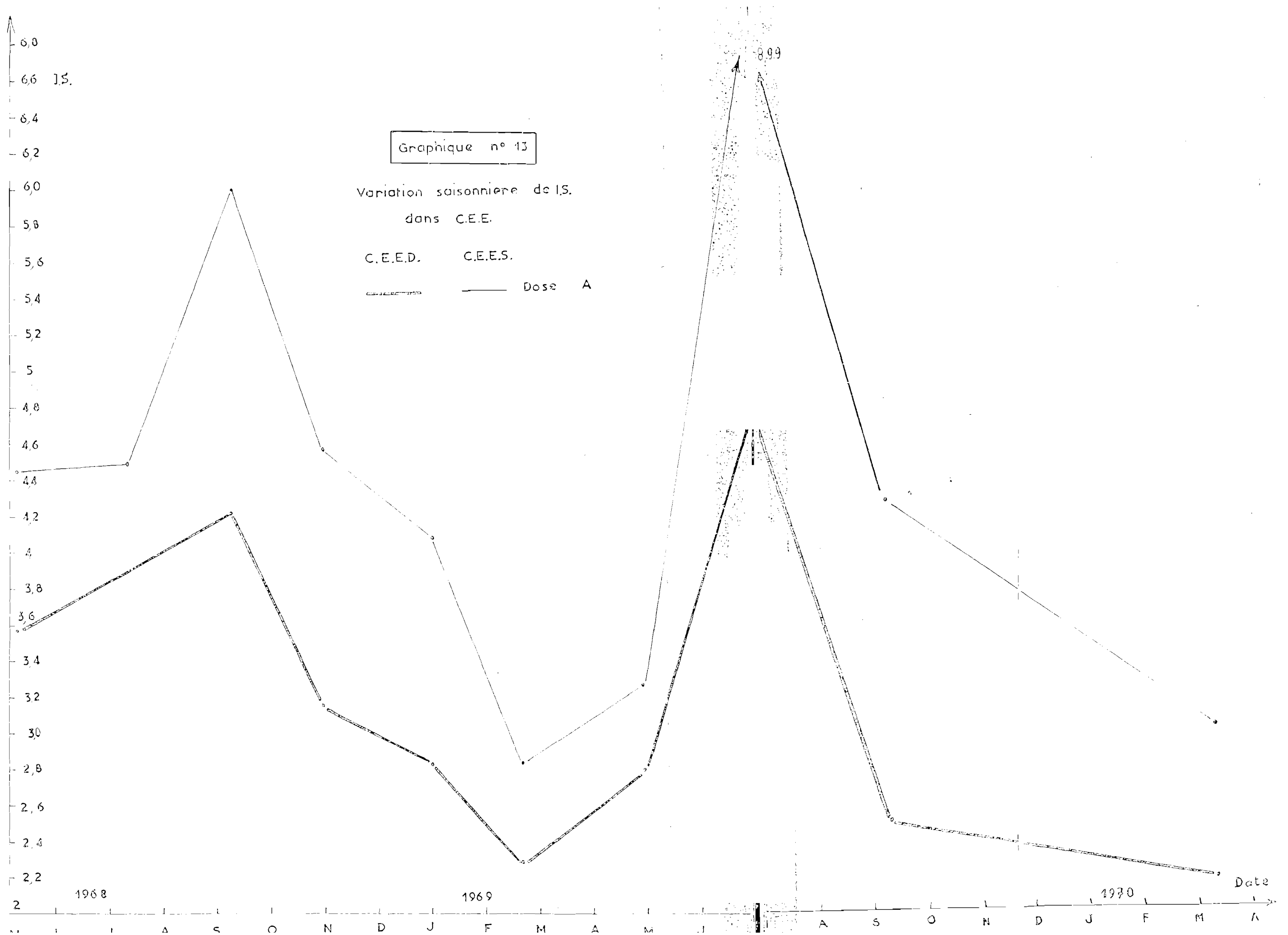


Tableau n° X I I

CONCLUSIONS DE L'ANALYSE DE LA VARIANCE DE I.S.
ET K DANS DIFFERENTES STATIONS

	Origine de la variance	9 S/A	38 S/A	BS 6	9 E/A	38 E/A	N	BSC
IS	Date	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°
	Profondeur	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°
	Interaction Date x prof.	T.S. I°/°°	N.S. 5 %	S. 5 %	N.S. 5 %	S. 5 %	N.S. 5 %	N.S. 5 %
K	Date	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°
	Profondeur	T.S. I°/°°	S. 5 %	T.S. I°/°°	T.S. I°/°°	S. I %	N.S. 5 %	S. I %
	Interaction Date x Prof.	T.S. I°/°°	N.S. 5 %	T.S. I°/°°	S. 5 %	N.S. 5 %		T.S. I°/°°

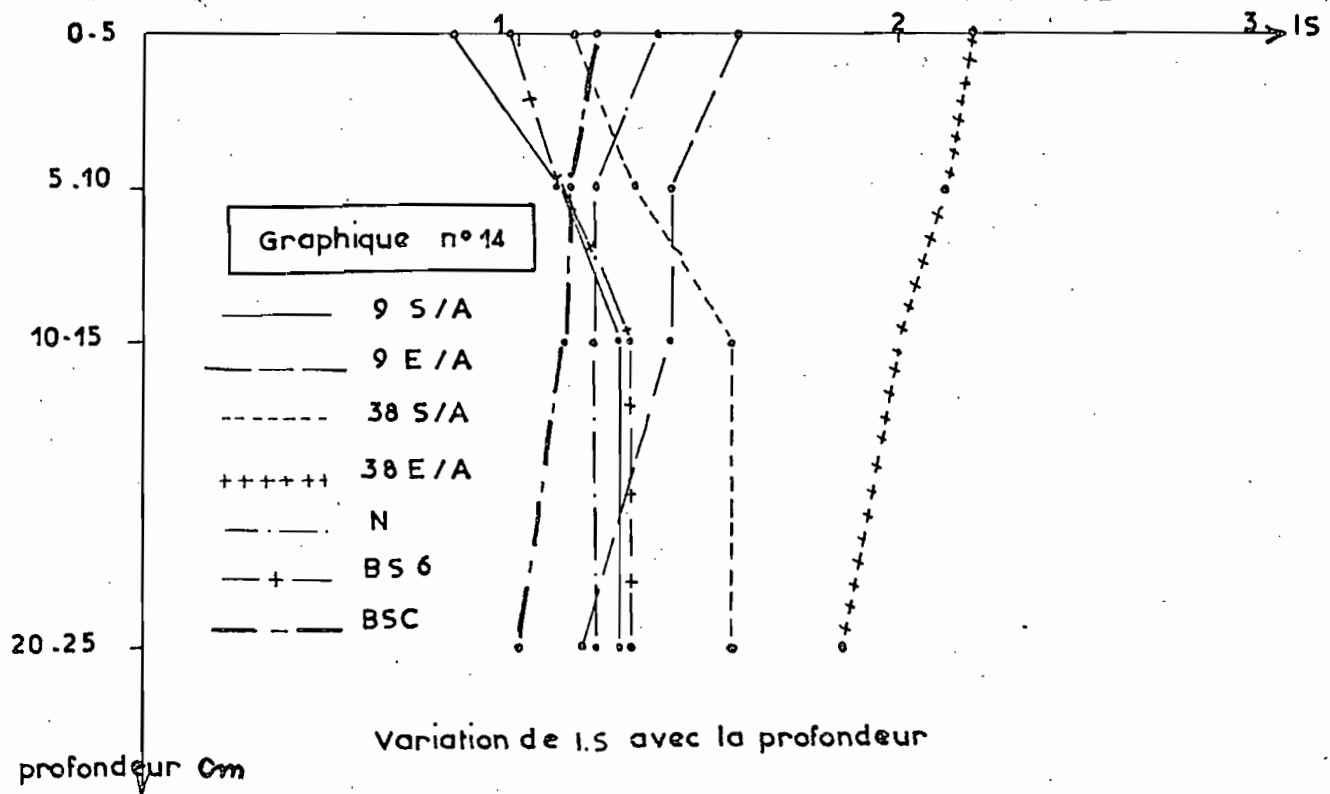
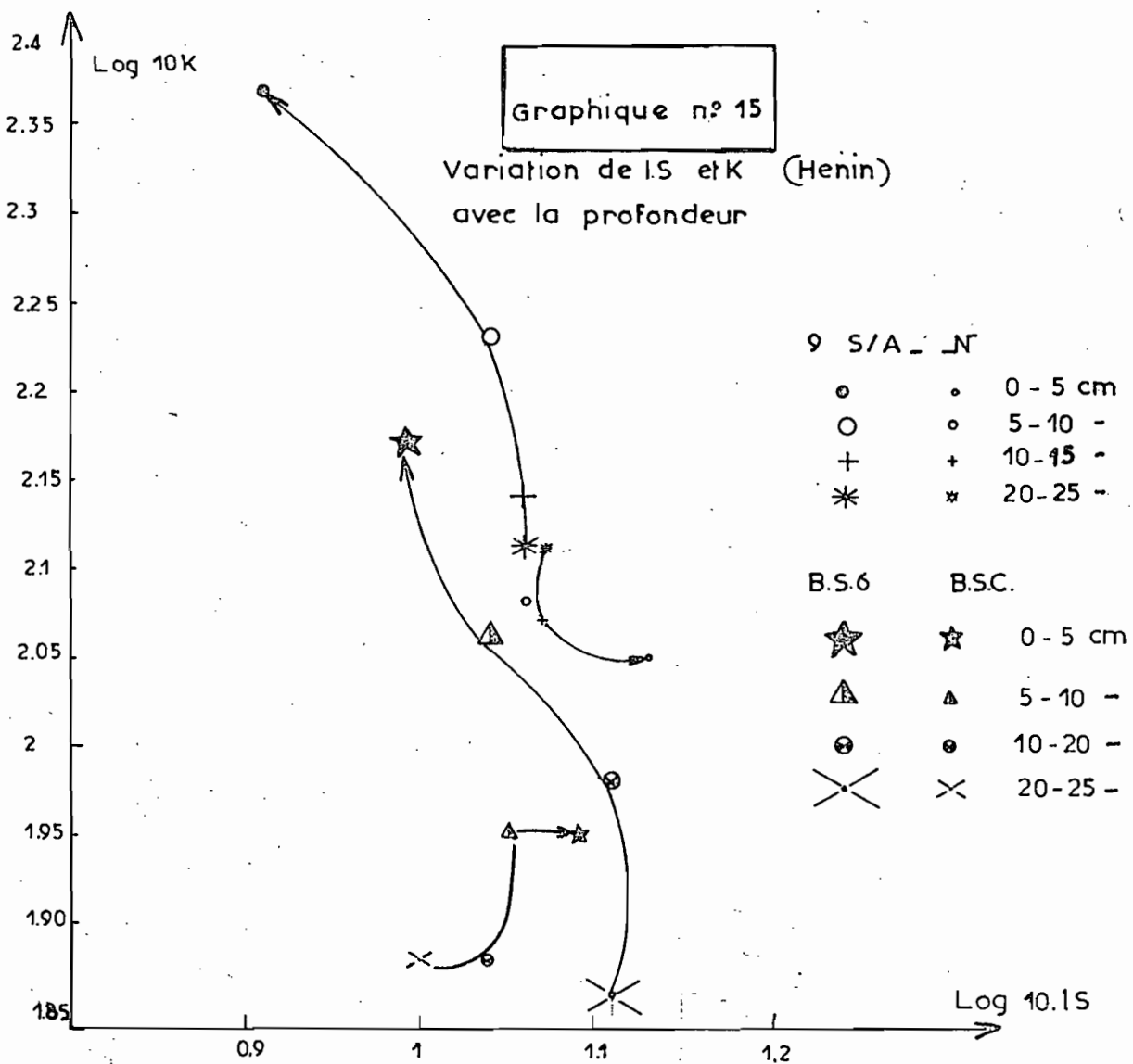
I°. VARIATION DE I.S. AVEC LA PROFONDEUR.

Le tableau n° XIII ci-après résume les moyennes annuelles de I.S. des 4 profondeurs. Chaque chiffre représente la moyenne de 60 mesures correspondant à six dates de prélèvement des échantillons de sol.

La comparaison des I.S. des différentes profondeurs deux à deux, en utilisant le test de Duncan, nous conduit aux conclusions suivantes (graphique n° I4) :

a. "Sous" les arbres, la stabilité de la structure décroît (I.S. croît) quand la profondeur du sol croît.

b. "Entre" et "En dehors" des arbres, la stabilité croît (I.S. décroît) avec la profondeur.



Nous pouvons remarquer en outre que c'est surtout la couche 0-5 cm qui se distingue le plus du reste du sol (différence significative à 1 %) et qu'en général à partir de 10 cm de profondeur la stabilité structurale ne varie plus significativement avec la profondeur.

T a b l e a u n ° X I I I

	9 S/A	9 E/A	N	38 S/A	38 E/A	B S6	BSC
0-5 cm	0,82	1,58	1,35	1,11	2,21	0,98	1,25
5-10cm	1,12	1,43	1,17	1,37	2,13	1,11	1,13
10-15cm	1,27	1,34	1,20	1,60	2,00	1,29	1,12
20-25cm	1,26	1,16	1,19	1,63	1,86	1,30	1,01
Moyenne	1,12	1,38	1,23	1,43	2,05	1,17	1,13

Sur le graphique n° 15, nous avons représenté la position de chaque couche de sol par ses indices de stabilité et de perméabilité. Les sols représentés sont 9 S/A et N (pédologiquement identiques) d'une part, puis BS6 et BSC d'autre part. Sur ce graphique, nous pouvons noter particulièrement que :

a. Dans 9 S/A :

La couche 0- 5 cm est la plus stable et la plus perméable.

La couche 5-10 cm est nettement moins stable et moins perméable que la précédente.

Les couches suivantes ont la même stabilité structurale et pratiquement la même perméabilité.

b. Dans la parcelle N :

La couche 0- 5 cm est, contrairement au cas précédent, la moins stable et la moins perméable des quatre couches étudiées.

La couche 5-10 cm est nettement plus stable et légèrement plus perméable que la précédente.

Les deux couches suivantes sont identiques et se distinguent peu de la couche qui les surmonte.

Il est en outre important de noter que la position des deux couches 20-25 cm des deux emplacements considérés précédemment (9 S/A et N) est la même. En effet, les deux emplacements appartiennent pédolo-

giquement au même sol (vertisol). Mais du fait que les deux emplacements, identiques au départ, ont évolué différemment depuis plus d'une vingtaine d'années (depuis l'installation de l'orangerie) au cours desquelles 9 S/A s'est beaucoup plus enrichi en matière organique que la parcelle N, les couches de surface ont acquis des I.S. différents.

Il semble donc que les modifications qui ont affecté la stabilité structurale n'intéressent dans ce cas précis que la couche allant de 0 à 10 cm environ, profondeur au-delà de laquelle la stabilité reste pratiquement la même dans les deux emplacements.

A Bou Salem, le classement des couches d'après leurs I.S. dans BS6 obéit à celui observé dans 9 S/A. Cependant, les positions relatives des couches 20-25 cm de BS6 et BSC n'ont pas la même position sur le graphique, et se distinguent particulièrement par leurs I.S. Cette distinction proviendrait du fait que les sols ne sont pas identiques au départ (En effet BSC est moins évolué et légèrement plus limoneux que BS6).

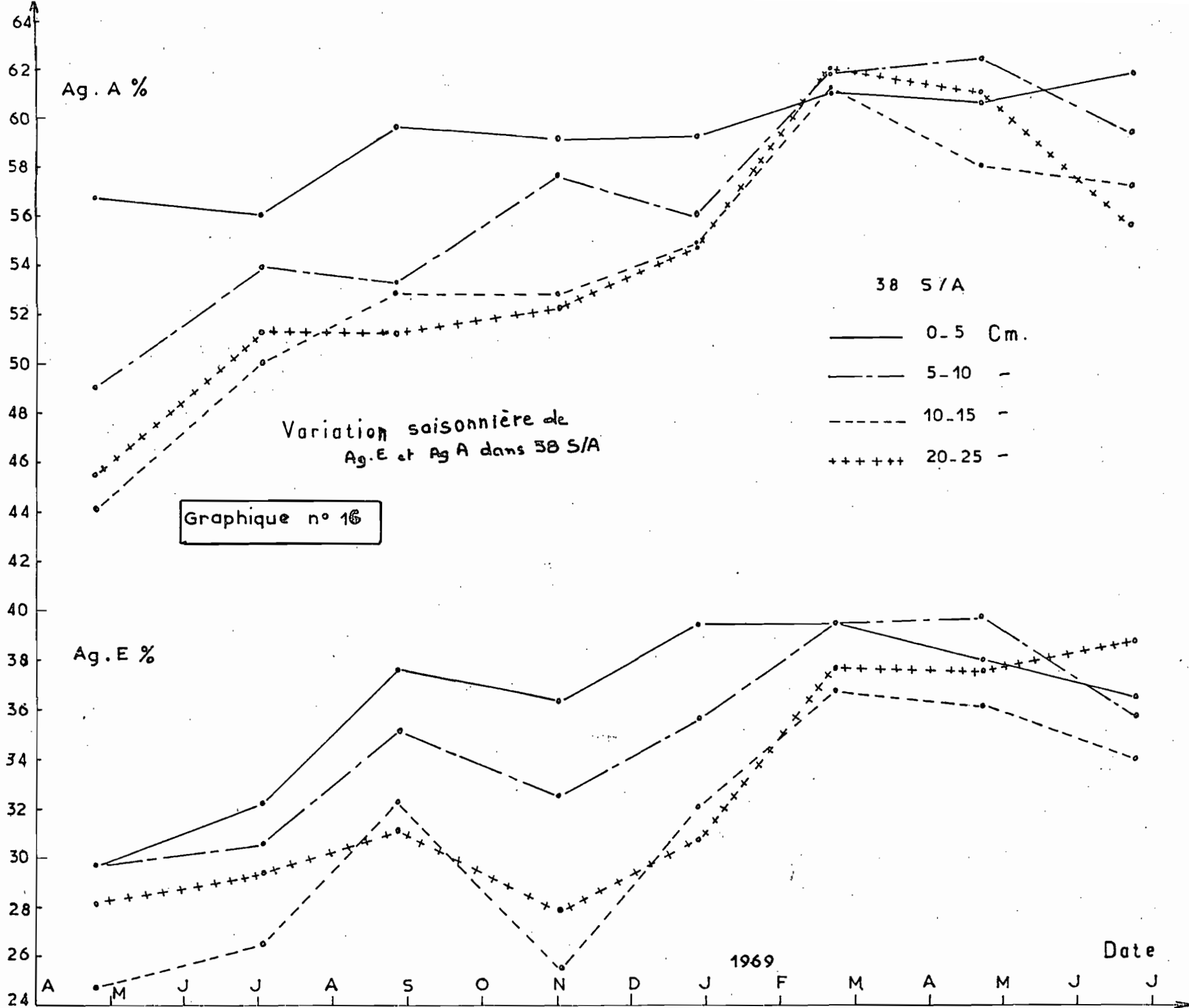
La variation de la stabilité structurale en fonction de la profondeur peut être vue aussi sur les composantes de l'indice I.S., c'est-à-dire sur A + L; Ag Eau; Ag alcool; et Ag Benzène.

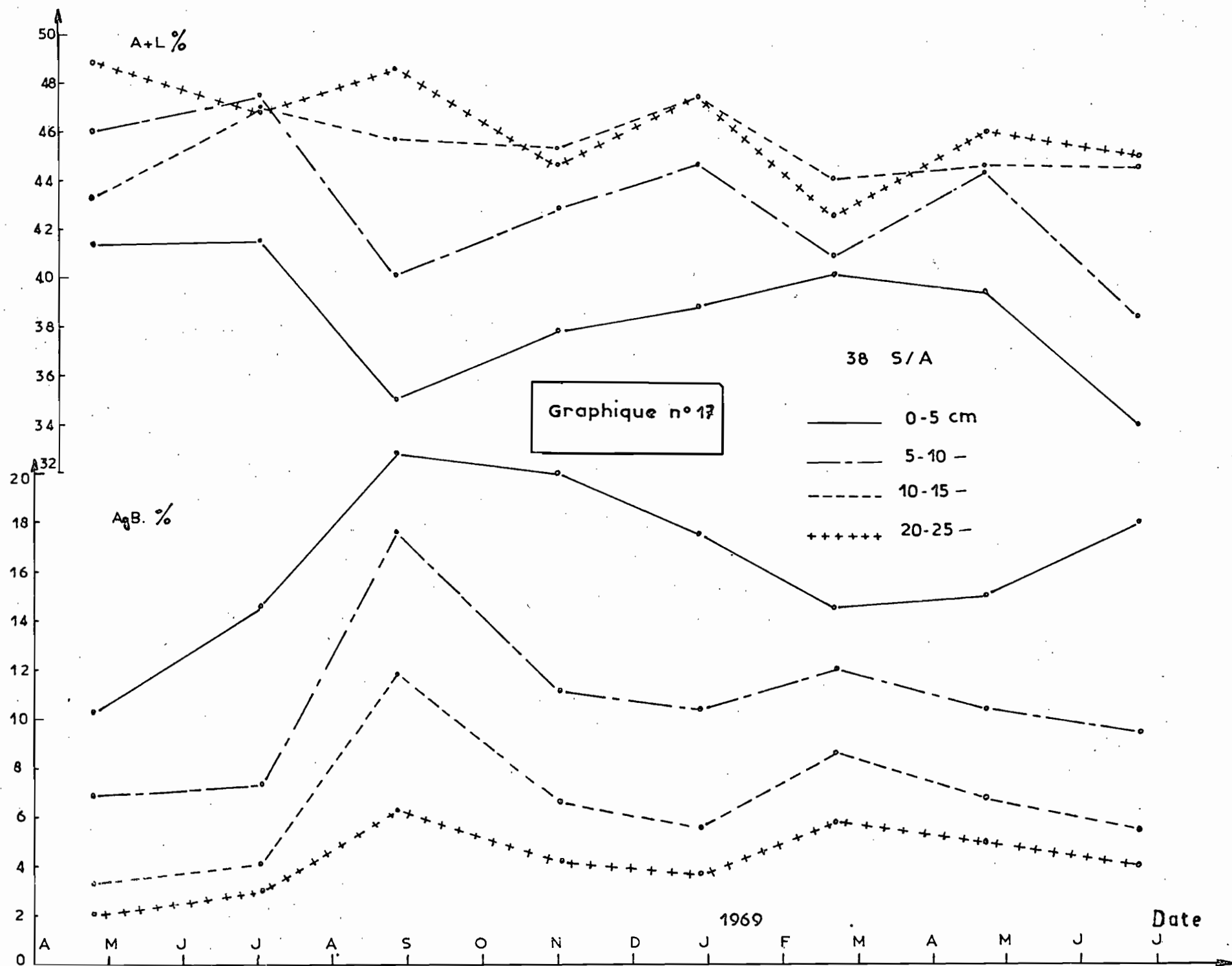
- Sous les arbres, le classement des couches s'observe particulièrement bien sur le taux d'agrégats stables au prétraitement benzène. Les couches se différencient ainsi selon leur degré de richesse en matière organique. Le taux d' "Ag.B." diminue quand la profondeur augmente.

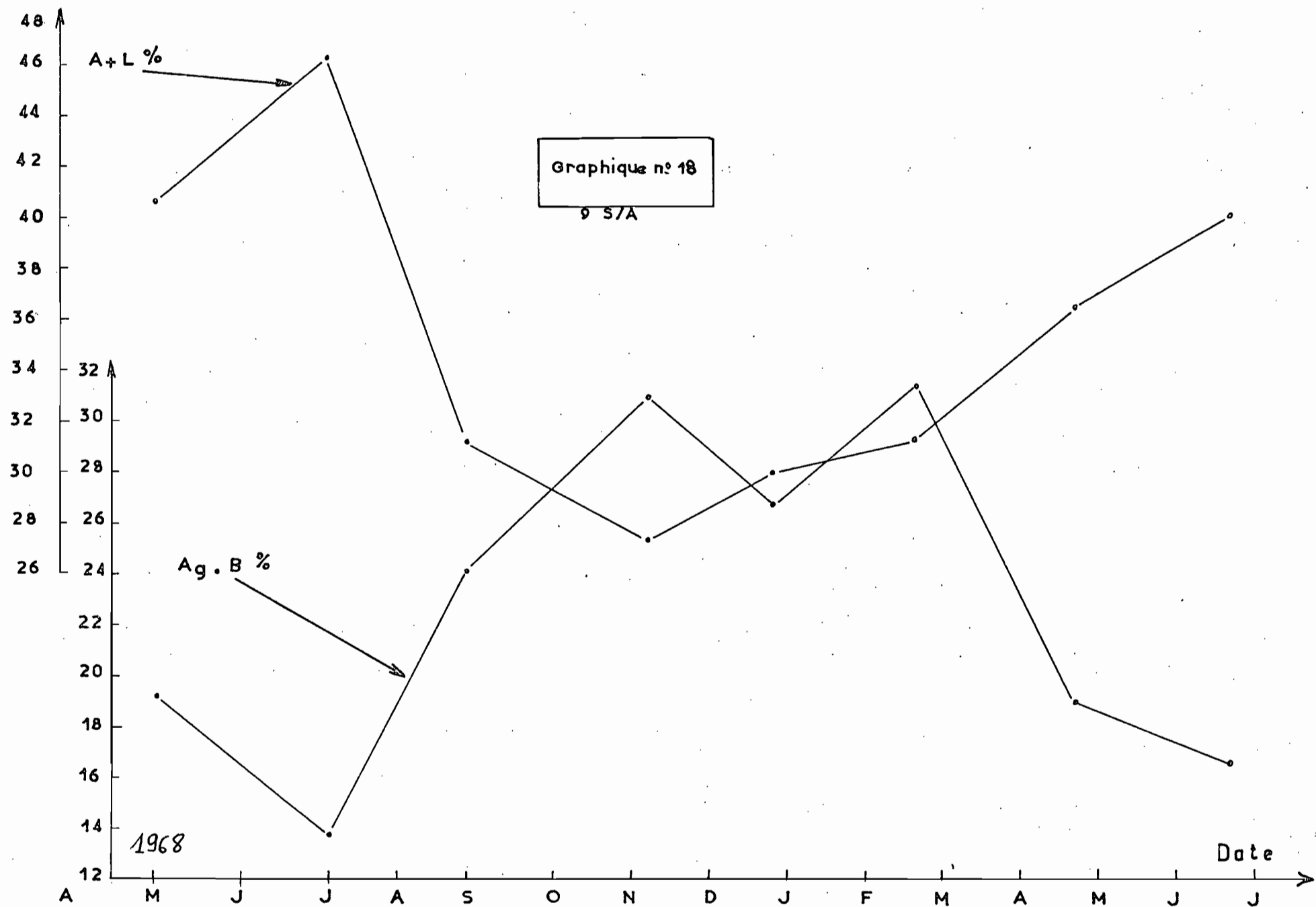
Le taux de dispersion donne corrélativement le même classement mais en sens inverse (graphiques n° 16 à 18).

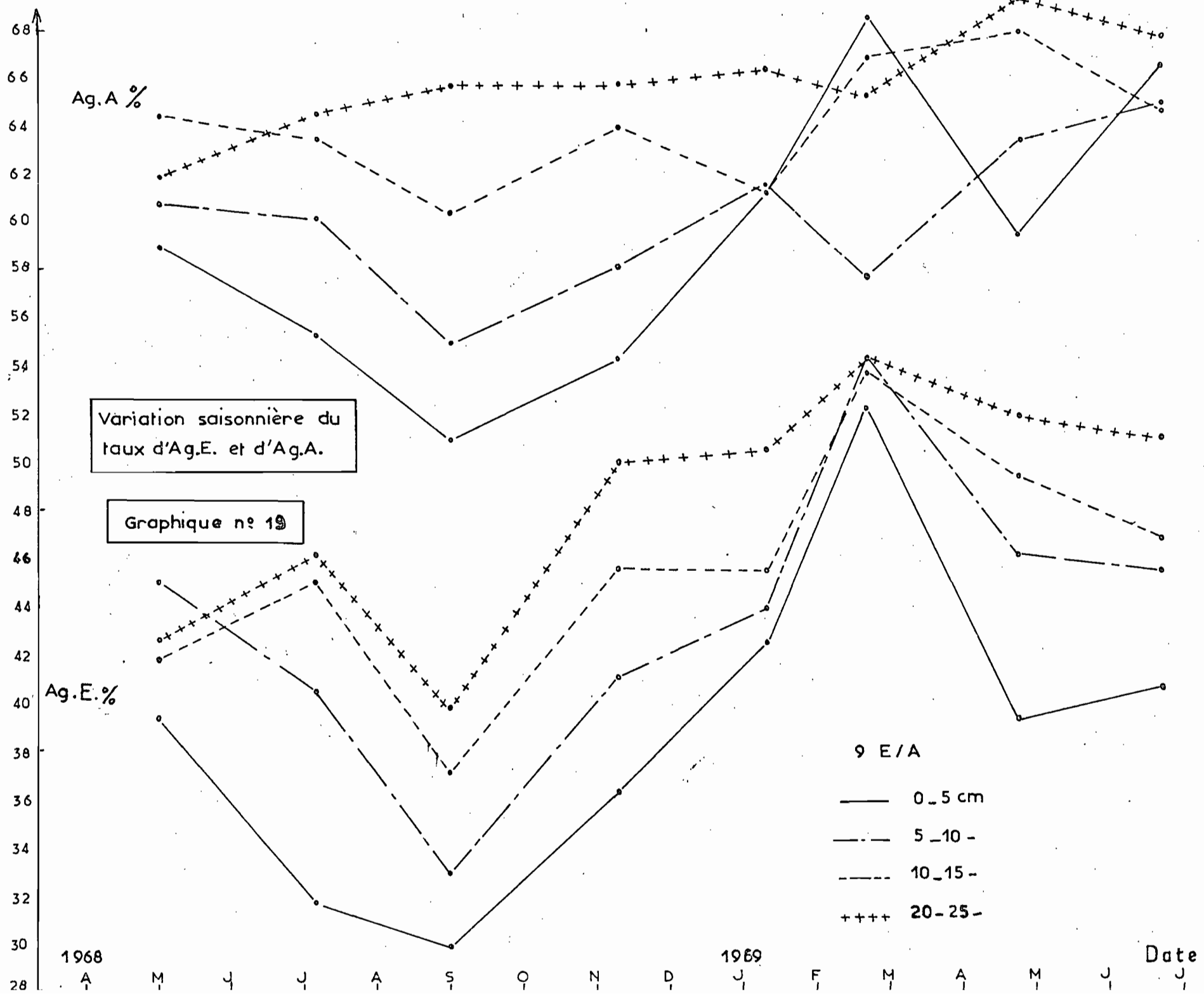
- Dans les emplacements "Entre" et "En dehors" des arbres, le classement des couches s'observe surtout sur le taux d'agrégats stables à l'eau et au prétraitement alcool. Le taux d'agrégats stables au prétraitement benzène est pratiquement le même pour les quatre couches. Cela dénote une certaine homogénéité de la répartition de la matière organique dans les couches de surface et la prédominance du facteur "cohésion" dans la différenciation des couches (graphique n° 19). Ces remarques restent valables à la fois pour la station de Mateur et celle de Bou Salem.

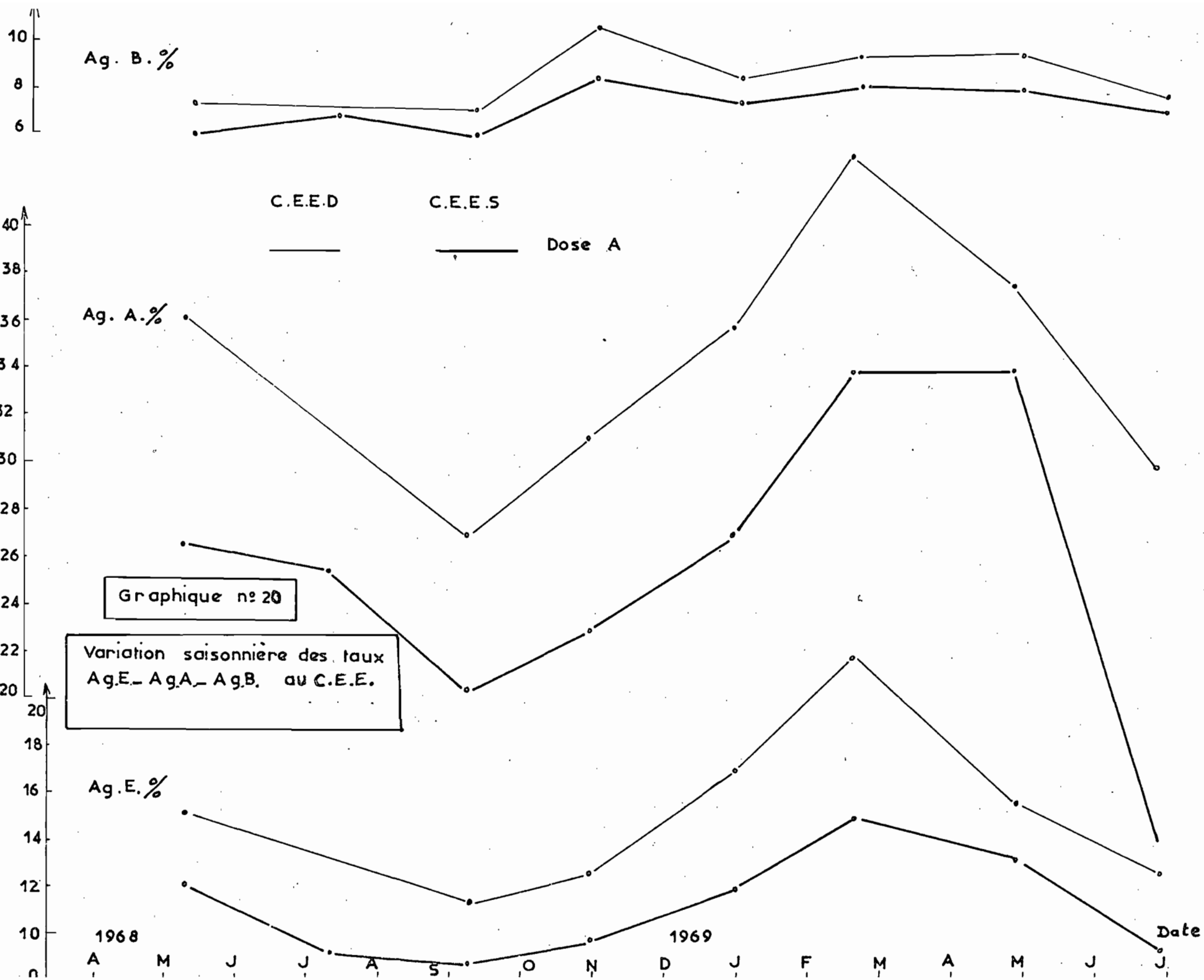
Ainsi, "Sous" les arbres, c'est la répartition de la matière organique dans le profil du sol qui semble jouer le plus grand rôle dans le classement des couches d'après leur stabilité. En effet, la détermination de plusieurs caractéristiques des quatre niveaux dans 9 S/A et dans N le montre bien (tableau n° XIV). Dans ce tableau chaque chiffre représente la moyenne de cinq résultats d'analyse.











T a b l e a u n ° X I V

RESULTATS D'ANALYSE DANS LES PARCELLES 9 S/A ET N
A DIFFERENTES DATES

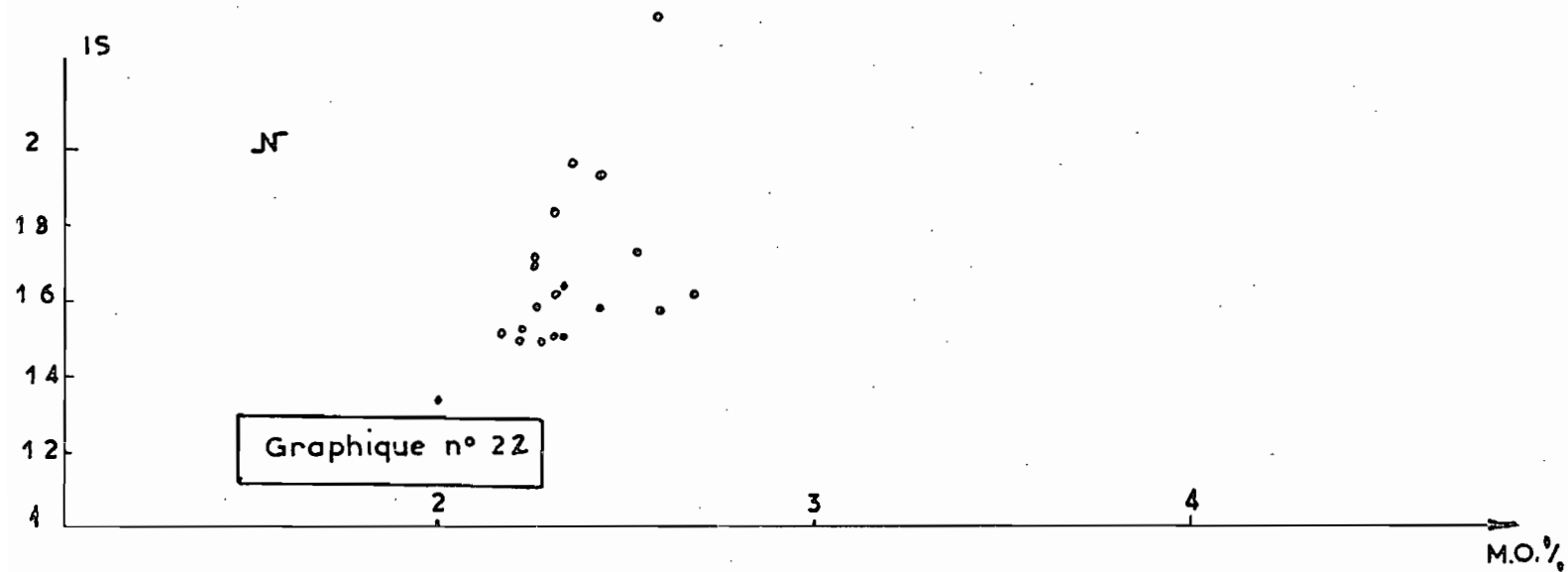
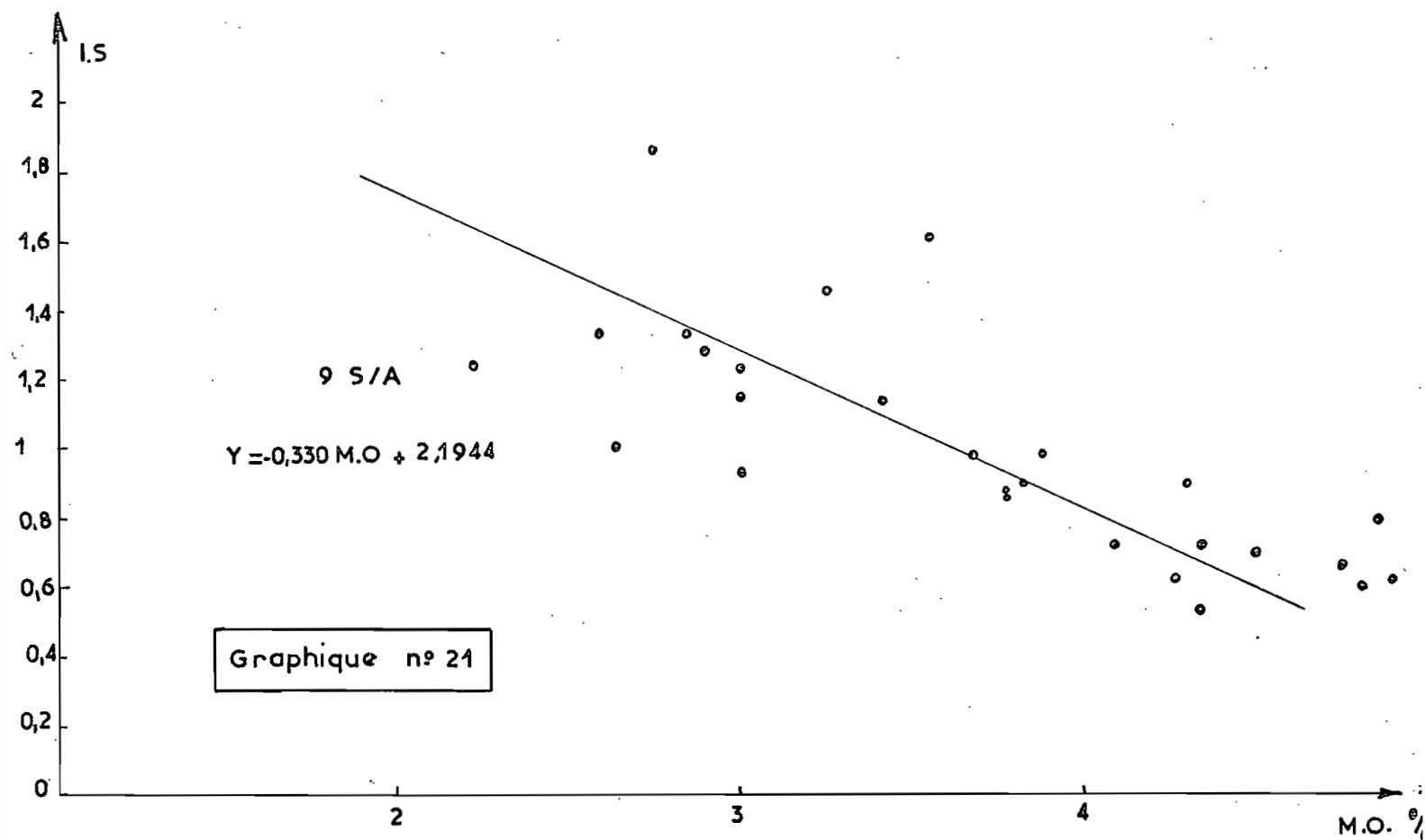
Empl ^t	Prof. cm	Date	pH	M.O. %	H.P.S.	E.C.	Na/T x 100	Ac.H.	Ac.F.
9 S/A	0-5		7.97	4.48	45.38	0.87		0.45	0.14
	5-10	27. 8.68	8.08	3.79	49.16	0.92			
	10-15		8.11	3.11	60.60	0.49			
	20-25		8.22	2.60	60.80	1.08			
	0-5	4. 7.68	7.96	3.82	61.40	2.38	1.50	0.42	0.15
	0-5	7.11.68	8.03	4.69	63.76	1.73		0.49	0.15
	0-5	25 12.68	8.13	4.53	61.0	1.10		0.47	0.14
N	0-5	3. 5.68	8.40	2.38	53	0.75	1.79	0.34	0.12
	5-10		8.26	2.43	60.0	0.55			
	10-15		8.36	2.19	62.0	0.44			
	20-25		8.27	2.22	59	0.47			
	0-5	9.11.68	8.62	2.67	53	0.61	1.3	0.33	0.10
	0-5	6. 1.69	8.20	2.46	54	0.73	1.4	0.33	0.13

Le calcul statistique nous a montré que I.S. est en relation étroite avec la teneur en matière organique dans 9 S/A. En étudiant 25 couples de valeurs (I.S. et M.O. %) correspondant à quatre profondeurs, nous avons trouvé un coefficient de corrélation $r = 0,823$. En outre, le nuage de points obtenu sur le graphique n° 21 peut être assimilé réparti de part et d'autre d'une droite (en première approximation) de régression qui obéit à :

$$I.S. = - 0,33 \text{ M.O. } \% + 2,194.$$

Dans les emplacements "Entre" (9 E/A) et "En dehors" (N), cette relation n'apparaît pas (graphique n° 22).

C'est ce que nous pouvons voir dans le tableau n° XV où la



couche 0-5 cm de l'emplacement "Sous" les arbres est nettement plus riche en agrégats stables au prétraitement benzène que la même couche des autres emplacements. Dans ces derniers, c'est le taux de dispersion qui augmente par voie de conséquence.

Par ailleurs, bien que le taux de matière organique soit pratiquement le même dans les quatre couches étudiées dans 9 E/A, N et BSC, la couche 0-5 cm a toujours le plus grand taux de dispersion de la fraction colloïdale. C'est ce qui expliquerait la distinction particulière de cette couche par rapport aux trois autres. Cette augmentation de la dispersion serait le résultat de plusieurs facteurs dont l'action mécanique des eaux d'irrigation (9 E/A) et des eaux de pluie (N et BSC). D'ailleurs, même l'accroissement brutal de I.S. au mois de janvier dans la parcelle N est particulièrement dû à une forte augmentation du taux de dispersion qui passe de 38,95 % en novembre à 51,04 % en janvier suivant et retombe à 34,72 % en mars de la même année dans la couche 0-5cm.

T a b l e a u n ° X V

Mateur	Ag.E.%			Ag.A.%			Ag.B.%			A + L%		
	9 S/A	9 E/A	N	9 S/A	9 E/A	N	9 S/A	9 E/A	N	9 S/A	9 E/A	N
0-5cm	48.77	38.85	37.05	65.43	58.24	62.82	24.44	7.93	7.53	34.42	49.98	45.10
5-10	48.20	43.08	42.91	64.22	58.89	65.82	14.58	8.30	9.88	42.48	48.66	42.79
10-15	43.54	44.92	45.51	61.33	63.36	66.51	10.28	9.05	8.96	44.88	48.28	44.93
20-25	46.07	47.30	45.59	62.03	64.86	66.45	9.29	10.33	8.93	44.98	44.86	44.96
Bou Salem	BS6		BSC	BS6		BSC	BS6		BSC	BS6		BSC
0-5	45.47		37.29	67.09		61.83	13.04		9.14	37.74		40.16
5-10	44.17		41.64	64.88		63.12	11.09		9.74	41.27		39.39
10-15	42.56		39.68	62.25		62.14	8.68		9.19	44.66		37.48
20-25	44.27		43.06	62.49		62.86	7.54		9.96	45.39		35.68

Dans ce tableau n° XV, nous retrouvons l'identité des couches 20-25 cm des différents emplacements d'un même sol (N-9 S/A) quant à leur richesse en agrégats stables.

Ainsi, dans 9 S/A à Mateur et dans BS6 à Bou Salem, les couches de surface étudiées, susceptibles d'être dégradées par l'irrigation, pré-

sentent, par suite d'un enrichissement en matière organique, une meilleure stabilité structurale moyenne annuelle que celle des couches correspondantes des sols identiques non irrigués. Mais l'enrichissement en matière organique du sol et l'effet qui en résulte sur la structure ne concernent que la couche de 0-10 cm environ. C'est pour cette raison que par exemple le pourcentage d'agrégats stables au prétraitement benzène (Ag.B. %) dans 9 S/A passe de 24,4 % dans la couche 0-5 cm à 9,29 % seulement dans la couche 20-25 cm, et pour les mêmes couches dans BS6, il passe de 13,04 % à 7,54 % (Tableau n° XV).

2°. VARIATION SAISONNIERE DE LA STABILITE STRUCTURALE.

L'analyse globale de la variance nous montre l'existence d'une variation saisonnière de I.S. très hautement significative. Mais il importe de comparer les I.S. des différentes dates deux à deux, pour dresser un cycle de variation de la moyenne des indices de stabilité des quatre profondeurs étudiées. Ces comparaisons ont été faites à l'aide du test de Duncan et les résultats sont représentés dans le graphique n° 22. Les I.S. statistiquement équivalents sont placés sur une même horizontale. L'analyse de ces cycles nous permet de faire les remarques suivantes :

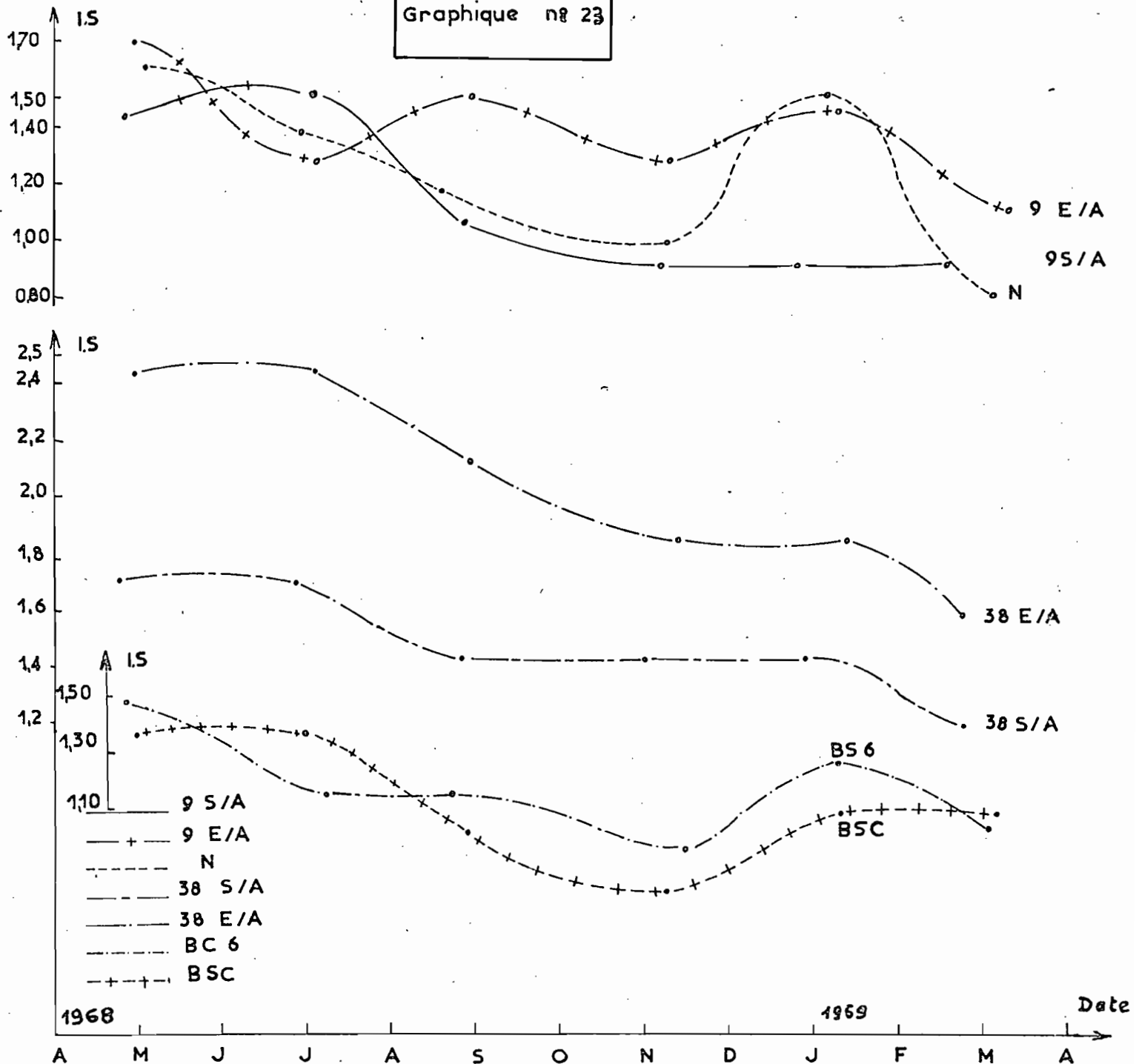
a. A Mateur et Bou Salem, dans tous les cycles enregistrés et quelque soit le traitement subi par le sol, il existe :

- . Une phase de dégradation de la stabilité structurale qui se situe de la fin du printemps (mai) à la mi-été (juillet) donc durant la première moitié de la saison sèche.
- . Une phase de régénération des facteurs stabilisateurs de la structure qui suit la première phase et se continue durant le reste de la saison sèche.

L'effet de l'irrigation sur la stabilité durant cette saison ne semble se manifester que dans l'emplacement 9 E/A et dans une moindre mesure dans BS6, et ceci serait dû à la position topographique de ces emplacements qui favorise un excès d'eau temporaire dans le sol, excès qui ne laisse pas de traces chimiques caractéristiques de l'hydromorphie. Mais l'accroissement de l'instabilité structurale en constitue l'une des conséquences naturelles. Nous avons pu d'ailleurs l'observer en hiver 1967 dans le profil pédologique de la parcelle 9 à Mateur. Cependant, malgré sa topographie identique à celle de 9 E/A, l'emplacement 9 S/A ne paraît pas subir le même effet. L'explication que l'on peut en donner est une protection des agrégats par une plus forte teneur en matière organique, donc une plus grande stabilité de la structure qui favorise la percolation de l'eau. Nous verrons d'ailleurs dans ce qui suit le rôle protecteur de la matière organique réapparaître de nouveau durant la saison pluvieuse.

Variation saisonnière de l.S. moyen des 4 couches étudiées

Graphique n° 23



Aux premières pluies, nous constatons que les différents emplacements réagissent différemment suivant leur richesse en matière organique et leur position topographique.

- Dans 9 S/A (riche en matière organique) la stabilité acquise à la fin de la saison sèche n'est pas altérée jusqu'au mois de mars (fin des pluies) et il s'établit ainsi un palier de I.S. qui va de septembre à mars. Ce n'est qu'au mois de mai suivant que la stabilité se dégrade et le cycle de variation recommence.

- Les emplacements 9 E/A (irrigué) et N (non irrigué) moins riches que 9 S/A en matière organique, et situés dans une mauvaise position topographique, voient leur I.S. croître des premières pluies jusqu'au mois de février. Au mois de mars, le sol se ressuie et améliore sa stabilité structurale.

- 38 S/A et E/A se comportent partiellement comme 9 S/A puisque I.S. ne varie pas d'octobre à février (bonne position topographique) mais le palier de I.S. ainsi établi est au-dessus du minimum absolu qui se situe au mois de mars.

- BS6 et BSC accroissent leur I.S. dès les premières pluies jusqu'à la fin de la saison pluvieuse, et ce n'est qu'au mois de mars qu'ils améliorent de nouveau leur stabilité structurale.

b. Au C.E.E. l'effet de l'irrigation sur la stabilité structurale est le plus apparent.

Les cycles de variation de I.S. dans C.E.E.S. et C.E.E.D. sont identiques. Par conséquent l'irrigation à l'eau salée (du C.E.E.) ne semble pas avoir des effets différents de ceux d'une eau douce sur le cycle de variation de I.S. Mais cette eau salée a dégradé la structure plus que l'eau douce et l'indice I.S. moyen annuel de la parcelle salée, est statistiquement supérieur à celui de la parcelle C.E.E.D. (graphique n° I3). Il est à remarquer également que les différences entre les I.S. des deux parcelles sont beaucoup plus grandes durant la saison d'irrigation que durant la saison pluvieuse.

Le cycle de variation enregistré dans les deux blocs se compose essentiellement de deux phases :

- . Une phase qui va de juin à octobre (période des irrigations au cours de laquelle la stabilité se détériore. Le maximum absolu de I.S. se situe vers août-septembre.
- . Une phase de régénération de la stabilité des agrégats qui s'étend de novembre à mars. Le minimum absolu de I.S. se situe vers février-mars.

La réduction du cycle de variation de I.S. aux deux phases précédentes nous souligne d'une part l'accentuation des effets d'irrigation sur la structure, et d'autre part l'atténuation du rôle stabilisant de la matière organique et de la dessiccation du sol en été.

L'exagération de l'effet de l'irrigation sur la stabilité structurale dans cette station serait imputable à plusieurs facteurs :

- Le sol du C.E.E. a une mauvaise stabilité structurale (I.S. = 2,47) dès l'origine. Il est donc sensible à tous les changements des conditions externes.
- La fréquence des irrigations est plus grande que dans les autres orangeries : au C.E.E., on irrigue tous les 14 jours; à Mateur et à Bou Salem tous les mois (de la saison sèche)
- Pour faciliter la pénétration de l'eau douce dans le sol, les cuvettes d'irrigation sont binées avant chaque irrigation, ce qui augmente la surface du sol attaqué directement par l'eau d'irrigation.
- Le mode d'irrigation adopté dans cette orangerie est la submersion directe de la cuvette.
C'est surtout ce dernier facteur qui semble masquer le plus le rôle de la matière organique dans la stabilisation des couches de surface de ce sol. Rappelons que la couche 0-5 cm étudiée a une teneur en matière organique de 2,4% (Tableau n° II) ce qui constitue un taux relativement élevé. Il est d'ailleurs supérieur à ceux des emplacements "Entre" les arbres de Mateur (1,2 à 1,5 %) et à Bou Salem (1 %). D'ailleurs, contrairement à ces emplacements, le pourcentage d'agrégats stables au prétraitement benzène dans le C.E.E. varie peu dans le temps et reste dans les limites de valeurs faibles (entre 5 et 10 %). Par voie de conséquence, le pourcentage maximum d'A + L dispersés varie peu aussi (entre 47 % et 52 %). C'est ce que nous montre le tableau n° XVI qui représente la variation des facteurs de I.S. en trois dates différentes.
Ainsi, les variations saisonnières de I.S. dans le C.E.E. restent tributaires de celles des pourcentages de Ag.E et Ag.A, ce qui traduit la prépondérance du phénomène de l'éclatement des agrégats sur la dispersion des colloïdes dans la dégradation de la structure.

T a b l e a u n ° X V I

Emplacement	Date	% Ag.E.	% Ag.A.	% Ag.B.	% Max A+L
C.E.E.D.	8.9.68	11,29	26,83	7,03	48,38
	20.2.69	21,78	42,84	9,34	47,80
	27.6.69	12,53	29,59	7,45	52,62
C.E.E.S.	8.9.68	8,71	20,26	5,90	48,39
	20.2.69	14,57	33,76	8,03	45,73
	27.6.69	9,30	13,70	6,84	52,60

En résumé, le cycle de variation saisonnière de la stabilité structurale des sols non irrigués étudiés se compose de quatre phases :

- . Une phase de dégradation de la stabilité au début de la saison sèche.
- . Une phase d'amélioration de cette stabilité à la fin de la même saison.
- . Une dégradation de la structure durant les mois les plus pluvieux.
- . Une régénération de la stabilité au début du printemps.

En comparant ce cycle à celui enregistré par d'autres auteurs, nous verrons qu'il existe une seule différence entre les deux. Cette différence réside dans la dégradation de la stabilité structurale au début de la saison sèche, sous notre climat, juste après la phase de régénération du début du printemps (mars). En effet, dans le climat tempéré, par exemple, la régénération de la stabilité au printemps est suivie durant toute la saison sèche par une consolidation de cette stabilité par l'augmentation de la cohésion des agrégats à la suite de la dessiccation du sol, et il semble que l'effet de la cohésion s'ajoute à celui de la matière organique stabilisatrice de la structure et de l'activité biologique, particulièrement intenses au printemps. Mais sous notre climat, la cohésion intervient certainement dans la stabilisation de la structure du sol mais après une phase de dégradation de la structure (mai-juin).

En outre, l'irrigation peut perturber le cycle enregistré par une augmentation de I.S. à la suite des irrigations si le sol draine mal

et est pauvre en matière organique. Mais dans le cas où il est suffisamment riche en cette matière (9 S/A), l'hydromorphie temporaire ne semble pas influencer la stabilité structurale.

Dans le cas où la stabilité du sol est mauvaise toute l'année, l'irrigation a un effet très net sur la dégradation de la structure. Le tableau n° XVII résume toutes ces observations : le signe (+) indique un accroissement de I.S. (baisse de la stabilité); le signe (-) représente une phase de baisse de I.S. (amélioration de la stabilité).

T a b l e a u n ° X V I I

Sols	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
9 S/A		+	+			-	-	-	-	-	-	-	
9 E/A		+	+			+		-		+		-	
N		+	+				-	-		+		-	
38 S/A		+	+			-	-	-				-	
38 E/A		+	+			-	-	-				-	
BS6		+	+					-		+		-	
BSC		+	+					-		+			
CEED				+	+	+					-	-	
CEES				+	+	+					-	-	

Mais si nous suivons les variations saisonnières des composantes de I.S., nous pourrions mieux nous rendre compte des causes de ces variations (graphiques 16 à 18).

Ainsi à Mateur et dans 9 S/A (Graphique 18) l'action de la matière organique sur la stabilité des agrégats paraît instable et croît nettement de septembre à avril (AgB), c'est-à-dire durant la période humide, puis disparaît en partie. Au cours de cette période, nous avons enregistré une augmentation de la stabilité à l'eau des agrégats de septembre à mars. Il y a donc une coïncidence entre la stabilité au benzène et l'augmentation de la stabilité à l'eau. Cette constatation nous conduit à penser que la saison humide est favorable à une certaine activité biologique qui agirait sur la matière organique pour stabiliser les agrégats au benzène et l'augmentation de la stabilité à l'eau serait due

à une diminution de la mouillabilité des agrégats par suite d'une production probable par les microorganismes de substances organiques peu mouillables. A partir de mai à juillet, début de la période sèche, Ag.B et Ag.E décroissent. Là, il existe une véritable cassure. Par contre Ag.A (cohésion) augmente comme sous l'effet de la dessiccation.

La compensation de ces trois facteurs dans I.S. fait qu'il ne paraît pas y avoir à Mateur de variations simples. Entre la fin de la période humide (avril) et le début de la saison sèche (mai) la diminution de Ag.E et Ag.B, et l'augmentation de Ag.A, il existe une diminution du dénominateur et une augmentation du numérateur, qui font apparaître un maximum de I.S. relativement peu accusé.

Dans 38 S/A (graphiques 16 et 17) la diminution progressive de I.S. de 1968 à 1969 proviendrait de l'augmentation de Ag.A et Ag.E en raison de la sécheresse relative de 1969.

Quant au C.E.E., nous avons déjà mentionné que ce sont les Ag.E et Ag.A qui conditionnent les valeurs de I.S. aux différentes dates. Les cycles de variation de ces deux paramètres sont exactement l'inverse de celui de I.S. (graphique n° 20).

c. Amplitudes des variations saisonnières de la stabilité structurale des sols étudiés.

Le tableau n° XVIII donne, à titre d'exemple, les différences observées entre les extrêmes de I.S. et de ses composantes, ainsi que les amplitudes de leurs variations dans quelques emplacements. L'amplitude étant définie par le rapport :

$$\frac{\text{Maximum} - \text{Minimum}}{\text{Moyenne annuelle}} \times 100$$

A l'observation de ces résultats, nous nous apercevons que I.S. varie de 45 % à 85 % de la moyenne annuelle, alors que ses composantes varient dans une plus large mesure. En effet, nous pouvons noter que c'est Ag.A qui varie le moins et que c'est Ag.B qui varie le plus quelque soit la richesse du sol en matière organique.

Ag.E. oscille entre 30 et 50 % de la moyenne annuelle.

Ag.A. varie entre 15 et 40 %.

Ag.B. varie entre 40 et 160 % du taux moyen annuel. Il est à remarquer que les plus grandes différences s'observent dans le sol le plus riche en matière organique, alors que les plus grandes amplitudes reviennent au sol qui en est le moins pourvu. Ceci provient du fait que dans ce dernier, la moyenne annuelle est souvent inférieure à la différence observée entre les extrêmes de Ag.B.

T a b l e a u n ° X V I I I

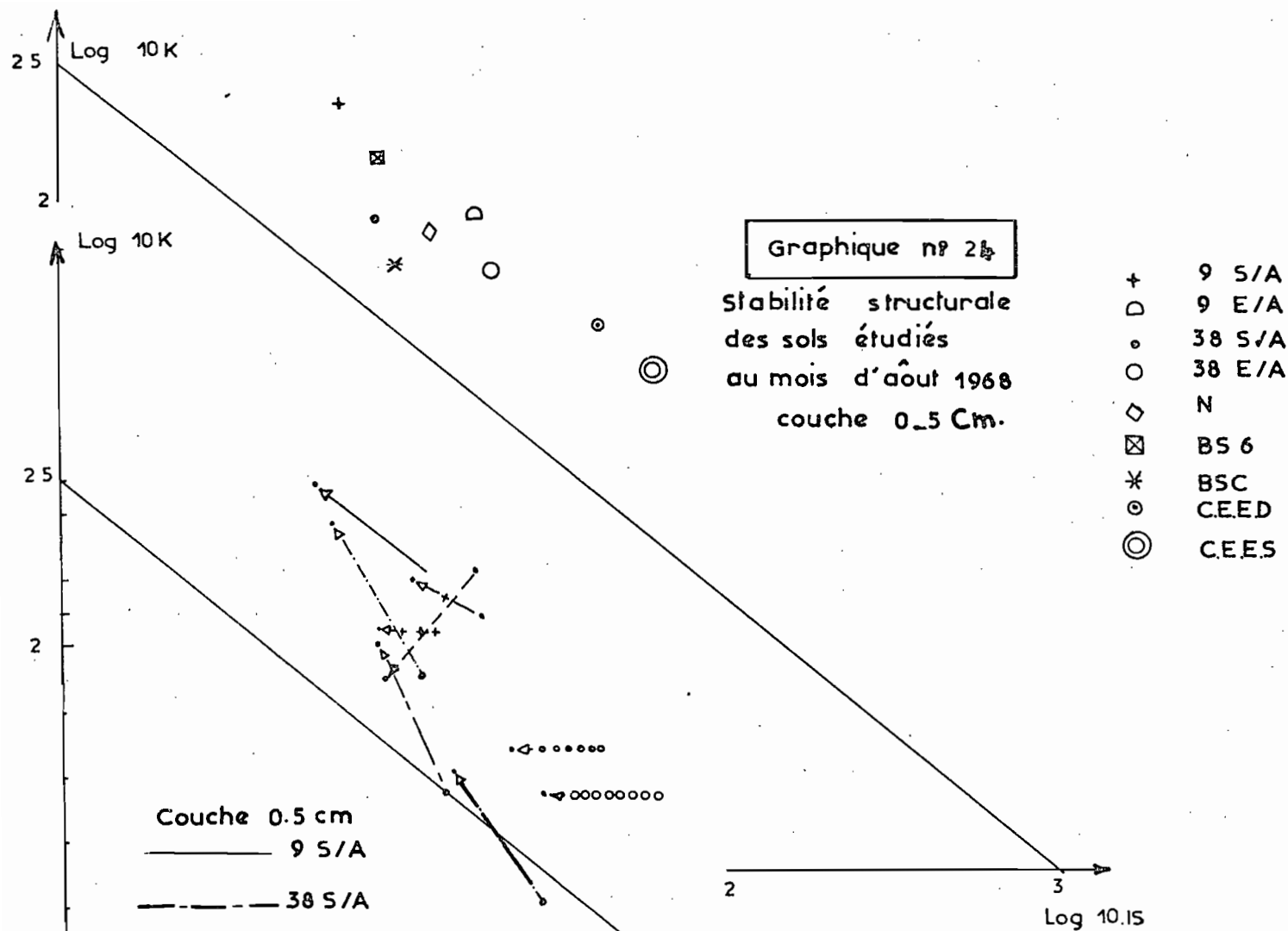
D = Différence entre Maximum et Minimum de l'année

		Prof. cm.	I.S.	Ag.E %	Ag.A %	Ag.B %	A + L %	k cm/h.
9 S/A	D	0- 5	0,77	17,64	10,17	17,7	19	15
		20-25	0,64	15,68	8,71	6,3	17,2	6,48
	Ampli- tude %	0- 5	94	36	15,5	72	55,3	62,7
		20-25	50	34	14,2	67	38	56,8
N	D	0- 5	0,87	11	5,73	10,6	26,8	8,8
		20-25	0,74	18,73	4,3	14	20,4	16,7
	Ampli- tude %	0- 5	64,4	30,1	9,5	140	59	77,8
		20-25	62,1	41	6,5	158	45	128,8
CEE	D	CEED 0- 5	1,9	10	15	3	8,5	
		CEES 0- 5	3,2	6,5	14	2	8	
	Ampli- tude %	CEED	46	48,1	37,3	41,3	17,2	
		CEES 0- 5	53,1	40,2	39,9	35,6	16,7	

3°. VARIATION SAISONNIERE DE L'INDICE DE PERMEABILITE K (mesuré à l'eau domestique de Tunis).

Le classement des sols étudiés d'après leurs indices I.S. et K est représenté dans le graphique n° 25. Si nous comparons les positions des différents emplacements d'un même type de sol, nous trouverons encore une fois que c'est "Sous" les arbres qui présente le meilleur indice de perméabilité.

Les variations de K aux différentes stations en fonction de



Couche 0.5 cm

— 9 S/A

--- 38 S/A

- + - + - 9 E/A

— 38 E/A

..... M Nord

— BS 6

+++++ BSC

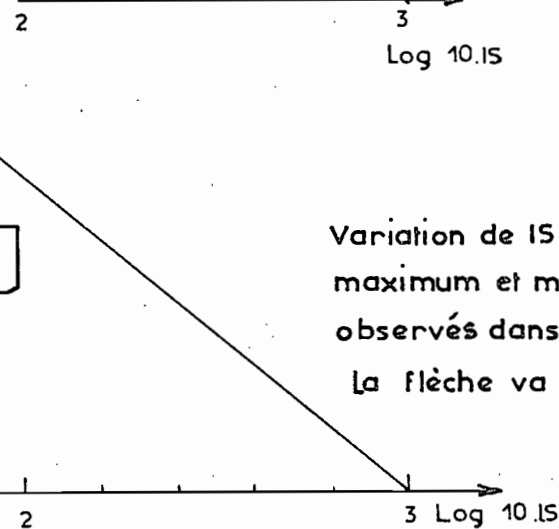
..... C.E.E.D. { (Dose A)

ooooo C.E.E.S. {

Graphique n° 25

Variation de IS et K correspondant aux
maximum et minimum absolus de stabilité
observés dans le cycle de variation (1968-69)

La flèche va du minimum au maximum
de stabilité.



T a b l e a u n ° X I X

VARIATION DE K EN FONCTION DE LA PROFONDEUR ET DE LA DATE

9 S/A.							Chaque valeur de K est la moyenne des résultats de 10 mesures						
Prof. cm	27.4.68	4.7.68	27.8.68	7.11.	25.12	20.2.69							
0-5	27.69	15.72	23.09	16.34	29.85	30.72							
5-10	22.12	16.45	15.55	15.25	16.55	17.35							
10-15	9.53	15.56	17.37	12.13	14.62	14.58							
20-25	11.47	11.35	15.68	9.42	14.17	16.90							
9 E/A.							38 E/A.						
Prof. cm	30.4.68	5.7.68	30.8.68	9.11.	10.1.69	21.2.69	29.4	3.7	29.8	28.11	12.1.69	23.2	
0-5	11.77	9.59	10.15	10.83	7.53	15.78	1.63	4.58	7.02	4.47	2.42	4.81	
5-10	14.82	9.19	10.25	7.04	7.07	16.64	2.09	4.44	5.60	4.81	2.12	3.77	
10-15	9.02	9.86	13.35	7.18	7.22	11.48	2.11	3.44	5.52	3.75	2.11	5.13	
20-25	10.90	9.27	12.33	8.08	6.44	13.27	2.09	3.43	4.43	2.91	1.73	4.47	
N							38 S/A						
Prof. cm	3.5.68	29.6	19.8	9.11	6.1.69	4.3.69	24.4	27.6	26.8	1.11	27.12	22.2	
0-5	16.72	13.44	9.24	11.88	9.04	7.88	3.54	10.52	10.00	4.96	9.74	10.59	
5-10	21.35	11.12	9.54	12.61	8.44	9.80	4.26	6.96	7.55	4.55	8.06	11.87	
10-15	14.97	10.50	8.99	12.14	7.34	17.15	2.37	6.78	7.62	4.02	8.00	11.98	
20-25	23.79	10.13	8.38	7.33	7.14	20.73	1.94	7.34	6.85	2.23	6.76	10.07	

Tableau n° XX

VARIATION DE K (HENIN) EN FONCTION DE LA DATE DES PRELEVEMENTS
D'ECHANTILLONS ET DE LA PROFONDEUR (BS6 et BSC) ET EN FONCTION
DE LA QUALITE ET DE LA QUANTITE D'EAU D'IRRIGATION AU C.E.E.

B.S.6.								B.S.C.							
Prof.	26.4.	8.7	22.8	16.11	9.1	3.3		Prof.	1.5	28.6	28.8	28.11	11.1.69	5.3	
0-5cm	8.12	15.51	15.55	23.52	9.23	16.64		0-5cm	9.20	10.87	7.40	11.15	9.95	5.91	
5-10	8.88	10.97	11.49	14.18	9.30	15.42		5-10	7.73	10.51	7.90	10.47	9.02	8.20	
10-15	7.35	8.16	10.87	13.76	6.25	11.45		10-15	6.03	7.96	6.12	7.18	7.68	11.32	
20-25	5.35	8.06	7.44	9.17	6.29	8.67		20-25	7.71	8.87	6.91	6.61	6.86	9.18	
C.E.E. .D.								C.E.E. .S.							
Dose	9.5	10.7	8.9	29.10	31.12	20.2.69	28.4	9.5	10.7	8.9	29.10	31.12	20.2.69	28.4	
A	6.36		4.78	4.02	3.69	4.77	5.39	4.67	5.73	3.43	4.66	3.15	3.54	4.37	
B				3.57	4.02	4.27	2.78				3.79	3.36	3.32	4.44	
C				3.65	3.09	4.10	3.32				3.01	2.14	2.95	3.71	

la profondeur sont indiquées dans les tableaux XIX et XX.

A l'étude de ces résultats, nous pouvons conclure que K varie peu avec la profondeur, sauf sous les arbres, et particulièrement dans 9 S/A et 38 S/A. Dans ces emplacements, c'est la couche 0-5 cm la plus riche en matière organique et la plus stable qui est la plus perméable. Par ailleurs, si nous représentons sur un graphique (n° 25) la position de chaque emplacement par deux points définis chacun par les extrêmes annuelles de I.S. et K correspondant, nous verrons que les sols étudiés se classent en deux catégories :

- . Une catégorie de sols qui accroissent leur perméabilité avec leur stabilité structurale. C'est le cas de 9 S/A; 9 E/A; 38 S/A; 38 E/A; BS6.
- . Une autre catégorie de sols qui ne montrent pas une amélioration de leur perméabilité avec celle de la stabilité structurale (I.S.). C'est le cas de N, BSC, C.E.E.D. et C.E.E.S.

Il reste cependant à vérifier ces derniers résultats et à en trouver l'explication.

Par ailleurs, si au lieu de considérer K correspondant à la première heure de percolation, nous suivons l'évolution de K durant les cinq premières heures de mesure, nous pourrions constater que cet indice varie différemment en fonction des dates.

Le graphique n° 26 nous montre cette évolution (chaque point représente la moyenne de 10 mesures).

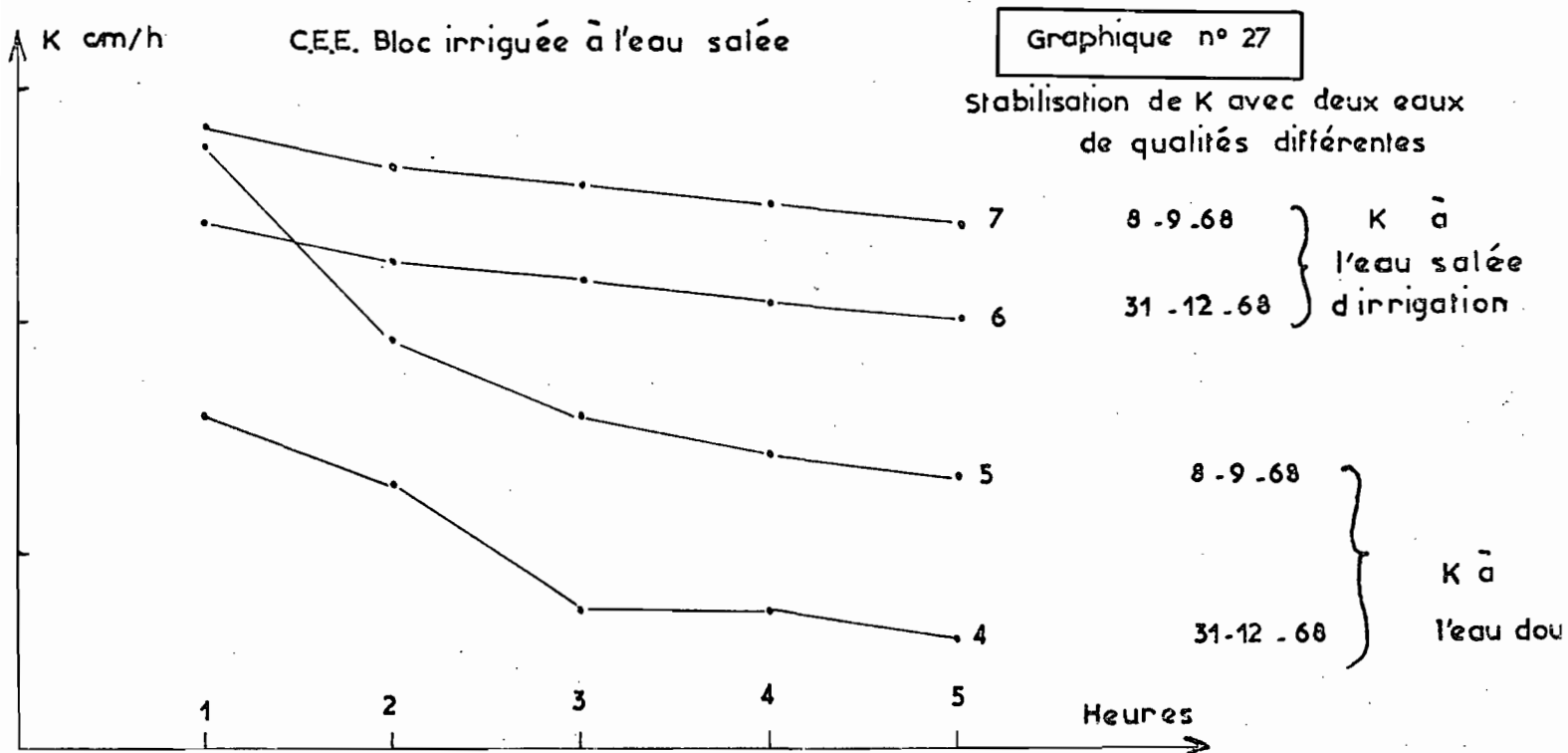
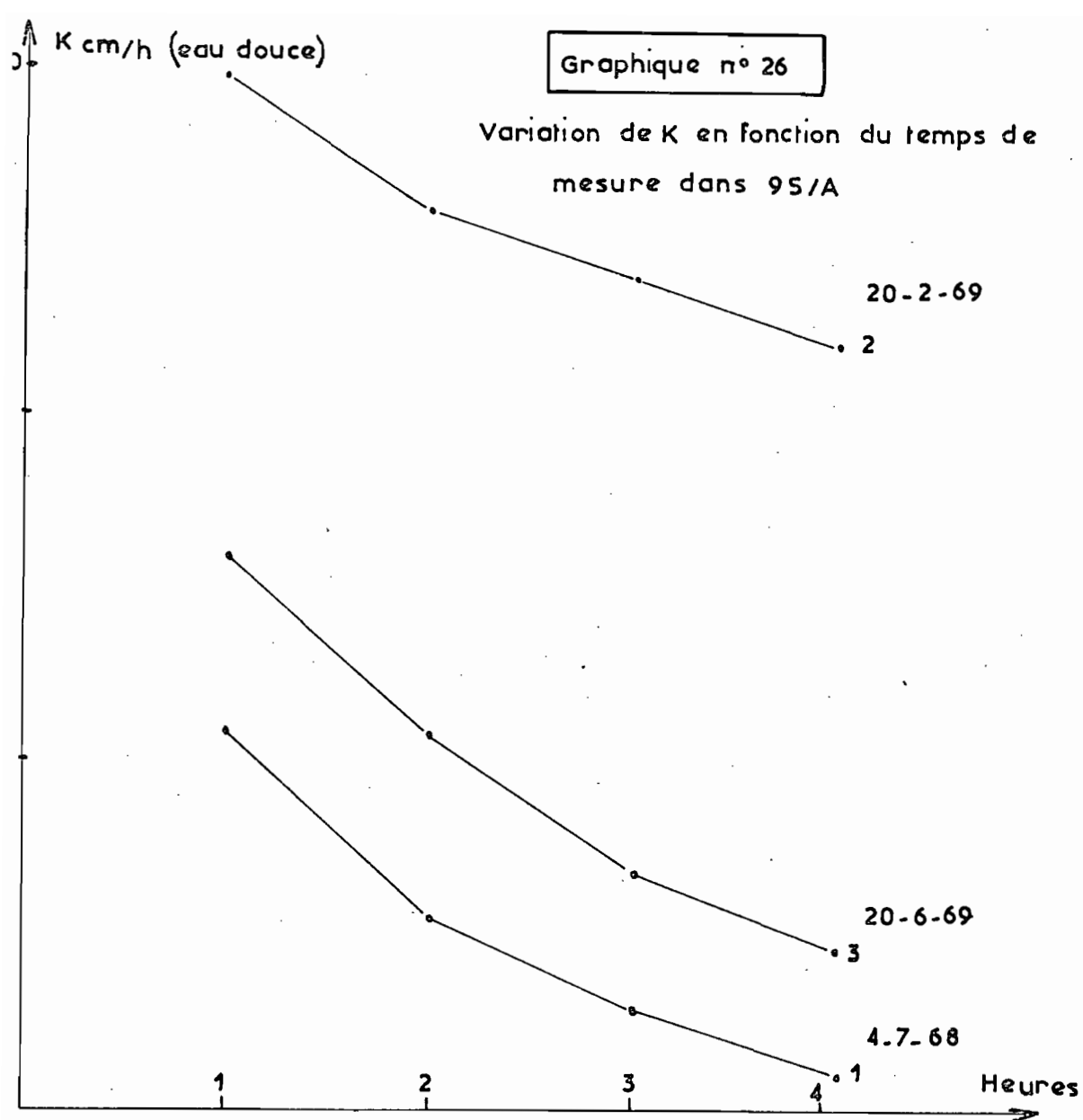
Pour 9 S/A, nous constatons que K varie avec la date dans le même sens que la stabilité structurale (K croît, I.S. décroît).

Les courbes 1 et 3 correspondent à la même phase de dégradation de la structure de deux années consécutives (4/7/68 et 20/6/69).

La courbe 2 correspond au niveau de I.S. de l'année 68 (20.2. 68). Nous pouvons constater en plus une légère augmentation de la pente des courbes 1 et 3 par rapport à celle de la courbe 2, ce qui traduirait l'instabilité structurale relative à ces dates.

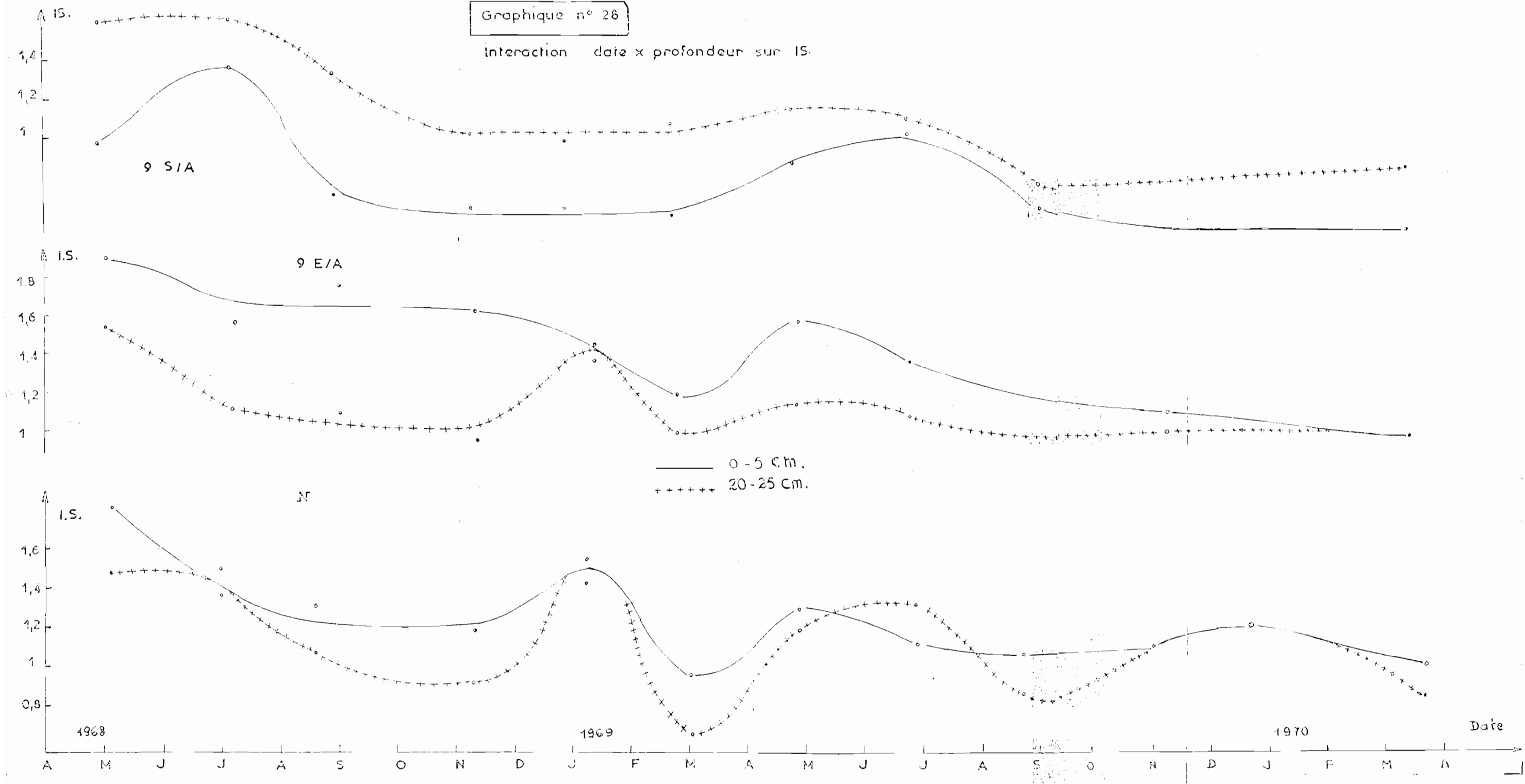
Au Centre d'Etude de l'Eau, les variations de K en fonction du temps de mesure dans la parcelle irriguée à l'eau salée dépendent de la qualité d'eau utilisée dans la mesure (graphique n° 27).

La pente de variation de K mesuré à l'eau douce (Graphique 27 courbes 4 et 5 correspondants aux dates 8-9-68 et 31-12-68) est nettement supérieure à celle de la variation de K mesuré à l'eau salée (courbes 6 et 7 correspondant aux mêmes dates). Cela traduit l'instabilité



Graphique n° 28

Interaction date x profondeur sur IS.



bilité relative du sol salé vis-à-vis de l'eau douce.

En outre, l'indice de perméabilité stabilisée du sol salé est nettement plus grand avec l'eau salée qu'avec l'eau douce.

En ce qui concerne les différences observées entre les indices K relatifs aux sols irrigués avec les trois différentes doses d'une même eau, elles n'ont pas été significatives. Mais nous pouvons remarquer que, comme dans le cas de I.S., il existe une tendance à ce que la perméabilité du sol irrigué à la dose C (la plus faible) soit légèrement inférieure à celle des sols irrigués aux doses A et B.

4°. INTERACTION DES EFFETS "DATE X PROFONDEUR" SUR LA STABILITE STRUCTURALE.

Nous prenons comme exemple les 3 emplacements 9 S/A, 9 E/A et N appartenant au même type de sol et traités différemment. Nous comparerons seulement les couches 0-5 et 20-25 cm entre elles. Les deux autres étant des intermédiaires (graphique n° 28).

Dans le tableau n° XII, nous avons vu qu'il n'existe d'interaction très significative entre les effets de la date et de la profondeur sur I.S. que dans 9 S/A. En effet à cet emplacement, l'analyse statistique a montré que I.S. de la couche 0-5 cm diffère significativement de I.S. de 20-25 cm durant toute l'année, mais les variations de ces indices vont dans le même sens.

Entre les arbres (9 E/A), les stabilités des couches 0-5 cm et 20-25 cm se distinguent l'une de l'autre durant une grande partie de l'année, et c'est durant la saison la plus humide que les deux couches acquièrent la même stabilité.

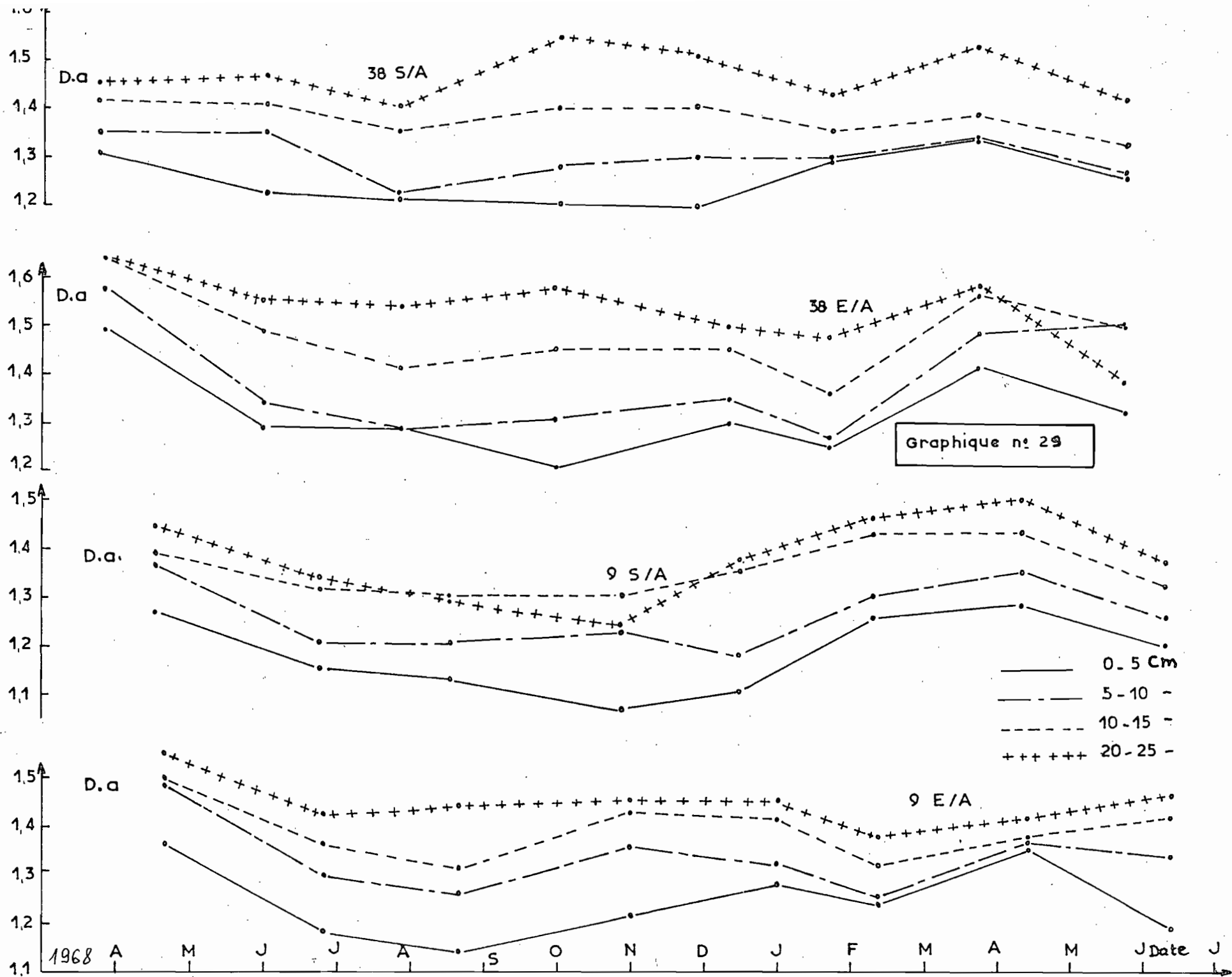
En dehors des arbres (N non irrigué), les deux couches ont des I.S. équivalents à deux époques :

- Durant la saison sèche (juin-juillet),
- Durant la saison humide (janvier-février).

En dehors de ces deux époques extrêmes, les deux couches semblent se distinguer par des stabilités structurales différentes.

5°. VARIATION SAISONNIERE DE LA DENSITE APPARENTE.

Cette variation a été suivie dans la station de Mateur dans les emplacements irrigués "Sous" et "Entre" les arbres,



Le classement des couches étudiées d'après leur densité apparente est logiquement conservé dans les 2 types d'emplacement ; la densité apparente augmente avec la profondeur.

Si nous considérons la couche 0-5 cm, nous trouverons que le maximum de densité apparaît vers le mois d'avril, période à laquelle le sol retrouve le plus bas taux d'humidité de l'année puisqu'au mois de mai commencent les premières irrigations. Quant au minimum de la densité apparente, il se situe entre septembre et octobre.

6°. CAUSES DE L'EVOLUTION SAISONNIERE DE LA STABILITE STRUCTURALE DES SOLS ETUDIES.

a. L'humidité du sol.

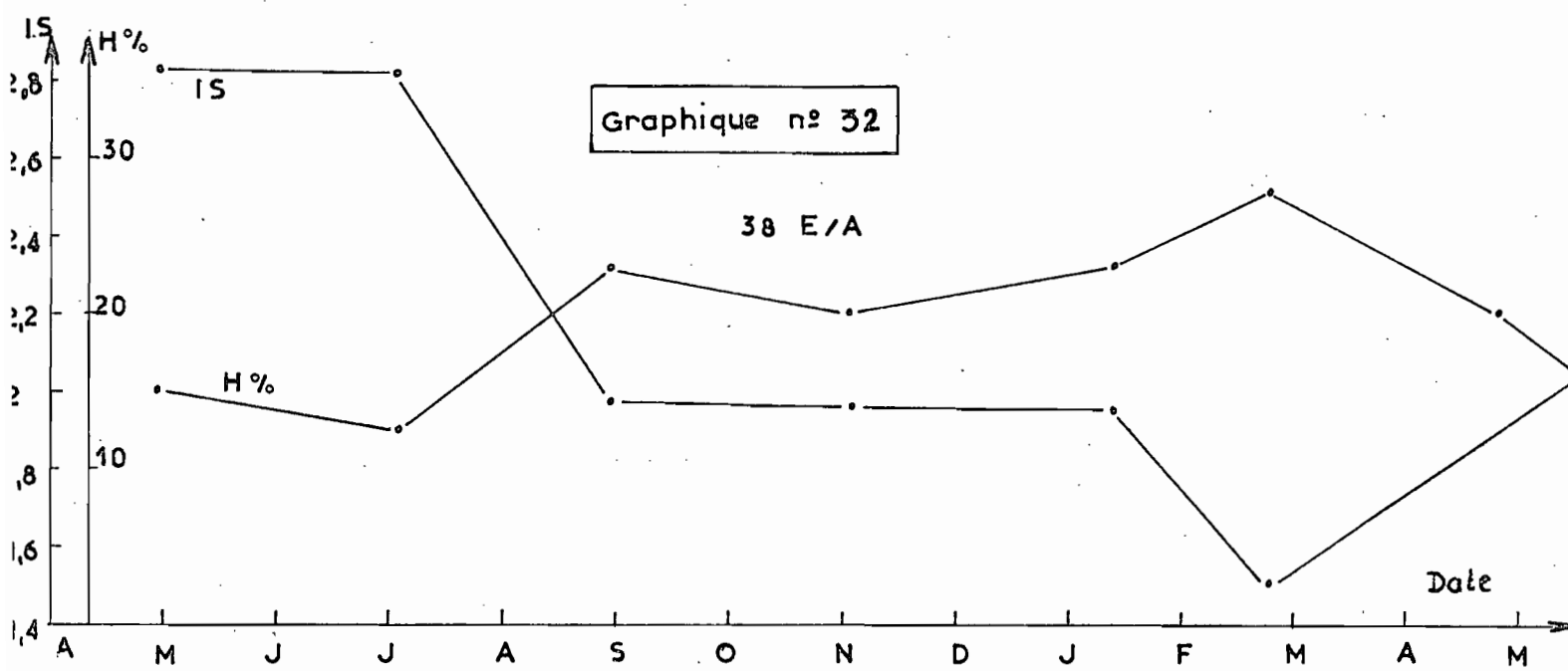
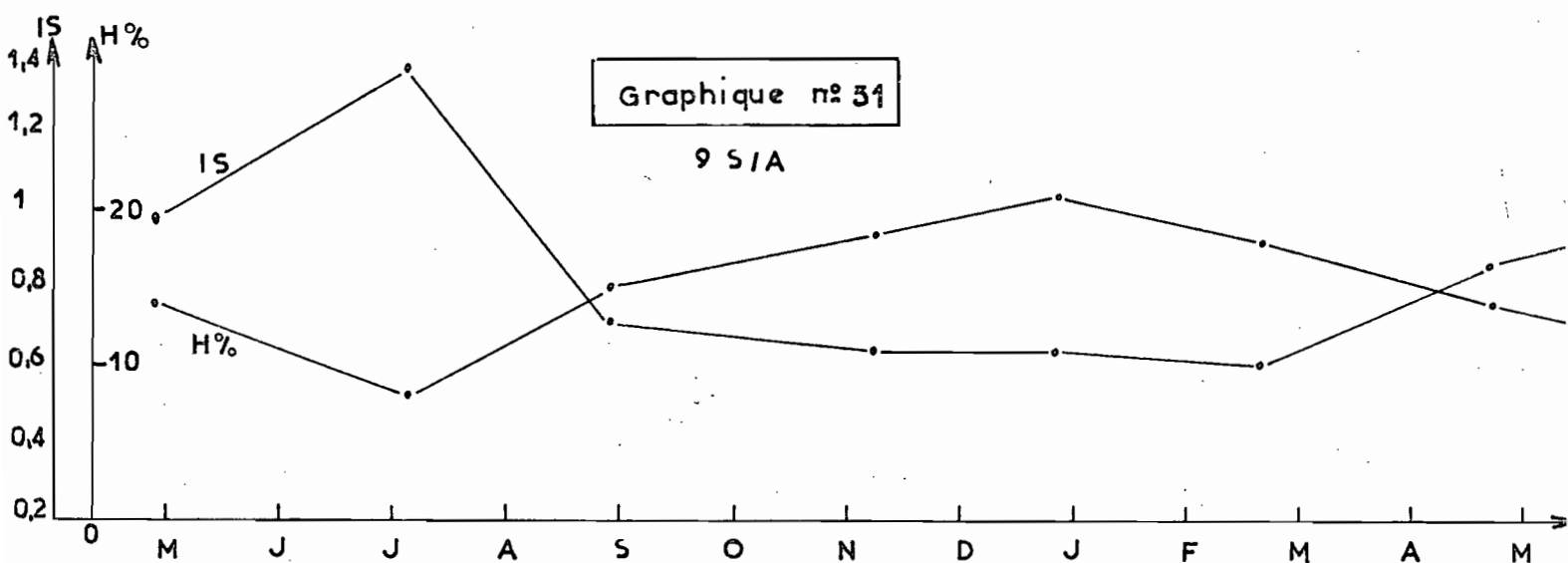
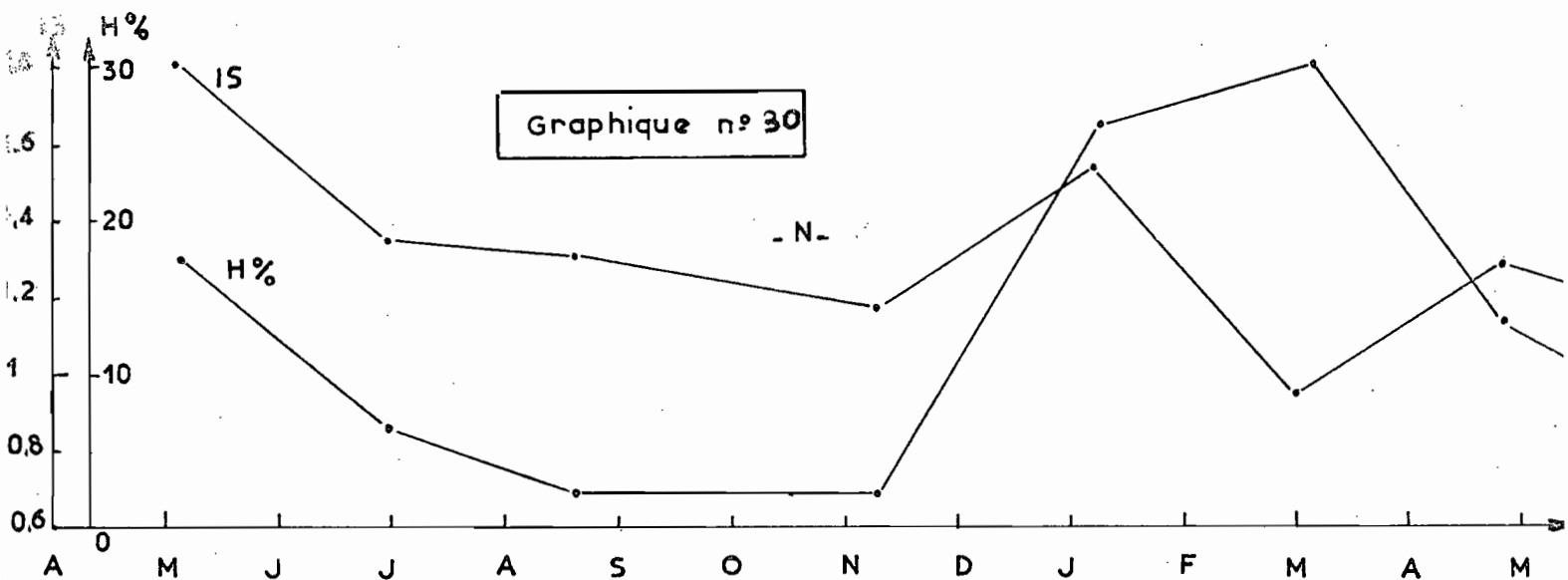
D'après les auteurs cités précédemment, le taux de l'humidité du sol joue directement ou indirectement un rôle primordial sur la stabilité structurale.

- Rôle direct : la dessiccation augmente la cohésion des agrégats, et l'excès d'humidité favorise leur éclatement et la dispersion des colloïdes.
- Rôle indirect : l'humidité favorise l'activité biologique qui a un effet certain sur la stabilisation de la structure.

Dans nos sols, la relation entre I.S. et l'humidité du sol ne semble pas être la même pour les différents emplacements.

Dans la parcelle N (non irriguée) I.S. varie dans le même sens que l'humidité du sol (graphique n° 30) durant une grande partie de l'année : de mai à décembre. Mais de janvier à avril, I.S. ne semble plus suivre l'humidité du sol. Ce résultat confirme celui de COMBEAU en climat tempéré.

Dans les emplacements irrigués comme 9 S/A et 38 E/A, l'humidité ne semble plus avoir le même effet sur I.S. (graphiques n° 31 et 32). Le calcul d'un coefficient de corrélation entre ces deux variables aléatoires dans 9 S/A (8 dates x 4 profondeurs) nous donne $r = -0,648$, alors que r théorique est égal à 0,448. La relation est donc significative et elle peut être représentée en première approximation par une droite de régression qui obéit à $I.S. = 6,27 H \% + 2,54$ (graphique n° 33). Mais nous pouvons remarquer que dans ce cas, l'humidité du sol n'est pas descendue en dessous de 10 %; alors que dans la parcelle N, elle descend à 4 %. COMBEAU (1965) a déjà remarqué qu'en région tempérée, I.S. est en relation avec l'humidité du sol quand celle-ci se trouve au-dessous de la capacité au champ, mais à partir de ce seuil d'hu-



midité, I.S. varie dans une large mesure indépendamment de l'humidité du sol.

b. La température.

L'évaporation de l'eau du sol varie parallèlement à la température de l'air et du sol. Le graphique n° 5a le montre bien. En l'absence d'irrigation, au maximum de température correspond le maximum de dessiccation du sol, donc une très grande cohésion des agrégats. La symétrie observée par COMBEAU (1965) entre les cycles de variation de I.S. et de la température moyenne mensuelle ne paraît se vérifier, dans notre cas, que dans les emplacements non irrigués de Mateur (N) et de Bou Salem (B.S.C.) où :

- Le minimum de I.S. s'observe en novembre, deux mois après le maximum de température moyenne mensuelle.
- Le maximum de I.S. du mois de janvier coïncide avec le minimum de température. Mais dans ce cas, il ne s'agirait que d'une coïncidence, et c'est l'excès d'eau dans le sol qui serait la cause essentielle de la dégradation de la structure à cette période.

Dans les emplacements irrigués, il ne semble pas y avoir de relation entre I.S. et la température. Même dans le cas du C.E.F. où aux extrêmes de températures correspondent des extrêmes de I.S., nous pouvons affirmer qu'il s'agit, encore une fois, d'une coïncidence, et la dégradation de la structure durant les mois chauds est particulièrement due aux effets mécaniques de la submersion.

c. L'activité biologique.

Nous avons mis en évidence le rôle joué par la matière organique dans la différenciation des couches de surface par leur stabilité structurale sous les arbres. L'activité biologique et particulièrement l'activité microbienne est directement liée à la richesse du sol en matière organique. Aussi, la matière organique évoluée est fonction de l'activité biologique du sol. Les variations saisonnières du taux de matière organique totale ne semblent pas avoir un rôle apparent dans les variations saisonnières de I.S. dans ce cas précis. Mais nous avons constaté que l'intensité de l'activité microbienne du sol peut être mise en relation avec la variation saisonnière de I.S.

En mesurant l'intensité de cette activité par la mesure du CO_2 (BACHELIER, 1966) dégagé par des échantillons de sol prélevés à différentes dates, nous observons pour l'emplacement BSC (non irrigué 0-5 cm) et pour C.E.F. (irrigué à l'eau douce et à l'eau salée) les variations représentées dans le graphique n° 36. L'étude de ces résultats nous permet de conclure que les variations de l'intensité de l'activité

biologique du C.E.E. sont faibles, et que l'activité du sol irrigué à l'eau douce est toujours supérieure à celle du sol irrigué à l'eau salée.

En outre, l'amplitude de variation de la quantité de CO_2 dégagé par le sol salé est supérieure à celle enregistrée dans le sol irrigué à l'eau douce.

Dans les deux cas, l'activité microbienne ne semble pas influencer directement la stabilité structurale de ces sols.

Cependant, les variations de l'activité microbienne enregistrées dans BSC sont importantes et se présentent sous forme d'un cycle annuel avec un maximum en janvier-février et un minimum en mai-juin-juillet. Ces deux périodes correspondent respectivement à la saison humide et à la saison sèche. Il est logique que l'activité biologique soit ralentie lorsque l'humidité du sol est inférieure au point de flétrissement, et qu'elle soit favorisée lorsque le sol est très humide, bien qu'il fasse froid (minimum = 6 à 8°).

Cela nous a amené à rechercher des relations entre cette activité microbienne et I.S. d'une part, et le pourcentage d'Ag.B. d'autre part.

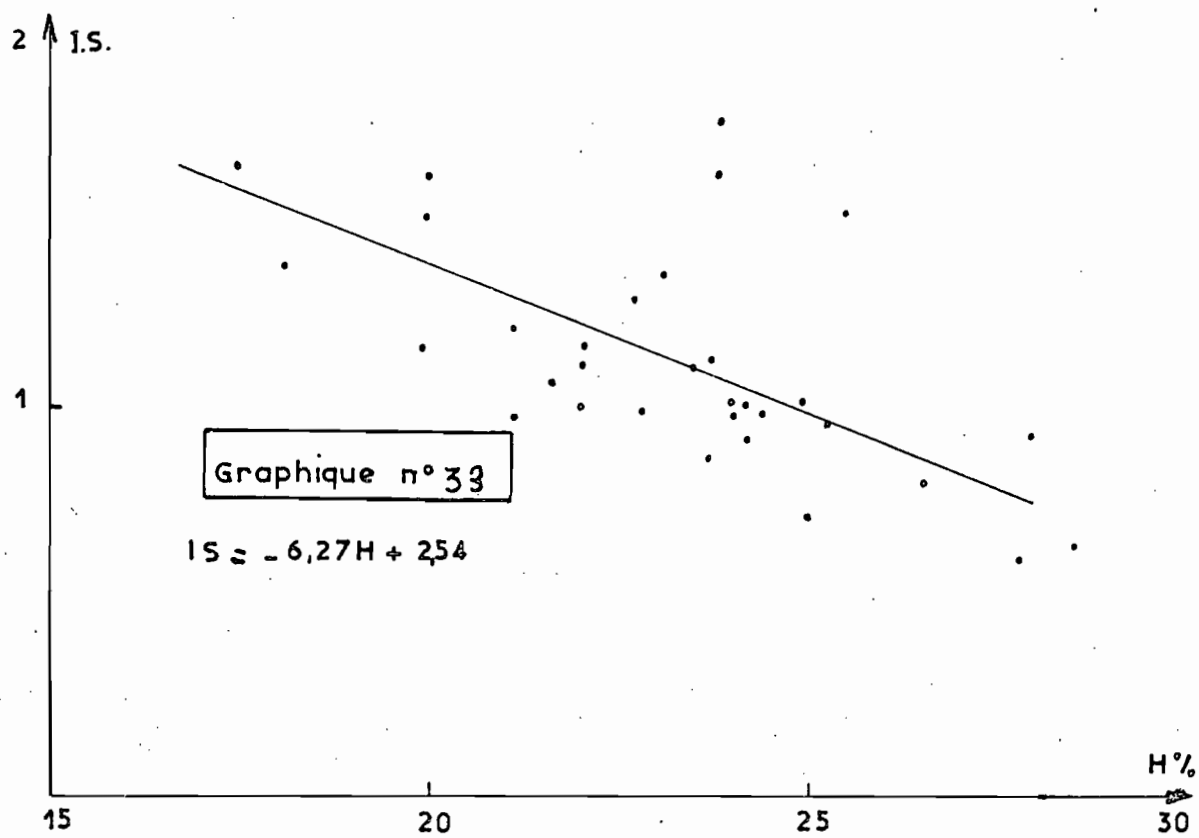
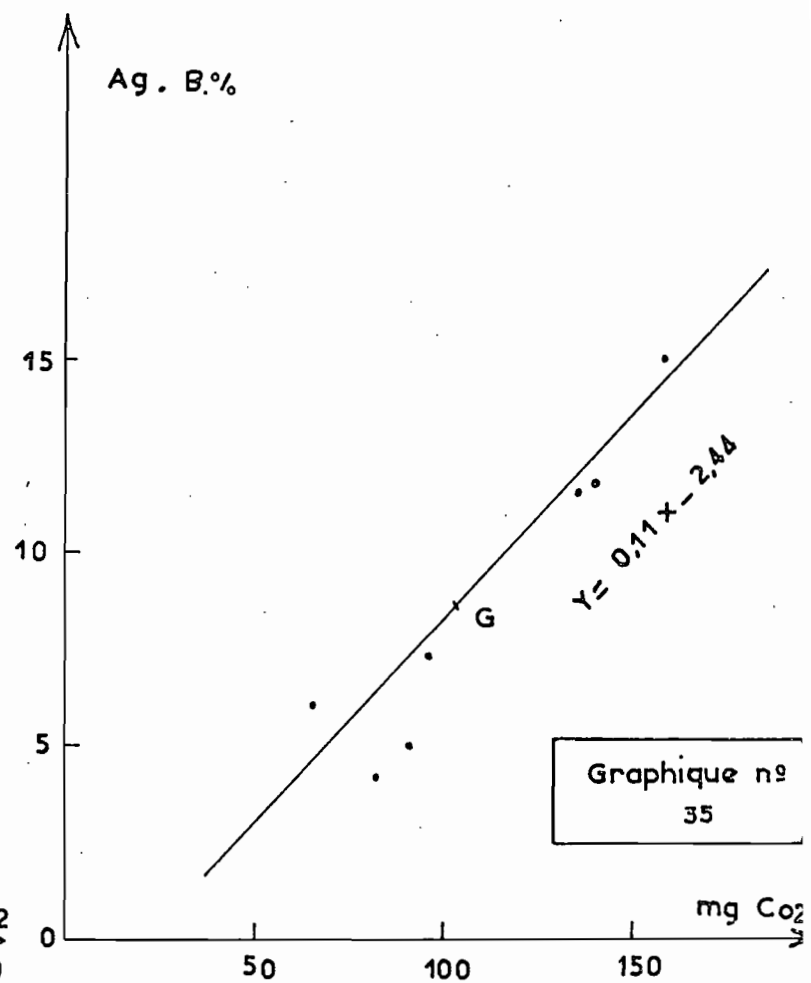
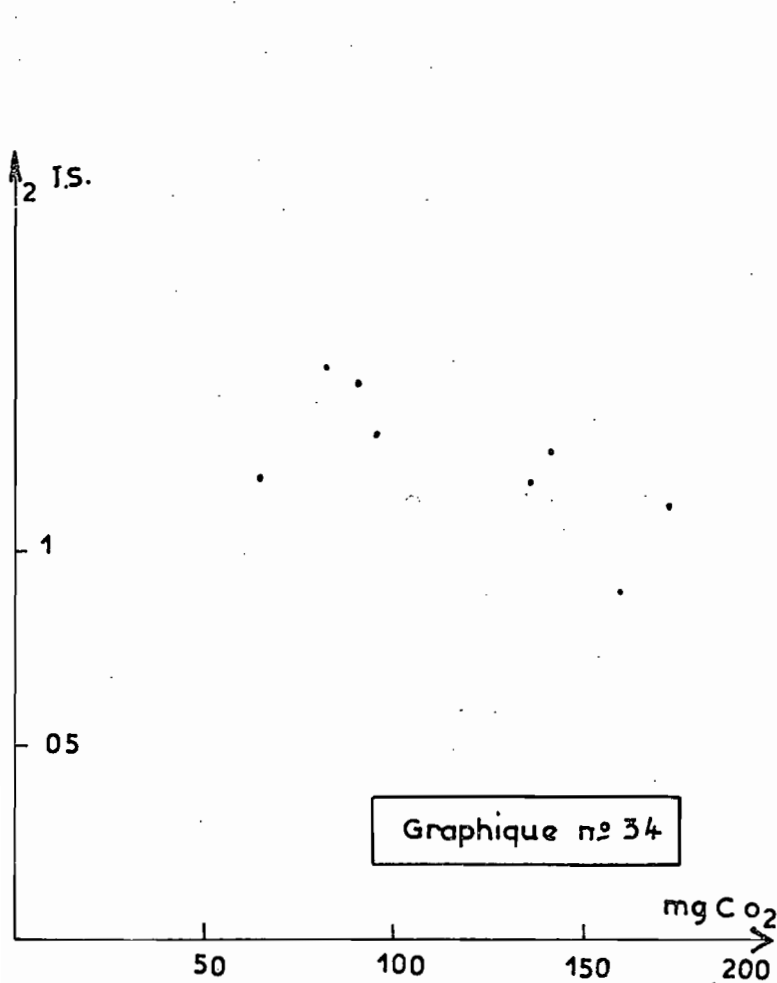
Le coefficient de corrélation entre I.S. et CO_2 , calculé pour 8 couples de valeurs (chacune étant la moyenne de 10 mesures) a été $r = -0,660$ alors que r théorique au seuil de probabilité 5 % est égal à 0,632. La relation est donc significative mais faible. Cependant, si nous calculons ce coefficient pour Ag.B. en fonction de la quantité de CO_2 dégagé (sans tenir compte du couple des valeurs de I.S. et CO_2 au mois de janvier), nous trouverons $r = 0,943$ alors qu'au seuil de probabilité 5 % r théorique est égal à 0,63. Ce résultat nous permet de conclure que le taux d'Ag.B. dépend, dans une large mesure, de l'activité microbienne du sol.

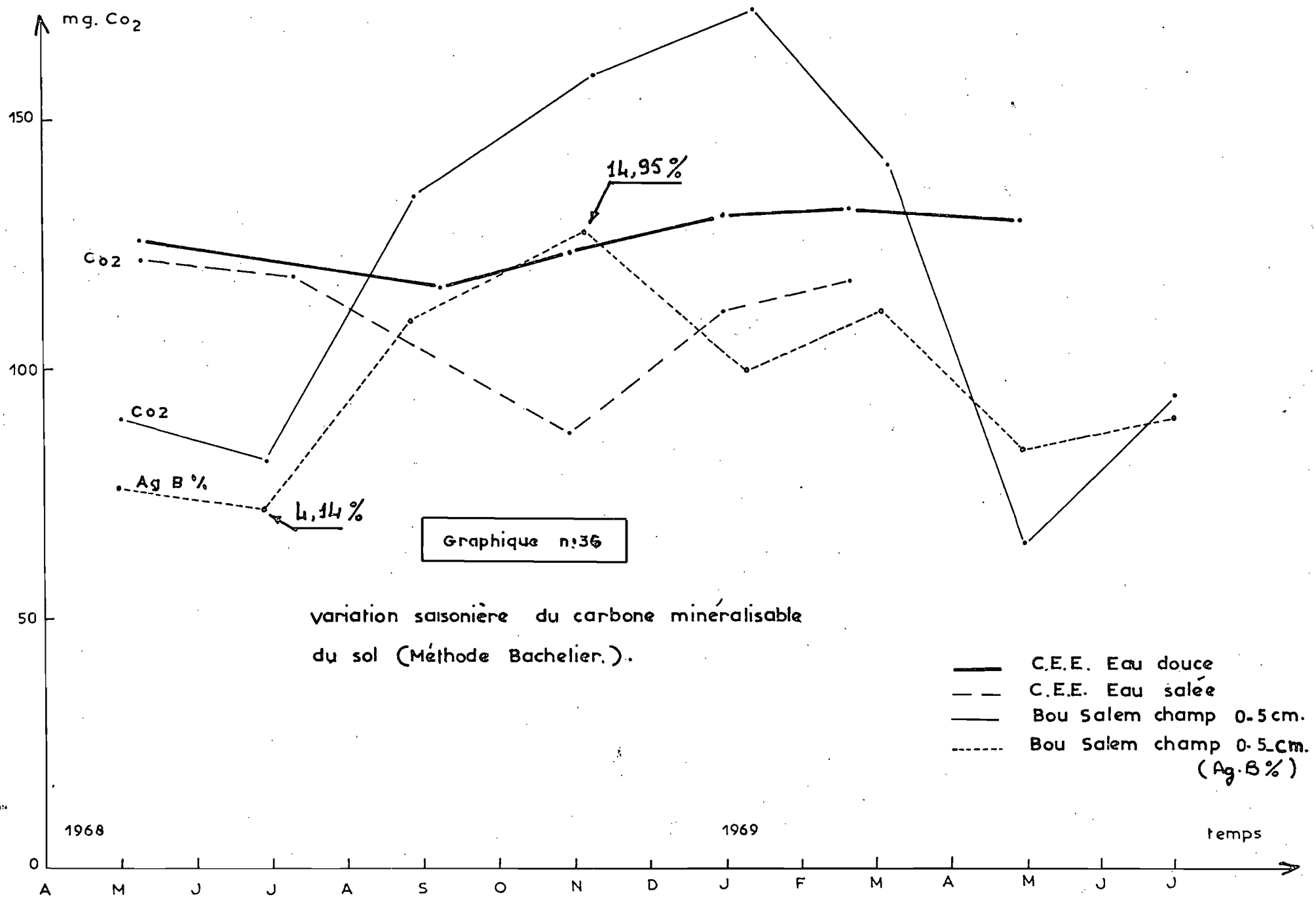
Par ailleurs, il est utile de noter que la chute de l'activité microbienne du sol en mai-juin correspond à la phase de dégradation de la stabilité observée à cette période.

d. Autres facteurs.

Au C.E.E., nous avons cherché à rattacher l'évolution saisonnière de la stabilité structurale à des caractéristiques physiques et chimiques des échantillons de sol prélevés à différentes dates. Le tableau n° XI représente les résultats des analyses faites pour les parcelles CEED et CEES en tenant compte des doses d'irrigation A et C.

L'analyse statistique ne nous a pas permis de trouver des relations significatives entre I.S. et d'autres facteurs variables.





En outre, l'observation des variations de la conductivité électrique de la solution de la pâte saturée nous a amené à étudier la variation saisonnière de cette conductivité mais sur une solution provenant d'un mélange $\frac{\text{sol}}{\text{eau}} = \frac{1}{5}$ agité pendant 15 minutes et décanté pendant 30 minutes. Le résultat de mesures est représenté dans le graphique n° 34. L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas une relation directe entre I.S. et C.E.

7°. REMARQUES CONCERNANT LES RESULTATS DE LA DEUXIEME ANNEE DE MESURE DE I.S.

Au cours de l'année 1969-70, nous avons procédé, à titre de vérification des résultats obtenus au cours de la première année (1968-69), à l'étude de l'évolution saisonnière de I.S. dans les stations de Mateur et au C.E.E.

A Mateur, seules les couches 0-5 cm et 20-25 cm des emplacements 9 S/A, 9 E/A et N ont été suivies.

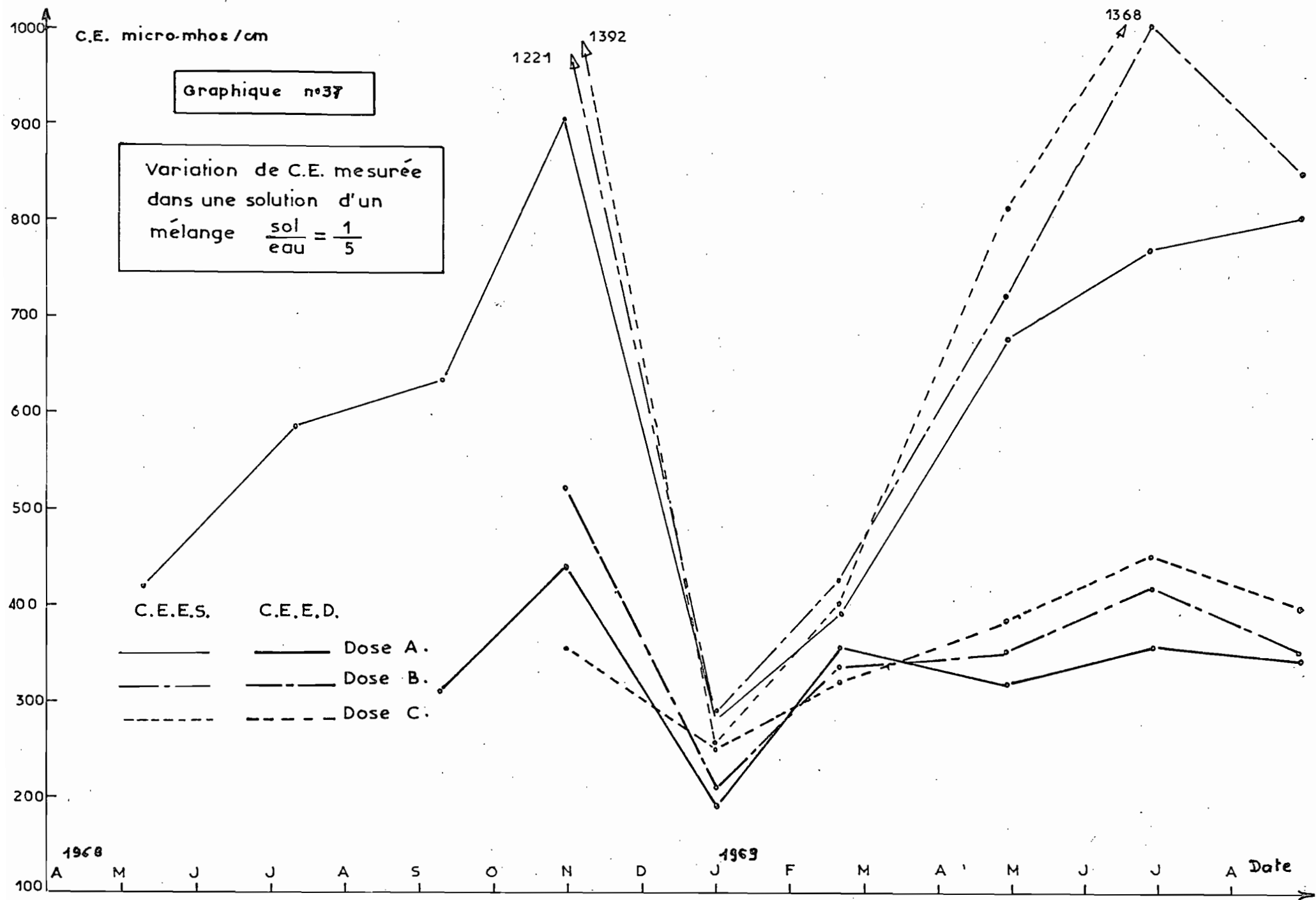
Au C.E.E., les mesures ont intéressé seulement les carrés irrigués à la dose A, aussi bien de l'eau douce que de l'eau salée.

Les résultats obtenus sont portés sur les graphiques n° 13 (pour C.E.E.) et 28 (pour Mateur).

En ce qui concerne la station de Mateur, le type de variation de I.S. des trois emplacements considérés a été identique à celui observé durant la première année de mesure. C'est ainsi que dans 9 S/A, nous avons enregistré de nouveau la phase de dégradation de la stabilité structurale au début de la saison sèche (mai à juillet) et un palier de I.S. qui va d'août à mars.

Dans 9 E/A, nous avons enregistré également une courte période d'accroissement de I.S. (avril-mai) après laquelle la stabilité s'améliore progressivement pour atteindre un minimum au début de mars. Mais les différences observées entre les I.S. des deux couches 0-5 cm et 20-25 cm durant toute l'année sont moins élevées que dans la première année. D'ailleurs, les deux couches acquièrent, durant la deuxième, pratiquement la même stabilité à partir du mois de décembre et la conservent jusqu'en mars; contrairement à la première année où à ce mois-là, la couche 0-5 cm se trouve moins stable que la couche 20-25 cm. Ce résultat serait expliqué par la forte teneur en eau des deux couches étudiées durant l'hiver 1970 qui a été plus pluvieux que l'hiver 1969.

Dans l'emplacement N, le cycle enregistré la deuxième année est très comparable à celui de l'année précédente, à la seule différence



que les deux couches 0-5 et 20-25 cm acquièrent la même stabilité beaucoup plus tôt que la première année. En effet, I.S. de la couche 20-25 cm rejoint celui de la couche 0-5 cm à partir de fin octobre pour ne s'en différencier qu'à la mi-février. La cause en serait la même que dans l'emplacement 9 E/A, c'est-à-dire l'identité et la forte humidité des deux couches de sol en question.

Mais il est à souligner que dans ces trois emplacements, le niveau moyen de I.S. de la deuxième année de mesure a été nettement inférieur à celui de la première année.

Il est tôt et difficile d'admettre que cette diminution de I.S. de la deuxième année par rapport à celui de la première, soit le fait d'une amélioration progressive de la stabilité structurale du sol au fil des années à ce rythme.

Mais il est possible de penser, après avoir vérifié que nous avons déterminé I.S. toujours de la même façon au cours des deux années, que cette amélioration de la stabilité serait plutôt en relation avec les différences entre les conditions climatiques des deux années 1968-69 et 1969-70.

Dans le C.E.E., les résultats de I.S. obtenus en deuxième année ont confirmé ceux de la première, avec toutefois de légères différences très compréhensibles.

La première différence réside dans le fait que le maximum de I.S. atteint la deuxième année avec les deux eaux d'irrigation, a été nettement plus élevé qu'en première année. Cela trouverait son explication dans le fait que l'année 1968-69 a été relativement sèche et on a été amené à donner la première irrigation dès le début de mai 1969, ce qui a contribué à augmenter la dégradation de la structure. Cela se traduit d'une part par l'augmentation du niveau de I.S. (surtout dans le C.E.E.S.) et d'autre part par l'apparition précoce du maximum de I.S. (en juin 1969 au lieu d'août-septembre 1968).

Quant à la chute brusque de I.S. au début de septembre 1969, elle est directement liée à la grande pluie tombée au début de ce mois-là, pluie qui aurait lessivé les sels d'eau d'irrigation (voir la chute de conductivité électrique à la première pluie tombée fin novembre 1968, graphique n° 37). Le lessivage du sol aurait permis à son tour, la reprise de l'activité biologique qui est responsable en grande partie de la régénération de la structure (voir graphique n° 36, courbe de C.E.E.S.).

* Effectivement, dans la technique de détermination de I.S., il existe des manipulations (agitation, tamisage) difficilement reproductibles lorsqu'elles sont faites manuellement, comme nous avons été obligé de le faire, faute de machines nécessaires.

B . Relation entre l'état structural des sols étudiés et l'état des arbres

Rappelons que les orangers malades ont été observés surtout dans la station de Mateur sur la zone du vertisol (parcelle 9) et dans le Centre d'Etude de l'Eau de Tunis (bloc irrigué à l'eau salée).

1°. Quant à la parcelle 9 de Mateur, l'étude de la variation de la stabilité structurale du sol en fonction de la profondeur et de la saison nous montre que les couches superficielles du sol se caractérisent par une stabilité structurale et une perméabilité (moyennes annuelles) meilleures que celles de la parcelle 38 où les orangers (même espèce, même porte-greffe) sont sains.

Aussi la valeur maximale de I.S. enregistrée au cours de deux années consécutives reste également inférieure à celle trouvée dans la parcelle 38 à Mateur, à la parcelle BS6 à Bou Salem, et au bloc irrigué à l'eau douce dans le C.E.E. (arbres sains).

Nous avons montré que l'amélioration de la stabilité structurale du sol de la parcelle 9 (particulièrement 9 S/A) est due à un enrichissement en matière organique. Mais nous avons montré aussi (graphique n° 15) que l'effet bénéfique de cette matière organique ne se fait sentir que jusqu'à une profondeur qui ne dépasse pas 10 à 15 cm, et qu'à partir de cette profondeur, le sol garde son état structural initial (vertisol) observé sur le témoin (Emplacement N) qui ne porte pas d'arbres et qui n'est pas irrigué.

Cela nous conduit donc à rechercher la cause de la dégénérescence des arbres dans les horizons profonds (25-80 cm) du vertisol, horizons qui intéressent la plus grande partie des racines. D'ailleurs, nous avons déjà signalé que ce vertisol, grâce à sa topographie, est susceptible aux excès d'eau de pluie ou d'irrigation. Nous avons pu observer en hiver 67 qu'une nappe d'eau libre se trouvait à 50-60 cm de la surface. Or, une des caractéristiques essentielles des vertisols est le gonflement des éléments structuraux des horizons profonds durant la saison humide, ce qui entraîne une augmentation de la compression autour des racines (racines tordues, coupées, comprimées entre les prismes des horizons profonds). Ce sont ces processus physiques, ajoutés à une hydromorphie temporaire, qui seraient directement ou indirectement à l'origine des accidents observés sur les arbres de la parcelle 9.

2°. Quant au C.E.E., les accidents apparus sur les orangers du bloc irrigué à l'eau salée, ont été étudiés par SAGLIO P. (1968) qui conclut :

"Il apparaît que l'eau saumâtre agit indirectement créant un milieu susceptible d'induire une très forte chlorose ferrique présentant toutes les caractéristiques d'une chlorose du typ calcaire.

...Aussi, lors des premières pluies, il y a dispersion des argiles par l'effet conjugué de l'eau douce et du choc des gouttes, provoquant un colmatage en surface susceptible d'entraîner une asphyxie des racines".

Dans cette étude, nous avons montré l'existence, estimé et situé cette dégradation passagère de la structure de l'horizon de surface, supposée par SAGLIO. Cependant, nous avons démontré qu'elle a lieu non aux premières pluies d'automne, mais en pleine période des irrigations. D'ailleurs, le tableau n° XVI, nous montre que l'augmentation de I.S. en été est due non à une augmentation de la dispersion des colloïdes (le taux de cette dispersion est le même dans les deux blocs et ne varie que très peu dans le temps) mais à un accroissement du phénomène de l'éclatement des agrégats.

Aussi, la chute des premières pluies d'automne ne semble pas avoir un effet destructeur de la structure. Bien au contraire, nous pouvons voir sur le graphique n° 13 une régénération rapide de la structure à l'arrivée des pluies d'automne de deux années consécutives. Notons, cependant, que la perméabilité du sol du bloc salé, mesurée au laboratoire à l'eau douce pendant plusieurs heures, montre une décroissance sensible par rapport à la perméabilité du même sol, mesurée à l'eau salée (graphique n° 27).

L'absence de dispersion des colloïdes en présence de l'eau de pluie serait expliquée par le faible taux d'alcalisation de la couche de surface. Le plus fort pourcentage de sodium échangeable que nous avons trouvé a été de l'ordre de 6 pour la dose C.

Il est utile de rappeler aussi que la phase de dégradation structurale a été observée aussi bien sur le bloc irrigué à l'eau douce que sur celui irrigué à l'eau salée, avec toutefois une dégradation de la structure plus poussée dans le deuxième bloc. Aussi, les carrés irrigués à l'eau salée à des doses différentes semblent avoir le même indice de stabilité structurale. Or, les symptômes de cette chlorose ferrique sont nettement plus accusés sur les arbres irrigués à la plus forte dose (A) donc qui reçoivent le plus de sel, alors que les phénomènes de salure et d'alcalisation de l'horizon de surface ont tendance à être plus accentués dans les carrés les moins irrigués (tableau n° XXI).

Par conséquent, l'hypothèse de l'induction d'une chlorose ferrique par une asphyxie racinaire résultant d'une dégradation passagère de la structure de l'horizon de surface reste vraisemblable. Quant à l'accentuation de cette chlorose sur les arbres, irrigués à la dose A, elle serait expliquée par le fait suivant :

Comme la dose A est la plus forte, elle apporte dans le sol la plus grande quantité de chlorure de sodium et d'anion bicarbonate qui ont la propriété de solubiliser le calcaire du sol (dans SAGLIO 1968)

Tableau n° XXI

RESULTATS D'ANALYSES AU C.E.E. A DIFFERENTES DATES

Bloc	Date	Dose	Humidité		pH	M.O. %	HPS	C.E.	Sels solubles m.e./L.					Complexe m.e.% g. de sol							AH %	AF %
			C.R.	PFP					Cl	CO3H	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	K	Na	T	NA/T 100			
C.E.E.Eau douce	8-9-68	A	27	15	8,00	2,3	49	1,37	6,5	3,60	6,9	3,1	5,0	13,40	4,14	1,82	0,35	23,6	1,50	0,13	0,09	
	20-2-69	A	29,3	17,5	8,1	2,6	50,5	1,55	9,8	4,70	8,8	2,4	5,0	16,93	3,75	2,08	0,34	23,0	1,47	0,14	0,116	
	"	C	26,5	17,0	8,1	2,58	50,5	2,78	13,2	4,8	17,3	3,8	7,5	14,70	3,84	3,14	0,39	22,1	1,71	0,16	0,124	
	27-6-69	A	28,6	15,0	8,4	2,64	49,4	2,17	12,2	3,50	9,7	3,1	12,2	14,05	5,00	2,48	0,92	22,4	4,09	0,16	0,112	
	"	C	28,8	15,7	8,7	2,72	46,7	4,6	28,1	2,65	28,0	5,6	20,0	14,18	4,05	3,26	0,79	22,30	3,56	0,16	0,146	
C.E.E.Eau salée	8-9-68	A	28	13,2	7,91	2,21	50,3	5,2	47,2	2,95	21,4	10,7	29,4	12,3	6,9	0,65	0,13	20	1	0,12	0,11	
	20-2-69	A	28,1	14,5	7,92	2,44	51,1	2,8	17,93	4,06	11,0	8,0	13,9	11,56	6,46	1,03	0,33	21,0	1,20	0,14	0,11	
	"	C	30,6	15,4	8,07	2,71	47,5	2,3	14,30	4,70	9,5	4,8	11,0	15,44	3,74	1,73	0,34	21,26	1,66	0,22	0,10	
	27-6-69	A	29	14,7	7,96	2,72	48,4	6,5	6,3	5,0	29	15	38,2	13,47	6,0	1,85	1,33	27,6	5,25	0,20	0,11	
	"	C	28,5	16,4	7,7	3,15	51,5	12,5	139	5,15	65	29	71,6	12,61	5,5	2,77	1,29	22,2	5,92	0,18	0,13	

N.B. Chaque valeur donnée dans ce tableau est la moyenne des résultats de 5 analyses d'échantillons (répétitions).

Légende : C.R. = Capacité de rétention.
 P.F.P. = Point de flétrissement permanent
 pH = pH d'un mélange $\frac{\text{sol}}{\text{eau}} = \frac{1}{2,5}$
 H.P.S. = Humidité de la pâte saturée.
 C.E. = Conductivité électrique en m/mhos/cm.
 A.H. = Acide humique.
 A.F. = Acide fulvique.

et qui cause de ce fait, un accroissement du pourcentage du calcaire actif, responsable de la précipitation du fer soluble dans le sol.

Il reste cependant à vérifier l'existence de l'asphyxie racinaire dans les horizons qui intéressent les racines, durant la phase de dégradation de la structure de l'horizon de surface, et l'augmentation du pourcentage du calcaire actif dans les carrés relatifs aux trois doses d'irrigation.

V .

R E S U M E E T C O N C L U S I O N S G E N E R A L E S

C e travail a pour buts :

. D'étudier la stabilité structurale et sa variation au cours de l'année dans les horizons de surface de quelques sols à texture fine sous irrigation et culture (oranger) ou sans irrigation et sans culture dans le nord de la Tunisie.

. De vérifier s'il existe une relation entre l'état structural de ces sols dans le temps et dans l'espace et les accidents physiologiques observés sur certains arbres des orangeries considérées.

Pour situer la dégradation de la structure dans le temps et dans l'espace, nous avons suivi l'évolution saisonnière de la stabilité structurale pendant deux années consécutives, de quatre couches allant de 0 à 25 cm de profondeur des sols irrigués et des sols non irrigués.

Les prélèvements des échantillons se sont faits tous les deux mois environ.

Cette étude a porté sur les sols de trois orangeries. Dans l'une d'elles, nous avons essayé de déterminer l'influence de la quantité et la qualité de l'eau d'irrigation sur la structure du sol.

Le tableau n° IV résume ces données.

La méthode d'estimation de la stabilité structurale utilisée est celle de M. HENIN. Elle est basée sur la détermination de deux indices :

- I.S. = Indice d'instabilité structurale
- K. = Indice de perméabilité mesurée au laboratoire.

D'autres caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols ont été mesurées.

RESULTATS :

A. Etude de la stabilité structurale

A Mateur et à Bou Salem, l'analyse statistique des résultats de I.S. et K (analyse de la variance d'un plan factoriel : 6 dates/an x 4 profondeurs) a montré que les indices varient significativement en fonction de la saison et de la profondeur. Dans certains cas, il existe une interaction positive entre les effets date x profondeur sur I.S. et K.

Au Centre d'Etude de l'Eau, la variation saisonnière de I.S. est très significative dans les deux blocs irrigués avec des eaux de qualité différente. La moyenne annuelle de l'indice I.S. dans la parcelle irriguée à l'eau salée dépasse très significativement celle de la parcelle irriguée à l'eau douce.

Dans chacune de ces deux parcelles, il n'y a pas de différence significative au seuil de probabilité de 5 %, entre les indices I.S. et K des sols irrigués avec des doses différentes de la même eau.

1°. VARIATION DE I.S. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR A MATEUR ET A BOU SALEM.

- a. "Sous" les arbres, I.S. croît avec la profondeur.
- b. "Entre" les arbres et "En dehors" de l'orangerie.

I.S. décroît lorsque la profondeur augmente.

En comparant les horizons de surface des emplacements "Sous", "Entre" et "En dehors" des arbres d'un même type de sol, nous trouvons que :

- . I.S. le plus faible (la meilleure stabilité) appartient à l'emplacement "Sous" les arbres.
- . I.S. le plus fort (la structure la plus dégradée) se trouve "Entre" les arbres. Quant à la stabilité de l'emplacement "En dehors" de l'orangerie, elle est intermédiaire entre les deux précédentes.

Cependant les horizons 20-25 cm des trois emplacements ont statistiquement le même indice I.S.

L'augmentation de I.S. avec la profondeur "Sous" les arbres a été statistiquement liée à l'appauvrissement du sol en matière organique lorsque la profondeur augmente.

"Entre" et "En dehors" des arbres, la variation de I.S. avec la profondeur est fonction de la fraction minérale fine dispersée.

2°. VARIATION SAISONNIERE DE I.S. (moyenne des quatre couches).

Elle dépend de l'emplacement considéré et du traitement du sol.

a. Dans les sols non irrigués : le cycle de cette variation se compose des phases suivantes :

- Une phase de régénération de la structure durant la saison sèche.
- Une dégradation de la structure au cours de la saison pluvieuse.
- Une régénération de la structure au mois de mars
- Une dégradation de la structure au début de la saison sèche.

b. Dans les sols irrigués : le cycle de l'évolution saisonnière de I.S. varie avec l'emplacement et le mode d'irrigation.

"Sous" les arbres, si le sol est riche en matière organique (9 S/A) et si l'eau n'arrive pas directement sur les agrégats du sol, le cycle se composerait de deux phases :

- Une dégradation de la structure au début de la saison sèche (mai-juin).
- Une régénération de la structure qui commence à la fin de la saison sèche et atteint un palier qui va de septembre à mars. Les pluies d'hiver ne causent pas de dégradation dans ce cas.

Si le sol est moins riche en matière organique, l'effet de l'irrigation et des pluies peut dégrader la structure (BS6).

"Entre" les arbres, l'effet des irrigations et des pluies se fait bien sentir si le sol draine mal l'excès d'eau (9 E/A).

3°. INTERACTION DES EFFETS DE LA DATE ET DE LA PROFONDEUR SUR I.S.

En comparant la variation saisonnière de I.S. dans les couches 0-5 cm et 20-25 cm dans le vertisol de Mateur, nous trouvons que (graphique n° 28)

- "Sous" les arbres (9 S/A) ces couches se distinguent toute l'année par des I.S. différents.
- "Entre" les arbres (9 E/A) les I.S. des deux couches considérées n'acquièrent la même valeur que durant la saison pluvieuse. Le reste de l'année, ils sont significativement différents.
- "En dehors" de l'orangerie (non irrigué) les deux couches acquièrent la même stabilité structurale durant deux périodes de l'année :
 - . Lorsque le sol est très sec, en été.
 - . Lorsque le sol est très humide, en hiver.

4°. VARIATION DE I.S. AU CENTRE D'ETUDE DE L'EAU.

Les cycles de variation saisonnière de I.S. des deux blocs (C.E.E.D. et C.E.E.S.) sont du même type, mais celui du périmètre irrigué à l'eau salée est décalé toute l'année vers les hautes valeurs de I.S. par rapport au cycle du périmètre irrigué à l'eau douce.

Ils se composent de deux parties :

- Une phase de dégradation très marquée de la structure durant la période des irrigations.
- Une phase de régénération de la structure durant la saison pluvieuse avec un I.S. minimum situé à la fin de cette saison (février-mars).

L'accentuation de l'effet de l'irrigation dans cette station est en grande partie due au mode d'irrigation (submersion de cuvettes). Cela peut se voir sur les résultats d'analyse du tableau n° 16 qui montre une prédominance nette du phénomène éclatement sur la dispersion des colloïdes dans le processus de la dégradation de la structure (A + L peu variable dans le temps).

5°. PRINCIPAUX FACTEURS DE LA VARIATION DE I.S.

a. L'humidité du sol.

Dans les sols non irrigués, le cycle de I.S. est parallèle à celui de l'humidité du sol d'avril à décembre. De janvier à avril, I.S. évolue dans le sens inverse de celui de l'humidité du sol.

"Sous" et "Entre" les arbres, à une augmentation du taux d'humidité correspond une diminution de I.S. D'une façon particulière, dans l'emplacement 9 S/A (M.O. = 4 %) nos résultats ont montré que I.S. augmente lorsque le sol se dessèche.

b. Richesse du sol en carbone facilement minéralisable.

Estimée par le dégagement du CO_2 du sol (B.S.C.) au laboratoire, elle est en relation statistique avec I.S. ($r = 0,660$) mais surtout avec Ag.B. % ($r = 0,943$). En outre, le cycle annuel du dégagement de CO_2 du sol au laboratoire permet d'expliquer, du moins en partie, l'apparition d'une phase de dégradation de la structure au début de la saison sèche.

Durant cette période, le sol est relativement pauvre en carbone minéralisable (faible quantité de CO_2 dégagée) et sa structure se dégrade.

B. Relation entre l'état structural du sol et l'état des orangers de Mateur et du C.E.E. /.

a. Mateur, dans la parcelle 9 (sur vertisol) où les arbres présentent des symptômes de dégénérescence, l'indice moyen annuel de la stabilité structurale du sol est inférieur à celui de la parcelle 38 où la même espèce d'agrumes semble être en bon état de végétation. Par conséquent, nous ne pouvons pas établir une relation directe entre l'état structural des horizons de surface du sol et l'état des arbres dans la parcelle 9.

Nous sommes amené à penser que les accidents observés pourraient trouver leur origine dans les mauvaises propriétés physiques des horizons profonds du vertisol, auxquelles s'ajoute une hydromorphie temporaire.

b. Au Centre d'Etude de l'eau, lors de l'irrigation à l'eau salée, une chlorose ferrique apparaît sur les orangers. D'après P.

SAGLIO, cette chlorose est induite par une asphyxie racinaire qui a pour cause une dégradation de la structure des horizons de surface.

Dans cette étude, nous avons prouvé l'existence de cette phase de dégradation de la structure et son accentuation dans le bloc irrigué à l'eau salée. Mais cette phase apparaît, non aux premières pluies d'automne comme le supposait SAGLIO, mais en pleine période des irrigations, justement avant les pluies.

D'ailleurs, à l'arrivée de ces dernières, une période de régénération de la structure de l'horizon de surface commence à s'établir.

V I .

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

1. ANNALES DE L'I.N.R.A.T. - 1967 - vol. 40, fasc. I, carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale. Echelle 1/200 000, feuille II, Bizerte - Tunis.
2. ALDERFER (R.B.) - 1946 - Seasonal variability of the aggregation of Hagerstown Silt Loam (Pennsylvania Agricultural Experiment Station), Soil Sci. 62, 151-167.
3. AUBERT (G.) et BOULAIN (J.) - 1967 - La pédologie. Collection "Que sais-je ?" n° 352.
4. AUBERT (G.) - 1967 - Cours de pédologie spéciale de 3ème cycle de géodynamique externe (inédit). Paris.
5. BACHELIER (G.) - 1966 - Dosage en série du carbone minéralisable des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IV, 2, 99-101.
6. BOYER (J.) et COMBEAU (A.) - 1960 - Etude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de la République Centrafricaine. Sols africains, V, 5-15.
7. COMBEAU (A.) - 1960 - Quelques facteurs de la variation de I.S. dans certains sols ferrallitiques. C.R.Acad.agric., 109-115.
8. COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.) - 1963 - Observation sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 3.
9. COMBEAU (A.) - 1965 - Variation saisonnière de la stabilité structurale des sols en région tempérée. Comparaison avec la zone tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., III, 2.

10. CONCARET (J.) - 1964 - Etude des mécanismes déterminant la stabilité structurale. C.R.Acad.Sci., Paris, 9 déc.
11. DEMOLON (A.) - 1966 - La dynamique du sol. Dunod, Paris.
12. DUCHAUFOUR (P.) - 1966 - Précis de Pédologie. Masson et Cie.
13. DUYT SCHAEVER (B.) - 1962 - Etude pédologique du périmètre de Sbikha. Archives du Service pédologique de Tunisie n° 242.
14. FOURNET (A.) - 1963 - Etude du périmètre de Mateur (oueds Joumine - M'saken - Rhezala). Archives du Service pédologique de Tunisie.
15. HENIN (S.) - 1939 - L'influence de facteurs climatiques sur la stabilité structurale des sols de limon. Ann. agron., 30I-3II.
16. HENIN (S.) et TURC (L.) - 1949 - Nouvelles observations sur la variation annuelle de la stabilité structurale du sol. C.R.Acad. agric., 35-36 oct.
17. HENIN (S.) et ROBICHET - JONGERINS - 1955 - Principes pour l'évaluation de la stabilité de la structure du sol. Ann. agron., p. 537.
18. HENIN (S.) et GRAS (R.) - 1958 - Installation des vergers en fonction du sol. Bull. techn. inform. Inq. serv. agric., n° 135, 613-620.
19. HENIN (S.), MONNIER (G.) et COMBEAU (A.) - 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. agron., 7I-90.
20. HENIN (S.) - 1967. Cours de physique du sol de 3ème cycle. Paris. inédit.
21. HOLDERBACH (L.) - 1963 - Exposé des méthodes d'analyses de sol et d'eau. Subdivision d'Etudes pédologiques E.S. 48.
22. JAMES (P.M.) - 1946 - Influence des bactéries polysaccharides sur la structure du sol. Soil Sci., 6I.
23. LOBERT (A.) et CORMARY (Y.) - 1964 - Variabilité des mesures des caractéristiques hydrodynamiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., II, 2.
24. MONNIER (G.) - 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Sols africains, X, 1, 5-29.
25. MONNIER (G.) - 1965 - Matière organique et stabilité structurale. Ann. agron., 16, 33I-400.
26. PANABOKKE (C.R.) and QUIRK (J.P.) - 1957 - Effect of initial water content on stability of soil aggregates in water. Soil Sci. 83.

27. PETERSON (J.B.) - 1946 - The rôle of clay minerals in the formation of soil structure. Soil Sci. 61.
28. PREZIOSI (P.C.) - 1955 - Le climat de la Tunisie. Météorologie Nationale. Tunis.
29. PRUNIER (J.) - 1961 - Etude pédologique du périmètre de Gafour (Oued El Toub). Arch. Serv. pédol. Tunisie n° 195.
30. RAWITZ (E.), DASBERG (S.), HADAS (A.) and HILLEL (D.) - 1964 - The effects of irrigation method and cropping system on some structural properties of a bessial Sierozem of the northern Negev. Israël J. agric. Res., 14, 4, 197-203.
31. RENON (J.C.) - 1964 - Etude pédologique de la plaine de Mateur (Bordure sud). Echelle 1/10 000. Arch. Serv. pédol. Tunisie.
32. SAGLIO (P.) - 1969 - Chlorose ferrique sur orangers, induite par irrigation à l'eau saumâtre dans la région de Tunis. C.R. Acad. Agric. Fr. n° 10, 741-750.
33. YODER (R.E.) - 1936 - A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. amer. Soc. agron., 28, 337-351.

L I S T E D E S T A B L E A U X

N°		Page
I	Analyses du sol de Mateur	17
II	Analyses des sols de Bou Salem et du C.E.E.....	20
III	Analyses des eaux d'irrigation	22
IV	Tableau récapitulatif de l'emplacement des échantillons	26
V	Variabilité de I.S. au laboratoire	29
VI	Analyse de la variance	29
VII	Variabilité de I.S. due à l'emplacement de l'échantillon	30
VIII	Variation de I.S. au C.E.E.....	31
IX	Analyse de la variance de I.S. au C.E.E.....	32
X	I.S. à différentes dates et profondeurs	35
XI	Analyse de la variance de I.S. du tableau X	36
XII	Conclusions des analyses statistiques de la variation de I.S. et K	37
XIII	Moyenne annuelle de I.S. à quatre profondeurs	38
XIV	Analyses du sol au 9 S/A et N à différentes dates .	40
XV	Variation des composantes de I.S. avec la profondeur	41
XVI	Variation des composantes de I.S. au C.E.E.....	45
XVII	Tableau schématisant la variation saisonnière de I.S. dans différentes stations	46
XVIII	Amplitude de variation des différents facteurs étudiés	48
XIX	Variation de K en fonction de la date et de la profondeur à Mateur	49
XX	Variation de K en fonction de la date et de la profondeur à Bou Salem et au C.E.E.....	50
XXI	Résultats d'analyses au C.E.E.....	60

L I S T E D E S G R A P H I Q U E S

N°		Entre les pages
1 et 2	Pluviométrie et température à Mateur ...	14-15
3 et 4	Pluviométrie et température à Bou Salem.	19-20
5a - 5b	Pluviométrie et température au C.E.E....	22-23
6 à 13	Variation de I.S. en fonction de la saison et de la profondeur dans différentes stations	36-37
14 et 15	Variation de I.S. avec la profondeur ...	37-38
16 à 20	Variation saisonnière des composantes de I.S.....	39-40
21 et 22	Variation de I.S. en fonction de la matière organique	40-41
23	Variation de I.S. moyen des 4 couches étudiées	42-43
24 et 25	Classification des sols étudiés par leurs I.S. et K	48-49
26 et 27	Variation de K en fonction du temps de mesure	51-52
28 et 29	Interaction de la date et de la profon- deur sur I.S. et variation saisonnière de la densité apparente	52-53
30-31-32	Variation de I.S. en fonction de l'humidi- té du sol	53-54
33 à 36	Variation de I.S. en fonction du dégage- ment du CO ₂ et de l'humidité du sol	55-56
37	Variation saisonnière de la conductivité électrique au C.E.E.....	56-57