

# EFFET RESIDUEL DE LA SUBMERSION SUR LA STRUCTURE DU SOL

(Mise en évidence à l'aide de l'indice d'instabilité structurale de  
S. Henin)

J. MAYMARD

*Maître de Recherches de l'ORSTOM, M.A.S., Saint-Louis*

et

A. COMBEAU

*Maître de Recherches de l'ORSTOM, I.D.E.R.T., Bondy*

(Collaboration technique de M. MARLANGE et M. J. GAUTIER)

- 
- I. Caractères généraux des sols étudiés.
  - II. Méthodes d'étude.
    1. Le dispositif expérimental.
    2. L'indice d'instabilité structurale de S. Henin.
  - III. Résultats globaux de l'étude de la stabilité structurale.
  - IV. Action des divers traitements hydrauliques.
    1. sur "hollaldé".
    2. sur "fondé".
    3. relation entre  $I_s$  et le rendement des plantes cultivées.
- Résumé et Conclusions.

---

Comme beaucoup de fleuves alimentés par les pluies tropicales, le Sénégal a un régime caractérisé par une grande crue annuelle alternant avec une période d'étiage très marquée. Près de 800.000 hectares de vallée alluviale peuvent être submergés dont 120.000 en moyenne sont emblavés dès le retrait des eaux; la culture en décrue du sorgho constitue la base même du système agricole traditionnel.

C'est dans la perspective de grands aménagements hydro-agricoles fondés sur la régularisation de la submersion, qu'a été créé un dispositif expérimental, permettant d'étudier sur les terres, les plantes et les rendements, le rôle des principaux facteurs agricoles de la crue: durée de submersion et date de retrait. L'influence directe de l'inondation sur la structure des sols a été ainsi nettement mise en évidence.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n°

17124

10 1087

## I. CARACTERES GENERAUX DES SOLS ETUDIES

Ils sont classés dans les Sols hydromorphes, l'alluvionnement actuel étant négligeable ou réservé à des zones très restreintes. Deux grandes familles sont particulièrement bien représentées :

— les tirs sur matériaux fluviaux de décantation

— les sols à taches et à concrétions sur matériaux fluviaux de débordement. Les premiers correspondent à la dénomination vernaculaire de "hollaldé", les seconds à celle de "fondé".

Le "fondé" résulte d'apports solides importants libérés jadis par les eaux courantes en un système de puissantes levées, gagnant le lit mineur du fleuve et des principaux défluent. C'est un sol battant, riche en sable fin, brun jaune pâle à brun-gris, fluide lorsqu'il est humide, durci lorsqu'il est sec, pulvérulent lorsqu'il est travaillé. On distingue le "fondé ranéré" (= blanc) situé à une cote assez élevée, souvent au-dessus du niveau des plus fortes crues actuelles, et le "fondé balléré" (= noir) plus argileux.

Le "hollaldé" est un dépôt en eau calme dans les cuvettes qui ont constitué des angles morts de la sédimentation fluviale; c'est un sol argileux, brun-gris ou brun-noir, qui se fissure profondément au cours de la dessiccation et se divise en agrégats à forte cohésion.

L'hydromorphie est liée au régime de crue du Sénégal et à l'inondation du lit majeur. L'engorgement est donc temporaire et affecte principalement la partie supérieure du profil. La nappe phréatique relativement profonde s'élève assez peu du fait de la crue. On peut donc schématiquement distinguer :

— une zone superficielle d'engorgement — assèchement

— une zone intermédiaire de diffusion — aération

— une zone profonde de saturation permanente.

Sur le profil, l'engorgement temporaire se traduit de deux façons :

— en sol léger (fondé) par la ségrégation du fer en plages ocre ou en petites concrétions ferromanganiques ;

— en sol argileux (hollaldé), par l'apparition de fentes de retrait et d'une structure très grossière, prismatique ou polyédrique, qui s'atténue ou même disparaît après plusieurs années consécutives d'exondation.

On notera à la lecture du tableau I, la pauvreté des terres en matière organique, le déséquilibre dans la répartition des cations du complexe absorbant (excès de magnésium et déficit en calcium).

De plus, la teneur en sels solubles n'est pas négligeable ; ces sols dans leur comportement saisonnier présentent une grande analogie avec les solontchaks internes du type sulfate-chlorure.

L'argile est constituée pour moitié de kaolinite et pour moitié d'hydromicas avec montmorillonite interstratifiée.

## II. METHODES D'ETUDE

### 1. Le dispositif expérimental

Le principe même des essais nécessitant une maîtrise totale des eaux, on a utilisé le casier de Guédé, vaste périmètre déjà soustrait à la submersion naturelle où l'on pouvait bénéficier d'installations déjà existantes et tirer parti de terrains inutilisés (cf. Fig. 1).

Le dispositif d'étude est constitué par un grand nombre de parcelles endiguées pouvant être remplies et vidangées séparément. Chacune d'elles (dimensions intérieures: 18 m  $\times$  16,50 m) est entourée de diguettes en terre largement calculées: emprise 5,30 m, couronnement 3,50 m, hauteur 0,70 m. Les causes contrôlées sont réparties au hasard et font l'objet de 6 répétitions. Le schéma-type retenu est celui des blocs.

Durées de submersion et dates de retrait couvrent l'intervalle de variation observé pour les crues naturelles. Les différentes combinaisons choisies sont les plus probables. Il n'existe pas en effet sur terrain "hollaldé" de décrue précoce avec des crues longues et pratiquement pas de retraits tardifs avec des crues faibles. Sur "fondé" la submersion est forcément courte et le retrait relativement précoce. La Fig. 2 résume les différentes conditions d'inondation réalisées dans l'expérience.

Les échantillons de sol ont été prélevés en surface après deux années de culture, à raison de un échantillon composite par unité endiguée.

### 2. L'indice d'instabilité structurale de S. Henin

La méthode de S. Henin pour l'évaluation de l'état structural des sols, prend en considération les deux hypothèses explicatives du processus de dégradation: celle de Schloesing qui attribue la destruction des agglomérats terreux à la dispersion des colloïdes, et celle de Yoder qui y voit l'effet de la pression exercée par l'air, emprisonné et comprimé, au fond des capillaires que l'eau pénètre.

Rappelons le principe de détermination de cet indice: Partant d'une terre tamisée au tamis de 2 mm on évalue:

- a) le pourcentage d'agrégats, supérieurs à 0,2 mm, stables à l'eau,
  - sans prétraitement = AgE (témoin)
  - après prétraitement à l'alcool = AgA (l'alcool a généralement un rôle protecteur)
  - après prétraitement au benzène = AgB (le benzène a, au contraire, un rôle sensibilisateur tout au moins dans la mesure où le sol est pauvre en matière organique).

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

b) l'état de dispersion; on l'obtient en effectuant une analyse mécanique, sans addition de dispersant, sur les éléments passés au travers du tamis dans les trois cas précédents. C'est la somme argile + limon qui

est prise en considération, comme étant plus représentative de la dispersion que la fraction argile proprement dite. On se place dans les conditions les plus défavorables en ne tenant compte que de la valeur maximum, rencontrée d'ordinaire soit avec le témoin, soit plus souvent encore après le traitement au benzène.

c) la fraction sable grossier, qui joue un rôle important dans le taux d'agrégats stables obtenus. Pour tenir compte, d'une part des erreurs d'échantillonnage dans les terres pauvres en sable, d'autre part de la stabilité que peuvent donner dans certains cas les sables grossiers dans des terres pauvres en éléments fins, la fraction sableuse est affectée du coefficient 0,9.

D'où la formule permettant finalement de calculer l'indice  $I_s$  :

$$I_s = \frac{(A + L) \text{ maximum}}{AgA + AgB + AgE - 0,9 \text{ S.G.}}$$

L'indice d'instabilité structurale est associé par représentation graphique à la vitesse de filtration: coefficient  $K$  (cm/heure) de la loi de Darcy, mesuré sur échantillon de terre tamisée. Pour un très grand nombre de résultats, on constate comme il est normal, une corrélation inverse entre les valeurs de  $I_s$  et de  $K$ . Les points obtenus sont répartis autour d'une droite moyenne d'équation :

$$\text{Log. } 10 K = 2,5 - 0,837 \text{ log. } 10 I_s$$

Les Figs. 3 et 4 montrent, à titre d'exemple, la répartition de quelques types de sols sur le graphique général de corrélation. Notons à ce sujet que ce graphique a été établi à partir des résultats obtenus sur des échantillons prélevés tant en zone tropicale et méditerranéenne qu'en zone tempérée.

On peut chiffrer l'état structural en rabattant les points figuratifs sur la droite de régression elle-même graduée de 0 à 100: d'où une nouvelle forme d'expression des résultats dite "en  $\Sigma$ ". Les valeurs obtenues sont intéressantes sur un plan général et peuvent permettre de définir un état structural par grands types de sols. C'est ainsi que la presque totalité des sols salés présente une valeur  $\Sigma < 40$ .

### III. RESULTATS GLOBAUX DE L'ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE

Pour les sols dont il est ici question, les tableaux 2 et 3 fournissent le détail des résultats obtenus. On note :

1. Le faible pourcentage d'agrégats stables à l'eau sans prétraitement. Les valeurs oscillent entre 4 et 10% pour les sols "hollaldé", 3,5 et 8% pour les sols "fondé". En retranchant les sables grossiers on obtient des valeurs comprises respectivement entre 3 et 8% d'une part, 2,8 et 6% d'autre part.

2. L'extrême faiblesse de la teneur en agrégats stables après prétraitement au benzène. La fraction agrégée est dans ce cas presque nulle. Elle est en effet le plus souvent inférieure à 1,5% pour les deux types de sols.

3. Le prétraitement à l'alcool est le seul qui fasse apparaître des valeurs non négligeables pour la fraction agrégée. Cette fraction oscille alors entre 20 et 40% sur "hollaldé", les 3/4 des échantillons se situant entre 25 et 35%. Sur les sols "fondé", les valeurs obtenues sont nettement plus faibles, et comprises entre 5 et 17%.

4. La fraction dispersée est importante. Après prétraitement au benzène, la somme argile + limon se situe entre 55 et 80% pour le hollaldé et 25 à 50% pour le fondé. Les chiffres obtenus, sont, aux erreurs de mesure près, identiques à ceux que donne une analyse mécanique classique. Il est donc évident que le prétraitement au benzène met en dispersion la totalité des éléments fins.

5. La vitesse de filtration des sols soumis à la submersion est très faible : le coefficient K est compris entre 0,5 et 1,6 cm/h. D'où la difficulté de mesure, une très faible différence en valeur absolue des quantités d'eau écoulée entraînant une variation considérable de K. Pour cette raison, les mesures ont été effectuées avec 3 répétitions par échantillon, ce qui nous a amené à limiter le nombre d'échantillons à 18 pour le "hollaldé" et à 8 pour le "fondé". Pour le premier, les valeurs de K sont comprises entre 0,5 et 1,1 cm/h pour le second entre 0,8 et 1,6 cm/h.

6. L'indice d'instabilité structurale est élevé : de 4,40 à 6,72 sur sol "hollaldé" avec une moyenne de 5,42, de 4,08 à 8,80 sur sol "fondé" avec une moyenne de 6,36.

Ces chiffres, associés à la valeur de K, situent les sols étudiés dans une zone du graphique général correspondant aux très mauvaises stabilités structurales. Le "hollaldé" ( $\Sigma = 38,5$ ), à complexe riche en Mg voisine avec les sols sodiques et comme eux il est situé au-dessous de la droite moyenne de régression. Dans le "fondé" nous notons un  $I_s$  moyen plus défavorable encore bien que la perméabilité soit supérieure. Ce qui se traduit en définitive pour la valeur  $\Sigma$  par des chiffres situés entre 38 et 45, avec une moyenne de 40,5 donc légèrement supérieure à celle du hollaldé.

#### IV. ACTION DES DIVERS TRAITEMENTS HYDRAULIQUES

##### 1. Sur "hollaldé"

Les différents chiffres obtenus ont été regroupés par traitements hydrauliques. La Fig. 4 en donne une représentation graphique assez suggestive.

On constate pour une même combinaison de facteurs contrôlés, un large intervalle de variation d' $I_s$ . L'étude à posteriori de l'erreur expérimentale a montré que l'hétérogénéité du terrain n'était pas tellement en cause, mais qu'une erreur de mesure, particulière à ces sols, tenait à la

variation de résistance des agrégats prétraités à l'alcool, en fonction du temps de contact avec l'eau. Aussi, l'analyse de la variance n'est elle pas concluante.

Pourtant, il suffit de se reporter à la Fig. 5, pour se rendre compte de ce que les moyennes calculées sur les six répétitions ne sont pas réparties au hasard. Dans les deux essais, sorgho et coton, l'indice d'instabilité structurale est d'autant plus élevé que la date de décrue est plus tardive et la durée de submersion plus longue.

Aussi paraît-il justifié de regrouper toutes les valeurs numériques des deux essais et de rechercher pour l'ensemble, la loi de variation moyenne de l'une des variables :  $I_s$ , en fonction des deux autres : date de décrue et durée de submersion.

En assimilant à un plan la surface de régression, si  $Z$  désigne l'indice d'instabilité structurale,  $X$  la date de décrue (unité choisie : quinzaine de jours, zéro arbitraire : 1<sup>er</sup> octobre) et  $Y$  la durée de submersion (également en quinzaine de jours), l'ajustement analytique par la méthode des moindres carrés aboutit à l'équation :

$$Z = 4,31 + 0,162 X + 0,094 Y$$

L'analyse de la variance de  $Z$  en fonction de la régression indique que plus de 74% de cette variance provient de la régression linéaire. La comparaison des deux coefficients du plan d'estimation ajusté aux observations, indique qu'il est très probable que l'indice d'instabilité structurale dépende plus de la date de décrue que de la durée de submersion.

Les résultats exprimés en valeur  $\Sigma$  sont satisfaisants malgré le nombre restreint de mesures. Les moyennes calculées par date de retrait ou par durée d'inondation s'ordonnent comme il convient dans l'ordre inverse des  $I_s$  correspondants (Rappelons en effet que plus la structure est mauvaise, plus  $\Sigma$  est petit et plus  $I_s$  est grand) :

Dates de retrait :	1/11	$\Sigma = 39,5$
	15/11	= 39,0
	1/12	= 38,4
	15/12	= 36,5
Durée d'inondation :	90 jours	$\Sigma = 39,4$
	120 jours	= 37,5

Nous avons soumis aux mêmes déterminations 4 échantillons de sol "hollaldé" non inondé depuis 10 ans et prélevé dans la zone encadrant le champ d'essai. On trouve là un  $I_s$  plus faible associé à une vitesse de filtration plus grande :  $I_s$  moyen = 3,94,  $K$  moyen = 2,17 cm/h. Il en résulte pour  $\Sigma$  des valeurs comprises entre 46 et 54 au lieu de 34 et 44 pour les sols inondés. Par ailleurs, le sol "hollaldé" soustrait à l'inondation a tendance à se localiser au-dessus de la droite moyenne, à l'inverse des sols de l'essai.

On peut noter également que si dans l'équation  $Z = 4,31 + 0,162 X + 0,094 Y$  on fait  $X$  et  $Y$  égaux à zéro, on trouve une valeur théorique de

$I_s$  égale à 4,31, assez voisine de la valeur moyenne 3,94 trouvée sur quatre échantillons de sol non inondé. L'ensemble des résultats est donc cohérent.

## 2. Sur "fondé"

L'étude systématique des données obtenues sur les échantillons de sols du type "fondé" n'a pas permis de mettre en évidence une différence entre les divers traitements. Ceci est imputable :

- à la durée de submersion trop faible (2 à 5 semaines)
- au nombre insuffisant de déterminations (24 parcelles en tout seulement)
- à l'hétérogénéité du champ d'expérience (les conditions d'alluvionnement étant plus variables quand le dépôt se fait par débordement que lorsqu'il se fait par décantation).

Cependant, si l'on compare les résultats obtenus pour les sols de l'essai, à ceux fournis par les quatre échantillons prélevés à la périphérie du dispositif d'étude, on constate que, soumis à la submersion le "fondé ranéré" accuse une dégradation qui intéresse surtout la perméabilité et peu l'indice d'instabilité, tandis que le "fondé balléré", plus stable au départ est moins affecté dans sa perméabilité que dans son indice d'instabilité. Cette conclusion est avancée sous toute réserve vu le nombre restreint de déterminations. Mais le rôle dégradant de la submersion est ici encore incontestable.

## 3. Relation entre $I_s$ et le rendement des plantes cultivées

Sur "hollaldé", les rendements moyens en coton et en sorgho, classés par traitements sont en corrélation inverse étroite avec les moyennes d'indices d'instabilité structurale. L'étude un peu approfondie montre qu'il s'agit d'une simple coïncidence.

Si l'on se propose en effet d'étudier la relation entre  $I_s = x$  et le rendement =  $y$ , en éliminant le facteur date de décrue =  $z$ , ce dernier ayant comme il est signalé dans un rapport antérieur une influence déterminante sur le rendement des cultures, on est conduit à calculer le coefficient de corrélation partielle  $r_{xy z}$ . Or ce coefficient est extrêmement faible, donc il n'y a pas de liaison entre  $x$  et  $y$ . Par exemple, pour l'essai sorgho sur hollaldé on trouve  $r_{xy z} = 0,08$ .

De même sur "fondé", où les différents traitements hydrauliques n'influent ni sur  $I_s$  ni sur le rendement, le coefficient de corrélation totale est très bas :  $r_{xy} = 0,06$ .

## RESUME ET CONCLUSIONS

Formés sur alluvions fluviales, les sols de la Vallée du Sénégal sont soumis à une submersion saisonnière liée à la crue annuelle. Ce sont des sols hydromorphes ; à taches et concrétions ferrugineuses sur bourrelets

de berge, tirsifiés dans les cuvettes argileuses. Le limonage est actuellement nul ou faible.

Pour étudier le rôle de la submersion sur le sol et les cultures, on a créé un dispositif expérimental comportant, côte à côte, une grand nombre de parcelles endiguées ; ces parcelles sont soumises à des durées d'inondation différentes, puis cultivées en sorgho ou cotonnier.

L'expérience ainsi conduite, permet d'effectuer des observations en milieu presque naturel. Un premier examen a montré que le développement d'une structure grossière et la diminution de la porosité mottière sont liés au séjour plus ou moins prolongé de l'eau sur les terres. Afin d'élargir en cette matière la portée de l'expérience on a étudié systématiquement la stabilité structurale par la technique de S. Henin.

Cette méthode indique que la submersion suivie de la mise en culture entraîne une dégradation qui intéresse à la fois la vitesse de filtration et l'indice d'instabilité structurale. Dans les conditions de l'expérience, qui reproduisent celles variables des crues naturelles, le rôle relatif de la date de retrait des eaux (du 15 octobre au 15 décembre) et de la durée d'inondation (jusqu'à 4 mois) a pu être mis en évidence. Le premier facteur est le plus important, ce qui signifie qu'une crue courte, mais surtout un retrait précoce des eaux, constituent les meilleures conditions de maintien d'un état structural déjà bien médiocre au départ.

## BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHY

- Maynard, J.** Etude expérimentale des facteurs naturels influant sur les cultures de décrue. (Experimental study of the natural factors affecting crops planted after the subsidence of flood waters.) *M.A.S. Bull.* 110, déc. 1957.
- Henin, S., Monnier, G., et Combeau, A.** Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. (A method for studying the structural stability of soils.) *Ann. Agro.* 1958, 1.
- Combeau, A.** Quelques facteurs de la variation de l'indice d'instabilité structurale dans certains sols ferrallitiques. (Some factors affecting the variation of the index of structural instability in certain ferrallitic soils.) *C.R. Acad. Agric.* 1960, No. 3.

**Tableau 1. — Principales caractéristiques analytiques des sols étudiés.**  
(Table 1.—Principal analytical characteristics of the soils studied.)

	Hollaldé	Fondé balléré	Fondé ranéré
pH . . . . .	5,8	6,2	7,3
Granulométrie pour 100 g de terre (Mechanical analysis—100 g. of earth)			
Argile (Clay) . . . . .	50	43	29
Limon (Silt) . . . . .	13	10	5
Sable fin (Fine sand) . . . . .	34	45	64
Sable grossier (Coarse sand) . . . . .	2	1	2
Capacité d'échange en méq. pour 100 g (Exchange capacity in meq. per 100 g.)	25,9	20,5	12,6
Pourcentage des principaux cations adsorbés.			
{ Ca . . . . .	41	28	38
{ Mg . . . . .	39	41	44
{ K . . . . .	1,3	1,2	1,4
{ Na . . . . .	7	21	12
{ H . . . . .	11	8	4,6
Bases totales en méq. pour 100 g.			
{ Ca . . . . .	17,3	10,4	7,4
{ Mg . . . . .	24,5	16,9	15,6
{ K . . . . .	4,4	3,5	3,5
{ Na . . . . .	3,8	8,7	3,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total % . . . . .	0,037	0,027	0,028
Matière organique % . . . . .	0,68	0,40	0,24
N % . . . . .	0,059	0,049	0,034

Tableau 2. — Résultats analytiques de l'étude de la stabilité structurale.  
(Table 2.—Analytical results of the study of structural stability.)

No. de la Parcelle (Plot No.)	Conditions d'inondation	AgA	AgE	AgB	Ag. moy. (Mean Ag.)	S.G. (C. sand)	A + L (C + S)	I <sub>s</sub>	
Essai coton sur terrain "hollaldé" (Cotton trial on "hollaldé" soil)	1	B5	31,9	8,5	3,4	14,6	2,4	71,8	5,79
	2	B6	32,6	7,6	4,5	14,9	3,8	67,8	5,90
	3	A2	30,6	9,5	4,6	14,9	3,1	69,2	5,72
	4	B4	32,7	10,5	4,8	10,0	3,4	64,5	5,00
	5	A3	30,1	7,6	3,9	13,9	3,3	65,6	6,02
	6	A1	34,1	7,7	3,5	15,1	2,8	62,0	4,92
	16	A2	29,5	10,4	3,6	14,5	2,1	61,2	4,86
	17	B6	32,8	7,8	3,8	14,8	2,2	71,2	5,56
	18	A1	34,6	9,3	4,2	10,0	3,6	71,2	5,56
	19	B5	31,0	8,3	4,4	14,6	3,4	69,2	6,02
	20	B4	33,9	9,6	4,3	15,9	3,2	60,0	4,62
	21	A3	32,5	9,9	4,4	15,6	3,4	64,6	5,17
	31	B4	23,5	7,1	3,4	11,3	0,9	55,0	5,24
	32	B5	31,2	6,4	1,6	13,1	0,9	66,3	5,39
	33	A1	41,7	10,5	2,3	18,2	2,3	70,9	4,40
	34	B6	26,6	7,4	4,6	12,9	3,7	65,0	6,70
	35	A2	34,1	10,1	5,5	10,6	4,0	64,6	4,97
	36	A3	31,7	8,0	5,8	15,2	3,7	64,2	4,98
	46	A1	31,1	7,6	2,6	13,8	1,7	64,7	5,26
	47	B4	35,8	8,1	3,1	15,7	2,3	70,7	5,20
	48	B6	33,5	8,0	2,4	14,6	1,3	76,0	5,67
	49	B5	30,4	6,5	4,6	13,8	3,2	66,4	6,09
	50	A3	33,8	7,6	2,4	14,6	1,3	69,3	5,13
	51	A2	34,7	9,3	4,2	16,1	3,1	70,8	5,32
	61	A3	23,7	6,9	3,1	11,2	0,2	62,1	5,65
	62	A1	38,7	6,9	1,8	15,8	1,5	71,0	4,90
	63	A2	32,2	7,2	2,3	13,9	1,8	70,5	5,73
	64	B5	34,0	7,7	2,8	14,8	1,6	73,8	5,51
	65	B4	33,5	7,6	2,5	14,5	1,9	72,8	5,69
	66	B6	33,4	8,8	3,2	15,1	2,2	74,8	5,71
	76	B4	26,6	6,7	2,1	11,8	1,0	66,2	6,07
77	B6	33,7	5,3	2,5	13,8	1,0	75,5	5,85	
78	A3	40,7	5,1	2,4	16,1	1,8	76,1	5,25	
79	A2	42,9	8,5	2,6	18,0	1,1	79,4	4,67	
80	A1	37,8	6,8	2,7	15,8	2,3	75,9	5,54	
81	B5	34,0	10,7	4,2	16,3	3,1	70,5	5,22	

Tableau 2 (suite). — Résultats analytiques de l'étude de la stabilité structurale.  
(Table 2 (continuation). — Analytical results of the study of structural stability.)

No. de la Parcelle (Plot No.)	Conditions d'inondation	AgA	AgE	AgB	Ag. moy. (Mean Ag.)	S.G. (C. sand)	A + L (C + S)	I <sub>s</sub>
7	C9	32,1	8,8	2,4	14,4	2,0	69,0	5,48
8	B4	34,8	9,1	2,1	15,3	1,4	67,3	4,77
9	C8	28,8	10,4	2,9	14,0	0,7	67,0	5,00
10	A1	39,1	6,5	1,3	15,6	0,4	74,5	4,87
11	A2	40,0	9,5	1,3	16,9	0,4	73,8	4,47
12	B6	26,8	7,1	2,4	12,1	0,3	61,5	5,17
13	C7	20,4	6,1	1,9	9,4	0,3	57,9	6,29
14	B5	23,7	5,0	2,1	10,3	0,6	58,5	5,97
15	A3	28,4	8,4	3,6	13,5	0,8	61,6	4,81
22	A2	35,7	7,1	3,9	15,6	3,3	61,8	4,90
23	B6	31,6	6,6	3,4	13,8	0,6	64,1	4,82
24	B4	34,1	9,2	2,7	15,3	2,3	68,3	5,17
25	A3	27,5	7,5	1,9	12,3	1,5	61,6	5,60
26	C8	24,4	6,2	1,5	10,7	0,7	62,5	5,90
27	C9	37,1	3,3	1,4	13,9	0,3	74,4	5,47
28	B6	31,1	7,2	1,7	13,3	0,4	66,0	5,12
29	C7	23,0	7,0	2,0	10,7	0,4	60,6	5,88
30	A1	32,4	6,6	1,3	13,4	0,3	61,7	4,71
37	B5	32,9	9,7	4,1	15,6	3,5	63,4	5,15
38	C7	31,6	8,5	3,5	14,5	2,4	69,0	5,61
39	A3	32,1	9,0	3,6	14,9	2,3	65,0	5,08
40	B4	30,8	7,7	3,6	14,0	3,0	62,4	5,52
41	C9	24,9	6,4	1,7	11,0	1,3	66,9	6,82
42	B6	25,6	7,0	2,6	11,7	0,8	67,0	6,09
43	A2	34,1	6,9	1,3	14,1	0,5	63,0	4,60
44	C8	24,0	7,7	1,8	11,2	0,5	64,5	5,97
45	A1	36,0	6,6	1,1	14,6	0,7	66,5	4,78
52	C7	33,7	8,1	3,8	15,2	3,1	68,2	5,50
53	C9	33,5	10,1	4,2	15,9	3,1	63,5	4,85
54	B4	36,9	9,5	2,7	16,3	2,3	67,0	4,72
55	A2	33,2	6,6	2,8	14,2	2,6	59,3	4,98
56	A1	31,5	5,2	2,4	13,0	2,2	62,7	5,74
57	B6	27,7	7,0	2,1	12,3	1,4	70,3	6,39
58	C8	26,6	6,8	1,1	11,5	0,6	71,6	6,51
59	A3	33,9	7,3	1,5	14,2	0,6	68,5	5,00
60	B5	26,3	5,8	2,1	11,4	0,3	67,6	6,09
67	C9	32,1	7,2	4,5	14,6	3,7	68,5	6,06
68	A2	35,6	7,8	3,8	15,7	3,3	71,1	5,60
69	B4	30,7	7,9	3,3	14,0	2,6	70,5	6,03
70	C7	32,0	7,8	3,5	14,4	3,0	66,3	5,67
71	C8	34,1	9,4	3,5	15,7	3,0	70,9	5,45
72	A3	31,5	8,6	2,3	14,1	1,8	68,5	5,48
73	B6	34,2	6,5	3,0	14,6	2,4	71,1	5,73
74	A1	35,7	9,5	1,7	15,6	0,8	70,8	4,75
75	B5	38,0	8,6	3,1	16,5	1,8	69,3	4,62
82	A3	36,1	5,5	3,9	15,2	3,2	66,7	5,42
83	C9	28,0	6,6	3,5	12,7	2,9	67,1	6,64
84	A1	37,1	8,2	3,5	16,3	3,1	68,3	5,06
85	C8	25,6	7,1	3,5	12,1	2,9	63,3	6,66
86	A2	32,1	6,9	3,1	14,0	2,7	65,1	5,61
87	B4	36,4	9,3	2,9	16,2	2,6	66,3	4,77
88	B5	32,3	6,8	1,8	13,6	1,2	67,2	5,38
89	C7	34,8	8,6	3,0	15,5	2,3	67,8	5,06
90	B6	35,9	9,9	3,1	16,3	2,2	68,4	4,78

Essai sorgho sur terrain "hollandé"  
(Sorghum trial on "hollandé" soil)

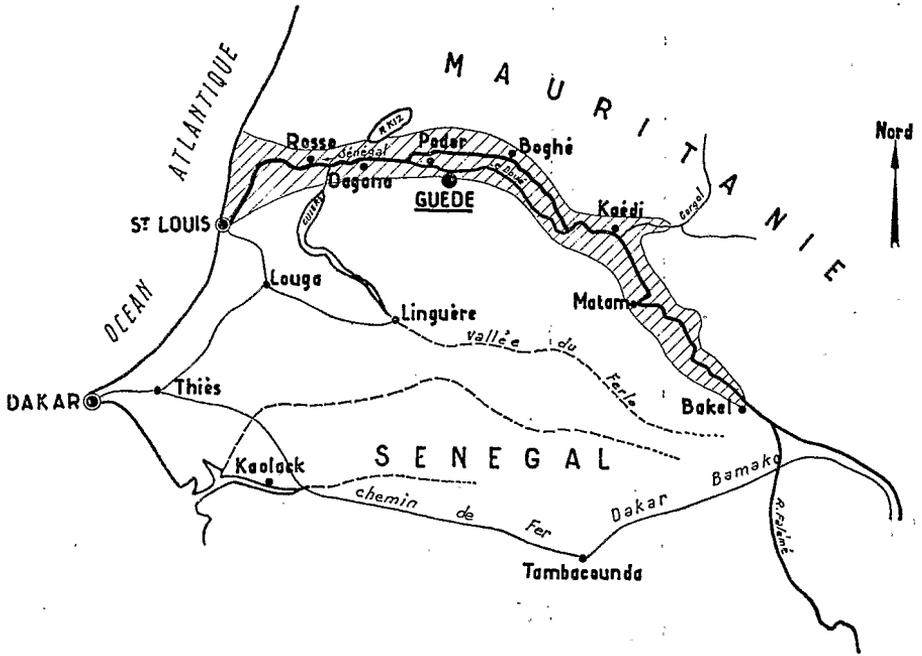
Tableau 2 (suite). — Résultats analytiques de l'étude de la stabilité structurale.  
(Table 2 (continuation).—Analytical results of the study of structural stability.)

No. de la Parcelle (Plot No.)	Conditions d'inondation	AgA	AgE	AgB	Ag. moy. (Mean Ag.)	S.G. (C. sand)	A + L (C + S)	I <sub>s</sub>	
Essai sorgho sur terrain "fondé" (Sorghum trial on "fondé" soil)	101	C	8,9	3,5	1,6	4,7	0,7	30,0	7,31
	102	B	12,2	4,2	1,6	6,0	0,8	33,6	6,34
	103	D	10,0	4,5	1,8	5,4	0,7	30,2	6,29
	104	A	13,7	5,2	1,9	6,9	0,9	35,2	5,77
	105	A	13,2	3,5	1,6	6,1	0,6	49,3	8,80
	106	D	13,4	3,6	1,6	6,2	0,6	45,3	7,94
	107	C	15,0	6,9	2,8	8,2	1,2	29,7	4,18
	108	B	12,0	5,0	2,2	6,4	1,2	45,5	8,58
	109	D	9,6	5,2	2,3	5,7	0,6	28,9	5,56
	110	B	5,7	3,5	1,8	3,7	0,6	22,0	6,88
	111	C	10,5	4,8	2,8	6,0	0,6	32,9	5,98
	112	A	7,9	4,6	2,0	4,8	0,8	31,4	7,66
	113	A	15,3	6,9	3,0	8,4	0,8	42,4	5,51
	114	B	12,7	4,9	2,5	6,7	0,7	43,4	7,11
	115	C	16,6	5,0	2,7	8,1	0,9	47,8	6,54
	116	D	13,9	5,2	2,7	7,3	1,0	38,3	5,98
	117	D	8,7	4,6	2,3	5,2	0,8	30,4	6,76
	118	C	12,0	5,6	4,1	7,2	1,0	29,7	4,71
	119	A	16,3	5,3	2,1	7,9	0,8	45,0	6,25
	120	B	16,8	7,7	3,3	9,3	0,6	39,2	4,45
	121	D	8,0	3,7	2,6	4,8	0,9	33,7	8,43
	122	B	11,9	5,8	4,2	7,3	1,8	39,6	6,95
	123	A	10,5	8,1	4,9	7,8	1,5	26,5	4,08
	124	C	17,3	8,3	6,0	10,5	1,7	40,2	4,47

Tableau 3. — Indice d'instabilité structurale et vitesse de filtration.

(Table 3.—Index of structural instability and rate of filtration.)

		Parcelle No. (Plot No.)	I <sub>s</sub>	Log. 10 I <sub>s</sub>	K	Log. 10 K		
Sols soumis à la submersion. (Soils subjected to submersion.)	Hollaldé	1	5,79	1,76	0,60	0,78		
		2	5,90	1,77	0,82	0,91		
		3	5,72	1,76	0,69	0,84		
		4	5,00	1,70	0,83	0,92		
		5	6,02	1,78	0,98	0,99		
		6	4,92	1,69	0,66	0,82		
		31	5,24	1,72	0,64	0,81		
		32	5,39	1,73	0,60	0,78		
		33	4,40	1,64	0,55	0,74		
		34	6,70	1,83	0,73	0,86		
		35	4,97	1,70	0,85	0,93		
		36	4,98	1,70	0,65	0,81		
		76	6,07	1,78	0,61	0,79		
		77	5,85	1,77	0,48	0,68		
		78	5,25	1,72	0,73	0,86		
		79	4,67	1,67	1,05	1,02		
		80	5,54	1,74	1,25	1,10		
		81	5,22	1,72	1,04	1,02		
	Fondé	101	7,31	1,86	0,95	0,98		
		102	6,34	1,80	0,96	0,98		
		103	6,29	1,80	0,82	0,91		
		104	5,77	1,76	1,09	1,04		
		105	8,80	1,94	1,17	1,07		
		106	7,94	1,90	1,61	1,21		
		107	4,18	1,62	1,31	1,12		
		108	8,58	1,93	1,25	1,10		
		Sols soustraits à la submersion. (Non-submerged soils.)	Hollaldé	Hh1	3,69	1,57	2,21	1,34
				Hh2	3,45	1,54	3,12	1,49
Hb1	3,71			1,57	1,28	1,11		
Hb2	4,91			1,69	2,05	1,31		
Fondé	Fh1		6,54	1,82	1,92	1,28		
	Fh2		4,79	1,68	2,85	1,45		
	Fb1		3,29	1,52	2,68	1,43		
	Fb2		5,42	1,73	2,75	1,44		



— Echelle: 1/5.000.000° —

FIG. 1. — Croquis de situation : Guédé dans la Vallée du Sénégal.

FIG. 1.—Sketch-map : Guede in the Senegal Valley.  
Scale 1/5,000,000

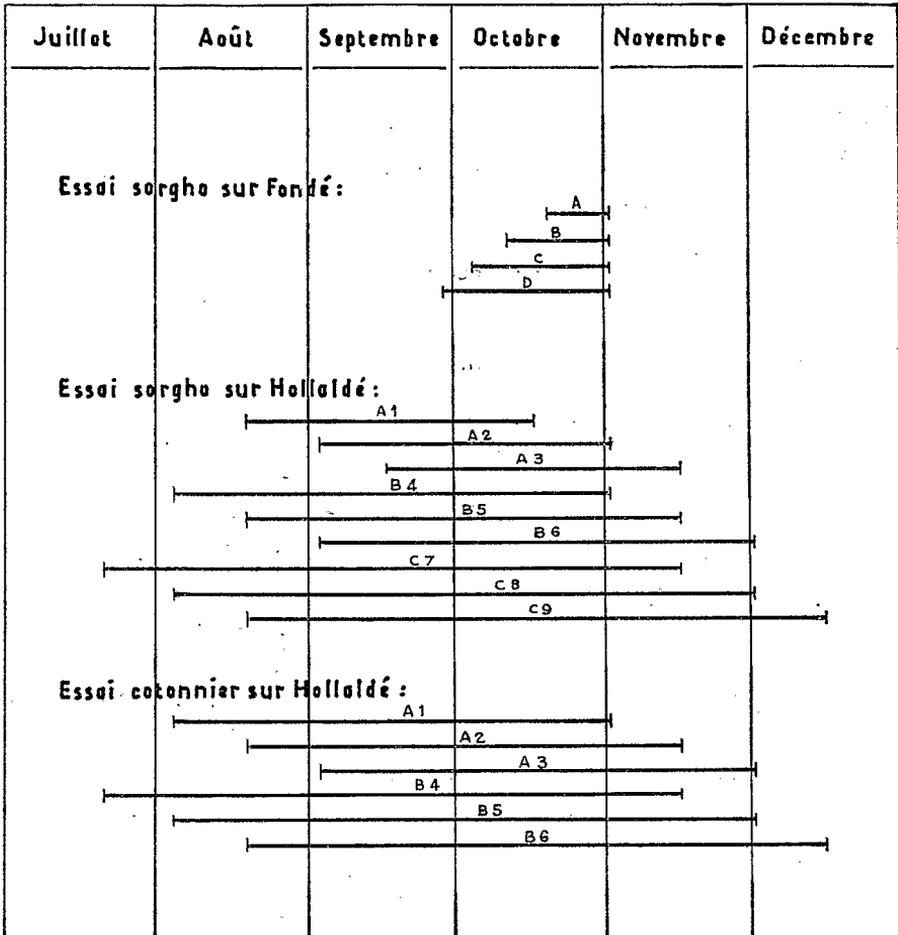


FIG. 2. — Conditions d'inondation réalisées dans l'expérience.

FIG. 2.—Conditions of submersion applied during the experiment.

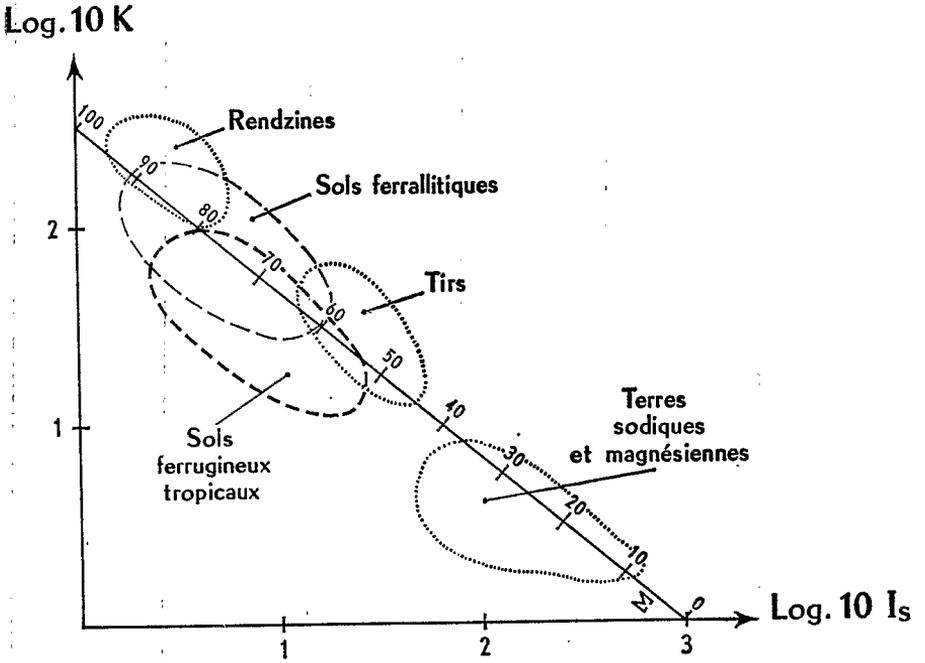


FIG. 3.— Répartition de quelques types de sols sur le graphique général de corrélation.

FIG. 3.—Distribution of some soil types on the general graph of correlation.

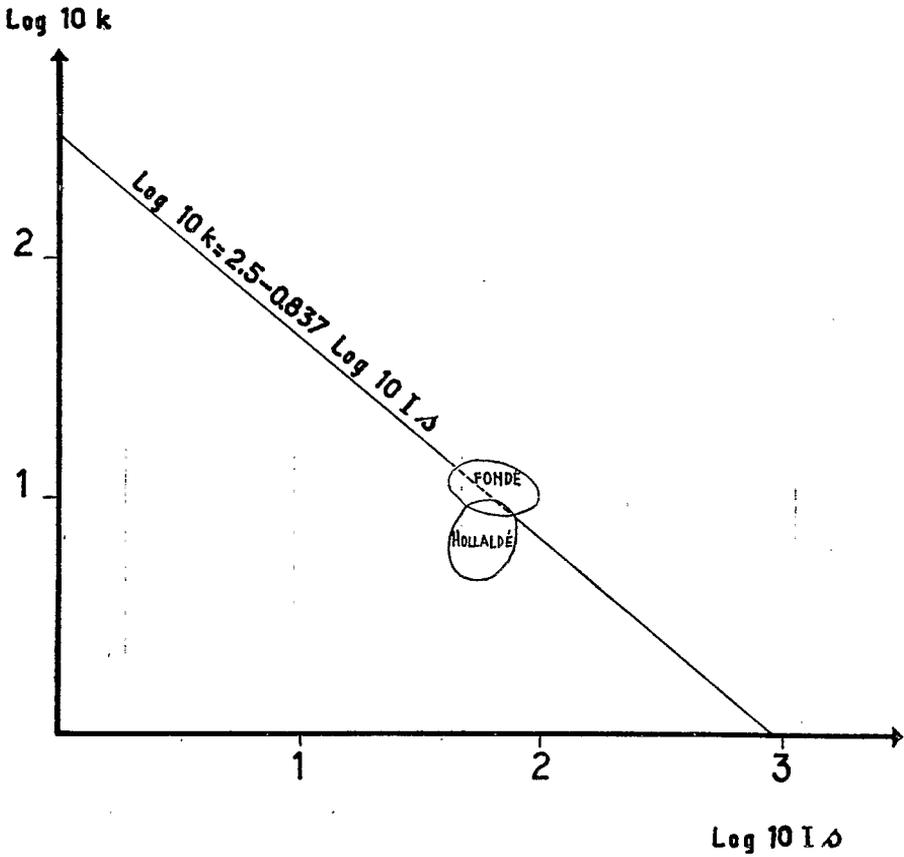


FIG. 4. — Situation du "Fondé" et du "Hollaldé" sur le graphique général de corrélation.

FIG. 4.—Situation of "Fondé" and "Hollaldé" on the general graph of correlation.

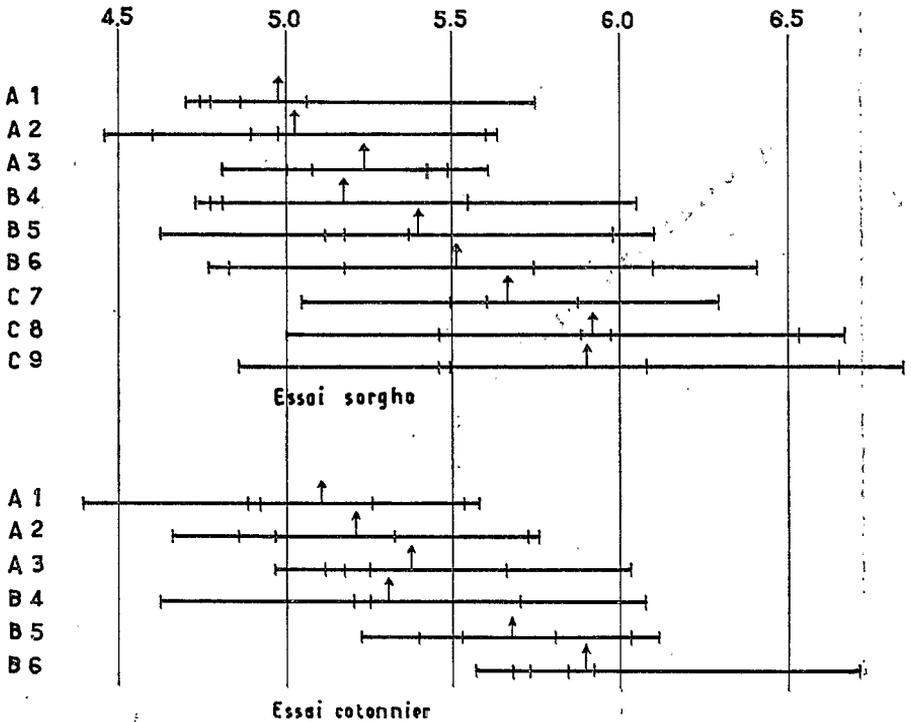


FIG. 5. — Valeurs d' $I_s$  en fonction des divers traitements hydrauliques.  
(La moyenne est représentée par le signe  $\uparrow$ .)

FIG. 5.— $I_s$  values as a function of the various water treatments.  
(Mean value indicated by the sign  $\uparrow$ .)

**THE RESIDUAL EFFECT OF SUBMERSION ON SOIL STRUCTURE**  
(Demonstrated by applying S. Henin's index of structural instability)

J. MAYMARD

*ORSTOM Research Officer, M.A.S., Saint-Louis*

and

A. COMBEAU

*ORSTOM Research Officer, I.D.E.R.T., Bondy*

(With the technical collaboration of M. MARLANGE and M. J. GAUTIER)

- 
- I. General Characteristics of the Soils Studied.
  - II. Methods of Study.
    1. Conditions of the experiment.
    2. S. Henin's index of structural instability.
  - III. Global Results of the Study of Structural Stability.
  - IV. Action of the Various Water Treatments.
    1. on "hollaldé".
    2. on "fondé".
    3. relation between  $I_s$  and crop yield.
- Summary and Conclusions.

---

Like many other rivers fed by tropical rains the Senegal's flow cycle is characterised by a flood period alternating with a very marked low-water period. Out of a total of almost 2,000,000 acres of submersible alluvial valley an average of 300,000 acres are sown to grain as soon as the waters recede, cropping to sorghum after flooding constituting the very basis of the traditional agricultural system.

In view of prospective large-scale hydro-agricultural developmental works based on the regularisation of submersion, an experimental apparatus was set up whereby the rôle of the principal agricultural factors of flooding—duration of inundation and date of subsidence—could be studied with regard to soil, crops and yields. The direct influence of inundation on soil structure has thus been clearly brought out.

## I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE SOILS STUDIED

These soils are classified amongst the hydromorphic soils, present alluviation being negligible or restricted to very small areas. Two great families are particularly well represented :

- tirs on elutriated river deposits
- spotted soils with concretions on river overflow deposits.

The former correspond to the vernacular appellation of "hollaldé", the latter to that of "fondé".

"Fondé" soil results from large-scale deposits of solid material long ago liberated by running water and formed into a system of powerful levees, banking up in the mean-water channel and the river's distributaries. It is a "compacting" soil, rich in fine sand, pale yellow-brown to grey-brown in colour, fluid when wet, hard when dry, powdery when worked. "Fondé ranéré" (= white), situated at a fairly high level, often higher than the present high-flood level, is distinguished from "fondé balléré" (= black) which is clayier.

"Hollaldé" soil results from deposits in still water in basins which have constituted backwaters of river sedimentation. It is a brown-grey or brown-black clayey soil which cracks deeply during dessication and divides up into aggregates of great cohesion.

The hydromorphous process is linked with the flood cycle of the Senegal and with the inundation of its flood plain. Water-logging is therefore temporary and mainly affects the upper part of the soil profile. The spate does not cause the relatively deep water-table to rise much.

Thus, schematically, one may distinguish :

- a surface zone of alternate water-logging and draining
- an intermediate zone of diffusion-aeration
- a deep zone of permanent saturation.

This temporary water-logging expresses itself in the profile in two ways :

- in light soil ("fondé") by segregation of iron into ochre patches or into small ferromanganic concretions ;
- in clayey soil ("hollaldé") by the formation of shrinkage cracks and of a very coarse prismatic or polyedric structure which is attenuated or even disappears after several consecutive years of exundation.

The poverty in organic matter and the disequilibrium in the distribution of cations of the absorbent complex (excess of magnesium and deficiency of calcium) will be noted when consulting Table 1.

Furthermore, the soluble salts content is not negligible. The seasonal behaviour of these soils presents a close analogy with that of the internal salontchaks of the sulphate-chloride type.

The clay composition is half kaolinite and half hydromicas with interstratified montmorillonite.

## II. STUDY METHODS

### 1. Conditions of the experiment

The Guédé Basin, which forms a large area already protected from natural submersion and provides the advantages of existing installations and unused land, was chosen for site as the very principle of the experiment necessitated complete control of the waters (cf. Fig. 1).

The experimental apparatus comprised a large number of diked plots which could be filled and emptied separately. Each plot (internal dimensions:  $18 \times 16.5$  metres) was surrounded by an ample earthen levée: base 5.3 m., coping 3.5 m., height 0.70 m. The tested causes, for each of which there were six replicas, were distributed at random. Gypsum blocks were used.

The durations of submersion and subsidence were the same as for the natural inundations. The different combinations chosen were those most likely to occur. In reality, there are practically no early retirements with persisting spates and practically no late retirements with weak spates on "hollaldé" soil. On "fondé" submersion is necessarily of short duration and subsidence is relatively early. Fig. 2 sums up the various conditions of submersion applied during the experiment.

Soil samples were taken from the topsoil after two years' cropping at the rate of one composite sample per diked unity.

### 2. S. Henin's index of structural instability

S. Henin's method of evaluating the structural state of soils takes into consideration the two hypotheses explicative of the process of degradation: that of Schloesing which attributes the destruction of earth agglomerates to the dispersion of colloids, and that of Yoder who ascribes it to the pressure exercised by air imprisoned and compressed at the bottom of capillaries into which water enters.

Let us recall the principle for determining this index. After sieving earth with a 2-mm. sieve evaluation is made of:

(a) the percentage of water-stable aggregates larger than 2 mm.

—without pretreatment = AgE (control)

—after pretreatment with alcohol = AgA (alcohol generally plays a protective rôle)

—after pretreatment with benzene = AgB (contrary to alcohol, benzene plays a sensitising rôle at least in so far as the soil is poor in organic matter).

The percentage of stable aggregates is the arithmetical average of the three results.

(b) the state of dispersion. This is obtained by effecting a mechanical analysis, without addition of a dispersive agent, of the elements passed through the sieve in the three preceding cases. It is the sum of the clay

and silt which is taken into consideration as being more representative of dispersion than the properly so-called clay fraction. The most unfavourable conditions are observed and maximum value alone is taken into account. The latter is usually obtained with "control" or, more often still, after benzene pretreatment.

(c) the coarse sand fraction, which plays an important rôle in the rate of stable aggregates obtained. To make allowance for sampling errors with soil poor in sand on one hand, and for the stability which coarse sand sometimes gives to soil poor in fine elements on the other hand, the sand fraction is allotted the coefficient of 0.9.

Whence the formula finally enabling the calculation of the index  $I_s$  :

$$\frac{(C + S) \text{ maximum}}{\text{AgA} + \text{AgB} + \text{AgE} - 0.9 \text{ C.S.}}$$

The index of structural instability is associated by graphical representation with the rate of infiltration: coefficient  $K$  (cm./hour) of Darcy's law, measured for a sample of sieved earth. For a great number of results, as might be expected, an inverse correlation is found between  $I_s$  and  $K$  values. The points obtained are scattered around a mean equational straight line :

$$\text{Log.}_{10} K = 2.5 - 0.837 \text{ log.}_{10} I_s$$

As an example Figs. 3 and 4 show the distribution of several types of soil on the general graph of correlation. It should be noted that this graph was established with results for samples obtained in tropical, mediterranean and temperate regions.

The structural state can be calculated by bringing down the points onto the straight line of regression which is graduated from 0 to 100: this provides a new expression of the results and is called results in  $\Sigma$ . The values obtained are interesting on an overall plan and can be used for defining structural state for great soil types. Thus almost all saline soils present the value  $\Sigma < 40$ .

### III. GLOBAL RESULTS OF THE STUDY OF STRUCTURAL STABILITY

Tables 2 and 3 provide details of results obtained for the soils under discussion. The following points are to be noted :

1. The low percentage of non-pretreated water-stable aggregates. Values fluctuate between 4 and 10% for "hollaldé" soils, and between 3.5 and 8% for "fondé" soils. By taking out the coarse sand the values obtained are between 3 and 8% and 2.8 and 6% respectively.

2. The extremely low rate of water-stable aggregates after pretreatment with benzene. In this case the aggregated fraction is practically nil. In actual fact it is most often less than 1.5% for both soil types.

3. Only with the alcohol pretreatment is there a non-negligible aggregated fraction. This fraction fluctuates between 20 and 40% for "hollaldé", three-quarters of the samples having a value of between 25 and 35%. Values obtained for "fondé" soils are distinctly lower, being between 5 and 17%.

4. The dispersed fraction is considerable. After pretreatment with benzene the sum of clay + silt is between 55 and 80% for "hollaldé" and 25 to 50% for "fondé". The figures obtained, allowing for errors of measurement, are identical with those obtained by classical methods of mechanical analysis. It is therefore evident that pretreatment with benzene causes the dispersion of all the fine elements.

5. The filtration rate of soils subjected to submersion is very low, the coefficient  $K$  being between 0.5 and 1.6 cm./h. Whence the difficulty of measurement as a very slight difference in absolute value of water drained away causes a considerable variation of  $K$ . For this reason the measurements were repeated three times for each sample, and in consequence the number of samples was limited to eighteen for "hollaldé" and eight for "fondé".  $K$  values for "hollaldé" were between 0.5 and 1.1 cm./h. and between 0.8 and 1.6 cm./h. for "fondé".

6. The index of structural instability is high: from 4.40 to 6.72 with a mean of 5.42 on "hollaldé" and from 4.08 to 8.80 with a mean of 6.36 on "fondé".

Associated with  $K$  value the above figures place these soils, on the general graph, within a zone corresponding to very poor structural stability. "Hollaldé" ( $\Sigma = 38.5$ ) with a complex rich in Mg is close to the sodic soils and like them is situated below the central straight line of regression. A still more unfavourable  $I_s$  is to be noted for "fondé" despite the higher permeability. The value  $\Sigma$  is expressed by a figure between 38 and 45 with a mean of 40.5, and is therefore slightly higher than that for "hollaldé".

#### IV. ACTION OF THE VARIOUS WATER TREATMENTS

##### 1. On "hollaldé"

The different results obtained were regrouped according to the water treatment and Fig. 4 gives a suggestive enough representation of them.

The scale of  $I_s$  variations is found to be considerable for a same combination of controlled factors. An *a posteriori* study of the experimental error showed that this was not due to any large extent to the heterogenousness of the terrain, but to an error of measurement, peculiar to these soils, resulting from the variance to resistance of the aggregates pretreated with alcohol and depending on the length of time of water contact. Thus the analysis of variation is not conclusive.

However, it suffices to turn to Fig. 5 to realize that the averages worked out from the six replications are not distributed at random. For

the two trials, sorghum and cotton, the index of structural instability is the higher as the date of subsidence is later and the duration of submersion is longer.

Thus it appears justified to regroup all the numerical values of the two trials and to try and find, for all of them, the law of mean variation for one of the variables:  $I_s$ , in relation to the two others, i.e. date of subsidence and duration of submersion.

Supposing the surface of regression to be flat, if  $Z$  designates the index of structural instability,  $X$  the date of subsidence (time unit chosen: a fortnight, arbitrary start date: 1 October) and  $Y$  the duration of submersion (also a fortnight); analytical adjustment by the smallest squares method leads to the equation:

$$Z = 4.31 + 0.162 X + 0.094 Y$$

Analysis of the variance of  $Z$  as a function of regression indicates that over 74% of this variance results from linear regression. Comparison of the two coefficients of the adjusted plane of estimation indicates that it is very probable that the index of structural instability depends more on the date of subsidence than on the duration of submersion.

The results expressed by the value  $\Sigma$  are satisfactory in spite of the limited number of measurements. The averages calculated according to date of subsidence or duration of inundation came out in the appropriate order, i.e. in inverse order to the corresponding  $I_s$ . (We recall that in proportion as the structure is poorer,  $\Sigma$  is lower and  $I_s$  is higher.)

Dates of subsidence :	1/11	$\Sigma = 39.5$
	15/11	$\Sigma = 39.0$
	1/12	$\Sigma = 38.4$
	15/12	$\Sigma = 36.5$
Duration of submergence :	90 days	$\Sigma = 39.4$
	120 days	$\Sigma = 37.5$

Four samples of "hollaldé" soil non-submerged for ten years and taken from the area around the test field were submitted to the same determinations. They proved to have a lower  $I_s$  associated with a higher rate of filtration: average  $I_s = 3.94$ , average  $K = 2.17$  cm./h. The resulting values for  $\Sigma$  are comprised between 46 and 54 instead of 34 and 44 for the inundated soils. Furthermore, this non-submerged "hollaldé" soil, inversely to that of the test soil, tends to group above the central straight line.

It is also to be noted that if in the equation  $Z = 4.31 + 0.162 X + 0.094 Y$ ,  $X$  and  $Y$  are given the value 0, the theoretical value of  $I_s$  is equal to 4.31 which figure is fairly close to the mean, 3.94, obtained from four samples of non-submerged soil. Thus the overall picture of results is coherent.

## 2. On "fondé"

Systematic study of data obtained with samples of "fondé" type soil did not bring out any difference between the various treatments. This is attributable to:

- the too short duration of submersion (two to five weeks)
- the insufficient number of determinations (a total of only twenty-four plots)
- the heterogenousness of the tests (the conditions of alluviation varying more when deposition takes place as a result of inundation than as a result of decantation).

However, if a comparison is made between the results obtained with test soils and those obtained with the four samples taken around the test area, it is found that "fondé ranéré" gives proof of a degradation predominantly linked with permeability and little concerned with the index of instability. This conclusion is advanced under all reserves in view of the limited number of determinations. But the degrading rôle played by submersion is here once again undeniable.

## 3. Relation between $I_s$ and yield of cultivated plants

On "hollaldé" average yields for cotton and sorghum, classified according to treatment, are in close inverse correlation with the mean indices of structural instability. More careful study shows that this is simply coincidence.

If a study is made of the relation between  $I_s = x$  and yield =  $y$ , by eliminating the factor date of subsidence =  $z$ , this latter (as pointed out in a previous paper) having a determining influence on crop yield, one is led to calculate the coefficient of partial correlation  $r_{xy.z}$ . Now this coefficient is extremely low, therefore there is no link between  $x$  and  $y$ . For example,  $r_{xy.z} = 0.08$  for the sorghum trial on "hollaldé".

In the same way for "fondé", on which the various water treatments had no effect on  $I_s$  nor on yield, the coefficient of total correlation is very low:  $r_{xy} = 0.06$ .

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

Formed on river alluvia, the soils of the Senegal Valley are subjected to seasonal submersion resulting from the annual spate. These are hydro-morphic soils with ferruginous spots and concretions on the natural levees and tirsified in the clayey basins. There is little or no "silting up" ("limonage") at present.

In order to study the effect of submersion on soil and crops, experimental conditions comprising a large number of adjoining diked plots were established. These plots were subjected to inundations of different duration and then cropped to sorghum or cotton.

The experiment thus carried out provided almost natural conditions for observation. A first study showed that the development of a coarse structure and the diminution of clod porosity are linked with a more or less prolonged period of submergence. So as to widen the scope of the experiment in this connection a systematic study of structural stability was undertaken using S. Henin's method.

Application of this method indicated that submersion followed by cultivation leads to degradation affecting both the rate of filtration and the index of structural instability. Under the conditions of the experiment, which reproduced the varying conditions of natural spates, the relative rôles of date of subsidence (from 15 October to 15 December) and the duration of inundation (up to four months) were brought out. The former factor is the more important. This signifies that a spate of short duration, and more especially the early subsidence of the waters, constitute the best conditions for maintaining a structural state which is very mediocre to begin with.

EFFET RESIDUAL DE LA SUBMERSION SUR LA  
STRUCTURE DU SOL

(Mise en évidence à l'aide de l'indice d'instabilité structurale de  
S. Henin)

THE RESIDUAL EFFECT OF SUBMERSION ON SOIL  
STRUCTURE

(Demonstrated by applying S. Henin's index of structural  
instability)

J. MAYMARD and A. COMBEAU

*Reprinted from :*

AFRICAN SOILS—SOLS AFRICAINS, VOL. V, No. 2, pp. 123-148

1960

B 11124

M  
44 11124