

# T H E S E

PRÉSENTÉE À L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

PARIS - GRIGNON

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR INGÉNIEUR

"Géologie Appliquée"

Pédologie et Aménagement des Sols

LES MICRO-ORGANISATIONS PELLICULAIRES SUPERFICIELLES

FORMÉES SOUS PLUIE SIMULÉE

SUR DES SOLS FERRALLITIQUES DE SAVANE

(CENTRE NORD DE LA COTE D'IVOIRE)

Comportement hydrodynamique et mécanique de ces pellicules de battance en relation avec la texture, la couverture du sol, et la levée du riz pluvial.

P A R

JOSÉ FELICIANO RUIZ FIGUEROA

Ingénieur Agronome de l'Ecole Nationale d'Agriculture de CHAPINGO,  
México.

Soutenue le 9 Septembre 1983 devant la Commission d'Examen

MM. J. BOULAINÉ	Président
X. HUMBEL	Rapporteur
Y. PEYRE	Examineur
N. LENEUF	Examineur
J. CHRISTMANN	Examineur

"EXLOTAR LA TIERRA, NO AL HOMBRE"

E.N.A. CHAPINGO MÉX. 1910

---

TABLE DES MATIÈRES

---

REMERCIEMENTS	7
SOMMAIRE	
Liste des figures	9
Liste des tableaux	11
Liste des annexes	13
Résumé	15
Abstract	17
Resumen	19
I.- INTRODUCTION	21
A - IMPORTANCE DE L'ETUDE	21
B - OBJECTIFS	21
II.- CARACTERISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	23
A - LES CARACTERES GENERAUX	23
1. Le climat	23
2. La végétation	23
3. La géologie et la géomorphologie	25
4. Les sols	26
5. L'activité anthropique	27
III.- ANALYSE DU SUJET PAR LA BIBLIOGRAPHIE	29
A - LES CROUTES	29
1. Définitions de termes	29
2. Processus de formation	30
a) Facteurs naturels	
b) Facteurs anthropiques	
c) Mécanismes de formation	
3. Conséquences et contraintes de la croûte superficielle	32
a) Effet sur l'infiltration et le ruissellement	
1) <i>L'infiltration</i>	
2) <i>Transfert de l'eau dans un sol encroûté</i>	

b) Les effets sur la levée de plantules	
1) <i>La germination</i>	
2) <i>La levée de plantules</i>	
<i>Mécanisme de percement de la croûte</i>	
4. Méthodes de mesure de la résistance mécanique d'une croûte superficielle	41
a) Module de rupture	
b) Méthode des balances	
c) Système de poulie	
d) Pénétrromètre	
5. Techniques culturales anticroûtantes	44
a) Techniques biologiques	
b) Techniques chimiques	
c) Techniques mécaniques	
B - FORMATION DE CROUTES SUPERFICIELLES SOUS L'ACTION DES PLUIES SIMULEES	47
1. Le simulateur de pluie	47
2. Phases de l'érosion	47
a) Détachabilité	
1) <i>Mécanisme de la détachabilité</i>	
b) Effet de l'énergie cinétique de la pluie sur la détachabilité	
c) Mesure de la détachabilité	
IV.- MÉTHODOLOGIE DES RECHERCHES	51
A - ESSAIS SUR LE TERRAIN	51
1. Choix et localisation des sites d'étude	51
2. Protocole des pluies simulées	53
3. Dispositifs expérimentaux	55
a) L'infiltrromètre à aspersion	
4. Les observations et les mesures	57
a) L'humidité du sol	
1) <i>Indices de KOHLER</i>	
b) L'infiltration, le ruissellement et la détachabilité.	
Principes généraux de dépouillement	
c) Prélèvements micromorphologiques	
d) Mesure de la porosité	
e) Mesure de la résistance mécanique à la pénétration	

B - SYSTEME D'IRRIGATION PAR ASPERSION	62
1. Types de travail du sol	63
a) Labour + pulvérisateur	
b) Chiselage + pulvérisage	
c) Standard	
2. Types d'asperseurs	65
3. Installations des parcelles d'observation	65
C - ESSAIS DE LABORATOIRE	67
1. Construction et mise au point d'un émergéomètre	67
a) Description et fonctionnement de l'appareil	
b) Protocole de l'émergéomètre	
c) L'étalonnage de l'émergéomètre	
2. Déterminations des énergies cinétiques des pluies simulées	69
3. Tests de germination et pénétrométrie	69
V.- RÉSULTATS ET DISCUSSION	73
A - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES DES MICRO-ORGANISATIONS PELLICULAIRES SUPERFICIELLES	73
1. Observations macroscopiques	73
a) Mops formées sous pluies naturelles	
b) Mops formées sous pluies simulées	
2. Observations microscopiques	74
3. Conclusion partielle	75
B - INFILTRATION ET RUISSELLEMENT	76
1. Infiltration	76
a) Stock hydrique du sol	
1) <i>Indice de KOHLER</i>	
2) <i>Pluies d'imbibition</i>	
2. Ruissellement	82
a) Lamme d'eau ruisselée	
b) Rapport entre énergie cinétique et ruissellement	
c) L'influence du mulch	

C - DETACHABILITE	86
1. Turbidité	86
a) Effet de la granulométrie de la surface	
b) Effet de l'énergie cinétique	
2. Indices d'érodibilité (K)	90
3. Effet de la couverture du sol (C)	92
4. Conclusion partielle	93
D - RESISTANCE MECANIQUE A LA LEVEE DE SEMENCES	93
1. Etude de facteurs qui interviennent sur la résistance mécanique	94
a) L'humidité	
b) La texture	
c) L'énergie cinétique	
2. Etude de la levée du riz	99
3. Conclusion partielle	100
E - IRRIGATION PAR ASPERSION	100
1. Les types de traitements	102
2. Types de surfaces	104
3. Types de gicleurs	104
a) Les intensités	
b) Les énergies cinétiques	
1) <i>La taille des gouttes</i>	
2) <i>La vitesse d'impact</i>	
4. Conclusion partielle	108
VI.- CONCLUSIONS	109
1. Rappel des objectifs et conditions de l'étude	109
2. Résultat d'ordre méthodologique	111
3. Conditions de formation et propriétés des pellicules	112
4. Recommandations aux praticiens	115
BIBLIOGRAPHIE	117
ANNEXES	131

## LISTE DES FIGURES

- Figure n° 1 : Localisation géographique de la région d'étude.
- 2 : Analyse fréquentielle et hauteurs de pluies de Katiola.
- 3 : Différents types de formations végétales.
- 4 : Modelé sur granites (Savane).
- 5 : Types d'infiltration avec une intensité de pluie constante.
- 6 : Mécanisme de percement de la croûte superficielle.
- 7 : Système de poulie pour la mesure de croûtes du sol.
- 8 : Plan de situation, blocs CIDT : Tieningboué
- 9 : Plan de situation, blocs SODEFEL, Marabadiassa.
- 10 : Schéma de l'infiltromètre à aspersion.
- 11 : Différents outils expérimentaux : a) tarière ; b) l'Aiguille Proctor ; c) densitomètre à membrane.
- 12 : Dépouillement d'un limnigramme.
- 12 bis : Représentation graphique- type de l'érosion
- 13 : Schéma de distribution des parcelles dans le système d'irrigation par aspersion - bloc M-7, SODEFEL.
- 14 : Emergéometre.
- 15 : Caractéristiques du pot et de la sonde de l'émergéometre.
- 16 : Comparaison entre les énergies cinétiques des pluies naturelles (Abidjan) et simulées (infiltromètre à aspersion), ORSTOM.
- 17 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site I de Tieningboué.
- 18 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site II de Tieningboué.
- 19 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site III de Tieningboué.
- 20 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site IV de Wedala.
- 21 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site V de la SODEFEL.
- 22 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site VI, SODEFEL.
- 23 : Effet de l'énergie cinétique des pluies simulées sur l'intensité d'infiltration ( $F_n$ ), parcelles B et C des sites expérimentaux.
- 24 : Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site I, Tieningboué.
- 25 : Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site II, Tieningboué.

- Figure n° 26 : Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site III, Tieningboué.
- 27 : Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site IV, Wedala.
- 28 : Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site V, SODEFEL.
- 29 : Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site VI, SODEFEL.
- 30 : Effet de l'énergie cinétique de pluies simulées sur l'intensité de ruissellement (Rx), parcelles B et C des sites expérimentaux.
- 31 : Relation entre l'humidité pondérale (Hp), la résistance à la pénétration de la croûte, et la levée des plantules de riz. Sol SODEFEL.
- 32 : Relation entre l'humidité pondérale (Hp), la résistance à l'émergence (émérgeomètre) des trois sites expérimentaux.
- 33 : Relation entre l'humidité pondérale et la résistance à l'émergence pour les différents essais SODEFEL (30 mm/h, 120 mm/h, avec et sous moustiquaire).
- 34 : Distribution des mottes en fonction de la profondeur et des systèmes de préparation du terrain : a) standard ; b) labour ; c) chiselage. SODEFEL, Irrigation par aspersion.
- 35 : Distribution des mottes du sol à la surface du sol (0-5 cm) pour les trois systèmes de préparation du terrain.
- 36 : Caractéristiques de distribution de tailles de gouttes (distances) par chaque gicleur : a) intérieur ; b) médian ; c) extérieur, et hauteur (H) maximale atteinte par l'eau pour chaque gicleur.

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau n° 1 : Caractéristiques des sites expérimentaux.
- 2 : Protocole de pluies à Tieningboué et SODEFEL.
- 3 : Classes granulométriques ; intensités des pluies et énergies cinétiques sous infiltromètre à aspersion. Centre ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire.
- 4 : Paramètres de levée de semences de riz pluvial sous l'influence de la formation de croûtes superficielles.
- 5 : Granulométrie de la couche superficielle (0-5 cm) des sols des différents sites expérimentaux (en %).
- 6 : Déficit de saturation  $\Delta_i$  pour trois tranches de sol : (10, 25 et 50 cm) des profils du sol des sites expérimentaux.
- 7 : Indices statistiques de corrélation entre pluie d'imbibition ( $P_i$ ) et indice d'humectation (Kohler) dans les sites expérimentaux.
- 8 : Lames totales infiltrées et pluies d'imbibition cumulées des sites expérimentaux.
- 9 : Lames d'eau ruisselées, hauteurs de pluies cumulées, dans les différents sites, et leur rapport.
- 10 : Rapport entre la détachabilité, la turbidité (Cx) et le ruissellement (Rx) pour les différents sites expérimentaux, Tieningboué, Wedala, SODEFEL.
- 11 : Relation entre l'énergie cinétique, le ruissellement et la turbidité, corrélation statistique.
- 12 : Comparaison de trois méthodes pour déterminer l'indice de détachabilité : simulateur de pluie, WISCHMEIER, Indice d'instabilité structurale de HENIN.
- 13 : La valeur estimée de l'effet de différentes couvertures du sol (facteur C), moustiquaire, toile ombrière et la bagasse de canne à sucre).
- 14 : Effet de l'énergie cinétique et de l'humidité, sur la résistance de la pellicule superficielle (mesure à l'émergéomètre).
- 15 : Comparaison entre l'humidité de la croûte (% H) au moment de la levée des plantules de riz, la résistance mécanique à la pénétration, abaissement de la surface (z) et l'énergie cinétique.
- 16 : Coefficients de ruissellement ( $L_r/p_u$ ), SODEFEL. Irrigation par aspersion.
- 17 : Résultats de l'analyse de variance de l'irrigation par aspersion, SODEFEL, respectivement pour l'état de surface et le type de gicleur.

Tableau n° 18 : Valeurs moyennes de ruissellement par type de surface.

19 : Intensités réelles (moyennes) calculées pour chaque gicleur.

20 : Diamètre  $D_{50}$  des gouttes de pluie produites par chaque type de gicleur.

21 : Vitesses minimales d'impact pour chaque type de gicleur (m/s).

22 : Valeurs des énergies cinétiques selon chaque type de gicleur ( $J/mm/m^2$ ).

### ANNEXE I

- Note sur l'utilisation du mot croûte.

### ANNEXE II

- Description des profils de sol (sites I, II, III, IV et V).
- Fiches analytiques des profils de sols (sites I, II, III, IV et V).
- Tableau 1 : Données des pluies de la station climatologique du département des cultures vivrières IDESA. Bouaké, Côte d'Ivoire.
- Tableau 2 : Calcul de l'indice d'humectation pour les différents sites expérimentaux.
- Tableau 3 : Protocole d'irrigation par aspersion. SODEFEL, bloc M-7.
- Matériel mobile pour une parcelle (50 x 70) arrosée par le système d'irrigation par aspersion. SODEFEL.
- Figure 1 : Différents types d'arroseurs circulaires (IRRI - FRANCE).

### ANNEXE III

- Données de base de l'infiltromètre à aspersion (six sites expérimentaux).
- Hydrogramme-type montrant les 4 phases de ruissellement (d'après LAFFORGUE, 1976).
- Représentation graphique du solidigramme, le turbidigramme et l'hydrogramme du site III, parcelle B, pluie  $\delta$
- Représentation graphique du solidigramme, le turbidigramme, et l'hydrogramme du site III, parcelle A, pluie  $\Delta$
- Données de ruissellement, par gicleur et par système de préparation du terrain, SODEFEL - ASPERSION.
- Données de la pluie d'irrigation ( $\text{mm/m}^2$ ) mesurée sur un  $\text{m}^2$ . SODEFEL - ASPERSION.
- Vitesse de rotation des gicleurs dans le système d'irrigation par aspersion. SODEFEL.

### ANNEXE IV

- Planche photographique.



## RÉSUMÉ

Ce travail de recherche a été réalisé sur des sols ferrallitiques de Savane de la région nord de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), où la formation de micro-organisations pelliculaires superficielles (Mops) empêche la levée des semences des plantes cultivées.

Deux grands aspects ont été envisagés :

Premièrement, l'influence de la texture de l'horizon superficiel (0-5 cm) dans la formation de Mops, et la relation de cette dernière avec les phénomènes d'infiltration, de ruissellement et d'érosion.

Deuxièmement, l'évaluation pour un système d'irrigation par aspersion, de différents types de préparation du sol et de couvertures du sol à l'égard de la formation de la croûte de battance.

Nous avons choisi six sites expérimentaux localisés dans trois régions : TIENINGBOUE (sites I, II, et III), WEDALA (site IV) et SODEFEL MARABADIASSA (sites V et VI).

Le protocole de simulation de pluie comportait deux intensités de pluie : 30 et 120 mm/h réparties sur quatre étapes avec des temps de ressuyage de 4, 17 et 43 heures, et une lame totale appliquée de 100 mm. Dans chaque site, on a délimité trois parcelles de 1 m<sup>2</sup> sur lesquelles le protocole des pluies précédemment décrit fut appliqué. Les parcelles A, nues, avec 120 mm/h ; les parcelles B, protégées par une moustiquaire, avec le même régime de pluies que les parcelles A ; les parcelles C, nues, et avec 30 mm/h. Dans le cas du site VI (SODEFEL), les parcelles A et C furent protégées avec de la bagasse de canne à sucre (1.3 kg/m<sup>2</sup>) et la parcelle B par une toile ombrière, avec un même régime de pluies que pour les sites précédents.

En plus de la description des profils du sol, sur chaque site expérimental, les principales mesures et observations furent les densités apparentes et réelles, la variation du front d'humectation du profil (chaque 5 cm), le prélèvement d'échantillons des produits du ruissellement et la micro-morphologie (lames minces). Au laboratoire, on a déterminé les valeurs des énergies cinétiques des pluies simulées, et utilisé le pénétromètre et l'émergéomètre pour mesurer la résistance mécanique à la pénétration et à la rupture de la croûte de battance formée artificiellement.

Dans le cas de l'irrigation par aspersion, on a sélectionné une parcelle de 70 m x 50 m, où l'on a essayé trois types de préparation du sol (standard, labour et chisel), deux états de la surface du sol (nue et avec paillage de bagasse de canne à sucre) et trois gicleurs (trois intensités d'aspersion).

L'analyse de l'ensemble des essais a donné les résultats suivants :

La granulométrie de la surface du sol joue un rôle assez important dans la formation de Mops, étant donné que les textures les plus équilibrées (sites IV et V) sont celles que forment les croûtes de battance les plus épaisses et continues. Les gravillons à la surface du sol dissipent l'énergie cinétique de la pluie ce qui se traduit par une diminution du tassement de la couche superficielle (sites I, II et III).

Les différentes couvertures du sol ont différents effets sur l'infiltration, le ruissellement et l'érosion, selon qu'elles touchent ou non la surface du sol. Quant à la détachabilité, l'efficacité fut respectivement de 98,7 %, 95 % et 69 % pour le paillage de bagasse de canne à sucre, la toile ombrière et la moustiquaire.

Le degré de résistance mécanique à la pénétration et à la rupture (émergéomètre) des Mops est expliqué dans la plupart des cas par le facteur humidité.

En ce qui concerne le ruissellement et la formation d'une pellicule superficielle, aucune différence en relation avec le mode de préparation du sol n'a été constaté. Par contre la couverture du sol et le type de gicleur entraînent les différences suivantes : les sols protégés avec paillage ont un coefficient de ruissellement de 1 % par rapport aux sols nus, et le gicleur A donne les meilleurs résultats sur le site SODEFEL quant - à l'indice d'instabilité structurale.

## ABSTRACT

This research work was done in the North Central Region Ivory Coast (West Africa) on the ferralitic soils of Savane, where the formation of surface crust is found to be a mechanical impedance to seedling emergence of cultivated plants.

Two important aspects were considered in the planning of this experiment :

First, the influence of the soil surface texture (layer 0-5 cm) in the formation of the soil crust and its relationship to the infiltration, runoff and erosion processes of simulated rainfall ; and second, an evaluation system of the sprinkler irrigation, three tillage treatments and the surface residues (mulch) in relation with the formation of soil crusting.

For this study six experimental sites located in three regions were selected : TIENINGBOUE (sites I, II and III), WEDALA (site IV) and SODEFEL MARABADIASSA (sites V and VI).

The simulated rainfall programme included two rain intensities 120 and 30 mm/h, which were divided into four runs separated by intervals of 4, 17 and 43 hours between the subsequent runs, the height of rainfall by plot was 100 mm. In each experimental site three plots were established of one mt sq. each ; to which the simulated rainfall programme mentioned above was applied. The plots "A" category without surface covering and rainfall of 120 mm/h intensity ; the plots "B" category covered by the fly net material with the same rain intensity as "A" ; the plots "C" category without covering and under a simulated rainfall of 30 mm/h. In the experimental site VI (SODEFEL) the plots A and C were covered with the residue mulching of sugar cane (1.3 kg/m<sup>2</sup>) and the plot B was covered with a net of synthetic material (50 % of net density), keeping the same consistency of rainfall for the previous sites.

The main measures and observation, besides that of the soil profil description in each experimental site, were the dry bulk density and total bulk density, variations of the amount of water contained in the soil (each 5.0 cm), sampling of runoff water and micromorphological study of the soil crust (thin sections).

In the laboratory, the values kinetic energy of the simulated rainfall were determined, the penetrometer and the calibrate probe were used for measuring crust strength artificially formed, and the germination and emergence of the seed rice under crusted soil conditions.

In the case of the sprinkler irrigation, the plot size was 70 m by 50 m in which three different tillage treatments (standard, chiseling, and disking), two conditions of soil surface (bare soil and sugar cane mulch) and three sprinkler-applications rates (5.0, 10.0 and 15 mm/h) were experimented.

From the analysis of the variables tested the principal conclusions are as follows :

The mechanical composition of the soil surface layer, plays an important role in the formation of the soil crusting, being the franc texture (sites IV and V) that form the heaviest uniform crust of the soil ; the gravel and stone on the soil surface avoids the kinetic energy of the simulated rainfall, meaning the reduction of the soil surface compaction (sites I and III).

The different covering of the soil have different effects in the infiltration rate and reduction in soil loss, regardless of weather they touch the soil's surface or not. The efficiency in the reduction for the soil's detachment particles was 98 % for the mulch of sugar cane, 95 % for the synthetic net and 69 % for the fly net material.

The soil crust strength measured in constant rate penetration test is highly dependent on the soil-water content, in the soil from site V (SODEFEL), the crust strength decreased up to a moisture content of 7.0 % and decreased gradually thereafter, the values of the calibrate probe and the penetromètre resistences were 11 and  $47 \times 10^5$  dynes respectively.

The statistics of different tillage treatments have not significant relation to the infiltration and runoff phenomena ; but the type of sprinkler and the states of the soil's surface are significant in explaining the differences of these phenomena.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación fué realizado en la región centro norte de Costa de Marfil (Africa del Oeste) en suelos ferralíticos de sabana, donde la formación de una costra superficial impide la emergencia de plantas cultivadas.

Dos grandes aspectos fueron considerados en el desarrollo de éste estudio :

Primeramente : la influencia de la textura de los primeros 5 cm de la superficie del suelo en la formación de la costra del suelo y su relación con los fenómenos de infiltración, escurrimiento y erosión ; en segundo lugar, la evaluación de un sistema de irrigación por aspersion, diferentes tipos de preparación del suelo y coverturas de la superficie del mismo, en relación al encostramiento superficial.

Para tal efecto, se seleccionaron 6 sitios experimentales ubicados en tres regiones : TIENINGBOUE (sitios I, II y III), WEDALA (sitio IV) y SODEFEL MARABADIASSA (sitios V y VI).

La formulación del programa de simulación de lluvias comprendió dos intensidades, 120 y 30 mm/h repartidas en cuatro etapas con intervalos de tiempo entre ellas de 4, 17 y 43 horas, la lámina total aplicada por parcela fué de 100 mm.

En cada sitio experimental, se establecieron tres parcelas de 1 m<sup>2</sup>, a las cuales se les aplicó el programa de simulación de lluvia descrito precedentemente. Las parcelas A, sin cobertura y una intensidad de 120 mm/h ; las parcelas B, cubiertas por una tela de mostiquero y mismo régimen de lluvias que A ; la parcelas C, sin cobertura y una intensidad de 30 mm/h. En el sitio experimental VI (SODEFEL) las parcelas A y C se cubrieron con bagazo de caña de azúcar (1.3 kg/m<sup>2</sup>) y la parcela B se cubrió con una malla de fibra sintética (50 % de densidad de malla) conservándose el mismo programa de simulación que para los sitios precedentes.

Las principales medidas y observaciones además de la descripción de los perfiles del suelo en cada sitio experimental, fueron las densidades aparentes y reales, variaciones del frente de mojado del perfil (cada 5 cm), muestreo del escurrimiento, y muestras para el estudio micromorfológico de la costra superficial (Láminas delgadas). En el laboratorio, se determinaron los valores de las energías cinéticas de las lluvias simuladas y se utilizaron el penetrómetro y el emergeómetro para medir la resistencia mecánica a la penetración y a la ruptura de la película superficial formada artificialmente.

En el caso de la irrigación por aspersion se seleccionó una parcela de 70 x 50 m donde se probaron tres formas de preparación del suelo (standard, barbecho profundo y cinceleo), dos estados de la superficie del suelo (desnuda y mulch de caña de azúcar), y tres tipos de aspersores (5, 10 y 15 mm/h intensidades de aspersion).

Del análisis conjunto de las variables ensayadas se obtuvieron los resultados siguientes :

La granulometría de la superficie del suelo juega un papel preponderante en la formación de las costras superficiales siendo las texturas francas (sitios IV y V) las que forman las películas de mayor espesor (3 mm) y continuas; los gravillones de la superficie del suelo disipan la energía cinética de la lluvia lo que se traduce en una disminución de la compactación de la capa superficial del suelo (sitios I y III).

Las diferentes coberturas del suelo tienen diferentes efectos en la infiltración, reducción del escurrimiento y la erosión, según toquen o no la superficie del suelo. La eficiencia en la reducción de la erosión fue de 98 % para el mulch de bagazo, 95 % para la malla sintética y 69 % para la tela de mosquero.

El grado de resistencia a la penetración y al rompimiento de las costras superficiales formadas artificialmente en el laboratorio, es explicado en su mayor parte por el factor humedad.

Estadísticamente no existe ninguna diferencia significativa entre los diferentes métodos de preparación del suelo en relación a los fenómenos de infiltración y escurrimiento, son los aspersores y los estados de la superficie del suelo los que explican la diferencia de esos fenómenos.

## I.- INTRODUCTION

### A - IMPORTANCE

La complexité des problèmes que l'agriculture moderne doit affronter amène les pédologues à faire des études sur des aspects particuliers. Mais ces recherches doivent être correctement basées sur les réalités agricoles, pour le choix des sujets comme pour l'expression des résultats.

Dans cette optique et avec le concours des agronomes de l'O.R.S.T.O.M. (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer), de la SODEFEL (Société de Développement des Fruits et Légumes), et de la C.I.D.T. (Compagnie Ivoirienne de Développement du Textile) de Bouaké (Côte d'Ivoire), qui ont détecté le phénomène, j'ai étudié la formation d'une croûte de battance en surface des sols ferrallitiques de Savane, dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Cette croûte superficielle empêche la levée de plantules cultivées telles que : Maïs, Coton, Riz, Carottes, etc...

Le phénomène de battance, depuis longtemps mis en évidence (DULEY, 1939), suscite un regain d'intérêt à l'heure actuelle, à cause de la baisse de production des cultures qu'il entraîne et de ses effets spectaculaires sur les phénomènes d'infiltration, de ruissellement et d'érosion. Il faut chercher de nouvelles méthodes d'étude pour le caractériser et mettre au point des dispositifs qui diminuent ses effets.

### B - OBJECTIFS

Dans l'ensemble de ce travail, nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

1. Connaître l'influence de la texture de l'horizon superficiel et de l'énergie cinétique des pluies sur la formation de croûtes de battance en surface de ces sols ferrallitiques et ses effets sur la levée de plantules en utilisant la simulation de pluies.
2. Caractériser les paramètres hydrodynamiques d'infiltration, de ruissellement, et de détachabilité des mêmes sols grâce à la pluie simulée.
3. Evaluer l'effet de différentes façons culturales, préparation et couverture du sol, sur la réduction de l'encroûtement.

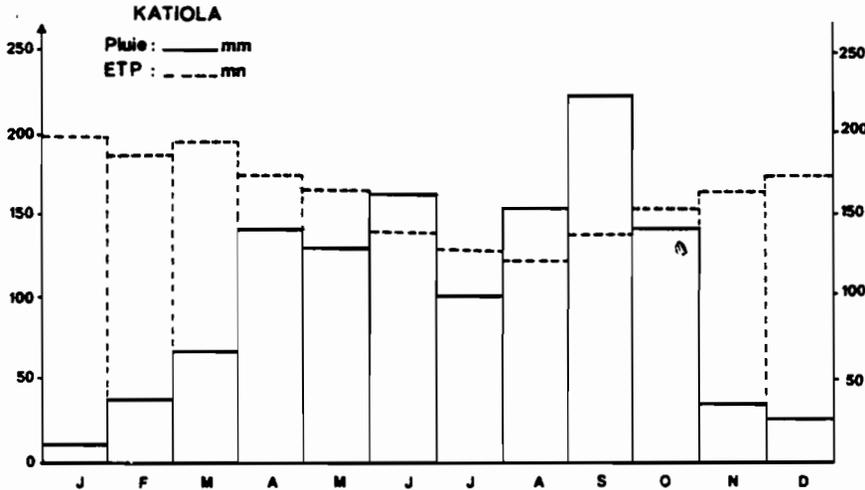
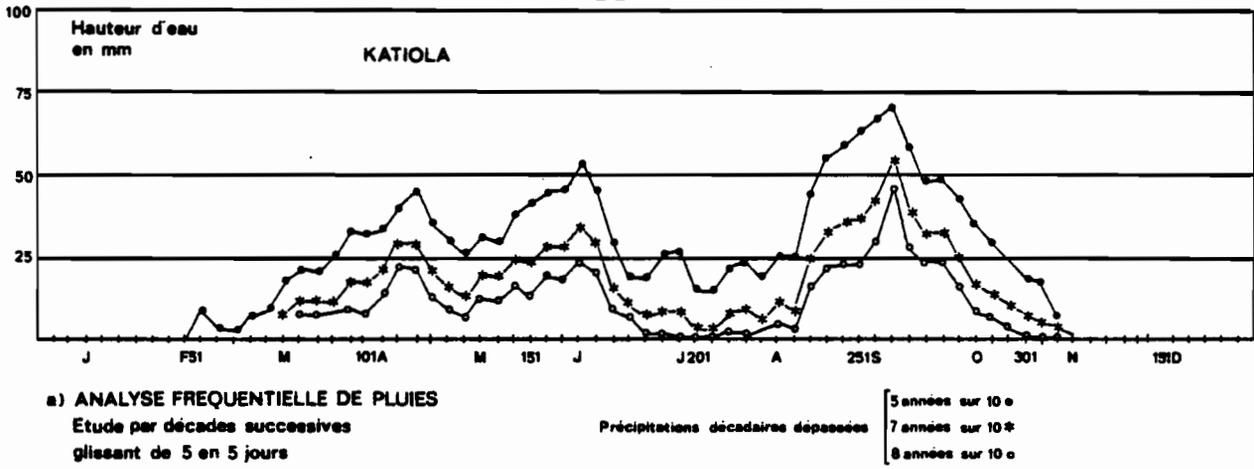
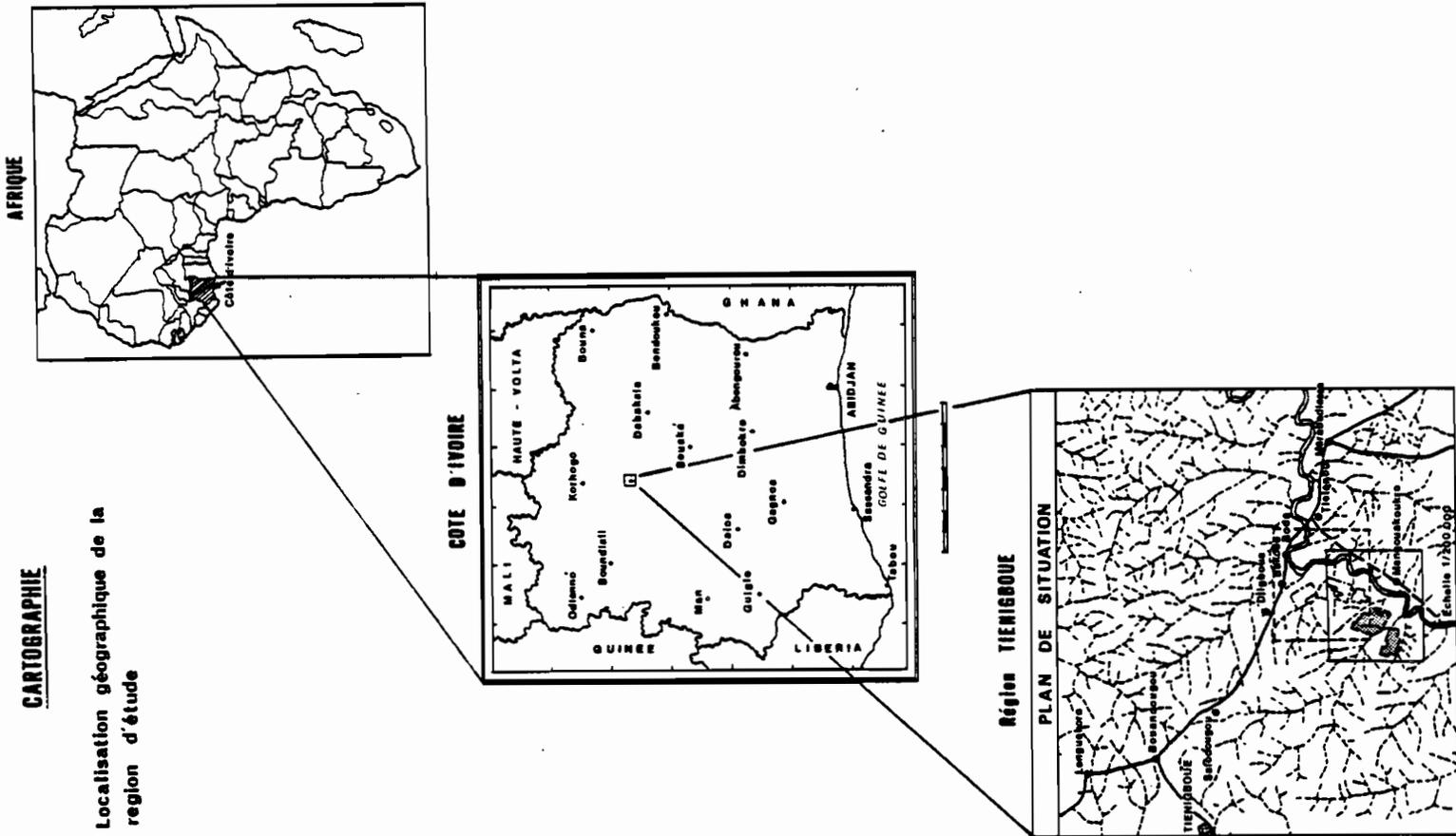


Fig 2 ANALYSE FREQUENTIELLE ET HAUTEURS DE PLUIE



---

## II.- CARACTÉRISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

---

### A - LES CARACTERES GENERAUX

---

#### 1) Le climat

Il n'existe pas de station pluviométrique dans la zone d'étude (Marabadiassa - Tieningboué - Wedala), (fig. 1), qui nous permette de caractériser de manière précise les variations climatiques. Pour cela, nous avons repris les données des villes voisines : Katiola et Bouaké.

D'après ELDIN (1971), le climat de la région de Savane, au Nord de la Côte d'Ivoire, ne présente qu'une seule saison de pluies. Elle a son maximum d'intensité en Août. La durée de la saison sèche est de 5 à 8 mois avec augmentation de sa durée entre les 8ème et 11ème degrés de latitude Nord.

La distribution des pluies dans la région étudiée est très proche de celle du secteur sub-soudanais. Il pleut en moyenne 1 250 mm/an (Isohyetes 1200 - 1300). Les précipitations augmentent vers le Sud et l'Ouest en direction de la Guinée. Les mois les plus arrosés allant de Juin à Septembre. La saison sèche, de Novembre à Mars, est marquée ; et l'E.T.P. élevée (fig. 2). A Katiola, le déficit hydrique de la saison sèche est compris entre 450 et 600 mm ; les moyennes mensuelles de température de l'air sont comprises entre 24°C et 28°C.

Quelle que soit l'échelle de temps envisagée, la pluviométrie se présente comme un phénomène dont la caractéristique essentielle est d'être aléatoire. La hauteur d'eau tombée en un lieu donné pendant une période déterminée est très rarement la même d'une année à l'autre, et les écarts peuvent être importants pour les cultures.

D'un point de vue pédologique, ce climat se traduit par une activité pédogénétique typiquement ferrallitique.

#### 2) La végétation

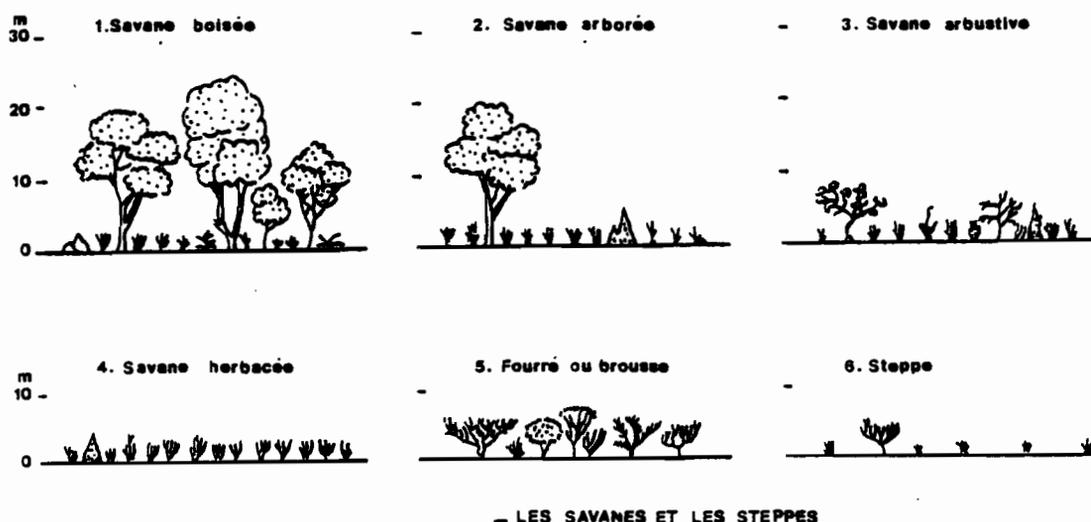
Les  $322 \times 10^3$  km<sup>2</sup> qui constituent le territoire de la Côte d'Ivoire sont divisés en deux unités physiologiques que sont la forêt et la savane. Cette dernière occupe  $210 \times 10^3$  km<sup>2</sup> (65,2 % du total). GUILLAUMET et al. (1971) ont subdivisé la Côte d'Ivoire en domaines et secteurs basés non seulement sur les formations prédominantes dans le paysage, mais aussi sur la dynamique actuelle. La zone étudiée se situe dans le domaine soudanais, secteur sub-soudanais, où on trouve 5 types de formations végétales :

- savane arborée et arbustive
- zones cultivées
- savane boisée et forêt claire
- galeries forestières
- forêt dense sèche.

Le terme savane est un mot des indiens caraïbes qui désignait simplement les étendues non forestières. Il a été appliqué notamment en 1935, aux "Ilanos" du Venezuela (DEMANGEOT, 1976).

Du point de vue floristique, la savane a donc son originalité, et c'est la proportion de végétaux ligneux et herbacés qui permet de subdiviser la savane en (fig. 3) :

- savane herbacée. Elle est essentiellement composée d'un tapis herbacée continu sans ralentissement saisonnier bien net, qui couvre uniformément le sol. Mais celui-ci n'est pas encombré de racines, de telle sorte que l'eau de pluie peut ruisseler librement.
- savane boisée ou forestière. Elle a une strate arborée relativement fermée au-dessus du tapis herbeux.



**FIG. 3 : DIFFERENTS TYPES DE FORMATIONS VEGETALES**  
De 1 à 4: savanes de climat tropical ou équatorial; 5 à 6 :  
formations de climat semi-aride. (D'après DEMANGEOT 1976)

- Savane arborée. Les arbres et les arbustes y sont disséminés.
- La forêt dense et sèche comprend un peuplement fermé pluri-straté, de stature moins élevée qu'en savane boisée. La plupart des strates supérieures perdent leurs feuilles (GUILLAU-RET (1971)).
- Les galeries forestières occupent les rives de certains marigots de façon discontinue. La structure du couvert végétal comporte 3 strates : une strate arborescente haute (30 m), une strate arborescente moyenne et une strate herbacée peu développée.

Du fait de la demande croissante en terre, cette région est de plus en plus défrichée.

### 3) Géologie et Géomorphologie

La géologie de la zone est peu complexe, on trouve dans toute la région étudiée un substratum formé de granites type "baoulé" dont l'altération fournit des arènes sablo-argileuses à argilo-sableuses, riches en sables grossiers et pauvres en limons. Ces arènes renferment fréquemment à faible profondeur des débris de roches en cours d'altération (BLIC, 1976).

Les granites de types baoulé sont représentés par un faciès à biotite ou à deux micas. Ils sont caractérisés par de très nombreux filons de pegmatite. Des granites enrichis en minéraux ferromagnésiens ont une répartition aléatoire à l'intérieur des granites plus leucocrates (IRIS, 1982).

Géomorphologiquement, la zone étudiée appartient aux plateaux du nord, avec des surfaces très aplanies, mollement ondulées. Les glacis sur granite (ou migmatites) présentent des formes moins rigides que sur les schistes et des lignes plus fuyantes (AVENARD, 1971).

Le modelé de cette région est faiblement ondulé et caractérisé par de larges interfluves à sommets plans ou plus souvent plans-convexes. Les versants se divisent généralement en deux parties, un versant supérieur légèrement convexe et un versant inférieur concave, présentant un colluvionnement plus ou moins épais de sables (fig. 4).

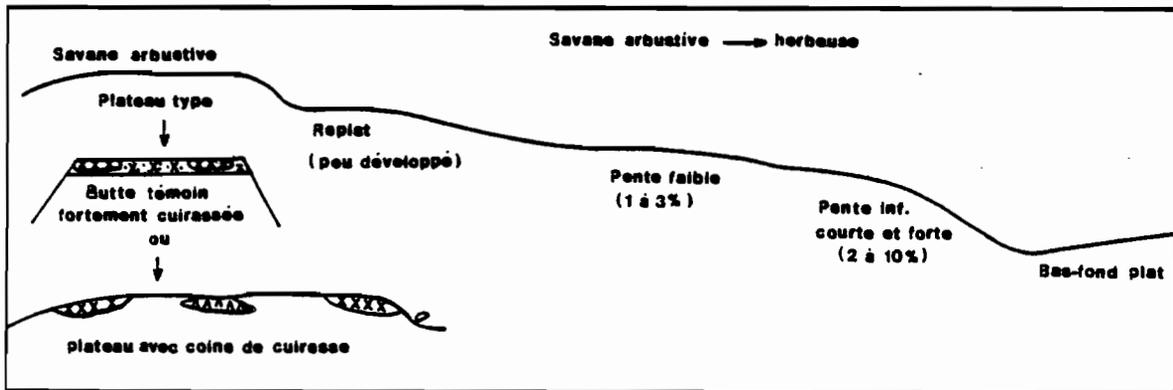


Fig 4 MODELE SUR GRANITES (SAVANE)

D'après AVENARD 1971

Les pentes toujours faibles ne constituent pas un obstacle à l'implantation de cultures mécanisées. En zone de savane et pour des cultures vivrières, l'érosion commence avec des pentes de 0,5 %. Celles-ci ne sont considérées comme fortes qu'à partir de 5 % (IDESSA - CIDT, 1981).

#### 4) Les sols

Les sols ferrallitiques, moyennement désaturés, occupent la plus grande partie de la région étudiée. Le groupe des sols remaniés gravillonnaires est le plus fréquent. L'induration est importante. La dégradation due aux cultures se traduit par un enrichissement en éléments grossiers et un appauvrissement en argile. Leur répartition dans le paysage peut être estimée de la façon suivante (PERRAUD, 1971).

- Sur les plateaux et les sommets d'interfluves, les sols typiques dominent, souvent appauvris ou remaniés, parfois rajeunis.
- Sur les versants supérieurs, prédominance des sols remaniés avec un recouvrement épais de 10 à 50 cm au-dessus d'un horizon fortement gravillonnaire et graveleux ; rajeunissement et appauvrissement fréquents.
- Sur les versants supérieurs, se développent surtout des sols peu évolués et des sols ferrallitiques appauvris hydromorphes sur colluvions sableux à sablo-argileux.

Les surfaces cultivées sont marquées par un appauvrissement très net et quasi général en éléments fins dès les 20 premiers centimètres.

L'activité des termites se traduisant par un mélange du sol et de la matière organique des différents horizons, ainsi que leur effet sur les propriétés physiques, comme par exemple l'infiltration, ont été mis en évidence (MALAKA, 1977).

## 5) L'activité anthropique

La densité moyenne de la population est de 10-15 habitants au km<sup>2</sup>. Les principales ethnies de la région sont les Malinkés, les Senoufos et les Baoulés. Les premiers occupent les villages le long de l'axe Tieningboué - Mankono. Les autres, moins représentés, ont émigré du Nord et de l'Est de la Côte d'Ivoire.

Le Coton constitue la culture principale du fait de l'influence de la Compagnie Ivoirienne de Développement du Textile (C.I.D.T.). L'igname, le maïs, et l'arachide sont également cultivés.

Les paysans défrichent de petites parcelles situées autour des villages qu'ils laissent en jachère après un certain nombre d'années de culture. Les façons culturales sont essentiellement manuelles, malgré les efforts de la C.I.D.T. pour promouvoir la culture attelée. Des tentatives sont également réalisées pour une mécanisation légère limitée au travail du sol.

Les défrichements et l'utilisation du feu pratiqués par les agriculteurs locaux aboutissent à un appauvrissement de la flore originelle et à une chute de la fertilité du sol (GUILLAUMET (1971)).



---

### III.- ANALYSE DU SUJET PAR LA BIBLIOGRAPHIE

---

#### A - LES CROÛTES

##### 1) Définitions des termes

La terminologie employée pour dénommer la formation d'une couche dure à la surface du sol a évolué à mesure que les chercheurs ont pu distinguer les différents processus qui interviennent dans sa constitution.

Le terme le plus généralement utilisé est celui de "croûtes du sol" (soil crust). Les francophones utilisent l'expression "croûte de battance" pour désigner le résultat de l'effet de la pluie sur la dégradation de la structure du sol quand le terrain est découvert (HENIN, 1969 ; BOIFFIN et SEBILLOTTE, 1976).

The Resource Conservation Glossary (1976) définit la croûte du sol (Soil crust ou surface crusts) comme une couche sèche superficielle du sol qui est plus compacte, plus dure et plus fragile que le matériel sous-jacent.

De nombreux auteurs considèrent la croûte du sol comme le résultat d'un phénomène de compaction. LEMOS et LUTZ (1957) ; CRHON (1971) ; CHANCELLOR (1971) ; HARRIS WIL (1971) ; TEYLOR (1971) ; BUSCH et ROCHESTER (1977) ; HEGARTY et ROYLE (1978).

LULL, cité par ORR (1975) définit la compaction du sol comme le rapprochement de particules du sol sous l'effet d'une force instantanée exercée sur la surface du sol. Il en résulte une augmentation de la densité apparente du sol et une diminution de l'espace poral.

CHANCELLOR (1971) fait la distinction entre compaction dynamique et compaction statique. Il considère le premier cas comme une déformation physique (tension volumétrique) et le deuxième cas comme une résistance et une augmentation de la densité apparente. Dans le cas de la compaction dynamique, la résistance du sol (soil strength) a été mesurée par l'intensité d'une force nécessaire pour amener le sol à un même niveau de densité apparente. La densité apparente est seulement un des paramètres utilisés pour mesurer l'état de compactage du sol. La résistance de la surface du sol est généralement évaluée par la force minimale nécessaire au percement de la croûte.

Traditionnellement, le terme compaction est utilisé en mécanique des sols, pour exprimer le degré de compression d'un volume du sol non saturé par la réduction de son volume d'air. Le terme consolidation signifie la compression d'un sol saturé par la réduction de son volume d'eau (HILLEL, 1982).

ARNDT (1965a), conscient du problème de terminologie, a essayé de le clarifier. Selon lui, la couche mince formée à la surface du sol est une conséquence de la désagrégation et de la réorganisation des unités structurales sous l'effet de la pluie. Bien que la densité apparente de cette couche mince puisse être relativement élevée, elle n'est pas nécessairement comparable à la couche dense superficielle produite par compaction mécanique. Il l'appelle "pellicule" (seal soil), c'est-à-dire une couche mince à porosité très réduite qui "scelle" la surface. Lorsqu'elle est sèche, elle tend à se contracter et à se fragmenter jusqu'à un certain point, qui dépend du type de sol et de la teneur en argile. Lorsque ce retrait et cette fragmentation sont faiblement développés, ARNDT la désigne comme "croûte". Par contre, s'ils sont bien développés, il l'appelle surface "self mulche", c'est-à-dire "auto-mulch".

Le tassement ou compaction d'un sol se traduit par une réduction de la porosité. Il est accompagné en outre d'une réduction de l'aération et de l'infiltration. De plus, la diminution du nombre et de la taille des pores constitue un obstacle mécanique à la pénétration des organes végétaux.

Plus récemment, VALENTIN (1981) a proposé d'utiliser l'expression pédologique, "micro-organisations pelliculaires superficielles" abrégée en MOPS. Il s'agit de traits laminaires d'épaisseurs très réduites, de l'ordre du millimètre à la surface du premier horizon pédologique d'un sol.

Parmi les agronomes français, le terme "croûte de battance" est d'un usage général, et il sera utilisé ici chaque fois qu'il ne prête pas à confusion (cf. en annexe I, d'après une courte revue bibliographique sur les différents sens que peut prendre en pédologie le mot croûte).

## 2) Processus de formation

D'après LEMOS and LUTZ (1957) et COHRON (1971), deux types de facteurs interviennent lors de la formation des croûtes de battance :

- 1) Les caractéristiques intrinsèques du sol : physiques, chimiques, bio-chimiques et microbiologiques ;

2) Les facteurs externes : ce sont tous ceux qui ont une action directe à la surface du sol. On peut les classer en deux catégories :

- α) facteurs naturels, la pluie, le gel, le vent, etc.
- β) facteurs anthropiques.

a) Facteurs naturels : la pluie

La pluie, cause naturelle de compaction du sol, a été l'objet de nombreuses études. Les paramètres physiques les plus importants pour expliquer l'action de la pluie à la surface du sol sont : son intensité (mm/h), son énergie cinétique EC, et sa distribution saisonnière. COHRON (1971) a trouvé une augmentation de 15 % de la densité de la couche superficielle sur 2,5 cm d'épaisseur, attribuable à ce facteur. Une pluie de 50 mm/h sur un hectare a une énergie cinétique de 27,224 kilogrammètres par millimètre F.A.O. (1967).

Dans notre étude, nous n'envisagerons que la formation de croûtes sous l'effet de pluies simulées (utilisation d'un infiltromètre à aspersion).

b) Facteurs anthropiques

Outre le domaine des travaux publics et de l'urbanisme, l'homme intervient considérablement sur l'évolution de la surface du sol : techniques agricoles (défrichement, machines agricoles lourdes, etc.), et pratiques pastorales (piétinement, surpâturage).

L'évolution de la compaction du sol causée par le piétinement des animaux est extrêmement complexe, car il faut envisager plusieurs facteurs tels que les propriétés physiques du sol de toute l'aire de pâturage, la quantité, le taux et le temps de la charge, la forme et la dimension des sabots des animaux, etc. Un exemple de ce dommage a été quantifié par TANNER et MAMARIL, qui ont montré que le pâturage des animaux augmente la densité de la surface du sol de 1,22 à 1,43 g/cm<sup>3</sup>. Ces valeurs correspondent à une diminution de la porosité du sol de 17,3 à 7,2 % et à une augmentation de la résistance à la pénétration de 3,2 à 19,5 bars.

c) Mécanismes de formation des croûtes à la surface du sol

Le mécanisme de formation comporte quatre étapes selon Mc INTRY (1958) ; EVANS (1968) et PAGLIAI (1979) :

- a) fragmentation des agrégats du sol par le choc des gouttes de pluie ;
- b) pénétration des particules fines dans les premiers millimètres du sol et leur dépôt dans les interstices.
- c) Compaction de la surface du sol qui forme une mince pellicule en surface, . réduit l'infiltration de l'eau et bloque la pénétration ultérieure des particules fines dans les interstices.
- d) dépôt des particules fines en suspension dans l'eau, restées à la surface.

La rigidité, après séchage, de la croûte ainsi formée dépendra de l'aire de contact et de la force impliquée entre les particules, ainsi que de leur orientation.

Mc INTRY (1958) a trouvé que la croûte est constituée de deux parties : une fine pellicule superficielle (skin seal) d'une épaisseur de 0,1 mm due à l'impact de la goutte de pluie ; et une zone de lessivage (washed-in) d'une épaisseur de 2,0 mm accompagnée d'une diminution de la porosité due au mouvement et à l'accumulation des particules fines, ces deux parties ont été étudiées dans le travail de CHEN et al.(1980) et EVANS (1968). -

Dans la région d'Agadez (Niger), VALENTIN (1981) montre l'existence de trois types d'organisation pelliculaire superficielle (O.P.S.) qu'il appelle Reg, Sab et Arg, selon la présence ou non de différents matériaux grossiers, et leurs caractéristiques. Il a utilisé différentes échelles d'observation, macro et microscopiques, optiques et électroniques, et montre que l'O.P.S. est constituée par la succession de trois micro-horizons : un micro-horizon sableux discontinu de 1 mm d'épaisseur, un micro-horizon continu, argileux, à porosité vésiculaire de 2 mm d'épaisseur, et un micro-horizon continu sableux, massif.

### 3) Conséquences et contraintes de la croûte superficielle

Les effets néfastes de la croûte sur les propriétés agricoles d'un sol sont assez complexes et variables. HILLEL (1960) les a classées en deux types : effets directs et indirects.

- a) Les effets directs sont ceux qui empêchent la croissance des végétaux par obstruction mécanique à la germination et à la levée des plantules, et par réduction du développement des racines.
- b) Les effets indirects sont ceux qui influencent les processus défavorables au sol : la diminution du taux d'infiltration, l'augmentation du ruissellement, l'érosion et la diminution de l'activité des micro-organismes.

Il faut aussi tenir compte du rôle que joue la croûte superficielle dans l'évaporation, BRESLER (1970) et dans le mécanisme d'aération du sol, DOMBY (1956).

L'influence de la croûte du sol se résume en une modification des rapports SOL - EAU - AIR - PLANTE et de leurs interactions.

a) L'effet de la formation de croûte sur l'infiltration et le ruissellement

1) L'infiltration

L'eau arrive à la surface du sol sous forme de pluies ou d'irrigation, cette eau est absorbée par le sol ; le processus de pénétration de l'eau dans le sol par flux descendant à travers toute ou partie de la surface du sol est appelé INFILTRATION. Donc, l'infiltration est un phénomène d'entrée et de circulation de l'eau dans un milieu poreux.

Il n'y a pas lieu d'effectuer ici une analyse exhaustive de la théorie du mouvement de l'eau dans le sol. On se reportera aux travaux de PHILIP (1957 a, b, c, d, et e), et PARLANGE (1972 a, b, c et d), qui ont étudié et modélisé le phénomène d'infiltration par analyse mathématique. La nécessité d'évaluer plus facilement la variation dans le temps de l'intensité d'infiltration dans le sol, tantôt en hydrologie, tantôt en Agronomie, a obligé les chercheurs à développer des formules empiriques concernant les flux en milieu poreux non saturé.

L'intensité d'infiltration d'un sol est définie comme le flux d'eau entrant dans le profil, par unité de surface du sol (HILLEL, 1982). L'infiltration est exprimée normalement en unité de longueur (hauteur d'eau) par unité de temps (exemple : cm ou mm/h).

D'un point de vue hydrologique, l'infiltration représente un transfert d'eau à travers la surface du sol. La cinétique de ce transfert par rapport à celle des apports, permet d'estimer la part de la pluie ou de l'irrigation qui s'infiltré et la part qui ruisselle.

Selon HILLEL (1982), l'infiltration dépend des facteurs suivants :

- a) Durée de la pluie ou de l'irrigation. Généralement, l'intensité d'infiltration, maximale à son début, décroît, puis tend à se stabiliser à une certaine valeur caractéristique du sol étudié.
- b) Humidité initiale.
- c) Conductivité hydraulique
- d) Caractères de la surface du sol. Lorsque la surface du sol est très poreuse, l'infiltration est grande ; à l'inverse, la présence d'un niveau compact recouvert d'une croûte superficielle de faible conductivité réduit le taux d'infiltration.

La croûte joue le rôle d'une barrière hydraulique.

- e) La présence d'horizons à faible perméabilité au sein du profil, formes de matériaux différants par leur texture ou leur structure peuvent limiter ensuite les mouvements verticaux d'eau dans le sol.

Selon les caractéristiques de la pluie et du sol, l'infiltration se présente sous différentes formes. Pour une intensité constante de pluie, il existe 4 types d'infiltration, JAMES (1976) et SPACK (1981) ; cf. fig. 5.

#### - Infiltration type A

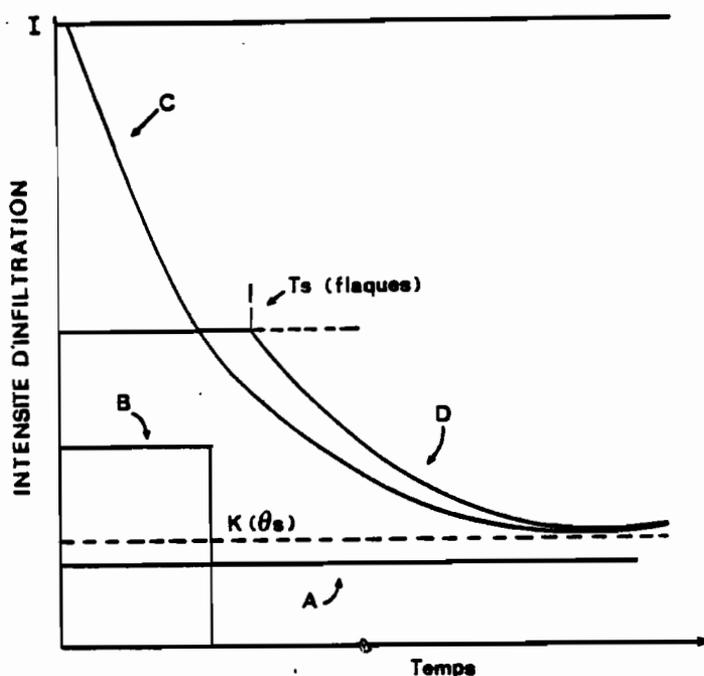
Dans ce cas, il n'y a pas d'excès d'eau à la surface, ni de ruissellement, car l'intensité est inférieure à la conductivité hydraulique en milieu saturé ( $K(\theta_s)$ ).

#### - Infiltration type B

Elle n'entraîne pas de ruissellement à la surface du sol à cause de la courte durée de la pluie.

#### - Infiltration types C et D

Il y a ruissellement à la surface du sol. Le type C correspond à une intensité suffisante pour former les flaques ( $T_s$ ) à la surface dès le commencement de la pluie. Le type D existe lorsque la capacité d'infiltration (intensité maximale à laquelle l'eau peut s'infiltrer pendant un temps donné) est supérieure à l'intensité initiale de pluie, mais diminue pour devenir inférieure après un certain temps.



**FIG.5: TYPES D'INFILTRATION AVEC UNE INTENSITE DE PLUIE CONSTANTE (D'après JAMES et LARSON 1976)**

2) Transfert de l'eau dans un sol encroûté

Dans une étude des caractères de la surface du sol qui influencent la vitesse d'absorption de l'eau par le sol, DULEY (1939) cité par PARR (1960), a observé que certains sols, sous l'action de la pluie, forment une mince pellicule compacte à leur surface et que celle-ci empêchait le passage de l'eau à l'intérieur du sol. A la suite de son travail, plusieurs auteurs ont constaté et caractérisé ce phénomène, HILLEL (1964), BISAL (1967), MOLDENHAUER (1969), HILLEL and GARDNER (1969), EDWARDS (1969), SEGNER (1970), HILLEL and GARDNER (1970), FARRELL (1972), KUTILEK (1974), RAATS (1974), EDWARDS et al. (1980).

L'analyse du phénomène d'infiltration en présence d'un problème d'encroûtement à la surface du sol peut être envisagée sous deux points de vue : infiltration en régime permanent, et infiltration en régime transitoire.

**- Infiltration en régime permanent :**

RAATS (1974) présente une méthode graphique simple qui permet d'analyser l'infiltration en régime permanent dans un sol avec une croûte. Ses résultats montrent clairement que la réduction du taux d'infiltration due à une croûte dépend des propriétés hydrauliques du sol en-dessous. Il montre en plus que toute combinaison croûte/sol peut être caractérisée par un simple paramètre qui est égal à la valeur négative du rapport du produit de la résistance de la croûte par la charge critique du sol sur la conductivité hydraulique saturée du sol.

KUTILEK (1974) arrive à la même conclusion que RAATS en disant qu'il existe à la limite de l'inter-couche une résistance hydraulique additionnelle. Le régime d'infiltration permanent diminue avec l'augmentation de la résistance hydraulique de la croûte ; de même, l'humidité de la zone de transmission diminue avec l'augmentation de la résistance hydraulique de la croûte.

HILLEL and GARDNER (1964) et HILLEL (1964) ont mesuré l'intensité d'infiltration en régime permanent en utilisant des croûtes produites artificiellement en colonnes d'agrégats stables à l'eau.

Les conditions de régime permanent exigent que le flux à travers la croûte ( $q_c$ ) soit égal au flux  $q_u$  sous la croûte à travers la zone de transmission

$$q_c = q_u$$

$$k_c \left( \frac{d\phi}{dz} \right)_c = k_u \left( \frac{d\phi}{dz} \right)_u$$

où  $k_c$ ,  $(d\phi / dz)_c$ ,  $k_u$ ,  $(d\phi / dz)_u$  : sont conductivité hydraulique et gradient de potentiel dans la croûte et la zone sous-jacente respectivement.

$\left( \frac{d\phi}{dz} \right)_u$  décroît jusqu'à 1 (valeur du gradient, de potentiel gravitaire) quand l'épaisseur de sol humide sous-jacente croît et que celui-ci n'exerce aucune succion sur la croûte. Lorsque l'épaisseur "e" de l'eau de submersion et l'épaisseur  $z_c$  de la croûte sont négligeables devant ce potentiel  $\phi_u$  (exprimé en hauteur d'eau équivalente), et si  $k_c$  est faible (pression critique d'entrée d'air non dépassée) :

$$q = k_u = k_c \frac{e + z_c + \phi_u}{z_u} \approx k_c \frac{\phi_u}{z_u}$$

On a donc  $\frac{k_u}{\phi_u} = \frac{k_c}{z_c} = \frac{I}{R_c}$

Si  $R_c = \frac{z_c}{k_c}$  désigne la résistance hydraulique par unité d'aire de la croûte. D'où  $k_u = \phi_u / R_c$  et si la relation entre  $k_u$  et  $\psi_u$  et la relation  $\psi$  (teneur en eau) sont connues, on peut connaître le régime (permanent) d'infiltration et la succion sous la croûte, le premier décroît, et le second croît quand la résistance hydraulique de la croûte croît.

Malheureusement, la correspondance entre les valeurs mesurées et les valeurs prédites de  $q$  et  $\psi_u$  ne sont pas assez satisfaisantes, la différence semble être due au mauvais contact entre la croûte et la couche sous-jacente, et à une erreur possible dans l'estimation de  $k_s(\psi_u)$  par rapport aux agrégats comme conséquence de la redistribution de l'entrée d'air (FERREL, 1978)

- *Infiltration en régime transitoire* :

Pour préciser l'influence de la croûte superficielle sur la pénétration de l'eau dans le sol, de nombreuses techniques ont été développées sur une base mathématique rigoureuse. Ces techniques utilisent les méthodes numériques par la solution des équations différentielles partielles que gouverne le mouvement de l'eau sous un flux non saturé ; la plupart de ces approches sont basées sur des suppositions qui sacrifient la rigueur et se généralisent pour être appliquées à des problèmes particuliers.

Une de ces approches a été faite par GREEN and AMPT cités par FARREL (1972). Les approches de GREEN and AMPT supposent un potentiel matriciel constant au front d'humectation et une teneur en humidité uniforme et une conductivité hydraulique constante à la zone de transmission ; ces suppositions simplifient les équations de flux, rendant plus facile une solution analytique.

b) Les effets de la croûte superficielle sur la levée de plantules

Si la semence a été déposée dans un sol où apparaissent souvent des phénomènes de croûtes superficielles, on doit connaître les caractéristiques de la micro-ambiance qui influent sur la germination et la levée de la plantule ; deux phénomènes vont entrer en compétition dans le temps : la germination et la levée de la plantule, d'une durée limitée, et la formation d'une croûte qui n'est pas instantanée ; le temps d'encroûtement devient donc d'une importance critique pour la levée.

1) La germination

Elle représente le développement du germe contenu dans la graine. Des conditions favorables de température, aération et humidité sont nécessaires pour une bonne germination.

Le premier phénomène de la germination est une imbibition d'eau par la graine. La graine doit être en contact avec l'eau du sol. Ceci est réalisé généralement par la seule compaction du sol. Par contre, si celle-ci est trop forte, on assiste à une réduction du nombre de macropores et à une augmentation du nombre de micropores faibles conducteurs de l'eau.

En travaillant sur Medicago tribuloïdes et lactuca sative, COLLIS et JENNIFER (1966) confirment que l'humidité de l'air de contact est un facteur qui affecte la germination. C'est le potentiel matriciel de l'eau dans le sol qui représente le mieux cette humidité. En effet, la valeur du potentiel matriciel régit deux aspects essentiels en ce qui concerne la germination :

- 1) L'absorption de l'eau par la graine dépend de l'état énergétique de l'eau du sol alentour ;
- 2) L'humidité détermine la résistance mécanique du sol et la compression de la semence.

RATHORE et al. (1981 et 1982) ont suivi la germination de 12 variétés de haricots en liaison avec les fluctuations du taux de l'oxygène (O.D.R.), de l'humidité du sol et de l'état de la croûte.

Ils constatèrent que l'ODR diminuait de 50 % de sa valeur initiale ( $88.90 \times 10^{-8} \text{ g. O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) durant les 24 h qui suivirent la formation de la croûte, le gonflement des semences semblait correct.

Les résultats montrent que les variétés à semences de petite taille ont une levée plus rapide que les autres ; d'autre part, les variétés à grosses semences ont subi une mortalité supérieure de 50 % à celle des variétés à petites semences.

## 2) La levée des plantules

Les caractéristiques morphologiques de la levée de plantules sont génétiquement inhérentes à chaque espèce.

Dans le cas des plantes de type hypogée, au cours de la germination, les cotylédons restent enfouis dans le sol après la sortie des racines, l'hypocotyle ne s'allonge pas, la gemmule se développe et donne le premier rameau feuillé.

Dans le cas des plantes épigée, le développement de l'hypocotyle entraîne les cotylédons au-dessus de la surface du sol ; les cotyles, dans ce cas, forment les deux premières feuilles qui s'épanouissent ; plus tard, la gemmule se développe en donnant un rameau feuillu ; exemple : les haricots (TROUSE, 1972).

L'importance du problème de percée de la croûte par les plantules dépend principalement de la résistance à la pénétration et de la dureté de cette croûte. Pour une faible humidité de la croûte, on observe une nette réduction du pourcentage de levée pour le blé et le sorgho (HANKS et THORPE, 1956 et 1957).

Par contre, un excès d'humidité a un effet négatif sur l'aération, mais diminue la rigidité de la croûte ; ces deux phénomènes, dureté et aération, sont des fonctions inverses l'une de l'autre. Il sera par conséquent difficile de différencier leurs effets respectifs et de savoir si le frein à l'élongation de l'hypocotyle provient de l'aération insuffisante ou de l'augmentation de la résistance à la pénétration (HANKS, 1960).

*- Mécanisme de percement de la croûte superficielle*

Lorsque l'élongation de l'hypocotyle atteint la couche superficielle d'un sol encroûté, plusieurs réactions sont possibles d'après ARNDT (1965) et TAYLOR (1972). cf. fig. 6.

- a) Fissuration suffisante pour une levée normale (quelque soit la taille des plantules), les fentes sont fréquentes et leur taille suffisante pour permettre une bonne levée.
- b) Fissuration suffisante pour la levée de plantules possédant une importante force de levée (plantules grosses et rigides). Les fentes sont assez espacées et la rigidité des petites lamelles est négligeable.
- c) Fissuration insuffisante pour des plantules fines et flexibles, les plantules sont déviées horizontalement avant de trouver une fissure pour sortir.
- d) Fissuration totalement insuffisante pour la levée : très peu d'espace entre les plaques.
- e) Encroûtement caractérisé par la formation d'une plaque continue sans aucune fissure, les petites plantules n'ont pas la force de percée nécessaire, en général, pour briser la croûte, sauf si celle-ci est très humide.
- f) Croûte rigide, seules les plantules ayant un hypocotyle assez gros pourront déployer une force suffisante pour briser la croûte.

Une autre possibilité peut se présenter ; des semences implantées dans un même paquet peuvent arriver à briser la croûte en associant leurs forces. EDWARDS, cité par TAYLOR (1982) trouve que la force exercées par 1, 2 et 3 semences de coton est de  $3.8 \times 10^5$  ;  $5.8 \times 10^5$  et  $8.5 \times 10^5$  dyne respectivement. Il en conclut que pour une bonne levée dans certains sols argileux, les semis en poquet de 3 semences seraient intéressants.

Le mécanisme de la levée de plantules est régi par :

- 1) L'humidité de la croûte superficielle
- 2) La composition texturale de la croûte superficielle, celle-ci varie avec le type de sol.
- 3) La taille de l'hypocotyle (après germination), celle-ci étant variable selon les espèces.
- 4) L'emplacement de la semence sur le plan vertical, ceci étant déterminé par la profondeur de semis.

Plantule fine et flexible  
peu de force à la levée

Plantule grosse et rigide  
importante force de levée

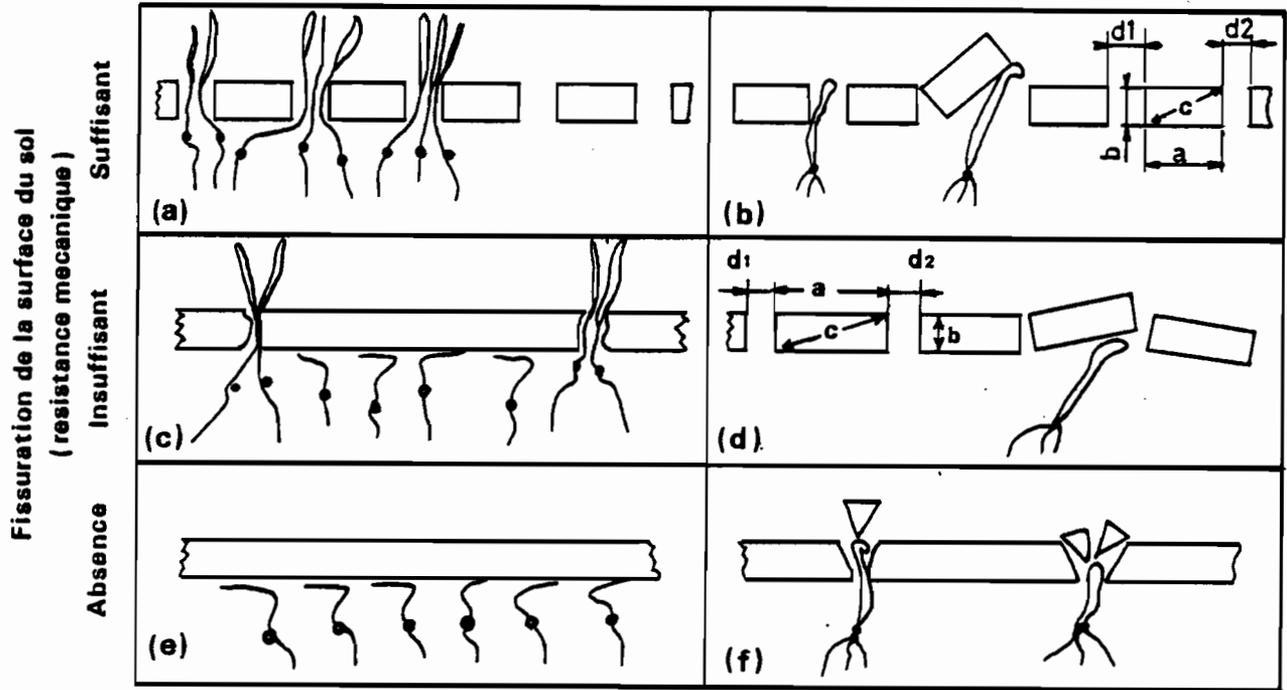


Fig 6: MECANISME DE PERCEMENT DE LA CROUTE SUPERFICIELLE. (d'après ARNDT 1965)

Bien que la littérature sur la formation des croûtes superficielles et leurs effets sur la levée de plantules soit assez abondante, il reste quelques mécanismes mal élucidés ; peu de choses sont connues sur l'effort maximum que certaines plantes peuvent exercer lors de la levée. On ne connaît pas bien les effets spécifiques de la micro-ambiance dépendant des facteurs température, éléments minéraux, eau, aération, composants toxiques, sans parler de la qualité de la semence sur la force de percée développée lors de la levée.

La capacité d'une plante à combattre les effets d'une croûte rigide lors de sa levée ainsi que la réaction du sol vis-à-vis de la force de percée de la plante sont donc des phénomènes encore mal connus.

#### 4) Méthodes de mesure de la résistance mécanique d'une croûte superficielle

La résistance mécanique à la pénétration apparaît liée à trois variables bien distinctes :

- a) la cohésion entre particules élémentaires du sol et le volume des espaces libres (porosité) ;
- b) la distribution de la taille des espaces vides ;
- c) la micro-organisation : géométrie relative et orientation des particules du sol et des espaces vides.

MAERTENS (1965) a effectué une analyse des facteurs physiques du sol (granulométrie, porosité, humidité, stabilité de la structure) qui influencent la résistance mécanique à la pénétration, et il conclut que : dans les sables où les forces de cohésion sont minimales, l'influence de la porosité est plus importante que celle de l'humidité ; par contre, pour les argiles où les phénomènes de cohésion sont prépondérants, les effets de la porosité sont négligeables alors que ceux de l'humidité sont plus importants que pour les sables.

Les méthodes les plus utilisées pour caractériser et mesurer le degré de dureté de la croûte superficielle sont :

- a) module de rupture
- b) méthode des balances
- c) système de poulie
- d) pénétromètre.

##### a) Module de rupture

Celui-ci a été utilisé depuis longtemps comme une mesure de la résistance à la rupture de certains matériels. Il se définit comme le "stress" maximum d'une fibre (force par unité de surface qu'un matériau peut supporter sans se briser). RICHARD, (1953).

Le module de rupture est obtenu en remplissant de sol des moules en bronze, arrosés durant une heure, puis séchés à 50°C, ce qui donne des briquettes de sol d'approximativement 1 x 3.5 x 7 cm. RICHARD (1953) a utilisé le premier ces systèmes.

La force nécessaire pour rompre une briquette est calculée par la formule

$$S = 3 FL/2 bd^2$$

où

S = module de rupture en dynes  
F = force de rupture en dynes (F = masse en g x 980)  
L = distance entre les deux supports  
b = la longueur de la briquette  
d = l'épaisseur de la briquette.

A l'heure actuelle, certains chercheurs doutent de l'efficacité de cette méthode pour connaître la valeur de résistance mécanique des croûtes superficielles ; par exemple, ARNDT (1965 a) a trouvé de grandes différences entre les valeurs de résistance à la pénétration d'un même sol en utilisant le module de rupture et la méthode des balances. Selon lui, avec le module de rupture, il n'est pas possible de mesurer les petites différences dues à des traitements agronomiques ; l'écart des erreurs est de l'ordre de 20 %. LEMOS et LUTZ (1956) expriment aussi leurs doutes sur l'application des résultats obtenus au laboratoire par la technique de RICHARD aux conditions pratiques du terrain.

Par contre, HANKS et THORP (1950 et 1957), HANKS (1960), JAMISON (1964) et SHARMA (1980) ont constaté la validité du module de rupture comme mesure de la résistance d'un sol à la pénétration.

#### b) Méthode des balances

A cause du manque de précision de la technique de RICHARDS, ARNDT (1956b) propose l'utilisation de deux types de balances qu'il appelle "sonde calibrée" (calibrate probe), et "balance de mesure de croûtes" (seal impedance measuring balance), toutes les deux ont le même principe, c'est-à-dire d'un côté se trouve un dispositif pour ajuster le poids nécessaire et de l'autre côté, une sonde ou stylet de dimensions connues qui perce la croûte formée artificiellement.

La différence entre les deux types de balances est que la première n'est pas fixe et que l'on a besoin de faire un creux pour installer l'autre. Les valeurs des mesures sont exprimées en grammes-force ou kilogrammes-force.

c) Système de poulie

Inspiré par les idées de RICHARDS et ARNDT (op. cit.) BROSSMAN (1982) a construit un appareil qui permet de mesurer la pression verticale nécessaire pour fracturer la croûte du sol (fig. 7).

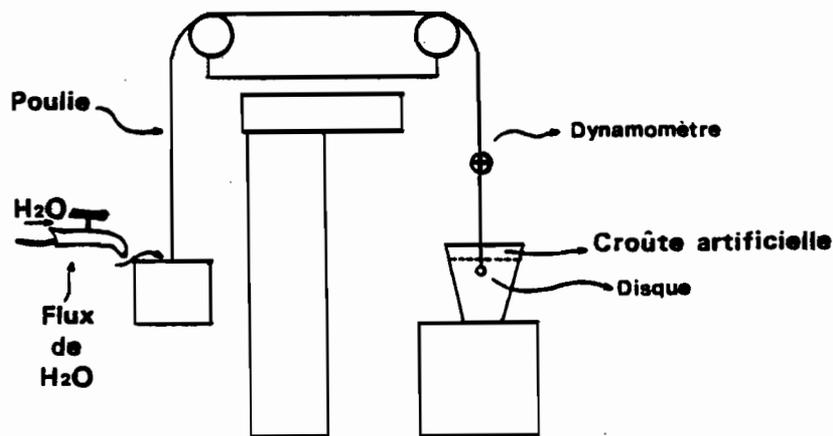


FIG. 7 : SYSTEME DE POULIE POUR LA MESURE DES CROUTES  
DU SOL D'après BROSSMAN (1982)

La méthode consiste à attacher un disque de 1.2 cm de diamètre à un fil assez fort, de le recouvrir par une croûte formée d'un mélange de sable et ciment, l'augmentation de la dureté de la croûte a été obtenue en ajoutant de petites quantités de ciment. Après la formation de la croûte, une pression uniforme, grâce à un flux d'eau, a été appliquée à raison de 0.3 l/mn. Un dynamomètre attaché au fil enregistre la force nécessaire pour fracturer la croûte.

Il a trouvé de bonnes corrélations entre la quantité de ciment ajouté et la rigidité de la croûte, et aussi entre la résistance de la croûte et la levée de semences des haricots. Une croûte formée par un mélange de 0.50 à 2.25 de ciment et de sable demande une pression de 229 - 853 g/cm<sup>2</sup>.

c) Pénétromètre

Le pénétromètre est considéré comme l'appareil le plus efficace pour étudier la force de la levée de semences de monocotyles bien qu'il ne simule pas exactement l'action du développement de la plantule (RATHORE, 1981).

Le pénétromètre est fréquemment utilisé pour évaluer la résistance du sol à la pénétration des racines (TAYLOR et BURNETT, 1964 ; BARLEY, (1965) ; WHITELY et al. (1980), mais aussi pour connaître le degré de compaction du sol causé par le passage de différents outils et machines agricoles. CARTER et TAVERNETI (1968), HENRY et Mc KIBBEN (1967), CASSEL et al. (1978), et VOORHESS et al. (1978).

En faisant une interprétation pédologique et agronomique des données du pénétromètre, LEENHEER (1975) conclut que celle-ci s'avère excellente comme technique pédologique pour l'étude du sol comme milieu poreux, dont la cohésion et la résistance à la pression varient avec la teneur en eau.

Les résultats d'un test de pénétration peuvent être influencés par la forme, la taille et la surface de l'élément de pénétration, le taux et la manière d'enfoncement du pénétromètre, ainsi que par les propriétés du sol. Les mécanismes en jeu dans les tests de pénétration ne sont pas bien élucidés du point de vue théorique et pour l'interprétation et la comparaison des résultats.

Les valeurs de la résistance à la pénétration sont la combinaison de deux facteurs, la cohésion et les caractéristiques de friction du sol.

Il existe plusieurs sortes de pénétromètres, mais en général, la différence est due à la forme de la pointe (circulaire ou conique) et aux conditions de leurs enfoncements dans le sol. Parmi ceux-ci, le type Aiguille Proctor est enfoncé en exerçant une faible pression, et le type dit d'impact consiste à laisser tomber un mouton en chute libre pour enfoncer la pointe, ensuite on compte le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer à la profondeur désirée (FREITAG, 1968 ; GILL, 1968 ; BRADFORD, 1980).

## 5) Techniques culturales anticroûtantes

Pour éviter ou diminuer la formation d'une croûte, la surface du sol est traitée par des techniques anticroûtantes. Il en existe une grande variété. On peut les classer en trois types :

- 1) techniques biologiques ou agronomiques
- 2) techniques chimiques
- 3) techniques mécaniques.

a) Techniques biologiques ou agronomiques

On appelle ainsi tous les moyens qui prennent en compte les semences ou les caractéristiques (phénotypiques et génotypiques) de la plante pour diminuer les effets négatifs de la croûte du sol. Autrement dit, le choix des espèces et variétés qui ont une grande force à la levée ou bien qui sont capables de germer vite lorsque la croûte est encore humide.

TAYLOR (1971) et GOYAL (1979) donnent une liste de ces types de moyens

- la taille de la semence : il semble que les semences de petite taille ayant une meilleure surface de contact semence/sol favorisent leur rapide imbibition d'eau ; la semence germe rapidement, avant la période de séchage de la croûte (RATHORE, 1982).

- le trempage de la semence avant de la semer diminue la durée de la période de levée, mais il faut connaître le temps que les semences doivent rester dans l'eau. GOYAL (1979) propose cette technique pour les pays sous-développés où les paysans font toutes les pratiques culturales à la main.

- augmenter le taux de semences sur la longueur de la ligne de semis.

- semer des groupes de semences pour augmenter la force à la levée afin de rompre la croûte.

- déposer la semence sur la pente du sillon, où il est possible que la dureté de la croûte soit moindre.

- couvrir la surface du sol avec de la paille (mulch).

Il existe une vaste littérature qui démontre l'efficacité des mulch (BENNETT et al., 1964 ; BOND, 1969 ; MEYER et al., 1972 ; SINGER et al., 1978 ; ORSBORNE, 1979 ; BLANC and SIDDOWAY, 1979 ; SOOD, 1980 ; SINGER, 1981).

La disposition de paille à la surface du sol influe sur les propriétés physiques et chimiques du sol, par rapport aux sols nus : augmentation du taux d'infiltration, réduction de l'évaporation de la surface et augmentation de la teneur en matière organique. La densité apparente de la surface du sol diminue à mesure que la quantité de mulch augmente ; il y a aussi diminution de la turbidité (érosion) de l'eau de ruissellement, augmentation du stock d'eau, et comme conséquence, un faible taux d'évaporation et une température moins élevée ; la formation de croûtes à la surface du sol est donc réduite.

L'effet de la couverture de la surface du sol a été pris en compte dans l'équation universelle de perte du sol de WISCHMEIER et SMITH (1965) en lui donnant la valeur 0 si le sol est couvert complètement et 1 s'il est nu.

- Une dernière mesure agronomique consiste à entretenir humide la surface du sol ; l'humidité proche de la capacité au champ est la plus favorable à la levée des plantules.

#### b) Méthodes chimiques

L'utilisation de conditionneurs du sol tels que le HPAN, VAMA, PVA, le gypse et la vermiculite, réduisent la résistance mécanique de la surface du sol.

Plusieurs travaux de recherche ont été faits pour essayer l'efficacité du polyvinyl alcool (PVA) sur la réduction de la formation des croûtes superficielles, l'érosion et le ruissellement. L'application de ce produit se fait sous forme d'aspersion (solution aqueuse) sur les deux premiers centimètres de la surface. Les critères pour mesurer son efficacité furent les différences de valeurs observées de l'infiltration totale et celles de la résistance au module de rupture (JAMISON, 1954 ; TAYLOR, 1959 ; BLAVIA, 1971 ; WILLIAMS, 1967 ; OADES, 1976 ; PAGE, 1979).

LAWS (1954) et ALLISON (1956) ont testé des conditionneurs (soil conditioners), l'Acide Vinyl Acétate Maleic (VAMA) et l'acide copolymère hydrolysé Polyacrylonitrile (HPAN) sur des sols à alkalis. Le premier a trouvé que la VAMA est moins efficace que le HPAN comme stabilisateur des agrégats. Et ALLISON, en utilisant le module de rupture, a trouvé qu'il existait une diminution de la dureté de la croûte superficielle de l'ordre de 1 200 à 2 500 millibars.

#### c) Méthodes mécaniques

On peut distinguer deux groupes de moyens mécaniques : préventifs et correctifs. Le premier consiste en une bonne préparation du terrain, ce qui augmente le taux d'infiltration et conserve la structure du sol, en laissant à la surface de grosses mottes qui dissipent en partie l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Ces dernières années, le "labour minimal" (minimum tillage) et le "zéro labour" (zero tillage) ; ont été utilisés. Ces systèmes réduisent le nombre des opérations évitant ainsi le mouvement excessif du sol et le passage des machines agricoles sur la surface du sol. Il semble que ces méthodes soient très efficaces pour les sols hautement sensibles à la formation de croûtes superficielles ou à la compaction.

Une fois formée la croûte du sol, les mesures correctives les plus simples sont l'utilisation des outils agricoles tels que la houe et la charrue de chisel, souvent utilisés pour la rupture des croûtes de battance (VOORHEES et al., 1978 ; CASSEL et al., 1978 et HADAS, 1978).

En effet, il n'existe pas une méthode unique à employer pour résoudre ce problème, la meilleure solution serait celle qui pourrait combiner la plupart des moyens décrits précédemment.

## B - FORMATION DE CROUTES SUPERFICIELLES SOUS L'ACTION DES PLUIES

### SIMULEES

#### 1) Le simulateur de pluie

L'utilisation de simulateurs de pluie par les hydrologues, géomorphologues et conservateurs du sol, pour des études théoriques sur l'érosion et l'infiltration, a considérablement augmenté ces dernières années. Ceci a entraîné deux conséquences. D'un côté, le perfectionnement des appareils dont certains sont assez sophistiqués comme le simulateur de pluie programmable par parcelles de 4 x 11 m (BUBENSER, 1971 ; ONSTAD et al., 1981 ; NEIBLING et al., 1981). Mais peu de tentatives ont été faites pour standardiser les simulateurs et le protocole d'essais, ce qui nous empêche de faire des comparaisons entre les résultats.

D'après BRYAN (1981), l'emploi du simulateur comme outil expérimental se justifie surtout si on fait un grand nombre de répétitions, mais cela accroît alors le coût de l'étude.

#### 2) Phases de l'érosion hydrique

La définition classique de l'érosion a été formulée par ELLISON (1946) comme un phénomène physique qui comprend le détachement des particules de la masse du sol et leur transport, par les agents érosifs. Pour l'érosion hydrique, les agents érosifs sont la pluie et le ruissellement. FOSTER et MEYER (1975), MEYER et al. (1975), ont divisé les processus de l'érosion en quatre grands sous-processus :

- a) détachement par la pluie,
- b) transport par la pluie,
- c) détachement par ruissellement,
- d) transport par le ruissellement.

L'importance relative de ces processus dépend des conditions spécifiques de l'étude, notamment de l'échelle des observations. Dans notre cas, c'est surtout le rejaillissement de particules (sous-processus a et b), ainsi que le transport sur une faible distance par le ruissellement qui ont été étudiés.

#### a) Détachabilité

L'aptitude d'un sol à être fractionné en particules susceptibles d'être transportées dépend principalement de la combinaison de deux facteurs : l'agressivité de la pluie et la sensibilité du sol à être fractionné en particules aisément transportables.

##### 1) Mécanisme de la détachabilité

D'après YARIV (1976), le mécanisme de détachement par la pluie peut être décrit par un modèle comportant trois étapes. Dans la première étape, lorsque le sol est encore sec, le détachement de particules est le résultat du choc des gouttes de pluie contre les particules du sol. Lors de la deuxième étape, le sol est "liquéfié" (c'est une mise en suspension), et le choc des gouttes de pluie provoque le rejaillissement (splash) du sol "liquéfié". L'importance du rejaillissement dépend de l'énergie cinétique de l'impact des gouttes de pluie. Dans la troisième étape, la surface du sol est couverte d'un film d'eau qui, combiné avec le choc des gouttes de pluie, provoque le détachement des agrégats du sol.

PALMER (1965), MUTCHLER and CARSON (1971), MUTCHLER et YOUNG (1975) ont trouvé que la formation d'un film à la surface du sol augmentait la détachabilité jusqu'à ce que le film atteigne une épaisseur de trois fois le diamètre des gouttes.

Les différences de détachabilité du sol peuvent être expliquées selon POESEN (1981), POESEN et SAVATT (1981), par trois facteurs : les variations de teneur en eau, la cohésion des particules, et la composition granulométrique de la surface du sol.

La capacité des constituants à être détachés varie selon leur taille : dans la désagrégation des mottes, l'argile (smectitique) favorise le gonflement et la liquéfaction de la périphérie des mottes, les limons et sables très fins (2-80  $\mu$ ) favorisent l'éclatement par pression d'air (pores fins), mais la cohésion qu'ils déterminent réduit la détachabilité; les sables

fins et moyens (80-250 $\mu$ ) favorisent le rejaillissement (et la liquéfaction) à l'impact des pluies. Les sables grossiers sont également sensibles aux phénomènes de détachabilité et de liquéfaction par l'impact des gouttes (FERMER, 1973 ; VALENTIN, 1981).

EKER, cité par MAZURAK (1968) a trouvé que la quantité maximale de particules détachées correspond aux particules dont le diamètre est compris entre 175 et 250 $\mu$ . Pour les particules inférieures à 105 $\mu$ , on note une très forte diminution de la détachabilité du fait de la cohésion croissante des particules quand leur diamètre diminue.

ROSE (1960) a étudié la détachabilité de plusieurs sols de compositions assez variées et a trouvé une corrélation positive entre la détachabilité du sol sous la pluie avec l'indice de plasticité et la relation (sables + limons)/argile.

#### b) Effet de l'énergie cinétique de la pluie sur la détachabilité

C'est l'ensemble des caractéristiques physiques de la pluie (quantité, diamètre des gouttes, distribution, énergie cinétique et moment cinétique) qui explique la détachabilité.

Par exemple, ROSE (1960) a observé que la quantité de sol détachée par unité de surface dépend plus du moment et de la durée de la pluie que de l'énergie cinétique. Il précise que le moment cinétique est la pression ou force exercée par la pluie sur le sol, qui provoque la rupture des agrégats du sol.

Pour plusieurs auteurs, l'énergie cinétique de la pluie est le facteur le plus important de la détachabilité et du rejaillissement du sol. De plus, on peut mettre en relation l'énergie cinétique d'une averse et la taille des gouttes, la distribution et l'intensité de la précipitation.

KINNELL (1981) a trouvé qu'il existait deux expressions prenant en compte cette énergie ; la première, ERR, est le taux de dépense de l'énergie cinétique de la pluie : exprimée en énergie/aire/temps. La deuxième, ERA est la quantité d'énergie cinétique de la pluie utilisée par unité de quantité de pluie : exprimée en unités énergie/aire/hauteur. La relation entre l'intensité et l'énergie cinétique par unité de quantité de pluie (I - ERA) est l'une des plus utilisées pour estimer les énergies cinétiques d'une pluie. Par exemple

$$E_{RA} = \mu + w \text{Log}_{10} I$$

où  $\mu$  et  $w$  sont constants empiriques, la forme de cette équation est utilisée pour décrire le facteur R de l'équation universelle de perte de terre calculée par WISCHMEIER (1960).

Parmi les indices les plus importants formulés pour caractériser l'effet de la pluie, citons le  $EI_{30}$  de WISCHMEIER (1959) ;  $KE > 25$  de HUDSON (1971), de  $AI_m$ , de LAL (1976) et de  $P^2/p$ , et de FOURNIER (1960).

### c) Mesures de la détachabilité

Sous l'effet d'une même pluie, deux sols se comportent de manière différente en fonction de leurs propriétés et de leurs caractéristiques physiques et chimiques. LAL (1981) indique que la susceptibilité d'un sol à être érodé est fonction de la structure, de la texture, du taux de matière organique et des oxydes amorphes de Fe et Al.

La plupart des chercheurs ont utilisé les indices d'érodibilité pour exprimer les facteurs du sol qui influencent la détachabilité.

BRAYAN (1968, 1974, 1976) et DE VLEESCHAUWER et al. (1978) ont comparé une quinzaine d'entre eux, des plus simples aux plus compliqués.

L'indice d'érodibilité du sol K proposé par WISCHMEIER et SMITH (1960) fut à l'origine le résultat d'une corrélation de la perte du sol et de 24 propriétés physiques du sol. Une étude postérieure entreprise par WISCHMEIER et CROSS (1971) l'a simplifié à seulement six facteurs (pris en compte grâce à un nomogramme). L'emploi de celui-ci dans les sols tropicaux présente de sérieuses limitations, d'après plusieurs chercheurs : ROOSE (1977), COLLINET et VALENTIN (1979), DE VLEESCHAUWER (1978) et LAL (1981). Les deux problèmes principaux soulevés viennent de fait que ce nomogramme ne prend pas en compte le taux des éléments grossiers ni la teneur en oxydes de Fe et Al.

Par contre, BERGSMA et VALENZUELA (1981) ont trouvé une excellente corrélation entre l'indice K de WISCHMEIER et la stabilité des agrégats mesurée par la technique de la goutte (raindrop technique) pour les sols de Mérida (Espagne).

Selon DE VLEESCHAUWER (1968), l'érodibilité des sols tropicaux peut être prédite en utilisant l'indice de LEENHEER - DE BOODT ou bien le pourcentage des agrégats stables à l'eau de HENIN.

En fait, aucune technique de laboratoire ne paraît actuellement satisfaisante, et ce sont les mesures sur le terrain de longue durée (parcelles sous pluie naturelle ou éventuellement sous pluie simulée au champ) qui semblent apporter les résultats les plus convaincants.

## IV.- MÉTHODOLOGIE DES RECHERCHES

### A - ESSAIS SUR LE TERRAIN

#### 1) Choix et localisation des sites d'étude

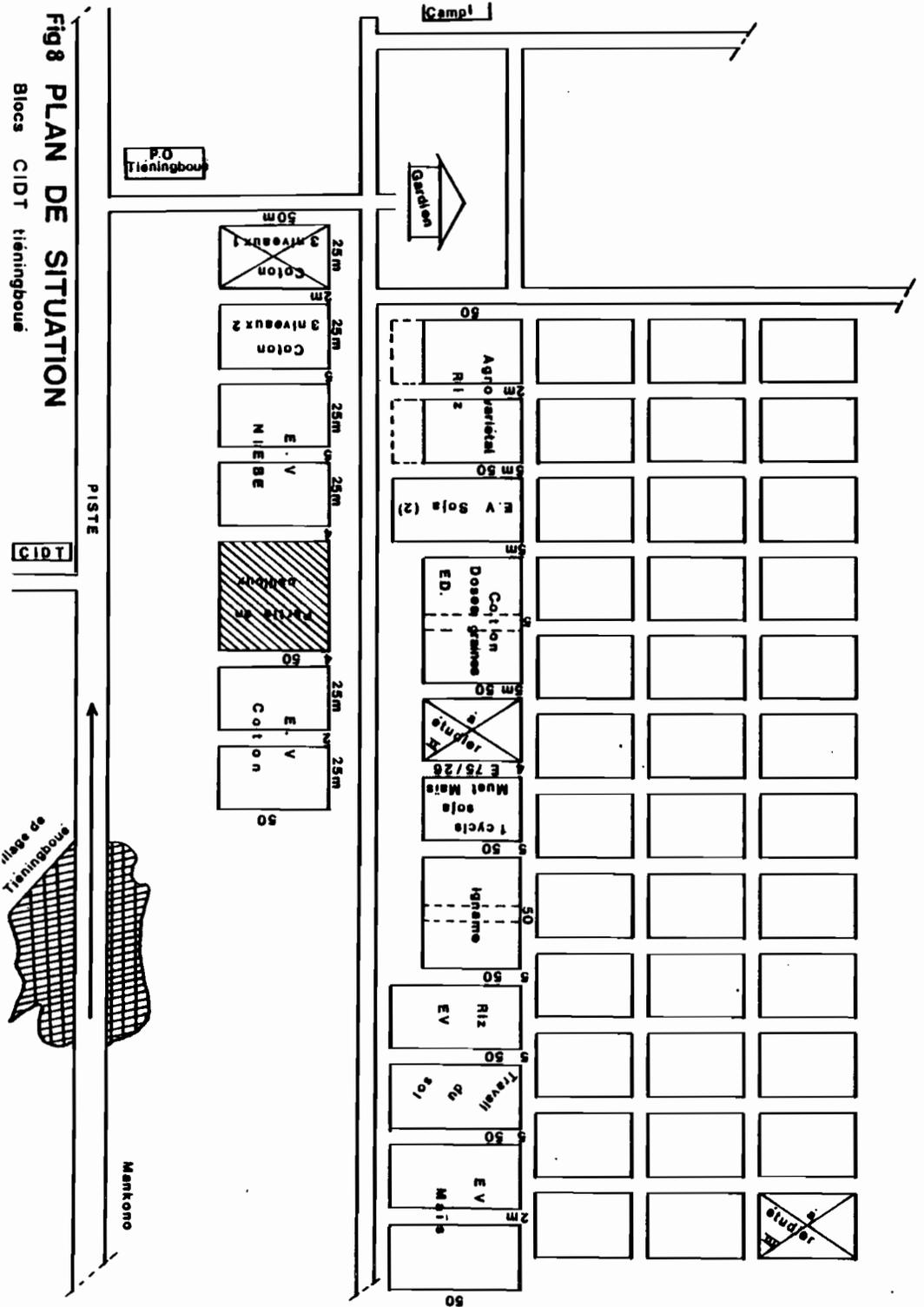
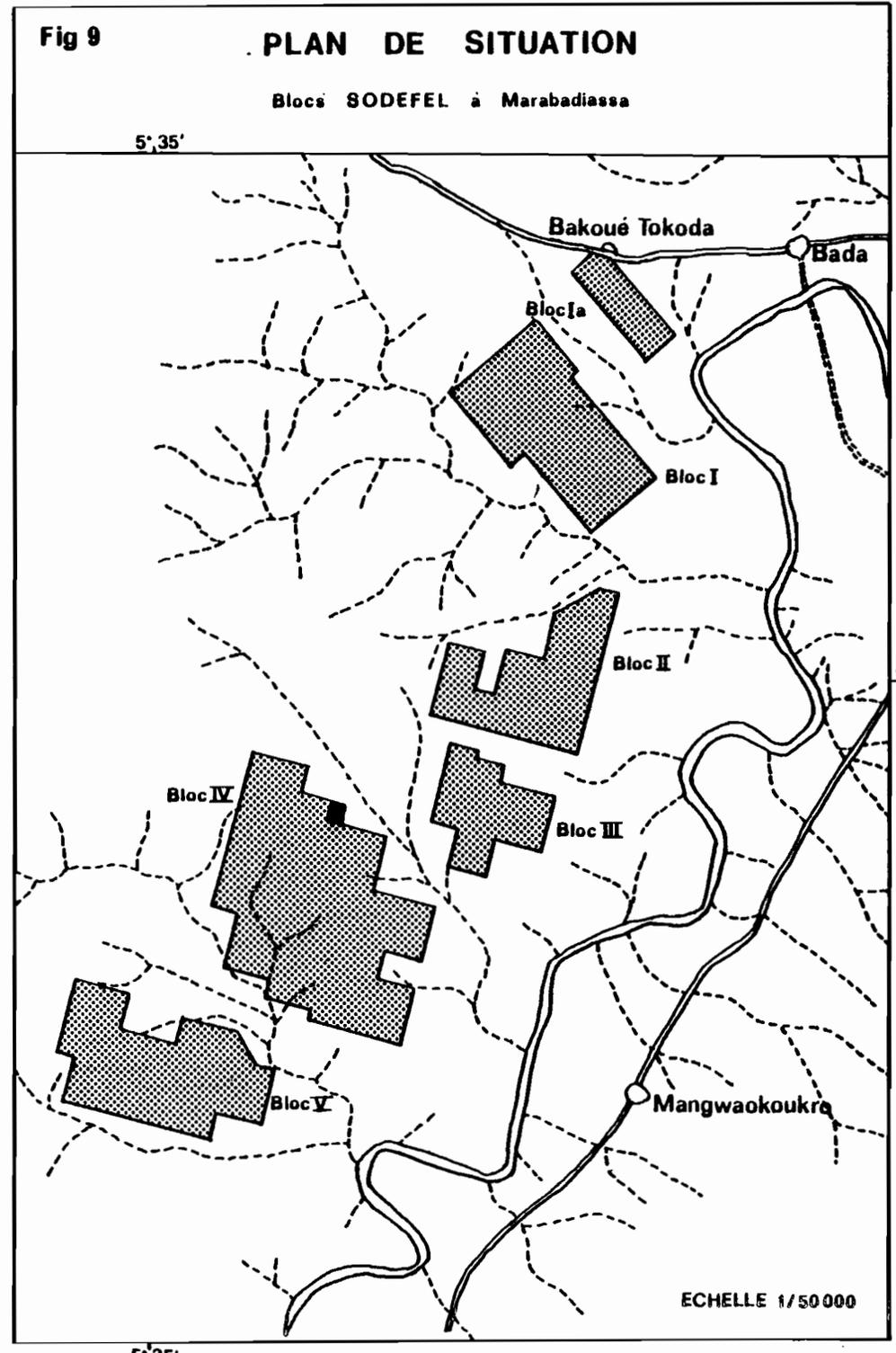
Trois types de critères ont guidé le choix des sites :

- a) pédologiques : trouver une gamme variée de textures des horizons superficiels ;
- b) agronomiques : retenir des sites défrichés et des agriculteurs suffisamment encadrés pour reconstituer l'histoire culturelle des sols ;
- c) logistiques : accessibilité aux véhicules et proximité d'une source de ravitaillement en eau.

Cinq sites au total ont été retenus, situés dans trois régions. Les descriptions des profils du sol, ainsi que leurs caractéristiques physico-chimiques de chacun ont été rapportées en Annexe II.

1. Région de TIENINGBOUE. Les trois premiers sites appartiennent au P.O. (point d'observation) de la C.I.D.T. (fig. 8).
2. Région de WEDALA. Petit village à 3 km de Tienningboué sur la route de Mankono. Le site IV appartient à un bloc abandonné par les paysans (pour une cause difficile à cerner). Il s'agit d'une jachère couverte de graminées.
3. Région MARABADIASSA. Le site V appartient à la SODEFEL dans la zone maraîchère de marabadiassa sur la rive droite du Bandama Blanc, au Sud de la route Botro-Marabadiassa - Tienningboué (fig. 9).

Les caractéristiques des sites retenus sont résumées par le tableau 1



Localisation	S <sub>I</sub>	S <sub>II</sub>	S <sub>III</sub>	S <sub>IV</sub>	S <sub>V</sub>
Caractéristiques	P.O. TIENINGBOUE	P.O. TIENINGBOUE	P.O. TIENINGBOUE	WEDALA	SODEFEL
Texture (ou tact) de l'horizon Ap	sableuse avec gravillons	argilo-sableuse	sableuse	limoneuse	argileuse
Pente moyenne (%)	7	5	10	5	2
Profondeur du sol avant la cuirasse	54 cm	45 cm	20 cm	58 cm	70 cm
Etat initial du sol	labouré	labouré	semé avec coton	Invasion de mauvaises herbes	
Utilisation du sol	agricole	agricole	agricole	jachère	agricole
Dernière culture semée	coton	maïs	coton	coton	gombo

Tableau 1 : Caractéristiques des sites expérimentaux.

## 2) Protocole des pluies simulées

Pour établir un protocole de simulation de pluies dans une région donnée, il est nécessaire de connaître d'abord les caractéristiques d'intensité à reproduire.

Les données pluviométriques ont été recueillies à l'Institut des Savanes de Bouaké, poste le plus proche de la région d'étude (tab. 1, Annexe II).

Le protocole prévu comprend deux intensités de pluies à simuler : 30 mm/h et 120 mm/h. La première correspond à la pluie la plus fréquente enregistrée entre les mois de Mars et Mai (5 années d'observation), et la seconde correspond à 7 % des pluies maximales. La période et les intensités des pluies choisies correspondent aux premières pluies qui ont beaucoup d'importance pour la levée des semences.

Donc, le protocole a été constitué par deux intensités réparties en 4 pluies, trois parcelles et cinq sites expérimentaux (tab. 2).

### a) Parcelles d'observation

Les conditions d'observation par parcelle sont :

Parcelle type A : nue, sur laquelle tombent 4 pluies simulées de 120 mm/h, la durée de chaque pluie est de 12'30" (tab. 2).

Tableau 2 - Protocole des pluies à Tieningboué et SODEFEL.

		Intensité 120 mm/h				Intensité 120 mm/h				Intensité 30 mm/h			
		Parcelle Type "A"				Parcelle Type "B"				Parcelle Type "C"			
		N° Pluies				N° Pluies				N° Pluies			
		α	β	γ	Δ	α	β	γ	Δ	α	β	γ	Δ
1er jour	To	16:00				17:00				18:00			
	TF	16:12'30"				17:12'30"				18:50'			
	Ta	∞				α				α			
2e jour	To		9:12'30"				10:12'30"				11:50'		
	TF		9:25'				10:25'				12:40'		
	Ta		17:00				17h.5				17:00		
Libre	To			13:25'				14:25'				16:40	
	TF			13:37'30"				14:37'30"				17:30	
	Ta			4:00				4:00				4:00	
3e jour	To				9:07'30"				10:07'30"				13:00
	TF				9:20'				10:20'				12:50'
	Ta				43:30'				43:30'				43:30'
		<u>Total : 4 pluies de 12'30"</u> Hauteur de pluie = 25 mm Total = 100 mm				Moustiquaire Total : 4 pluies de 12'30" hauteur de pluie = 25 mm Total = 100 mm				Total : 4 pluies de 50' Hauteur de pluie 25 mm Total = 100 mm			

To : début de la pluie  
 TF : fin de la pluie  
 Ta : durée de ressuyage

.Parcelle type B : même régime de pluie que la parcelle A, mais la parcelle est couverte d'une moustiquaire tendue à 25 cm, qui a pour effet de diminuer l'énergie cinétique des pluies.

.Parcelle type C : nue, sur laquelle tombent 4 pluies d'intensité de 30 mm/h (tab. 2).

Pour le dernier site (SODEFEL), au premier protocole est venu s'ajouter un second (site VI) qui consiste en une modification du couvert des parcelles. Les parcelles A et C ont été couvertes d'un mulch de bagasse de canne à sucre (1.3 kg/m<sup>2</sup> et 200 % d'humidité, épaisseur de 5 mm) appliqué manuellement et uniformément. Il s'agit en effet de tester l'action éventuelle des résidus de canne à sucre. Ceux-ci proviennent de la plantation de la SODESUCRE (Société de Développement de la Canne à sucre) située à proximité de la plantation de la SODEFEL.

En remplacement de la moustiquaire utilisée dans le protocole précédent, la parcelle B a été couverte d'une toile ombrière (taux de densité de recouvrement, 50 %), même hauteur du sol que la moustiquaire. Ces toiles sont en effet communément utilisées par la SODEFEL pour protéger les pépinières.

### 3) Dispositifs expérimentaux

Chacune des parcelles décrites ci-dessus a subi les traitements suivants :

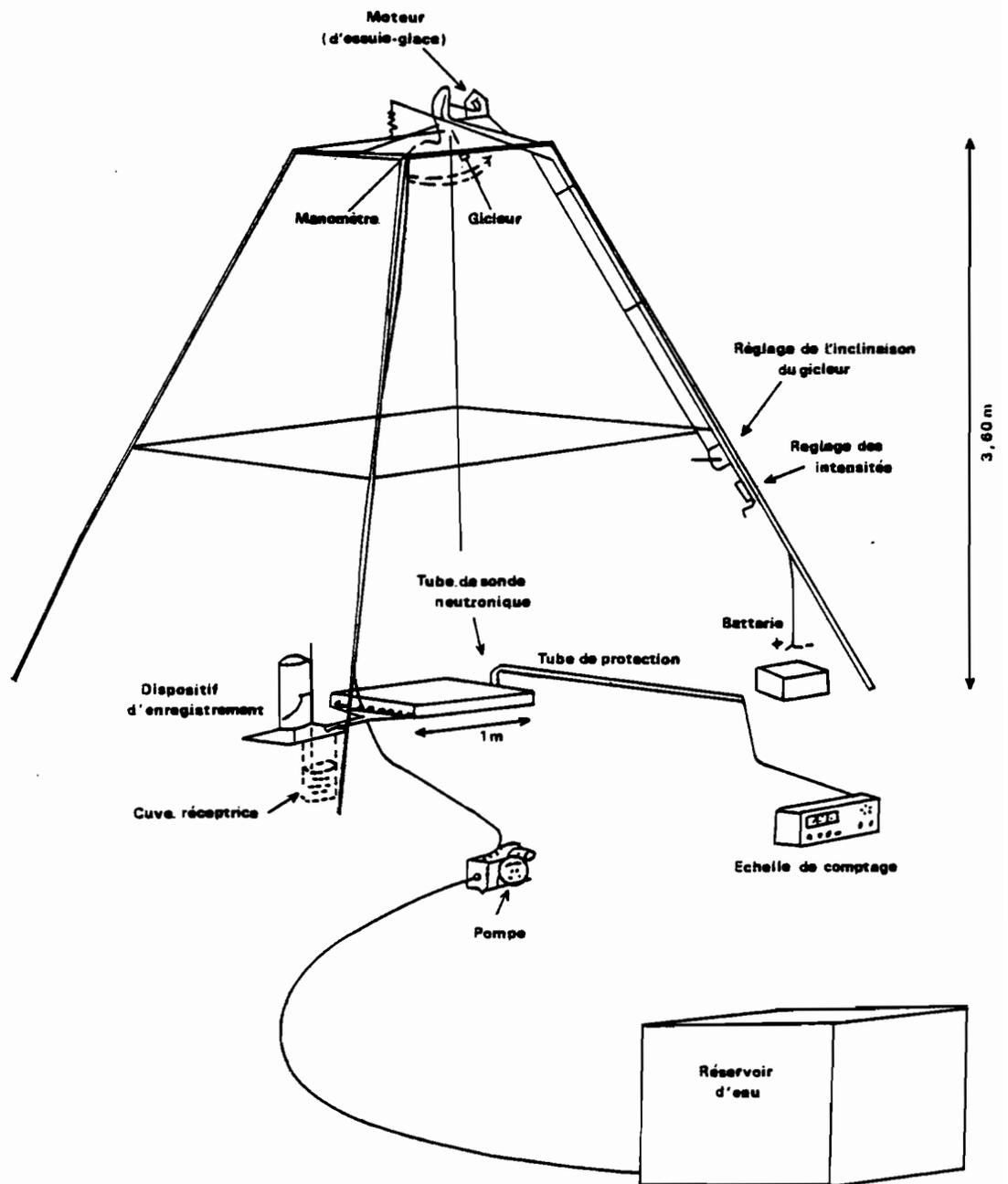
- a) Labour manuel sur une profondeur de 10 cm
- b) Planage de la parcelle par écrasement des mottes les plus grosses ( $\emptyset > 5$  cm) et mise en pente uniforme (3.3 %)
- c) Enfouissement d'un cadre métallique de 1 m<sup>2</sup> dans lequel sont effectuées les observations et mesures sous pluies simulées par l'infiltromètre à aspersion.

#### a) L'infiltromètre à aspersion

Le principal intérêt de cet appareil réside dans la possibilité de modifier l'intensité de la pluie en cours d'averse. Il a été construit à l'ORSTOM, ASSELINE (1981) et utilisé par plusieurs missions de pédologues et hydrologues en l'Afrique francophone.

Le principe de fonctionnement a été décrit dans les travaux d'ASSELINE et VALENTIN (1977), CASENAVE (1981), VALENTIN (1982) et CHEVALLIER (1982), publications auxquelles on se reportera (voir fig. 10).

FIG.10 : SCHEMA DE L'INFILTROMETRE



(VALENTIN 1981)

#### 4) Les observations et les mesures

Les aspects étudiés sont les suivants :

- a) L'humidité du sol
- b) l'infiltration, le ruissellement et la détachabilité
- c) les conséquences morphologiques et physiques de la pluie sur la surface du sol
  - .analyse de croûtes
  - .résistance mécanique à la pénétration
  - .porosité.

##### a) L'humidité du sol

Pour connaître la variation de l'humidité dans le sol et l'avance du front d'humectation, on a réalisé une mesure avant et après chaque pluie. Les prélèvements ont été effectués à la tarière (fig. 11a), tous les 5 cm, jusqu'à une profondeur de 45 cm. Les échantillons ont été placés dans des boîtes hermétiques, pesés humides, puis séchés à l'étuve (105°C) pendant 48 heures.

La valeur de l'humidité pondérale ( $H_p$ ) est donnée par la relation suivante :

$$H_p = \frac{P_h - P_s}{P_s - t} \times 100 \quad ; \quad H_v = H_p \times d_{ap}$$

où :

- $H_p$  = humidité pondérale (%)
- $P_h$  = poids humide (gr)
- $P_s$  = poids sec (gr)
- $t$  = poids de la boîte
- $H_v$  = humidité volumique
- $d_{ap}$  = densité apparente
- $d_{ap} = \left( \frac{\text{poids sec}}{\text{volume en place}} \right)$  de l'échantillon

Dans le cas du déficit de saturation ( $\Delta_i$ ), il a été calculé en prenant en compte les porosités et les humidités de trois tranches du sol (10, 25, 50 cm) ; le principe envisagé de l'utilisation est que le sol joue un rôle de réservoir et que le ruissellement n'apparaît qu'à saturation.

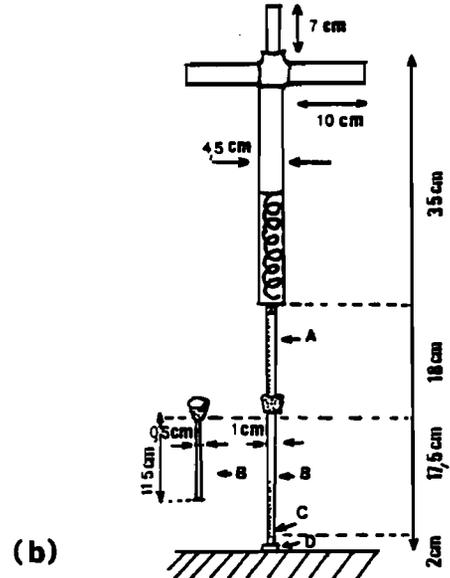
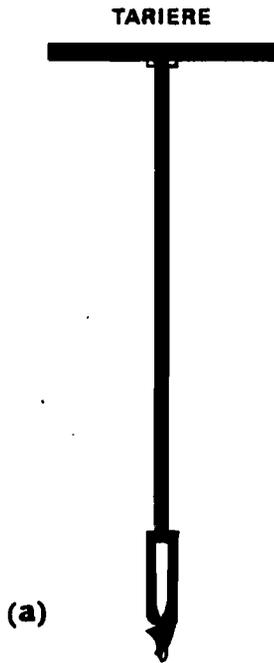
$$\Delta_i = \frac{\text{saturation} - \text{stock}}{\text{saturation}} \times 100$$

$\Delta_i$  = déficit de saturation (%)  
saturation = % porosité totale x profondeur de tranche  
stock = humidité volumique x profondeur de tranche.

**SCHEMA DE L'AIGUILLE PROCTOR**  
(CONSTRUCTEUR : LABOTEST)

**Fig 11** Différents outils expérimentaux  
(a) tariere (b) l'aiguille PROCTOR  
et (c) densitometre a membrane

- A : tige dynamométrique graduée en daN
- B et B : tiges pénétrométriques
- C : onglet de limite d'enfoacement
- D : embout de surface variable

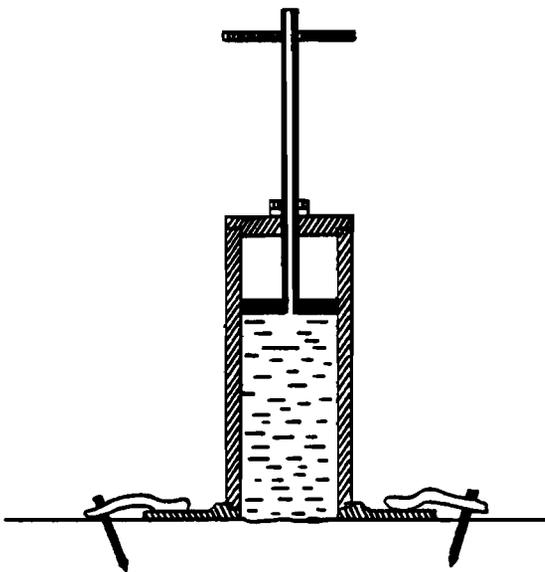


(VALENTIN 1981)

surface des embouts (cm<sup>2</sup>)

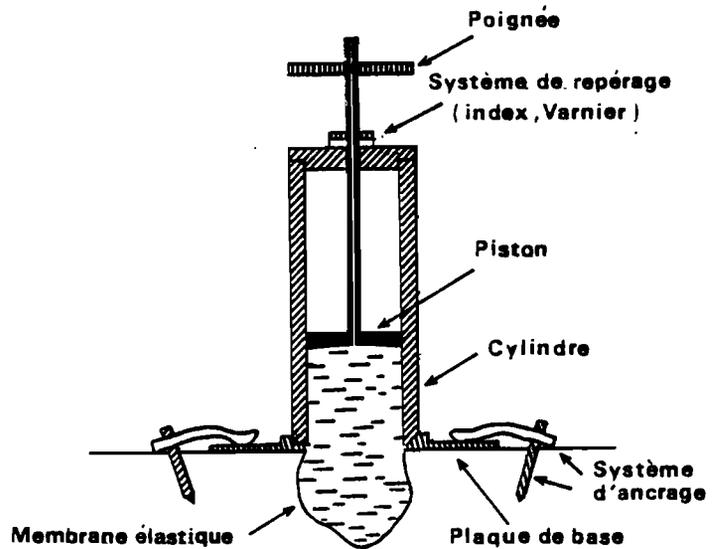
0,30	1,25
0,60	2,50
	3,75
	5,00
	9,25

**DENSITOMETRE A MEMBRANE**



1<sup>er</sup> position  
surface du sol

(c)



2<sup>eme</sup> position  
après prélèvement d'un échantillon de sol

### 1) Indice de KOHLER

Pour caractériser les variations du stock hydrique du sol lors du ressuyage, les hydrologues utilisent un indice d'humidité IK, établi sur des données empiriques. Le sol y est considéré comme un réservoir ayant une loi de vidange exponentielle et se remplit à chaque averse. Il est considéré comme nul à la fin de la saison sèche. (CASENAVE, 1981 ; CHEVALLIER, 1982).

$$IK(r) = \sum_{i=1}^{\infty} P_{(i)} e^{-\alpha(t-t(i))} \quad (\text{en mm})$$

où :

$P_{(i)}$  = hauteur de la i ème averse précédant l'instant t  
(en mm)

$t_{(i)}$  = temps de la fin de la i ème averse précédent t (en jours)

remarque : i croît lorsqu'on remonte dans le temps.

Si l'on néglige la durée des averses, l'indice de KOHLER immédiatement avant la pluie n peut s'écrire :

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha t_a} \quad (\text{en mm}).$$

$IK_{(n-1)}$  = Indice IK avant la n - 1 ème averse

$P_{(n-1)}$  = hauteur de la pluie de rang (n - 1), en mm

$\alpha$  = constante d'ajustement = 0.5

$t_a$  = temps séparant la fin de la pluie (n - 1) du début de la pluie (n), en jours

L'indice IK caractérisant l'état d'humectation du sol avant chaque averse simulée est porté dans le tableau 2 de l'Annexe II).

### b) L'infiltration, le ruissellement et la détachabilité

#### 1) Principes généraux de dépouillement

La montée des eaux dans la cuve limnigraphique est enregistrée au cours du ruissellement sur un limnigramme. Un exemple (pluie  $\Delta$ , parcelle B, site II, du 13.09.82), permet de préciser les principales étapes du dépouillement (fig. 12).

- Le temps .- La durée de l'averse influence la précision des données de base.

$t_o$  : début de la pluie

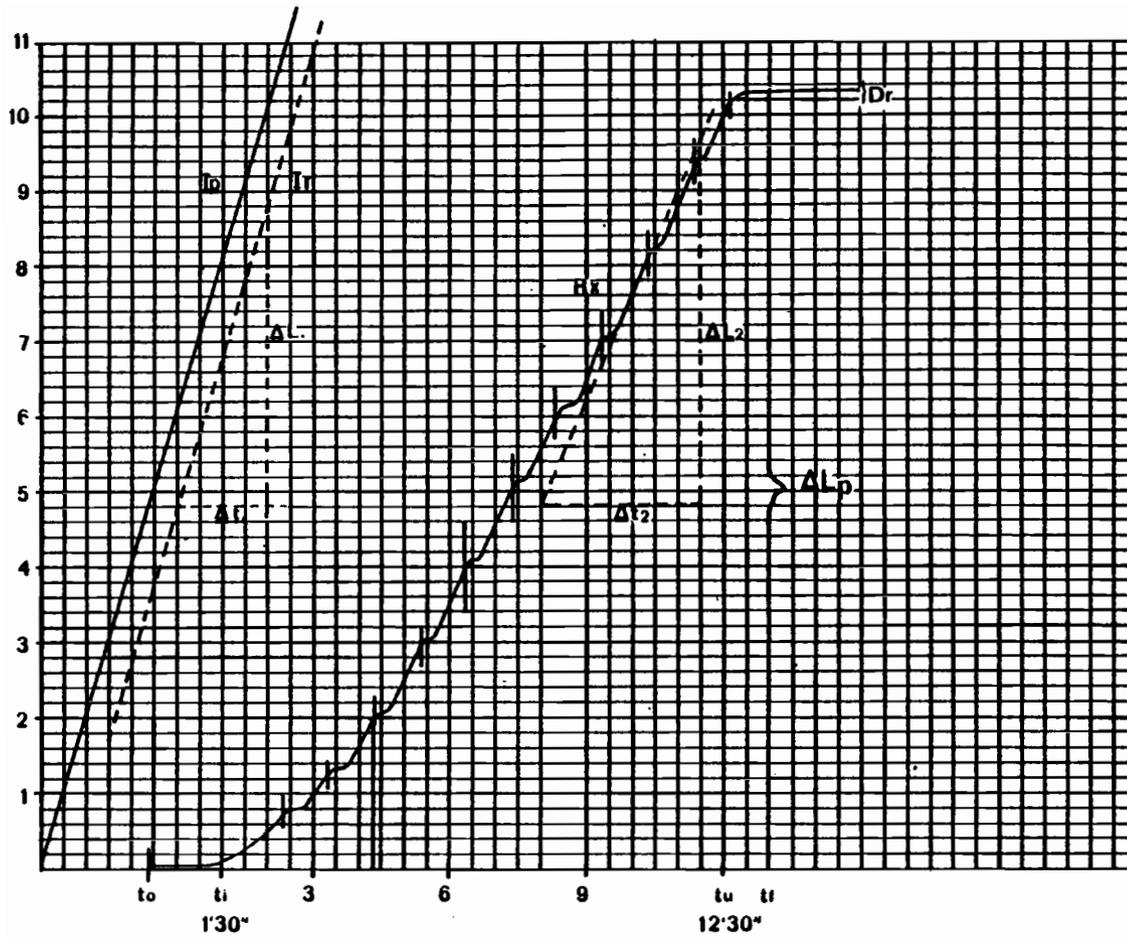
$t_u$  : fin de la pluie

$t_u - t_o = t_a$  : durée de la pluie

$t_i$  : début du ruissellement

$t_f$  : fin du ruissellement

$t_a$  : temps écoulé depuis la fin de la pluie précédente, autrement dit durée de ressuyage



$D_r$  = Détection récupérable

$I_p$  = Intensité de pluie prévue (mm/h)

$I_r$  = Intensité de pluie réelle (mm/h)

$t_o$  = Heure de début de la pluie

$t_i$  = Heure d'apparition du ruissellement

$t_u$  = Heure de fin de ruissellement

$t_f$  = Heure de fin de la pluie

$(t_u - t_o) = t_a$  = Durée de la pluie

$\frac{\Delta L}{\Delta t}$  = Valeur de la pente (et  $R_x$ )

$R_x$  = Moyenne des  $\frac{\Delta L_2}{\Delta t}$  vers la fin de la pluie

Fig 12 DEPOUILLEMENT D'UN LIMNIGRAMME

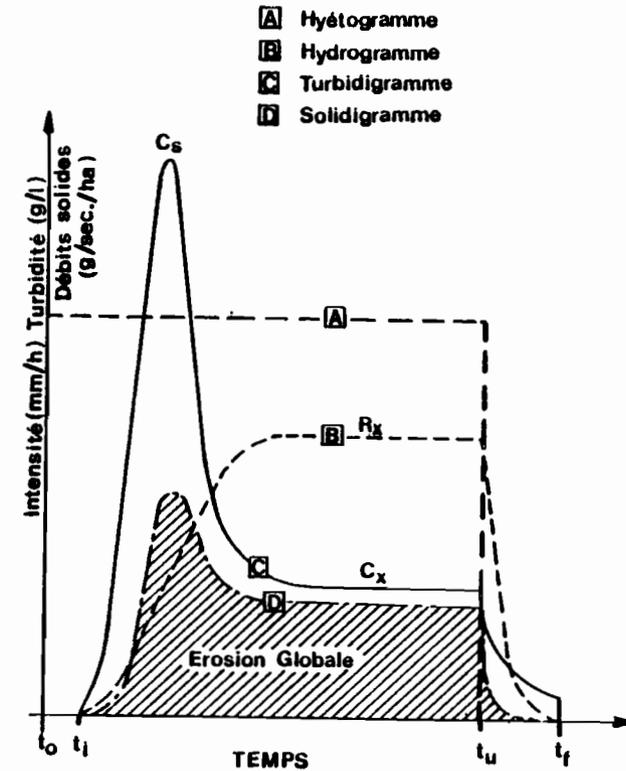


Fig 12bis REPRESENTATION GRAPHIQUE TYPE DE L'EROSION  
(COLLINET ET VALENTIN)  
1979

to, tu et ta, sont préalablement fixés dans le protocole des pluies simulées ; ti et tf sont déterminés à partir du limnigramme.

- Intensité de pluie .- Avant la pluie, on étalonne l'appareil à l'aide du bac pluviographique qui recouvre alors la parcelle. L'intensité de cette pluie que l'on compare à l'intensité prévue  $I_p$ , appelée intensité réelle ( $I_r$ ), s'obtient en mesurant la pente de la tangente de la courbe d'enregistrement limnigraphique. On opère de même pour le ruissellement. L'intensité est en effet la dérivée en fonction du temps et de la hauteur d'eau dans la cuve.

- Intensité de ruissellement maximale ( $R_x$ ) .- La valeur du ruissellement maximale  $R_x$  est donnée par le palier atteint en quelques minutes, après la phase d'imbibition et la phase de transition (LAFFORGUE, 1977).

En pratique, on prend pour  $R_x$  la moyenne des pentes des tangentes au cours des 5 ou 10 dernières minutes de pluie (selon la durée de pluie), en s'assurant que l'écart - type de ces valeurs soit faible.

- lame ruisselée ( $L_r$ ) .- On la déduit du limnigramme. C'est la hauteur à partir de  $t_i$  jusqu'à  $t_f$  ; cette valeur multipliée par le nombre total des échantillons et par le volume de chaque échantillon donne la lame totale ruisselée

$$L_r = R_x(t_f - t_i) + D_r$$

$$L_r = \sum_{t_i}^{t_f} R \Delta t + D_r$$

- Détention récupérable ( $D_r$ ) .- C'est la hauteur de la lame d'eau qui continue à ruisseler après l'arrêt de la pluie.

- Turbidité .- Une fois le ruissellement commencé, on a pris des échantillons à intervalles de temps réguliers, à savoir pour les pluies de durée 12'30, chaque minute et pour celles de 50 minutes de durée, chaque 5 minutes. Les échantillons furent transportés au laboratoire puis laissés au repos après avoir ajouté du Sulfate d'Alumine pour accélérer la sédimentation. Les résultats sont exprimés en g/l.

Souvent, il y a des sédiments qui restent dans le canal de la parcelle après la pluie ; ils sont recueillis et pris en compte dans les calculs de détachabilité.

Le tracé des valeurs de turbidité en fonction du temps est le turbidigramme sur lequel apparaissent des valeurs intéressantes (fig. 12 bis) :

- le pic de turbidité ( $C_s$ ) en début de pluie
- le palier de turbidité ( $C_x$ ) généralement associé à  $R_x$ .

Le débit solide ( $Q_s$ ) est le produit des valeurs de turbidité ( $C_x$ ) par les valeurs de ruissellement ( $R_x$ ). Les valeurs de  $Q_s$  en fonction du temps sont exprimées sous forme de solidigrammes dont le planimétrage permet de calculer la quantité de terre exportée par le ruissellement ( $E_2$ ), la quantité totale exportée ( $E_T$ ) est obtenue en ajoutant à  $E_2$  les quantités recueillies dans le canal ( $E_C$ ).

$$E_T = E_2 + E_C$$

#### c) Prélèvements micromorphologiques

Pour la caractérisation des microorganisations pelliculaires superficielles, on a pris des échantillons avant et après chaque pluie afin d'analyser l'évolution de la surface du sol. La prise d'échantillons s'effectue en enfonçant verticalement un cylindre de 10 cm de hauteur x 7 cm de diamètre.

Pour le transport des échantillons jusqu'au laboratoire, on a suivi la méthode utilisée par LEPRUN (1978) et VALENTIN (1981). Les échantillons sont imprégnés in-situ d'une solution d'acétate de cellulose (dilué dans l'acétone), puis emballés et transportés dans du coton. Les échantillons ainsi prélevés sont amenés au laboratoire de Pétrographie et Minéralogie de l'ORSTOM. Ils subissent alors une imprégnation lente, puis on fabrique les lames minces. Celles-ci sont ensuite étudiées au microscope optique.

#### d) La porosité

L'évaluation de la porosité de l'horizon superficiel est faite grâce à des mesures sur le terrain de densité apparente et des mesures au laboratoire de densité réelle. Les mesures de terrain ont été effectuées en surface avant la première pluie et après la dernière pluie du protocole, à l'aide d'un densitomètre à membrane (fig. 11, c).

#### e) Mesure de la résistance mécanique à la pénétration

La résistance mécanique à la pénétration des sols de chaque site fut déterminée en utilisant l'Aiguille Proctor (fig. 11, b). Avant et après chaque pluie, on a réalisé 10 mesures sur les parcelles expérimentales, la profondeur de pénétration a été fixée à un centimètre. Des échantillons d'humidité ont été systématiquement prélevés sur le site de mesure.

### B - SYSTEMES D'IRRIGATION A ASPERSION

Dans le périmètre de Marabadiassa réservé à la recherche par la SODEFEL (bloc M-7), nous avons mené une étude pour connaître l'effet de l'utilisation de différents asperseurs, 3 systèmes de préparation du sol, l'effet de la bagasse (résidus de canne à sucre) sur le ruissellement, et la formation de croûtes superficielles.

Les 18 traitements associent :

- 1) trois systèmes de travail du sol
  - a.1. labour + pulvérisage
  - a.2. chiselage + pulvérisage
  - a.3. traitement standard
- 2) trois types d'asperseurs
  - b.1. asperseur type A 20 TNT, intensité 5 mm/h, écartement 12 x 12
  - b.2. asperseur type B 30 TNT, intensité 10 mm/h, écartement 12 x 12
  - b.3. asperseur type C 20 EW, intensité 15 mm/h, écartement 18 x 18
- 3) deux types de parcelles
  - c.1. parcelle de 1 m<sup>2</sup> nue
  - c.2. parcelle de 1 m<sup>2</sup> recouverte de bagasse.

La surface d'étude couvre 3 500 m<sup>2</sup> (70 x 50), la pente est de 2 % et la dernière culture était du gombo (légume de la famille des Malvacées). Le plan expérimental est donné à la fig. 13.

#### 1) Types de travail du sol

##### a) Système S<sub>1</sub> :

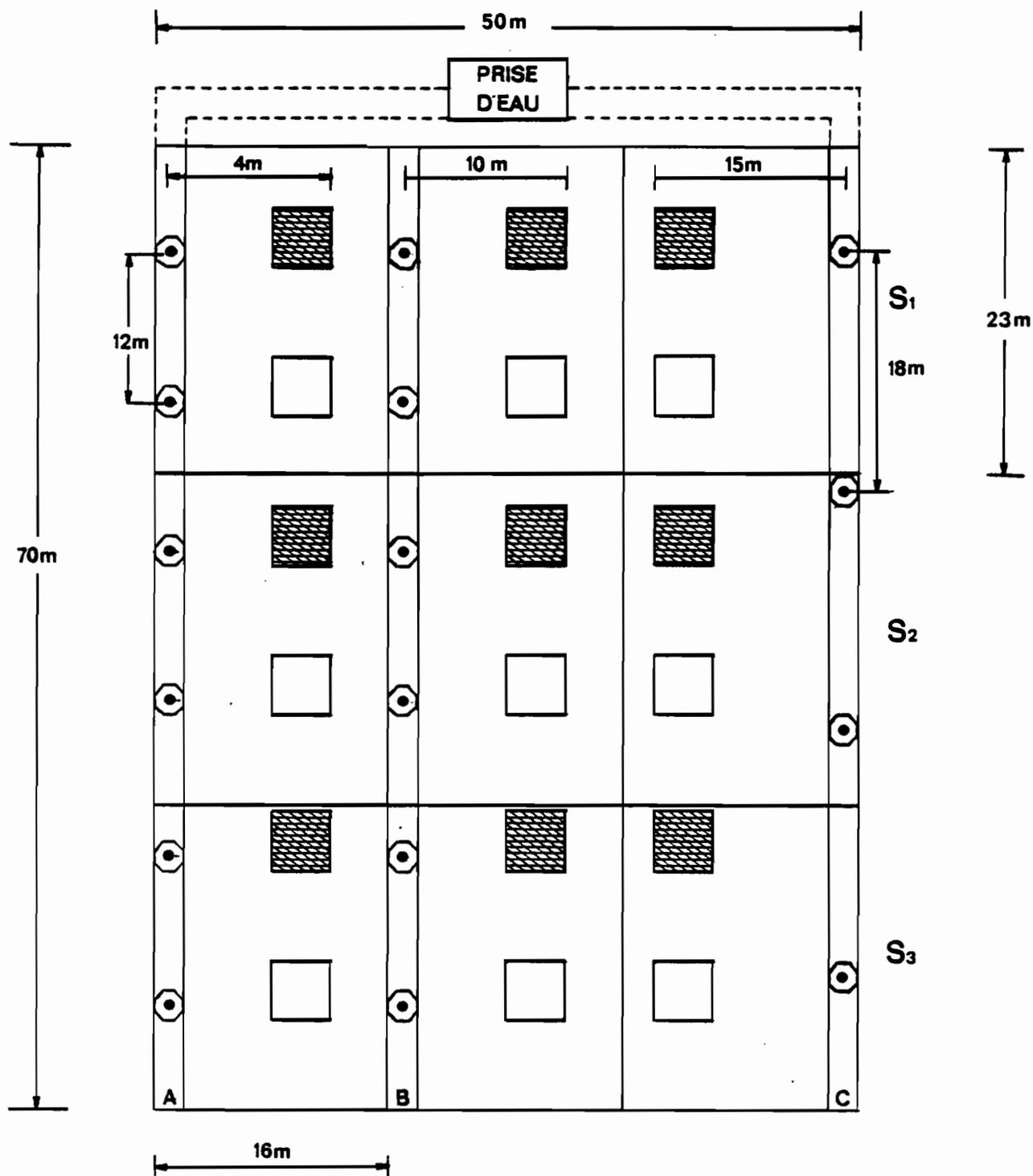
Labour + pulvérisage. Le labour du sol a été fait en utilisant un tracteur FIAT 300, de 30 CV, et une charrue qui a pour but de mélanger et de renverser la terre jusqu'à une profondeur de 30 cm. Avant de faire ce travail, on a arrosé la parcelle durant 2 heures afin de mouiller le sol et de faciliter le travail du petit tracteur. La durée de ce labour fut de 1 h 20 sur une surface de 1 150 m<sup>2</sup>.

Le pulvérisage a été réalisé avec un tracteur International Harvester 1055 - 4, de 100 CV, tirant un cover-crop qui a pour but de casser les mottes de la surface du sol. La durée de l'opération fut de 15 mn.

##### b) Système S<sub>2</sub> :

Chiselage + pulvérisage. Mêmes conditions d'humidité que pour le premier système, le travail du sol a été réalisé avec le tracteur International Harvester, et un Chisel qui a

FIG 13 SCHEMA DE DISTRIBUTION DES PARCELLES DANS LE SYSTEME D'IRRIGATION PAR ASPERSION BLOC M - 7 SODEFEL



-  : Gicleur type B 30 TNT 12 x12 10mm/h
-  : Gicleur type A 20 TNT  (tripieds) 12x12 5mm/h (1 sortie)
-  : Parcelle avec paillage 1m<sup>2</sup>
-  : Parcelle sans paillage 1m<sup>2</sup>
-  : Gicleur type C 70 EW 18x18 15mm/h
- S<sub>1</sub>** : Système de préparation du terrain = LABOUR + PULVERISEUR
- S<sub>2</sub>** : " " " " " " = CHISELAGE + PULVERISEUR
- S<sub>3</sub>** : " " " " " " = COSTON

pour but d'ameublir la terre sans la retourner ni la mélanger (profondeur : 40 cm). Le pulvérisage a été mené comme pour le système S<sub>1</sub>.

c) Système S<sub>3</sub> :

Standard (ORSTOM). La préparation du sol a été la même que dans le cas de l'infiltromètre, c'est-à-dire qu'on a coupé d'abord les mauvaises herbes avec une machette et ensuite on a ameubli la terre jusqu'à 10 cm de profondeur en utilisant la pioche et la pelle pour fractionner les mottes les plus grosses.

2) Types d'asperseurs

La SODEFEL utilise différents types de gicleurs selon qu'il s'agisse d'arroser une pépinière ou bien une culture déjà installée. Chaque parcelle est dotée de matériel de type "MOBIL" (voir Annexe II).

Les caractéristiques de fabrication des gicleurs sont indiquées sur la fig. 1, d'après Irri-France (Annexe II).

3) Installation des parcelles d'observation et de mesure

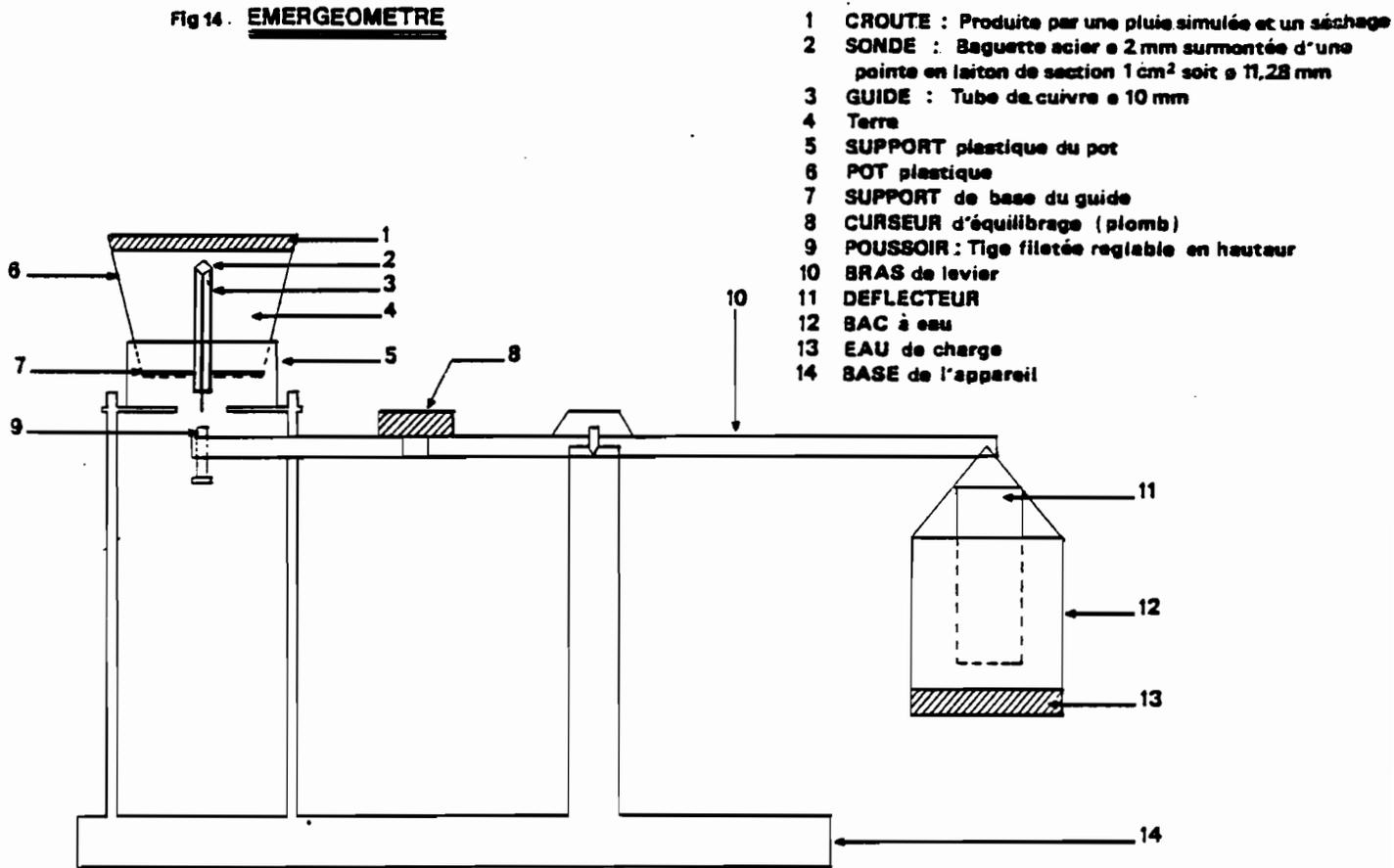
Pour les mesures de ruissellement, on a utilisé 18 parcelles de 1 m<sup>2</sup>. Avec 3 systèmes de préparation du sol et 3 types de gicleurs, on dispose de 9 parcelles avec bagasse et 9 parcelles nues. A l'aval de chaque parcelle, on a placé dans une fosse un bac de recueil en plastique de 50 l.

La distance entre la parcelle et le gicleur fut déterminée en fonction de l'écartement entre gicleurs et de la direction du vent au moment de l'aspersion (voir fig. 13).

L'application de bagasse de canne à sucre s'est faite comme pour les parcelles sous pluie simulée, l'humidité de la bagasse au moment de son application déterminée au laboratoire était de 17 % (teneur pondérale).

Le protocole d'irrigation suivi est présenté dans le tableau 3 de l'annexe II).

Fig 14. EMERGEOMETRE



Echelle  $\frac{1}{3}$

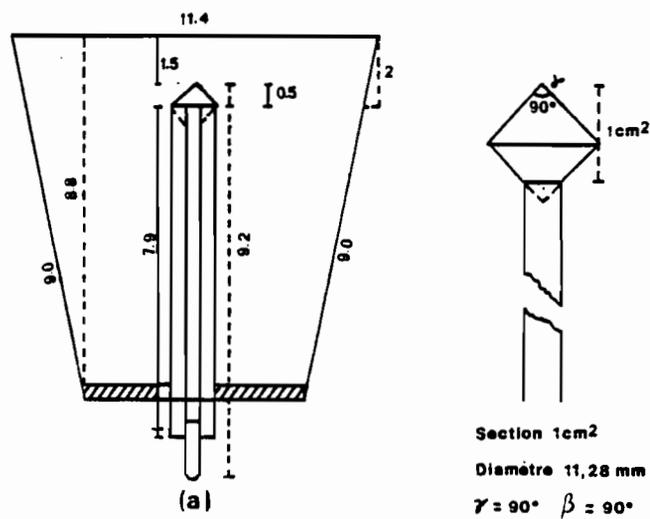


Fig 15 Caractéristiques du pot et de la sonde de l'emergeometre

## C - ESSAIS DE LABORATOIRE

Pour chaque site expérimental, des échantillons composites constitués de pellicules naturelles ont été prélevés à la surface du sol. Après séchage à l'air, ces échantillons ont été tamisés à 1 mm.

### 1) Construction et mise au point d'un émergéomètre (fig. 14 et 15)

L'évaluation de l'effort fait par les plantules pour percer les croûtes superficielles nécessite l'emploi d'un appareil qui simule cette action. L'appareil, appelé émergéomètre qui a été construit en collaboration avec J. ASSELINE au laboratoire de Pédologie Expérimentale du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé en (Côte d'Ivoire), s'inspire des travaux de ARNDT (1965a et 1965b). Il est peu coûteux et de maniement aisé.

#### a) Description et fonctionnement de l'appareil .

Le principe est celui d'une balance (fig. 14) dont le levier (10) à droite porte un récipient (12) dans lequel on verse de l'eau, à gauche pousse vers le haut une tige verticale destinée à rompre la croûte formée à la surface d'un échantillon. Un curseur en plomb (8) placé sur le bras gauche du levier permet de régler à zéro la force initiale appliquée à la croûte.

L'eau ajoutée progressivement jusqu'à rupture de la croûte est versée à l'aide d'une pissette sur un déflecteur (11) placé au-dessus du récipient pour amortir le jet. L'échantillon est contenu dans un pot (6) traversé axialement par un tube en cuivre ( $\emptyset = 10$  mm), ou guide (3), et solidaire de celui-ci (support basal 7).

La tige mobile, ou sonde (2) est formée d'une baguette en acier ( $\emptyset = 2$  mm) surmontée d'une pointe en laiton de section  $1 \text{ cm}^2$ . Elle est actionnée par un poussoir (9) réglable, solidaire du bras gauche du levier (10), et elle coulisse vers le haut dans le guide (3).

La pointe en laiton (fig. 15) est de forme conique et ses angles supérieur ( $\alpha$ ) et inférieur ( $\beta$ ) sont de  $90^\circ$  comme l'ont recommandé AUDRY et al. (1973). Elle se rapproche ainsi de la forme en cosse de nombreuses plantules au moment de la levée.

Le pied en bois (14) du dispositif soutient à droite le support vertical du bras de levier, à gauche le pot et son support (5) par l'intermédiaire de deux tiges de cuivre.

L'ensemble - échantillon, pot et support, sonde et son guide, constitue une unité solidaire et amovible. Il faut réaliser autant d'unités de ce type qu'il y a de traitements à étudier, et avec le nombre de répétitions nécessaires.

### b) Protocole expérimental

Le rôle de l'émergéomètre est de déterminer la force capable de rompre la croûte formée artificiellement dans un pot sous pluie simulée. Les échantillons proviennent des différents sites expérimentaux. Le protocole de simulation de pluie est le même que celui utilisé sur le terrain, à savoir 4 pluies  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\Delta$ , avec des temps d'arrêt de 4, 17 et 43 heures, la lame totale étant de 100 mm.

Les pots sont remplis de terre provenant de la couche superficielle, préalablement séchée et tamisée à 1 mm. On les pèse à la balance de précision et on les soumet à l'action de la pluie simulée, ce qui entraîne la formation d'une croûte. Après chaque pluie, on retire 2 pots que l'on pèse et que l'on sèche superficiellement à l'aide d'un ventilateur. On pèse à nouveau et on les place sur l'émergéomètre pour la mesure.

### c) Etalonnage de l'émergéomètre

Un réglage préalable de l'appareil est nécessaire. Pour cela, on suspend le récipient à eau complètement sec au bras de levier et on déplace le curseur jusqu'à équilibre. On dispose alors le pot et son support de telle façon que la base de la sonde et le haut du poussoir soient en contact. On fait le réglage en agissant sur la tige filetée du poussoir. La force initiale exercée sur la sonde est ainsi nulle. On ajoute alors lentement de l'eau à l'aide d'une pissette dirigée vers le défecteur. Si la rupture de la croûte n'est pas obtenue, on remplace le récipient par un plus grand, ce qui amène à refaire le réglage, ou bien on ajoute des poids du côté du récipient d'eau, jusqu'à obtenir la rupture.

Quelle que soit la méthode utilisée, après rupture de la croûte, on pèse à la balance de précision la quantité d'eau contenue dans le récipient et on prend éventuellement en considération les poids ajoutés. On exprime le résultat en grammes-force (gF) ou en dynes.

## 2) Déterminations des énergies cinétiques des pluies simulées

L'utilisation de la moustiquaire, de la toile ombrière et de la bagasse de canne à sucre dans le protocole de pluies simulées exigent la connaissance des énergies cinétiques, des intensités de ces pluies (30 et 120 mm/h) et des énergies cinétiques au-dessus de la moustiquaire et de la toile ombrière.

Les deux paramètres qui définissent l'énergie cinétique d'une pluie ( $E_c = 1/2 m.v^2$ ), la masse et la vitesse d'impact des gouttes, peuvent être calculées à partir de la distribution de la taille des gouttes.

Nous avons calculé les énergies cinétiques d'une gamme d'intensités des pluies simulées, y compris l'intensité de 30 et 120 mm/h.

La méthode utilisée fut celle de la farine qui consiste à recueillir les gouttes de pluie dans un bac de farine, les agrégats ainsi formés sont tamisés et répartis en plusieurs classes de tailles. (tab. 3).

La figure 16 permet de comparer, en fonction de l'intensité des pluies (classes de 15 mm/h), les énergies cinétiques des pluies simulées par l'infiltromètre à aspersion utilisé au Centre, et les énergies cinétiques de pluies naturelles du même endroit, mesurées par VALENTIN (1981). Celui-ci a montré que les pluies naturelles s'ajustent sur l'équation :

$$E_c = 7.79 + 3.09 \ln(I)$$

où :  $E_c$  = énergie cinétique en J/mm/m<sup>2</sup>  
 $\ln(I)$  = logarithme népérien de l'intensité de pluie, mm/h.

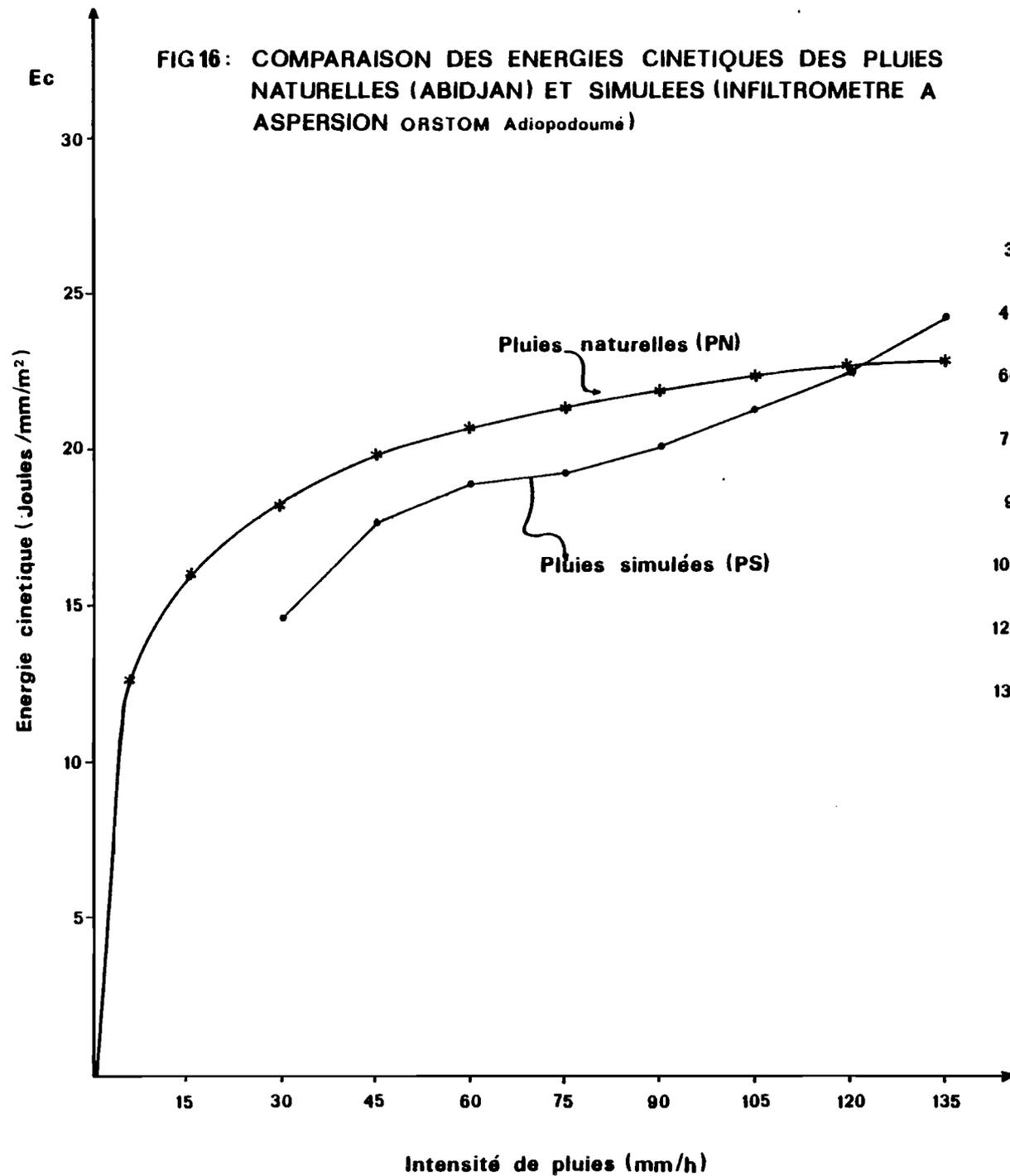
Les énergies cinétiques correspondent à des intensités de 30 et 120 mm/h utilisées dans cette étude sont de 16.3 et de 23.7 J/mm/m<sup>2</sup> respectivement, elles sont la moyenne de deux répétitions.

Les énergies cinétiques au-dessous de la moustiquaire et de la toile ombrière furent calculées en utilisant la même méthode de la farine, les valeurs sont 2.9 et 2.2 J/mm/m<sup>2</sup> respectivement.

## 3) Tests de germination et pénétrométrie

Les semences du riz testées furent de la variété IRAT 13 ; 100 semences (trois répétitions) ont été déposées dans des boîtes de Pétri, sur une couche de coton saturé d'eau distillée, et laissées à la température ambiante du laboratoire (27°C), le comptage des semences germées a été fait 5 jours après. Les résultats sont donnés par le tableau 4.

**FIG 16: COMPARAISON DES ENERGIES CINETIQUES DES PLUIES NATURELLES (ABIDJAN) ET SIMULEES (INFILTROMETRE A ASPERSION ORSTOM Adiopodoumé)**



	EC <sub>PS</sub>	EC <sub>PN</sub>	$\frac{EC_{PS} - EC_{PN}}{EC_{PN}} \%$
30	14.1	18.2	- 19.7
45	17.7	19.5	- 9.1
60	18.9	20.4	- 7.2
75	19.2	21.1	- 9.0
90	20.3	21.6	- 6.0
105	21.2	22.1	- 4.0
120	22.7	22.5	- 0.0
135	24.1	22.9	+ 5.3

Tableau 3 : CLASSES GRANULOMETRIQUES, INTENSITES DE PLUIES ET ENERGIES CINETIQUES  
 SOUS INFILTROMETRE A ASPERSION. CENTRE ORSTOM, ADIOPODOUME, COTE D'IVOIRE

Classes de Diamètres (mm)	POURCENTAGE EN MASSE (%)								ENERGIE CINETIQUE (Joules/mm/m <sup>2</sup> )							
	30	45	60	75	90	105	120	135	30	45	60	75	90	105	120	135
0.200-0.315	3.07	3.44	3.78	2.67	1.81	1.17	0.62	0.94	0.09	0.103	0.113	0.080	0.054	0.035	0.02	0.028
0.315-0.400	6.21	3.31	2.31	3.21	1.85	0.95	1.10	0.89	0.23	0.125	0.087	0.120	0.070	0.036	0.04	0.034
0.400-0.500	7.58	5.48	4.71	5.20	2.85	1.78	1.12	1.36	0.32	0.229	0.197	0.217	0.200	0.074	0.05	0.057
0.500-0.630	6.89	6.08	5.23	5.15	3.03	2.09	1.64	1.56	0.46	0.405	0.348	0.343	0.202	0.139	0.11	0.104
0.630-0.800	9.43	8.56	7.17	7.50	5.32	4.00	3.71	3.09	0.80	0.727	0.609	0.637	0.452	0.340	0.31	0.262
0.800-1.00	9.74	7.15	6.69	6.74	5.23	4.76	4.89	4.30	1.04	0.763	0.714	0.719	0.559	0.507	0.52	0.459
1.00-2.000	46.40	39.42	38.12	49.93	46.50	49.39	43.41	39.45	8.40	7.119	6.884	9.020	8.40	8.92	7.84	7.125
2.000-3.150	10.68	26.53	32.00	19.59	33.40	35.85	40.87	40.53	3.34	8.298	10.00	6.13	10.45	11.214	12.78	12.857
3.150-4.000	-	-	-	-	-	-	2.68	7.88							1.10	3.24
4.000-5.000	-	-	-	-	-	-	-	-							-	-
Energie cinétique par mm de pluie J/mm/m <sup>2</sup>									14.68	17.77	18.95	19.266	20.387	21.265	22.770	24.166
Energie cinétique par heure J/h/m <sup>2</sup>									440.4	799.65	1137.0	1444.95	1834.83	2232.83	2732.4	3262.4

- 71 -

Pour s'assurer de l'absence de problèmes de germination des grains de riz une fois que la semence est couverte par une couche de sol, nous avons placé au milieu du pot (1,5 cm sous la surface) une semence de riz prégermée. Le protocole de cet essai a été constitué par 24 pots et un même régime de pluies que les essais décrits précédemment. Après la pluie, la moitié des pots est séchée à l'aide d'un ventilateur et l'autre moitié est séchée à la température ambiante du laboratoire (27°C).

Le nombre de plantules, qui ont percé la croûte superficielle après le séchage, est pris en compte dans les paramètres d'évaluation de germination et de levée des plantules proposés par RATHORE et al. (1982). Ces paramètres sont :

- a) Taux final de levée (U.E.) - Nombre maximum de grains ayant levés pendant l'essai
- b) Taux de levée (R.E.) - On obtient le taux de levée en divisant l'augmentation journalière du nombre de levées, par le nombre de jours depuis le semis et en faisant la somme du commencement à la fin de la période de la levée.
- c) Taux de mortalité des semences et des plantules dû à l'influence de la croûte superficielle.

$$\% \text{ mortalité} : 100 - \frac{U E}{\% \text{ germination (laboratoire)}} \times 100$$

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Paramètres de levée de semences de Riz pluvial sous l'influence de la formation de croûtes superficielles.

Intensité des pluies mm/h	Poids de 100 semences (g)	% germination au laboratoire	Nombre de semences pré-germées/essai	U E (%)	R E %	Mortalité %
120	3,722	80	24	50	3,9	50,0
60	3,804	79	24	37,5	2,9	62,5
30	3,649	81	24	45,8	2,9	54,2

Commentaire : le taux de mortalité est de l'ordre de 50 %. Les différences obtenues en fonction de l'intensité de pluie ne paraît pas significative (nombre de semences insuffisant).

V.- RÉSULTATS ET DISCUSSION

A - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES  
DES MICRO-ORGANISATIONS PELLICULAIRES SUPERFI-  
CIELLES (MOPS)

La caractérisation des transformations de la surface du sol a été menée à deux échelles d'observation, macro et microscopique.

1) Observations macroscopiques

a) MOPS formées sous pluies naturelles

L'observation de MOPS formées sous pluies naturelles dans les sites étudiés nous a permis de les différencier et de les regrouper sur la base de l'aspect, de la consistance en sec au toucher, ainsi que du degré de continuité de la pellicule.

Les trois premiers sites de Tieningboué présentent des MOPS assez semblables : elles sont discontinues et fragiles ; ces caractères sont à rapprocher de la présence de gravillons en surface.

Par contre, les MOPS des sites WEDALA (IV) et SODEFEL (V) sont dures et continues ; il est à noter qu'elles sont dépourvues de gravillons en surface.

Les analyses granulométriques des horizons superficiels ont donné les résultats suivants (tableau 5) :

Granulométrie (%)	TIENINGBOUE			WEDALA	SODEFEL
	SI	SII	SIII	SIV	Sv
Argile (0-2μ)	9.0	11.6	9.9	14.0	17.2
Limon fin (2-20μ)	4.4	5.6	10.2	11.4	6.8
Limon gross. (20-50μ)	3.4	4.6	3.8	15.0	13.7
Sable fin (50-200μ)	14.8	19.6	13.8	39.0	47.1
Sable gross. (200-2 000 μ)	67.8	56.6	60.1	18.0	12.0
Refus > à 2 mm minéral	46.3	9.9	45.3	4.3	0.5
% Matière organ. totale	1.2	1.2	1.7	2.3	1.4
Classe texturale	gravelo- pailleux	sableux à sable grossier	gravelo- sableux	sableux s.f. limon	sableux s.f. limon

Tableau 5 - Granulométrie de la couche superficielle (0-5 cm) des sols des différents sites expérimentaux.

Commentaire : la composition granulométrique entre les sites I et III est assez semblable (gravelo-sableux) et la différence avec le site II (sableux à sables grossiers) est la haute teneur en gravillons des premiers (46 %). Les sites IV et V sont riches en sables fins et en limons. Ces différences granulométriques entre sites permettent ainsi d'interpréter les différences morphologiques des MOPS. C'est pour les textures les plus équilibrées (sites IV et V) que les pellicules sont les plus développées (les plus épaisses et les plus continues).

#### b) Evolution des états de surface sous pluies simulées

Le labour manuel à faible profondeur (10 cm, traitement standard) provoque la destruction des croûtes formées sous pluies naturelles et apporte en surface des mottes de petite taille (voir fig. 35). L'évolution de la surface du sol des parcelles labourées au cours des pluies simulées a été suivie à l'aide de clichés photographiques pris avant et après chaque averse.

PARCELLES A (120 mm/h) : après la première pluie ( $\infty$ ) et comme conséquence du choc des gouttes de pluie à la surface du sol, il y a eu une réorganisation de particules fines et l'émergence à la surface des matériaux les plus grossiers, ceci est particulièrement net pour les sites I et III.

A la fin de la dernière pluie ( $\Delta$ ), pour les sites I, II et III, où la totalité des matériaux fins a été entraînée, les gravillons couvrent la quasi-totalité de la parcelle. Pour les sites IV et V, le comportement est très différent ; à la fin de la dernière pluie, la surface du sol est complètement tassée et lisse.

PARCELLES B (120 mm/h + moustiquaire) : le tassement décrit ci-dessus n'apparaît pas, ce qui confirme a contrario le rôle de l'énergie cinétique sur le tassement de surface.

PARCELLES C (30 mm/h) : l'apparition en surface des gravillons n'intervient que lors de la deuxième pluie, et d'une manière moins marquée que pour les parcelles A des trois premiers sites. Dans les sites IV et V, après la troisième pluie, le tassement de la surface est total.

#### 2) Observations microscopiques

Une erreur d'imprégnation au laboratoire nous a fait éliminer plusieurs échantillons des sites I, II et III, ce qui nous prive d'une possibilité de comparaison complète entre les sites expérimentaux.

Deux critères de différenciation ont été retenus, le premier est la présence ou non d'une pellicule de sédimentation (micro-horizon) ; et le deuxième est l'apparition ou non d'un tassement des premiers millimètres de surface. Il a aussi été possible de mesurer l'épaisseur des différents micro-horizons.

PARCELLES A : au cours des pluies, sur les parcelles A, on observe la formation en surface d'une pellicule horizontale dont l'épaisseur varie de 2,5 mm (sites I, II et III) à 3 mm (sites IV et V). L'expression du tassement est proportionnel au nombre de pluies. Autrement dit, les parcelles qui ont reçu une seule pluie montrent une porosité assez forte, alors que celle-ci a considérablement diminué sur les parcelles ayant reçu plusieurs pluies. Le tassement est plus marqué pour les sites IV et V (clichés , b, , d, e) que pour les premiers sites.

PARCELLES B : bien que les parcelles soient protégées par la moustiquaire, on observe la formation d'une pellicule superficielle de 1 à 2 mm d'épaisseur (rarement de 3 mm).

Par contre, la porosité reste forte même pour les parcelles ayant reçu plusieurs pluies.

PARCELLES C : les parcelles C ont un comportement similaire aux parcelles A. L'épaisseur des MOPS y est toutefois moins développée (2 mm).

### 3) Conclusions partielles

Les observations tant macroscopiques que microscopiques nous conduisent à dégager les résultats suivants :

- 1.- Ce sont les sols les plus pauvres en sables grossiers et en gravillons qui présentent la plus forte sensibilité à la formation de MOPS (sites IV et V). Ainsi, les sables grossiers limiteraient la cohésion des pellicules et les rendraient fragiles (sites I, II et III) et les gravillons favoriseraient la dissipation de l'énergie cinétique et donc limiteraient le tassement.
- 2.- La présence d'une moustiquaire au-dessus de la surface du sol n'empêche pas la formation de MOPS même si elle limite considérablement le tassement superficiel. En effet, l'énergie cinétique des pluies dans le cas des parcelles B (2,9 J/mm/m<sup>2</sup>) est très nettement inférieure à celle des parcelles A (23,7 J/mm/m<sup>2</sup>) et C (16,4 J/mm/m<sup>2</sup>). Il y a formation de croûte même lorsque l' $E_c$  est très faible (< 3 J/mm/m<sup>2</sup>).

Ces conclusions sont en accord avec celles de HENIN (1969), DE PLOEY (1980 - 1981), qui ont montré que l'indice d'instabilité structural et les limites d'ATTERBERG permettent d'apprécier la sensibilité à la formation de croûtes. La constitution

de pellicules en l'absence de chocs de gouttes de pluie a également été mise en évidence par VALENTIN (1981) et BOUKAR (1982).

## B - INFILTRATION ET RUISSELLEMENT

Les phénomènes d'infiltration et de ruissellement ont été étudiés à la fois par les physiciens du sol et par les hydrologues, qui ont développé, les uns et les autres, des formules et des modèles empiriques pour les représenter.

### 1) Infiltration

On sait que l'infiltration de l'eau dans le sol dépend non seulement des caractères intrinsèques initiaux du sol (texture, structure, porosité, conductivité hydraulique, organisations pédologiques), de l'humidité initiale, mais aussi des réorganisations qui s'opèrent à la surface du sol en fonction du mode d'apport d'eau.

Les enregistrements limnigraphiques obtenus dans ce travail fournissent pour chaque site trois hydrogrammes de ruissellement. Ceux-ci permettent d'établir les principaux paramètres qui vont nous intéresser par la suite (tab. 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de l'Annexe III). L'hydrogramme théorique de ruissellement proposé par LAFFORGUE (1976) nous a servi de base de référence pour nos résultats (voir fig. 1, Annexe III)

Durant la première phase (imbibition), l'infiltration est totale, autrement dit la capacité d'infiltration est supérieure à l'intensité de l'averse. Les rapports entre la lame d'eau totale infiltrée et la pluie cumulée des sites étudiés (fig. 17, 18, 19, 20, 21 et 22) mettent en évidence que les parcelles soumises aux énergies cinétiques les plus basses (B et C) présentent les lames totales infiltrées les plus élevées. Pour de faibles énergies cinétiques, la pénétration de l'eau est déterminée par la succion au niveau du front d'humectation.

Les pluies à forte énergie cinétique entraînent des réorganisations superficielles qui se traduisent par une ségrégation des constituants et un tassement. Des micro-organisations superficielles à porosité très réduite s'individualisent alors et s'opposent à l'infiltration. Cet effet s'observe clairement sur la figure 23.

Commentaire : les intensités minimales d'infiltration sont inverses à celles de l'énergie cinétique cumulée de la pluie dans une première phase, puis pratiquement constantes dans une seconde phase. Des relations semblables ont été obtenues par BISAL (1965), FEODOROFF (1965), RIOU (1960) et MOLDENHAUER (1969).

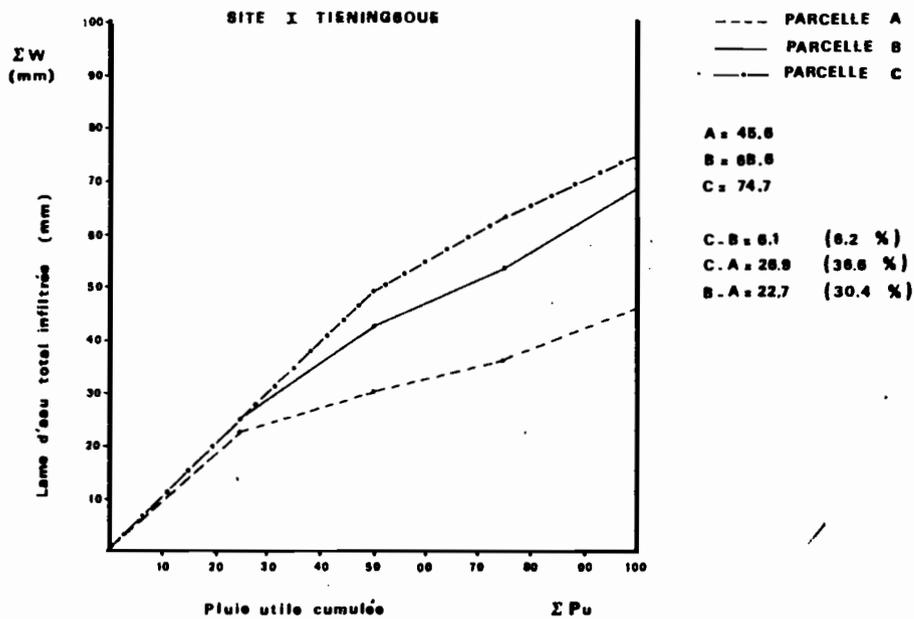


Fig.17 Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site I TIENINGBOUE

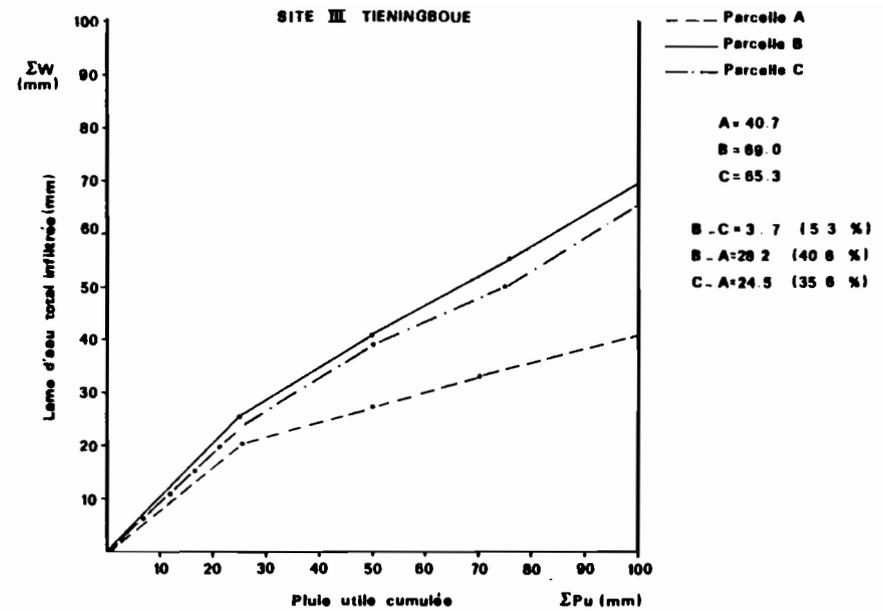
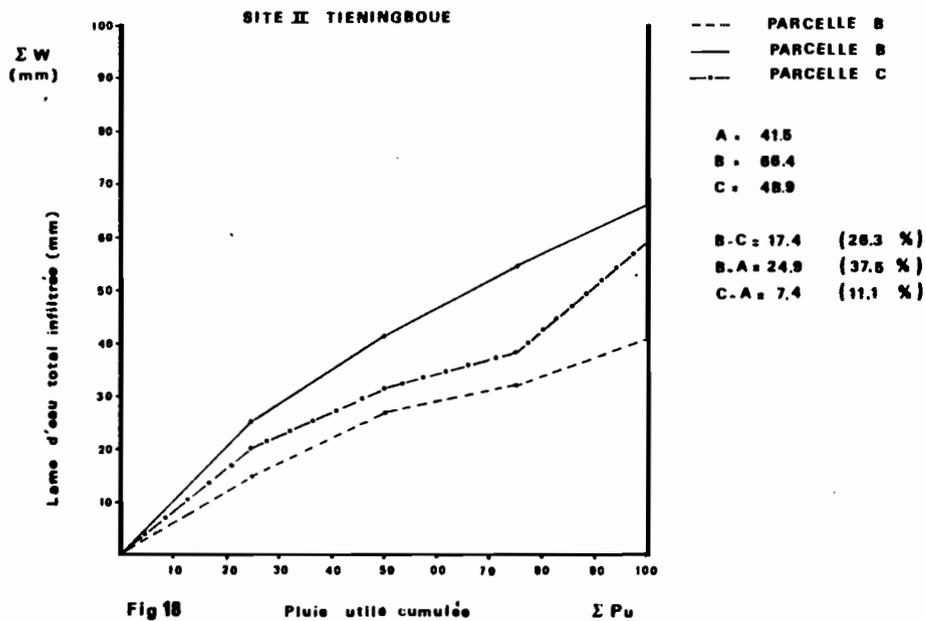


Fig.19 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site III TIENINGBOUE



Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site II TIENINGBOUE

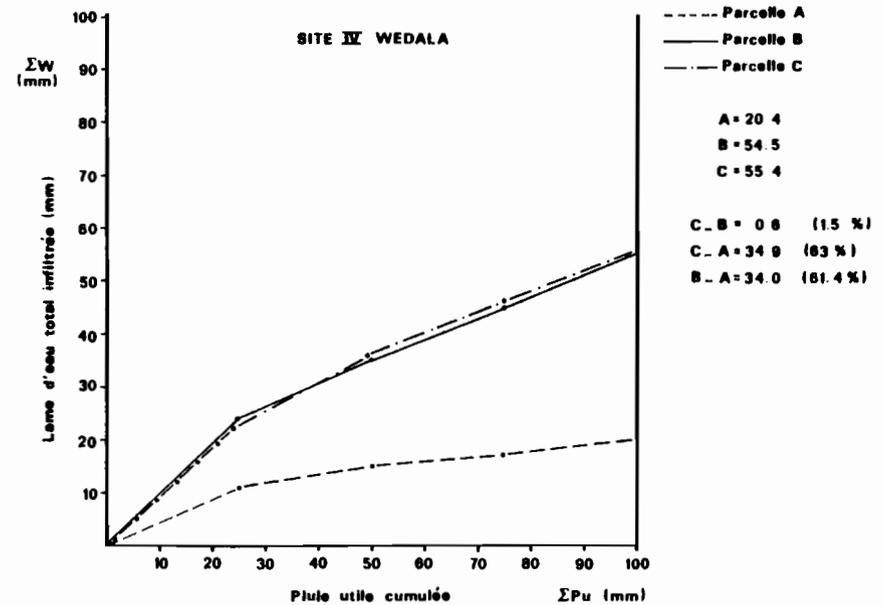


Fig.20 : Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site IV WEDALA

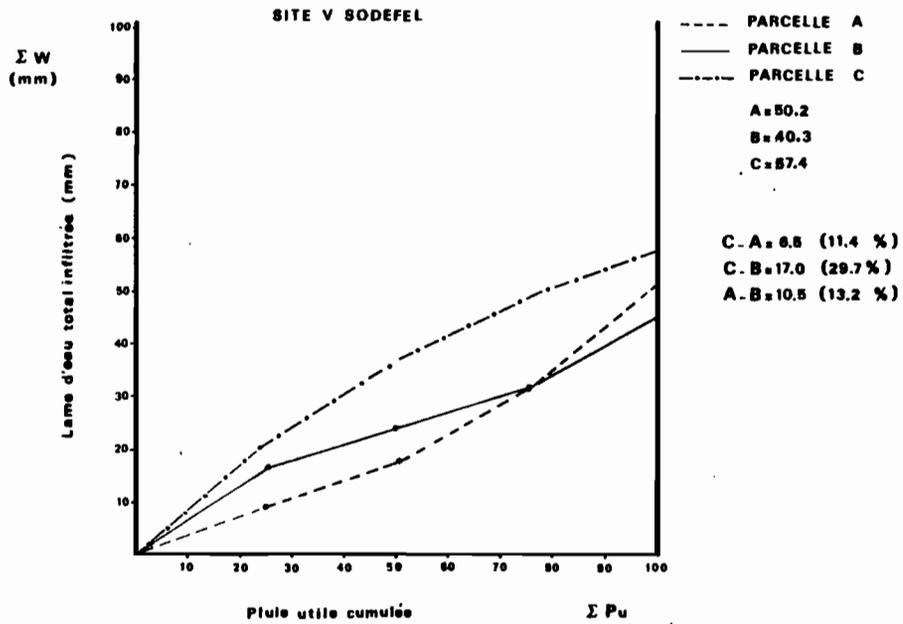


Fig.21 Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site V SODEFEL

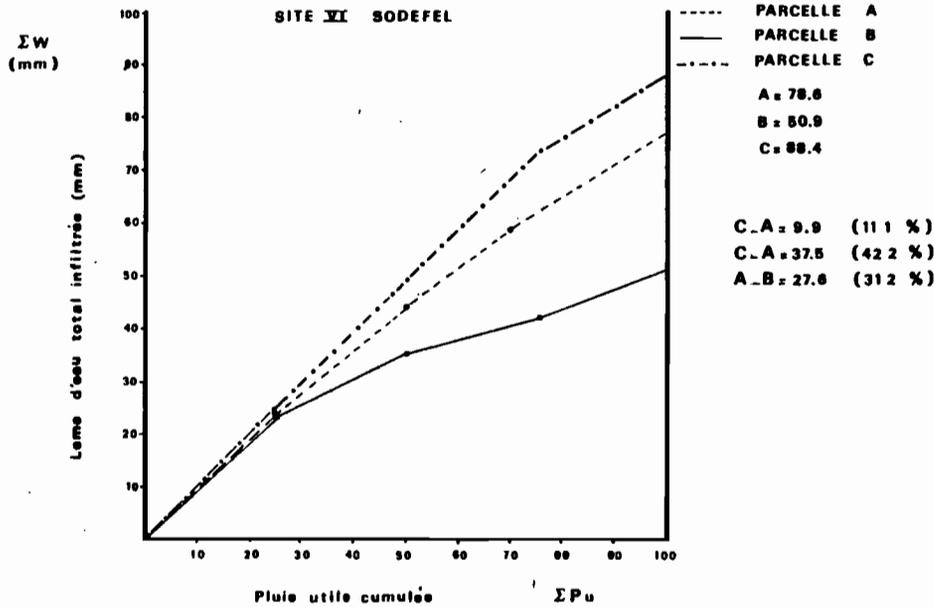
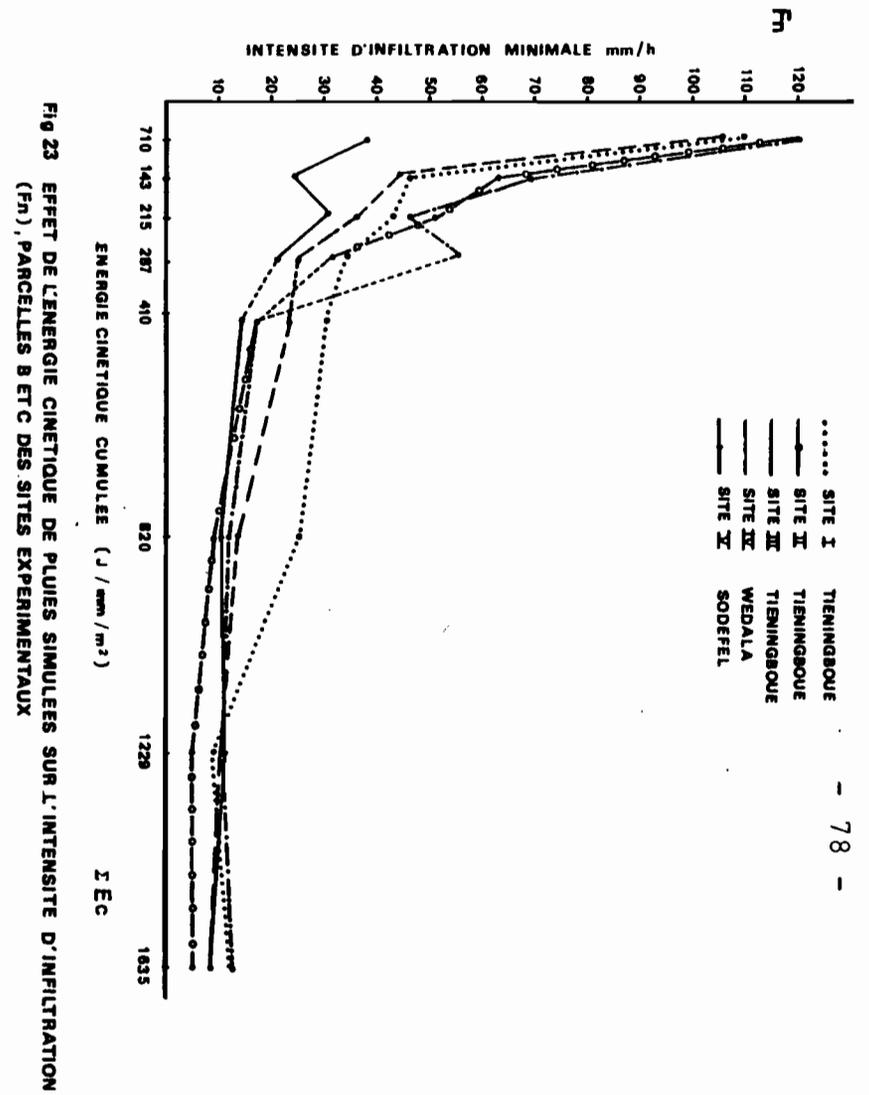


Fig.22 Rapport entre la pluie utile cumulée et la lame d'eau totale infiltrée du site VI SODEFEL



Les parcelles des sites V et VI de SODEFEL présentent des caractéristiques particulières : l'infiltration y est beaucoup plus importante (le ruissellement est réduit de 30 % dans la parcelle C, de 40 % dans la parcelle A). Ce résultat est attribuable à l'effet du paillage qui absorbe une part de l'énergie cinétique.

Il est également possible de comparer la moustiquaire et la toile ombrière comme méthodes de dissipation de l'énergie cinétique de la pluie (fig. 21 et 22) ; il apparaît une légère différence d'environ 11 % en faveur de la toile ombrière.

#### a) Stock hydrique du sol

Comme nous l'avons signalé (p. 57), la hauteur de la pluie d'imbibition (cf. tab. 8) et l'intensité d'infiltration dépendent du déficit de saturation avant la pluie.

Nous avons tenté de mettre en évidence cette relation en calculant à partir des profils hydriques et des porosités totales le déficit de saturation ( $\Delta i$ ) à différentes profondeurs (tab. 6).

Commentaire : Quelle que soit l'épaisseur du sol concernée, les relations statistiques que l'on peut établir entre la pluie d'imbibition ( $P_i$ ) et le déficit ( $\Delta i$ ) ne sont pas significatives ( $P_i = a + b \Delta i$ ).

#### 1) Indice de KOHLER

Si au lieu du déficit de saturation ( $\Delta i$ ), on utilise l'indice de KOHLER, indice d'humectation de type hydrologique (voir tab. 2 de l'Annexe II)

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1})e^{-\alpha t_n}$$

la relation que l'on obtient est :

$$P_i = A + B IK$$

où A et B sont deux constantes caractéristiques du sol. On obtient les résultats suivants (tab. 7).

Traitement			120 mm/h Parcelle A				120 mm/h Parcelle B + moustiquaire				30 mm/h Parcelle C			
Site	Tranche	Sat.(%)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta$
I	0 - 10	41.9	86.3	67.1	-	77.9	78.8	65.0	-	71.6	79.1	64.5	-	69.2
	0 - 25	98.0	80.2	65.0	-	61.9	73.5	58.3	-	69.3	77.0	62.1	-	67.7
	0 - 50	195.4	79.2	65.4	-	63.7	66.9	54.2	-	72.6	71.0	55.9	-	61.5
II	0 - 10	41.4	79.8	63.8	-	65.0	83.1	53.9	-	66.1	80.6	44.6	-	65.3
	0 - 25	99.5	70.8	83.4	-	59.8	72.3	52.0	-	59.2	66.2	43.8	-	51.5
	0 - 50	200.1	69.7	69.5	-	63.0	71.8	53.5	-	61.0	65.2	55.0	-	36.7
III	0 - 10	38.8	85.9	59.6	-	67.0	86.8	51.2	-	60.3	81.6	58.7	-	58.5
	0 - 25	97.1	76.8	65.3	-	67.9	84.7	57.8	-	64.6	85.4	61.5	-	64.7
	0 - 50	203.7	79.5	69.0	-	68.0	78.5	67.8	-	68.8	82.3	63.8	-	67.0
IV	0 - 10	54.7	57.3	53.5	-	51.1	62.3	52.8	-	49.4	67.4	52.0	-	53.9
	0 - 25	122.2	51.7	51.6	-	45.0	59.2	53.1	-	58.8	58.3	49.4	-	50.3
	0 - 50	215.3	45.5	48.7	-	38.5	51.2	49.0	-	45.6	52.9	44.4	-	43.5
V	0 - 10	41.5	64.0	28.4	-	27.5	40.7	29.3	-	22.2	56.0	23.2	-	39.7
	0 - 25	100.6	59.4	30.6	-	25.1	50.4	32.2	-	19.5	45.0	19.3	-	30.2
	0 - 50	190.9	53.8	35.1	-	23.2	37.0	37.2	-	15.4	31.7	12.5	-	20.9

Tableau 6 : Déficit de saturation  $\Delta i$  (% volumique) pour trois tranches de sol (10, 25 et 50 cm) des profils du sol des sites expérimentaux.  $\Delta i = \frac{\text{Sat.} - \text{stock}}{\text{Sat}}$

Tableau 7 - Indices statistiques de corrélation entre pluie d'imbibition ( $P_i$ ) et l'indice d'humectation (KÖHLER) dans les sites expérimentaux.

	$S_I$			$S_{II}$			$S_{III}$			$S_{IV}$			$S_V$			$S_{VI}$		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
A	3.43	11.68	20.86	5.25	20.6	5.6	10.3	20.6	12.0	5.5	13.9	13.9	5.1	8.9	11.8	21.9	14.8	26.4
B	-0.06	-0.33	-0.58	-0.11	-0.57	-0.13	-0.28	-0.59	-0.31	-0.14	-0.38	-0.40	-0.13	-0.23	-0.33	-0.51	-0.40	-0.49
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$r^2$	0.47	0.78	0.77	0.74	0.75	0.84	0.73	0.75	0.77	0.72	0.74	0.75	0.66	0.84	0.80	0.83	0.74	0.64
	NS																	NS

n : nombre de pluies (effectives)  
 $r^2$  : coefficient de détermination

A et B : constantes de la relation  $P_i(K)$

Commentaire : Un tel résultat peut surprendre puisque la prise en compte du déficit mesuré s'avère moins performante que l'approche empirique. Dans cette dernière, l'indice d'humectation correspond à un stock fictif dont la loi de vidange est exponentielle (comme un ressuyage du sol) et qui se remplit à chaque averse, il tient compte du temps de ressuyage entre chaque averse. Cet ajustement meilleur sur une relation empirique que sur un modèle physique a maintes fois été observé par les hydrologues qui travaillent pourtant à la même échelle du m<sup>2</sup> (CASANAVE, 1981). En fait, il est probable que le modèle suggéré devrait être plus élaboré pour être plus performant. En pratique, pour les agronomes, comme pour les hydrologues, il est bien plus aisé d'utiliser des données climatiques que des mesures humidimétriques et tensiométriques.

## 2) Pluies d'imbibition

Les pluies d'imbibition constituent une part très importante des lames totales infiltrées (tab. 8). Ceci est particulièrement vrai dans le cas du paillage (parcelle A et C, site VI).

Tableau 8 : Lames totales infiltrées et pluies d'imbibition cumulées des différents sites expérimentaux.

site	PARCELLE A 120 mm/h			PARCELLE B 120 mm/h + moustiquaire			PARCELLE C 30 mm/h		
	$\Sigma Li$ (mm)	$\Sigma Pi$ (mm)	$Pi\ 1/\Sigma Li$ (%)	$\Sigma Li$ (mm)	$\Sigma Pi$ (mm)	$Pi\ 1/\Sigma Li$ (%)	$\Sigma Li$ (mm)	$\Sigma Pi$ (mm)	$Pi\ 1/\Sigma Li$ (%)
S <sub>I</sub>	45.8	18.8	28.2	68.6	19.2	20.4	74.7	33.3	33.3
S <sub>II</sub>	41.5	12.1	14.4	66.4	34.9	37.6	48.9	12.1	12.7
S <sub>III</sub>	40.7	17.8	30.7	69.0	34.0	36.1	65.3	22.2	21.7
S <sub>IV</sub>	20.4	10.3	32.8	54.5	24.0	31.1	55.4	22.5	30.7
S <sub>V</sub>	50.8	9.7	12.3	40.3	16.4	25.3	57.4	20.1	24.3
S <sub>VI</sub>	78.6	46.1	54.1	50.9	26.0	35.3	88.4	64.9	28.2

$\Sigma Li$  : lames infiltrées cumulées

$\Sigma Pi$  : pluies d'imbibition cumulées

$Pi\ 1/\Sigma Li$  : lame infiltrée apportée par la première pluie d'imbibition.

Commentaire : Il est intéressant de noter également que la contribution la plus importante est apportée par la première pluie d'imbibition ; certes, quand le sol est sec et que la macroporosité due au labour n'est pas encore obturée par des croûtes. Ce résultat montre à la fois l'efficacité du labour sur l'infiltration mais également le caractère temporaire de cet effet.

2) Ruissellement (phase transitoire et régime permanent)

La formation d'une lame d'eau continue parallèle à la surface du sol est causée par le débordement des flaques formées dans les dépressions du sol. Pendant cette phase, l'intensité d'infiltration diminue et la surface du sol est arrivée à la saturation (augmentation du stock d'eau).

L'analyse du ruissellement peut se faire de deux manières différentes : par la quantité d'eau ruisselée et par la quantité de sédiments que l'eau ruisselant peut transporter.

a) Lame d'eau ruisselée

L'évolution des lames d'eau ruisselées cumulées pour chaque site expérimental est reportée sur les figures 24, 25, 26, 27, 28 et 29, où l'on observe que la hauteur de la lame ruisselée croît à peu près linéairement avec la pluie utile cumulée (Pu), et ceci malgré les pluies d'imbibition, dont l'effet se marque par un segment moins incliné. Les valeurs de la lame ruisselée et la pluie utile cumulée sont portées sur le tableau 9.

Tableau 9 : Lames d'eau ruisselées ( $\Sigma Lr$ ), hauteur des pluies cumulées ( $\Sigma Pu$ ) dans les différents sites, et leur rapport.

Sites	PARCELLE A 120 mm/h			PARCELLE B 120 mm/h + moustiquaire			PARCELLE C 30 mm/h		
	$\Sigma Lr$ (mm)	$\Sigma Pu$ (mm)	$\frac{\Sigma Lr}{\Sigma Pu} \times 100$	$\Sigma Lr$ (mm)	$\Sigma Pu$ (mm)	$\frac{\Sigma Lr}{\Sigma Pu} \times 100$	$\Sigma Lr$ (mm)	$\Sigma Pu$ (mm)	$\frac{\Sigma Lr}{\Sigma Pu} \times 100$
S <sub>I</sub>	60.0	101.0	59.9	41.1	99.1	41.4	22.9	98.2	23.3
S <sub>II</sub>	59.5	101.2	58.8	33.4	100.0	33.4	51.1	100.0	51.1
S <sub>III</sub>	55.7	100.6	59.3	31.3	100.8	31.9	33.6	99.1	33.9
S <sub>IV</sub>	79.9	100.6	79.5	45.2	99.9	45.2	43.4	99.1	43.8
S <sub>V</sub>	63.5	102.5	61.9*	60.5	101.6	59.5	41.5	99.1	41.8
S <sub>VI</sub>	21.2	100.0	21.2	49.2	100.0	49.2	11.4	100.0	11.4

\* présence d'une termitière hypogée.

Commentaire : La lame d'eau ruisselée,  $\Sigma Lr$ , est moindre dans les parcelles B (protégées par une moustiquaire) et les parcelles C (faibles intensités de pluie) que dans les parcelles A (fortes intensités, absence de protection). Pour le site VI toutefois, la toile ombrière (parcelle B) réalise une protection moins efficace que la bagasse.

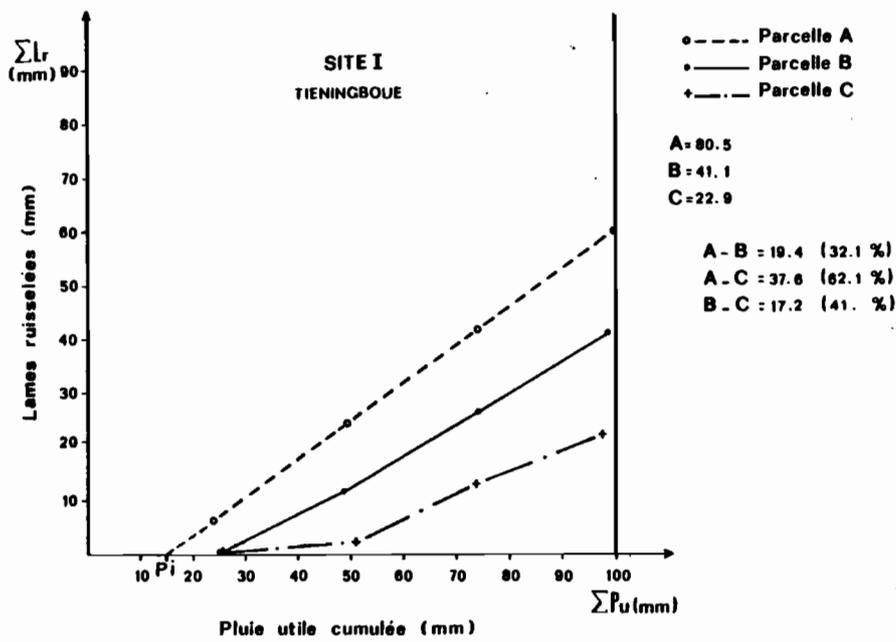


Fig 24 Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site I TIENINGBOUE

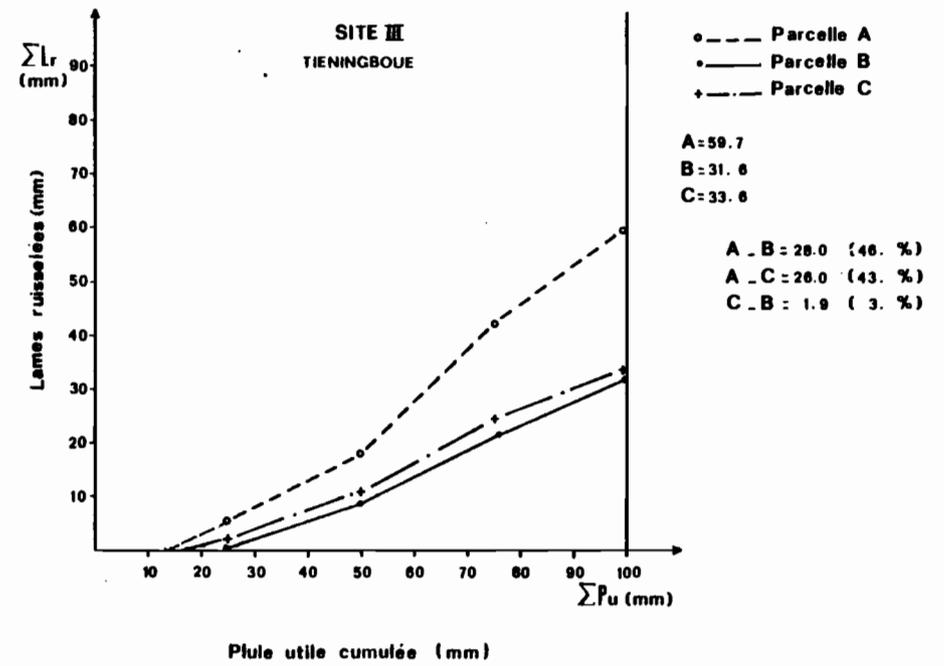


Fig 26 Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site III TIENINGBOUE

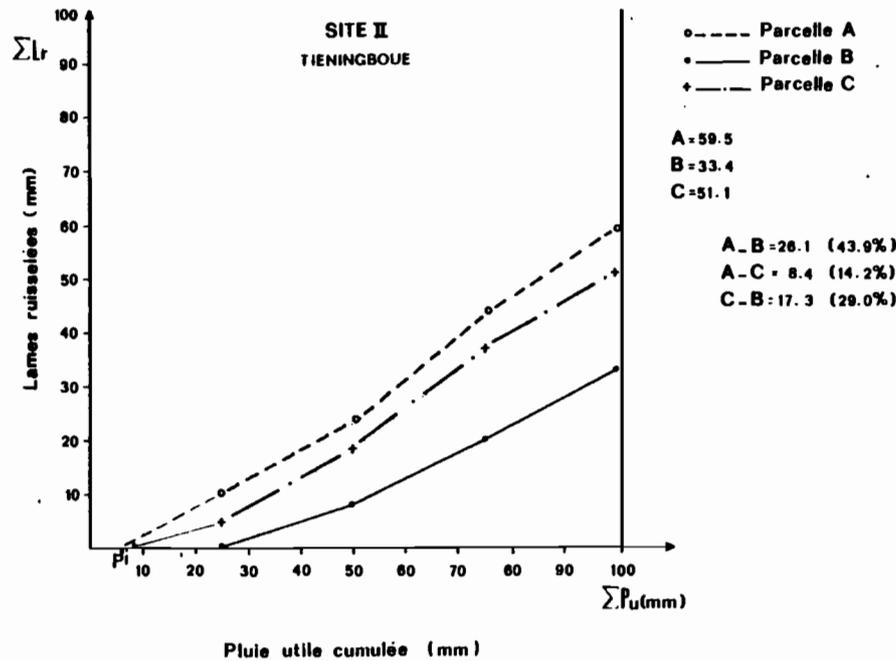


Fig 25 Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site II TIENINGBOUE

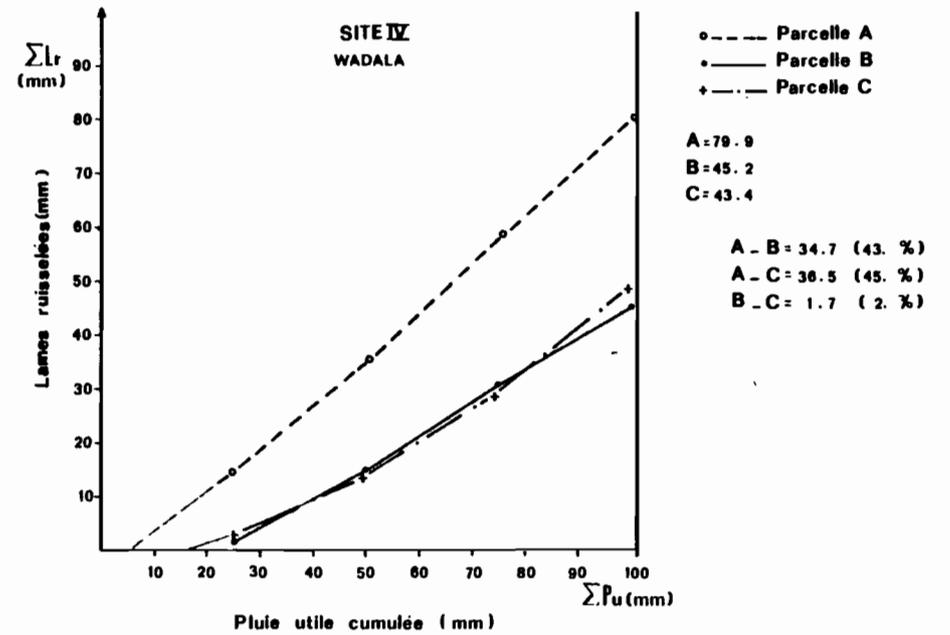


Fig 27 Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site IV WADALA

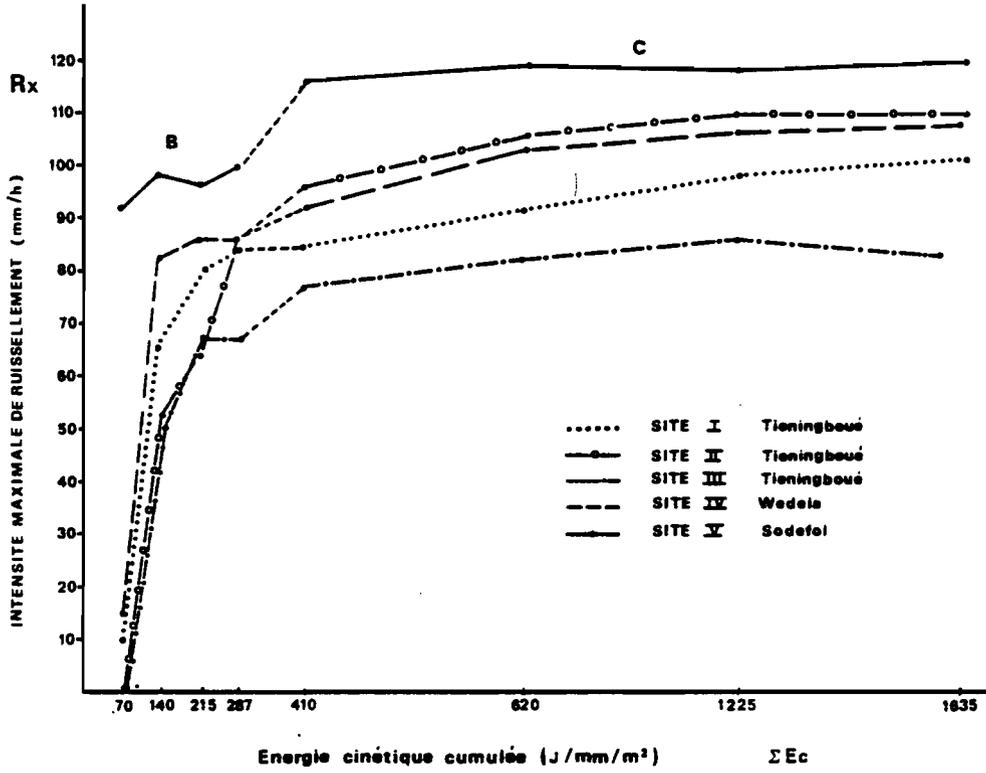


Fig 30 Effet de l'énergie cinétique de pluies simulées sur l'intensité de ruissellement (Rx) parcelles B et C des sites expérimentaux. (la partie en pointillée des courbes relie les valeurs obtenues entre les parcelles B et C)

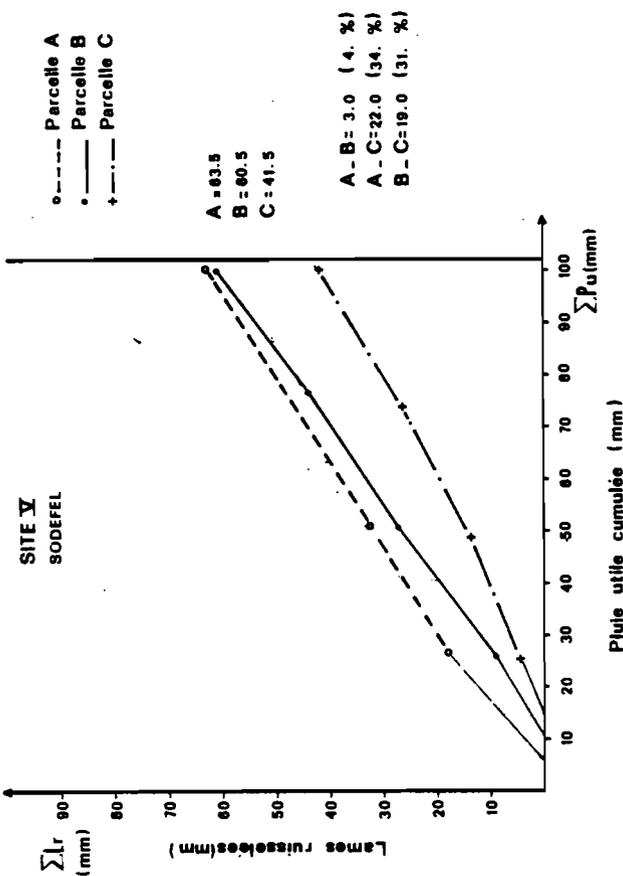


Fig 28 Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée dc: site V SODEFEL

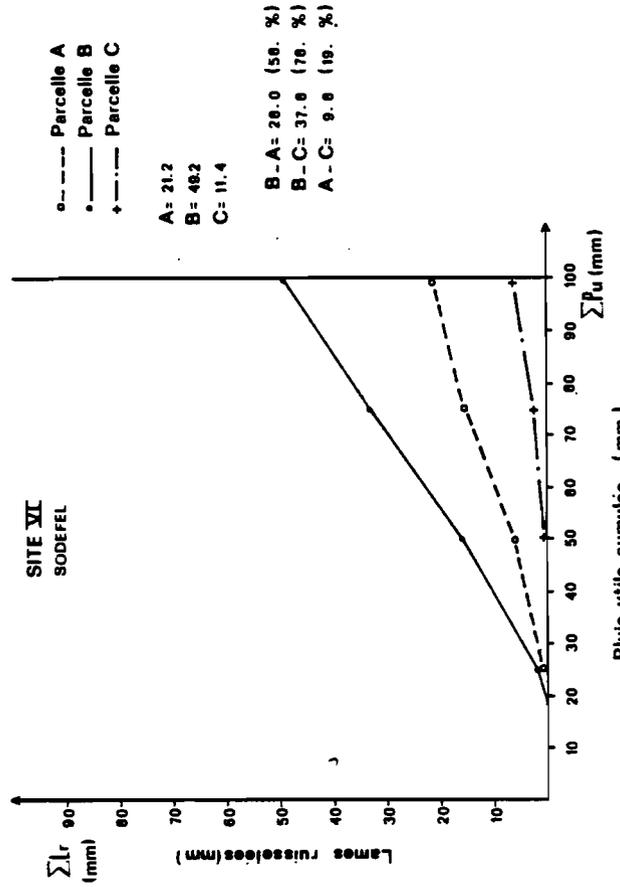


Fig 29 Relation entre la pluie utile cumulée et la lame ruisselée du site VI SODEFEL

La protection par la moustiquaire réduit la lame ruisselée d'environ 25 %.

- Un apport d'eau avec une intensité quatre fois moindre (parcelle C) réduit la lame ruisselée de 40 à 60 % (13 % seulement en SII, peu caillouteux) ;
- Les différences les plus notables sont en relation avec la composition granulométrique :
  - .fort ruissellement en II C lié à la faible teneur en cailloux,
  - .fort ruissellement en IV A lié à la teneur en sables fins (80 %) et V (63 %),
  - .fort ruissellement élevé encore (60 %) dans les sols I, II, III, à texture grossière (Sg et Réfus).

#### b) Rapport entre énergie cinétique et ruissellement

Sous forme illustrée, la figure 30 indique l'influence de l'énergie cinétique cumulée sur l'intensité maximale du ruissellement, en prenant les valeurs des parcelles B et C des sites étudiés. On constate une relation directe énergie-ruissellement pour les valeurs faibles d'énergie cinétique (parcelle B) : le ruissellement diminue. Notons que la parcelle SODEFEL est la plus sensible aux changements de l'énergie cinétique, qui augmentent rapidement le ruissellement ; cela est étroitement lié à la granulométrie de la surface et à la formation de croûte.

#### c) L'influence du mulch sur le ruissellement

La comparaison des sites V et VI (fig. 29) qui correspondent au même sol, fait apparaître l'effet de la couverture de bagasse sur la lame d'eau ruisselée. Pour le traitement A, la différence est de 42 mm, soit une réduction des 2/3. Pour le traitement C, la différence est de 30 mm, soit une réduction de 72 %.

La toile ombrière réduit la lame ruisselée de 14 mm (22 %) pour les fortes intensités du traitement A, soit 28 mm (44 %) de moins que la bagasse. Elle est plus efficace que la moustiquaire (différence de 11 mm, soit 18 %).

La détention d'eau dans le micro-relief absorbe une partie de l'énergie cinétique de la pluie. La hauteur de la lame ruisselée a été obtenue uniquement à partir de la détention récupérable ( $D_r$ ). Cette absorption intervient notamment pour les sites WEDALA et SODEFEL où, du fait de l'abondance des sables fins, la croûte se forme rapidement et le ruissellement apparaît immédiatement après la première pluie.

## C - DETACHABILITE

La quantité de constituants solides en suspension dans l'eau ruisselée exprimée en g/l, correspond à la valeur de la turbidité, utilisée dans cette étude pour évaluer la détachabilité. Les valeurs ainsi obtenues ont été reportées graphiquement en fonction du temps (turbidigramme). La combinaison du turbidigramme et de l'hydrogramme permet d'obtenir le solidigramme. Par planimétrage de celui-ci, et en ajoutant les terres du canal, on a obtenu l'érosion provoquée à chaque averse. Un exemple de ces calculs est présenté sur les figures 2 et 3 de l'Annexe III.

### 1) Turbidité

Au début, à cause du labour, avant la première pluie, toutes les parcelles présentent à la surface du sol des éléments meubles produits artificiellement par la destruction de la structure du sol. Cela crée une macroporosité importante dans l'horizon Ap qui favorise l'infiltration, mais une fois établi le ruissellement (parcelles A dès la première pluie, et pour les parcelles B et C dès la deuxième pluie), il y a transport des éléments détachés par le labour plus ceux détachés par l'impact des gouttes de pluie. C'est pourquoi on trouvera généralement des valeurs plus élevées de la turbidité en début de pluie. Elles entraînent alors sur les courbes un "pic" de turbidité.

Quand le régime constant de ruissellement est atteint les variations de la turbidité au cours d'une même pluie sont faibles. La tableau 10 présente les valeurs moyennes (régime permanent) de la turbidité  $C_{\bar{x}}$ .

Commentaire : Pic de turbidité  $C_s$  et turbidité moyenne  $C_x$  :

- les différences liées à l'intensité des pluies ( $A > C$ ) et au couvert (B/A) sont importantes :  $C_x$  est réduit à 1/10 là où les intensités sont 4 fois plus faibles et la moustiquaire réduit  $C_x$  au 1/5.

Les différences d'une averse à l'autre sur un même site ne sont pas significatives, si ce n'est que la turbidité  $C_x$  est dans 4 cas sur 6 un peu plus forte lors de la 1ère averse.

- Le pic de turbidité  $C_s$  en début d'averse s'observe dans 15 cas sur 72. Il est de l'ordre du double de la turbidité moyenne  $C_x$ . Il peut être attribué soit à la mobilisation de particules lors de la pluie d'imbibition, soit à une reprise de sédiment déposé par la pluie précédente (pluies  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\Delta$ ). Ce pic, qui s'observe aussi à l'échelle du bassin versant, a été décrit en particulier par VALENTIN (1981) dans le cas d'une pluie d'intensité supérieure à la précédente (ici, les intensités successives sont égales).

Tableau 10 : Relation entre la détachabilité, la turbidité (Cx) et le ruissellement (Rx) pour les différents sites expérimentaux : Tienningboué, Wedala, SODEFEL.

SITE	PLUIE	PARCELLE A			120 mm/h			PARCELLE B 120 mm/h + MOUST'						PARCELLE C 30 mm/h					
		TERRE DU CANAL gr/m2	Qs gr/m2	DETACHA. gr/m2	Cs g/l	Cx g/l	Rx mm/h	TERRE DU CANAL gr/m2	Qs gr/m2	DETACHA. gr/m2	Cs g/l	Cx g/l	Rx mm/h	TERRE DU CANAL gr/m2	Qs gr/m2	DETACHA. gr/m2	Cs g/l	Cx g/l	Rx mm/h
I	α	170.1	16.44	186.5	12.68	6.22	62.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β	309.6	31.80	341.4	9.89	5.80	96.0	22.7	3.24	10.66	-	1.10	66.0	53.3	1.19	54.49	-	0.87	17.00
	δ	219.8	12.36	232.2		2.71	97.0	18.5	1.32	19.82	-	0.36	80.0	83.0	0.82	83.82	-	0.24	14.40
	Δ	242.1	26.76	268.8		5.73	91.0	31.5	6.72	38.20	-	1.07	84.0	60.1	1.56	61.56	-	0.50	17.00
				1028.9		$\bar{x}=5.11$			68.67		$\bar{x}=0.84$				200.27		$\bar{x}=0.54$		
II	α	172.4	75.6	248.0		26.5	56.0	-	-	-	-	-	85.7	2.69	88.39	-	2.20	10.0	
	β	205.7	68.4	274.1		15.5	61.6	29.3	10.32	39.62	9.86	4.0	53.0	80.2	9.55	89.75	13.56	1.25	20.0
	δ	178.1	80.4	258.5		14.0	100.0	15.0	8.76	23.76		2.8	64.0	81.6	8.28	89.88	2.18	1.70	24.0
	Δ	155.5	78.0	233.5		18.4	88.0	34.5	18.48	52.98		4.8	86.0	138.7	15.36	154.06	4.73	2.90	24.0
				1014.1		$\bar{x}=18.6$			116.36		$\bar{x}=3.8$				452.08		$\bar{x}=2.01$		
III	α	63.30	6.48	69.78		4.80	55.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	β	80.40	23.64	104.04	6.60	3.70	97.5	51.8	2.88	54.68		0.92	50.0	30.0	1.15	31.15		0.34	16.0
	δ	80.50	14.76	95.26		2.36	96.4	40.0	2.40	42.40		0.52	66.0	37.3	1.70	39.00		0.31	20.0
	Δ	79.80	15.36	95.16		2.88	90.0	28.3	2.40	30.70	2.69	0.87	66.0	32.4	0.60	33.05		0.17	16.6
				364.24		$\bar{x}=3.5$			127.78		$\bar{x}=0.77$				103.20		$\bar{x}=0.27$		
IV	α	52.9	37.44	90.34		8.30	96.0	-	-	-	-	-	23.8	5.62	29.42		1.13	19.7	
	β	81.5	64.44	145.94		10.20	116.0	80.9	10.50	91.40	3.89	2.70	82.0	18.9	4.56	23.46		1.15	17.0
	δ	102.5	66.00	168.10		10.60	115.0	60.4	6.84	67.20		2.56	86.0	18.4	5.95	24.35		1.12	20.5
	Δ	107.5	144.90	252.40	88.72	7.67	110.0	42.7	4.08	46.78		0.74	86.0	19.6	6.36	25.96		1.12	
				553.78		$\bar{x}=9.18$			205.38		$\bar{x}=2.0$				103.20		$\bar{x}=1.13$		
V	α	117.4	54.24	171.64		9.6	108.0	37.5	5.64	43.14		2.30	92.0	31.5	2.69	34.19		1.45	16.5
	β	136.1	31.56	167.66		8.1	81.6	35.2	15.72	50.92	3.87	2.65	98.0	17.9	5.57	23.47	3.49	1.30	19.3
	δ	104.9	20.76	125.66		7.3	84.0	39.0	11.04	50.04		2.26	96.0	21.5	7.44	28.94	2.87	1.70	18.0
	Δ	80.8	9.00	89.80		3.6	62.0	35.7	10.92	46.62	5.31	1.80	100.0	26.7	7.68	34.38		1.70	20.0
				554.76		$\bar{x}=7.14$			190.72		$\bar{x}=2.25$				120.98		$\bar{x}=1.54$		
VI	α	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	β	-	2.52	2.52		1.01	56.0	-	5.52	5.52		1.33	84.0	-	-	-	-	-	
	δ	-	3.36	3.36	3.35	0.27	65.0	-	9.96	9.96		1.90	96.0	-	-	-	-	-	
	Δ	-	1.08	1.08		0.66	26.0	-	12.00	12.00		2.64	91.0	-	0.64	0.64		0.38	11.0
				6.96		$\bar{x}=0.64$			27.48		$\bar{x}=1.95$				0.64		$\bar{x}=0.38$		

Pour chaque site, les parcelles A donnent les valeurs de turbidité les plus élevées, viennent les parcelles C, puis les parcelles B. Ces valeurs sont en relation avec l'énergie cinétique décroissante des pluies simulées. Mais les différences entre sites sont importantes, et peuvent s'expliquer par l'influence de la granulométrie.

a) Effet de la granulométrie de couche de la surface

La composition granulométrique des horizons superficiels a déjà été reportée sur le tableau 5. Les hautes teneurs en sables grossiers des sites I et III, de 68 et 60 % respectivement, se traduisent par une valeur réduite de la turbidité de 5,1 g/l et 3,5 g/l, par rapport aux sites IV et V qui ont une granulométrie plus fine. On a constaté effectivement sur le terrain que la présence en surface de gravillons protège le sol de l'impact des gouttes de pluie car l'effet du rejaillissement est faible. De plus, l'apparition d'un film d'eau à la surface dès la deuxième pluie contribue aussi à la diminution du rejaillissement. Par ailleurs, la cohésion entre particules est un autre facteur à prendre en compte. Ces résultats sont assez proches de ceux trouvés par MAZURAK (1968), COLLINET et VALENTIN (1979).

L'observation d'une grande quantité de terre entraînée hors des parcelles A et déposée dans le canal, nous amène à considérer que la détachabilité ne peut être calculée uniquement à partir de la turbidité des eaux ruisselées mais qu'il faut lui ajouter la terre déposée dans le canal.

Les bacs de mesure ayant seulement 1m<sup>2</sup> de surface et une pente notable (3 %), la pluie de forte intensité (120 mm/h) des parcelles A a provoqué un flux de ruissellement de compétence élevée capable de déplacer des sables et graviers, du moins ceux qui étaient voisins du canal de réception.

En prenant pour valeur de détachabilité la somme débit solide  $Q_s$  plus terre du canal  $Q_c$ , on obtient une estimation par excès. La valeur réelle se situe entre cette valeur par excès et la valeur  $Q_s$  par défaut.

Le ruissellement est maximum sur les sols riches en sables fins (tab. 10) : il est 2 fois plus élevé sur les sites IV et V que sur le site II à sables grossiers. Une texture finement sableuse réduit donc la perméabilité mais elle réduit par ailleurs le rejaillissement (détachabilité deux fois moins importante).

La présence de gravillons (sites I et III) ou de bagasse (site VI) réduit au contraire le ruissellement et le débit solide  $Q_s$  (l'importance de  $Q_c$  dans le site I n'est cependant pas expliquée).

b) Effet de l'énergie cinétique

En prenant les valeurs de l'énergie cinétique, le ruissellement à régime constant  $R_x$  et la turbidité  $C_x$ , on trouve qu'ils s'ajustent d'après l'équation suivante dont la signification statistique est donnée dans le tableau 11.

$$C_x = a \cdot R_x \cdot E_c^m$$

où :

$C_x$  = turbidité sensiblement constante g/l  
 $a$  = valeur constante caractéristique du sol  
 $R_x$  = ruissellement à régime constant mm/h  
 $E_c$  = énergie cinétique Joules/mm/m<sup>2</sup>

Tableau 11 : Relation entre l'énergie cinétique des pluies, le ruissellement et la corrélation statistique.

Sites	SI	SII	SIII	SIV	Sv
a	0.004	0.028	0.007	0.010	0.012
m	0.79	0.59	0.72	0.45	0.063
$\gamma$	0.808	0.718	0.617	0.797	0.952
n	10	11	10	11	15
$\alpha$	99 %	95 %	90 %	99 %	99.9 %

$\gamma$  : coefficient de corrélation  
 $n$  : effectif (nombre d'observations)  
 $\alpha$  : niveau de signification statistique.

Commentaire : La relation ci-dessus, à haut niveau de signification statistique, indique qu'au cours du régime constant, la turbidité  $C_x$  est proportionnelle au ruissellement  $R_x$ . VALENTIN (1981) a obtenu à Agadez une relation de la forme  $C_x = aR_x + b$ , l'ordonnée à l'origine  $b = 0$  signifiant qu'il y a une turbidité minimale et l'abscisse  $-b/a (> 0)$  correspondant au ruissellement minimal nécessaire pour qu'il y ait entraînement.

Les valeurs positives, mais inférieures à A, de  $m$  indiquent que la turbidité est moins influencée par l'énergie cinétique. Les variations de  $m$  entre les sites sont à relier à la granulométrie.

- Sur le site I,  $C_x$  est 5 fois plus élevé sur la parcelle A que pour la B ( $m = 0.79$ ) ;
- sur le site IV, le rapport n'est plus que de 3 ( $m = 0,45$ ).

## 2) Indice d'érodibilité (K)

La connaissance de la granulométrie des horizons superficiels et des valeurs de l'énergie cinétique de la pluie simulée nous a aidé à estimer les valeurs de la susceptibilité à l'érosion des différents sols étudiés en utilisant trois méthodes : l'équation universelle de perte en terres proposée par WISCHMEIER et SMITH (1960), l'emploi du nomogramme de WISCHMEIER et CROSS (1971), et l'indice d'instabilité structurale qui est proposée par HENIN et MONNIER (1969). Les résultats sont portés au tableau 12.

Commentaire (tableau 12) : Dans le cas de l'équation de WISCHMEIER et SMITH, on a trouvé pour le coefficient K, des valeurs assez proches de celles obtenues par ROOSE (1976) et VALENTIN (1978) en Côte d'Ivoire, pour les sols ferrallitiques de Savane comprises entre 0.05 et 0.03. Et pourtant, il s'agit d'échelles différentes : 50 m<sup>2</sup> (pluies naturelles) et 1 m<sup>2</sup> (pluies simulées).

Les résultats obtenus en utilisant le nomogramme de WISCHMEIER varient de 0.21 à 0.23 pour le sol à texture grossière et de 0.41 à 0.45 pour les sols à texture fine, valeurs plus élevées que celles de MONDJALIS cité par LAL (1981).

Quant aux valeurs de l'instabilité structurale de HENIN, elles varient de 1,0 à 1,5 pour les sols de texture grossière et de 1,7 (site IV) à 4,3 (site V) pour les sols de texture fine.

### Conclusion :

- Le nomogramme ne prend pas en compte les gravillons, il indique seulement la sensibilité de la terre fine à l'érosion. Le résultat ne convient donc pas pour les sites I et III très caillouteux.

- L'indice de HENIN donne une bonne indication de la susceptibilité à la formation de croûtes (il augmente du site I au site VI). DE VLEESCHAUWER et al. (1978) ont conclu également à la validité de cet indice.

- La détachabilité mesurée résulte en fait des effets opposés de la sensibilité à l'érosion (sous gravillons) et de la sensibilité à la formation de croûtes : les parcelles de texture fine n'ont pas la détachabilité la plus forte : les valeurs les plus élevées s'observent pour les sols à texture grossière (le sable fin est la fraction la plus sensible au rejaillissement dans les sols dépourvus de gravillons, comme le site II.

Tableau 12: COMPARAISON DE TROIS METHODES POUR DETERMINER L'INDICE DE DETACHABILITE:

SIMULATEUR DE PLUIE, WISCHMEIER, ET INDICE D'INSTABILITE STRUCTURALE DE HENIN.

	SIMULATEUR DE PLUIE ORSTOM					NOMOGRAMME DE						INDICE DE HENIN
	E TON/ha	E <sub>c</sub> J/mm/m <sup>2</sup>	R <sub>USA</sub>	LS	K	% LIMONS + % SABLES TRES FINES	% SABLES	% M.O.	STRUCTURE DU SOL	PERMEABILITE cm/h	K	H = $\frac{(A+L) \max}{WS+GS+BS-0.9 SG}$
I	1.0286 0.2002	23.73 16.35	165.809 27.752	0.05	0.06 0.06	22.6	67.3	1.2	Polyédrique Moyenne à grossier(3)	0.70 Lente à modérée (4)	0.21	1.0
II	1.0141 0.4520	23.73 16.35	166.120 28.261	0.05	0.06 0.14	29.8	56.6	1.2	Polyédrique fine (2)	0.40 Lente (5)	0.23	1.5
III	0.3642 0.10320	23.73 16.35	165.070 28.024	0.05	0.02 0.03	27.8	60.1	1.7	Polyédrique Moyenne Grossier (3)	0.90 Lente à modérée (4)	0.22	1.4
IV	0.6537 0.10320	23.73 16.35	165.070 28.024	0.05	0.04 0.04	65.4	18.0	2.3	Polyédrique Fine (2)	0.75 Lente à modérée (4)	0.40	1.7
V	0.5547 0.12098	23.73 16.35	168.17 28.024	0.05	0.03 0.03	67.6	12.0	1.4	Polyédrique fine (2)	0.70 Lente à modérée (4)	0.45	4.3

E = Erosion  
E<sub>c</sub> = Energie cinétique  
R<sub>USA</sub> = Indice américain d'agressivité climatique

LS = Facteur topographique  
K = Erodibilité du sol

WS = Agrégats stables à l'eau  
GS = Agrégats stables à l'alcool  
BS = Agrégats stables au benzène

### 3) Effet de la couverture du sol (c)

De même que pour le facteur K, nous avons tenté d'estimer, malgré l'échelle, le facteur "C" (couvert) qui correspond à la moustiquaire, la toile ombrière et le mulch de bagasse. Les résultats sont présentés dans le tableau 13.

Nom des Sites	Type de couverture	Erosion g/m <sup>2</sup>	"C"
I. TIENINGBOUE	moustiquaire	E <sub>1</sub> = 1028.9 E <sub>2</sub> = 68.6	0.07
II. TIENINGBOUE	moustiquaire	E <sub>1</sub> = 1014.0 E <sub>2</sub> = 116.3	0.11
III. TIENINGBOUE	moustiquaire	E <sub>1</sub> = 364.2 E <sub>2</sub> = 127.7	0.35
IV. WEDALA	moustiquaire	E <sub>1</sub> = 653.7 E <sub>2</sub> = 205.3	0.31
V. SODEFEL	moustiquaire	E <sub>1</sub> = 554.7 E <sub>2</sub> = 190.7	0.34
VI. SODEFEL	bagasse	E <sub>2</sub> = 6.9	0.01
	toile ombrière	E <sub>2</sub> = 27.4	0.05

Tableau 13 - Valeur estimée de l'effet de différentes couvertures du sol (facteur C), moustiquaire, toile ombrière et bagasse de canne à sucre.

E : érosion sur parcelles A nues ; E<sub>2</sub> : sur parcelles B, protégées pour les différents types de couvertures.

Commentaire : il est à noter que les valeurs de "C" dues à l'effet de la moustiquaire sont assez semblables pour les sites III, IV, et V, sauf les sites I et II. Il est important de remarquer qu'à mesure que les valeurs de "C" sont plus proches de zéro l'efficacité du couvert est meilleure. L'efficacité, c'est-à-dire la réduction de la détachabilité est de :

- a. 98,7 % pour le paillage de bagasse
- b. 95.0 % pour la toile ombrière
- c. 69.0 % pour la moustiquaire.

Mais cette efficacité varie selon les sols ; pour le site I, la moustiquaire assure un taux de réduction de 93 %, soit presque autant que celle de la toile ombrière pour le site VI.

#### 4) Conclusion concernant l'effet du paillage

Il est à noter par conséquent que les effets du paillage de bagasse sont multiples, puisqu'ils se manifestent à la fois sur la formation des croûtes, l'infiltration, le ruissellement et la détachabilité. Au plan agronomique, le paillage permet un meilleur stock hydrique et limite l'évaporation. Ces effets positifs ont fréquemment été signalés : MEYER et al. (1972), LAFORGUE (1976), SINGER and BLACKARD (1978), COLLINET et VALENTIN (1979), BLACK and SIDDOWAY (1979), SOOD (1980), SINGER et al. (1981), et AARSTAD and MILLER (1981).

L'utilisation d'un paillage de bagasse sur les plantations de SODEFEL paraît donc justifiée, et la présence de surplus à l'usine de la SODESUCRE située à proximité des plantations de canne, limite considérablement les coûts. Néanmoins, la conservation de l'eau et du sol n'est qu'un élément à prendre en compte pour améliorer la production. Avant de promouvoir l'utilisation générale de ce paillage, il conviendrait de mener des essais en vraie grandeur, à la fois dans l'espace (échelle du champ) et dans le temps (un ou plusieurs cycles), afin de s'assurer du contrôle des problèmes phytosanitaires. VALENTIN et ROOSE (1981) ont en effet montré, dans un milieu plus humide et dans le cas de la culture d'ananas, que maintenir des résidus organiques à la surface du sol peut entraîner des problèmes phytosanitaires, surtout dans le cas de non travail du sol.

#### D - RESISTANCE MECANIQUE A LA LEVEE DE SEMENCES

La formation de pellicules à la surface du sol ne s'exprime pas uniquement par des organisations et des propriétés hydrodynamiques distinctes de celles du matériau sous-jacent : les propriétés mécaniques sont également modifiées. C'est ce que sur le terrain nous avons tenté d'apprécier par les qualificatifs "fragiles" et "dures".

Cette différenciation des premiers millimètres conduit à la constitution d'un niveau moins pénétrable, plus dur, qui constitue un obstacle mécanique à la levée de semences.

La dureté de la pellicule dépend de deux groupes de facteur :

- 1) des facteurs intrinsèques du sol : texture, taux de matière organique.
- 2) des facteurs externes, davantage liés au climat : humidité, énergie cinétique des pluies, vitesse de dessiccation.

Deux techniques nous ont permis d'étudier cette dureté ; la première consiste à simuler la levée d'une plantule à l'aide d'un dispositif particulier (émergéomètre, fig. 14), la pression est alors exercée du bas vers le haut, la seconde permet d'évaluer la résistance de la surface mesurée du haut vers le bas à l'aide d'un dynamomètre à ressort (Aiguille Proctor, fig. 11b).

Deux aspects ont été abordés, l'étude des facteurs qui interviennent sur la dureté de la pellicule, et la mise en évidence d'une résistance à la levée du riz pluvial.

## 1) Etude des facteurs qui interviennent sur la résistance mécanique

### a) L'humidité

Quelle que soit la technique utilisée pour évaluer la résistance mécanique à la pénétration (P) ou à la levée (G), les résultats mettent en évidence l'influence prépondérante de l'humidité (fig. 31).

Commentaire de la figure 31 : Notons que la levée des plantules de riz est observée pour des teneurs pondérales en eau du sol supérieures à 7 %, qui correspondent à des résistances à la pénétration inférieures à  $45 \times 10^5$  dynes, mesurées à l'Aiguille Proctor.

Pour un même sol (SODEFEL, site V) traité de la même manière (tamisage, remplissage des mêmes pots), les deux relations obtenues en fonction de l'humidité ( $H_p$ ) permettent en éliminant l'humidité, d'exprimer la pression de levée (G) en fonction de la résistance à l'enfoncement.

$$G = 0.483 P^{0.803}$$

La mesure à l'Aiguille Proctor, contrairement à l'émergéomètre, étant d'un usage aisé sur le terrain, il serait intéressant d'établir cette relation pour d'autres sols.

Ces résultats confirment ceux de VALENTIN (1981b) : de faibles variations d'humidité, pour les  $pF$  élevés entraînent des écarts importants de la résistance mécanique à la pénétration (la fonction exponentielle décroissante traduit le phénomène de "prise en masse" lors de la dessiccation).

Cette influence de l'humidité est tellement marquée qu'elle a tendance à masquer l'effet des autres facteurs.

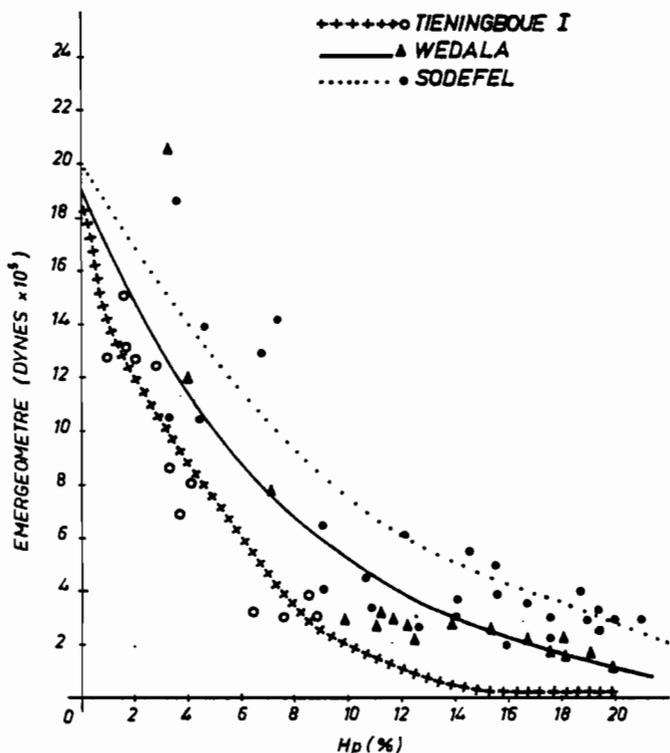


Fig 32 RAPPORT ENTRE L'HUMIDITE PONDERALE (Hp) ET LA RESISTANCE A L'EMERSION (mesurée à l'émergeomètre) DES SOLS DE 3 SITES EXPERIMENTAUX.

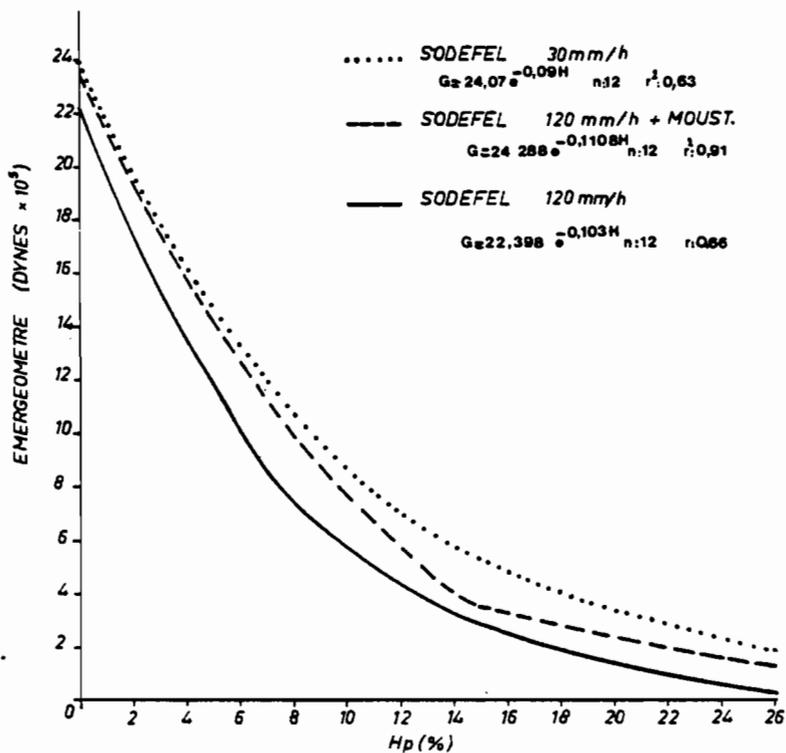


Fig 33 —RELATION ENTRE L'HUMIDITE PONDERALE ET LA RESISTANCE A L'EMERSION POUR LES DIFFERENTS ESSAIS SODEFEL (30;120mm/h avec et sans moustiquaire).

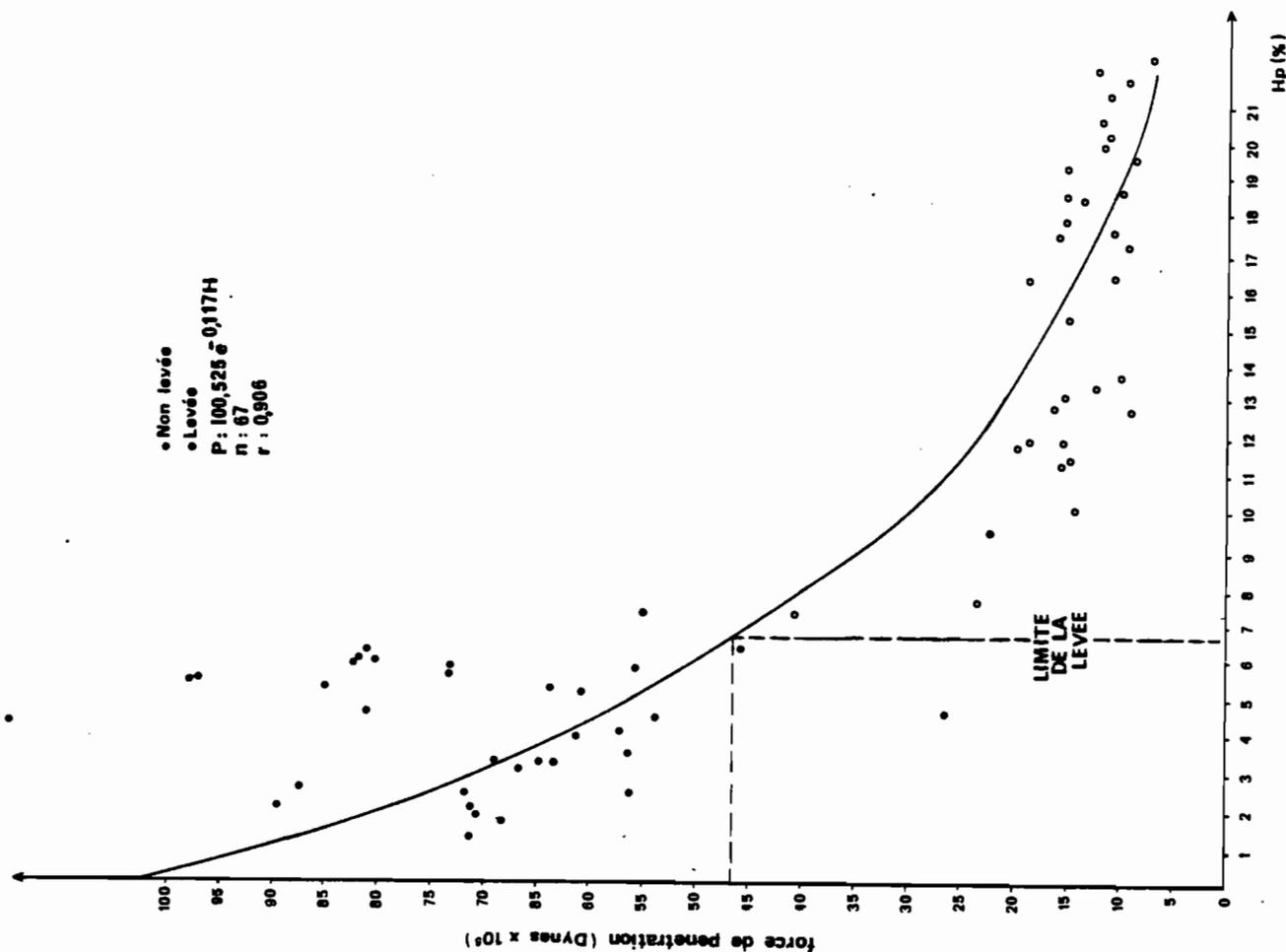


FIG 31: RELATION ENTRE L'HUMIDITE PONDERALE "Hp", LA RESISTANCE A LA PENETRATION DE LA CROUTE (aiguille PROCTOR) ET LA LEVEE DES PLANTULES DE RIZ. Sol SODEFEL

b) La texture

Les mesures de résistance à la levée (émergéomètre) ont porté sur trois sols de textures différentes (TIENINGBOUE I, WEDALA, et SODEFEL). Si l'on exprime pour chacun de ces sols la résistance "G" en fonction de l'humidité, des différences assez nettes apparaissent (fig. 32 ; tab. 14).

Site I (Tieningboué)	n = 12	$r^2 = 0.9141$	$G = 18.727e^{-0.220H}$	***
Site IV (Wedala)	n = 17	$r^2 = 0.8665$	$G = 18.727e^{-0.130H}$	***
Site V (Sodefél)	n = 36	$r^2 = 0.775$	$G = 19.629e^{-0.094H}$	***

\*\*\*  $\alpha$  0.01

Commentaire de la figure 32 et du tableau 14 : la résistance mesurée à l'émergéomètre varie aussi en sens inverse de la teneur en eau, mais des caractéristiques intrinsèques des sites interviennent également, notamment la teneur du sol en particules fines. Ainsi, quelle que soit l'humidité, la résistance est plus forte pour le sol V (SODEFEL) qui a la texture la plus fine, diminue au site IV (WEDALA) et enfin, la plus faible au site I (TIENINGBOUE), où le sol est le plus sableux.

Cet ordre, qui suit la texture, peut être attribué à la cohésion plus forte des matériaux argileux ou limoneux ; toutefois, le phénomène de prise en masse n'est peut être pas le seul à devoir être pris en compte : la texture intervient également sur la sensibilité au rejaillissement, donc sur l'épaisseur du sol (formation d'une croûte) qui recouvre la pointe à la fin des essais.

c) Energie cinétique

La pluie, en tombant avec une certaine énergie cinétique provoque un tassement de la surface du sol, surtout lorsque celui-ci a été travaillé. Ainsi, pour des sols labourés superficiellement, VALENTIN (1981) a montré, pour deux sols de textures très différentes (l'un très argileux, l'autre très sableux), que la résistance mécanique à l'enfoncement s'ajustait correctement sur une fonction de régression multiple qui dépend de l'humidité et de la somme des énergies reçues.

$$P = 2.0 e^{-0.12H} + 1.44 \sum E_C P_i \quad (\text{sol argileux})$$

$$P = 0.9 e^{-0.08H} + 2.37 \sum E_C P_i \quad (\text{sol sableux})$$

Afin de mettre en évidence un tel phénomène pour les sols étudiés, différents niveaux d'énergie ont été appliqués (différentes intensités de pluies avec ou sans moustiquaire) en respectant les mêmes protocoles que ceux qui ont été suivis sur

**Tableau 14** - Effet de l'énergie cinétique de la pluie et de l'humidité sur la résistance de la formation de la pellicule superficielle (mesuré à l'émergéomètre), pour les différents sites étudiés.

Numéro des pots	SODEFEL 120 mm/h			SODEFEL 120 mm/h+Moust.			SODEFEL 30 mm/h			TIENINGBOUE 120 mm/h			WEDALA 30 mm/h		
	% H	Ec. J/mm/m2	Ln Force Dynes X10 <sup>5</sup>	% H	Ec. J/mm/m2	Ln Force Dynes X10 <sup>5</sup>	% H	Ec. J/mm/m2	Ln Force Dynes X10 <sup>5</sup>	% H	Ec. J/mm/m2	Ln Force Dynes X10 <sup>5</sup>	% H	Ec. J/mm/m2	Ln Force Dynes X10 <sup>5</sup>
1	10.8	593	1.52	16.0	71.7	1.18	18.8	408	1.1	8.3	593	1.34	11.4	408	1.21
2	9.1	593	1.39	17.4	71.7	1.23	15.5	408	1.4	8.4	593	1.15	12.2	408	1.09
3	11.7	1186	1.19	19.1	143.5	1.27	14.2	812	1.6	2.9	1186	2.52	16.7	408	0.88
4	17.3	1186	0.94	19.2	143.5	1.07	15.6	812	1.6	4.1	1186	2.08	19.1	812	0.64
5	9.0	1780	1.88	16.4	215.2	1.03	18.6	1226	1.4	3.7	1780	1.92	16.1	812	0.97
6	14.0	1780	1.24	17.4	215.2	1.18	16.7	1226	1.3	2.0	1780	2.54	17.9	812	0.71
7	19.1	2373	1.22	19.7	287.0	1.18	22.8	1635	1.6	6.3	2373	1.16	11.8	1226	1.18
8	12.7	2373	0.90	20.8	287.0	1.20	21.8	1635	1.6	7.7	2373	1.12	12.3	1226	0.87
9	3.1	2373	2.31	6.5	287.0	2.59	12.2	1635	1.7	1.0	2373	2.55	15.4	1226	1.04
10	4.6	2373	2.34	14.0	287.0	1.38	14.3	1635	1.7	3.2	2373	2.15	18.0	1635	0.63
11	5.1	2373	3.23	3.6	287.0	2.95	7.3	1635	2.6	1.6	2373	2.72	17.9	1635	0.71
12	4.7	2373	3.27	4.7	287.0	2.66	9.4	1635	3.1	1.7	2373	2.58	19.7	1635	0.36
13													13.9	1635	1.10
14													9.9	1635	1.13
15													4.3	1635	2.50
16													3.3	1635	3.03
17													7.2	1635	2.06

Numéro des pots	Intensité 120 mm/h			Intensité 60 mm/h			Intensité 30 mm/h		
	% H (levée)	Pénétromètre Dynes x 10 <sup>5</sup>	Z (mm)	% H (levée)	Pénétromètre Dynes x 10 <sup>5</sup>	Z (mm)	% H (levée)	Pénétromètre Dynes x 10 <sup>5</sup>	Z (mm)
1	12.1*	15.8	5	9.5*	22.6	4	7.2	55.6	7
2	12.8*	9.6	7	13.8*	10.4	6	19.3*	15.8	6
3	11.9*	20.0	5	13.0*	15.8	4	20.8*	8.6	6
4	20.5*	12.6	8	13.4*	12.5	6	18.6*	14.4	5
5	18.7*	15.5	7	11.2*	15.2	6	21.9*	9.8	5
6	11.3*	18.7	5	15.3*	15.2	5	20.2*	11.7	5
7	11.9*	16.2	7	16.8*	11.2	6	22.7*	7.8	6
8	19.4*	9.0	7	17.3*	9.9	5	21.4*	11.7	5
9	19.0*	10.1	5	3.3	65.0	5	16.8*	19.0	4
10	6.0	56.2	4	3.4	64.2	5	20.1*	12.3	5
11	17.7*	11.2	6	1.9	71.0	5	22.0*	12.8	5
12	12.8*	16.5	5	2.0	89.6	7	17.7*	16.5	5
13	6.5	46.2	4	2.8	87.2	5	5.5	98.0	5
14	4.2	61.2	8	1.9	71.0	3	4.8	81.0	6
15	7.7*	24.2	4	3.2	68.2	4	5.9	74.0	5
16	3.3	67.4	5	2.5	72.0	4	5.2	85.2	5
17	1.7	68.5	5	7.3*	41.0	6	6.5	81.0	4
18	2.5	56.8	7	1.3	72.8	4	5.8	73.6	4
19	10.1	14.6	6	4.0	57.6	4	17.8*	15.8	6
20	4.8	26.9	6	3.5	56.8	4	6.0	80.0	7
21	4.7	54.4	7				5.7	97.9	3
22	5.8	64.2	6				4.2	126.0	5
23	5.6	61.0	5				6.0	21.6	4
24							6.05	82.0	4

\*Constat de levée (croûte traversée).

**Tableau 15** - Comparaison entre l'humidité (% H) de la croûte au moment de la levée des plantules de riz, la résistance à la pénétration (pénétromètre), l'abaissement (Z) de la surface et l'énergie cinétique des pluies reçues par les pots : SODEFEL.

le terrain. Or, lorsque l'on calcule une telle régression, on obtient pour l'énergie cinétique une très faible augmentation du coefficient de détermination ( $r^2$ ) par rapport à celui obtenu pour l'humidité simple, et ceci aussi bien pour P que pour G. L'effet apparent de l'énergie cinétique est donc très faible.

$$P = 411.2e^{-0.121 H} - 0.001 E_c \quad n = 67 \quad r = 0.9401 \quad *** \alpha = 0.01$$

$$P = 100.584e^{-0.117 H} \quad n = 67 \quad r = 0.9058 \quad *** \alpha = 0.01$$

P = résistance mécanique à la pénétration. Aiguille Proctor (Dynes)

H = humidité pondérale (%)

$E_c$  = énergie cinétique (J/mm/m<sup>2</sup>)

$$G = \log(2.427) e^{-0.091 H} + 0.76 E_c \quad n = 36 \quad r = 0.7856 \quad *** \alpha = 0.01$$

$$G = 19.629 e^{-0.094 H} \quad n = 36 \quad r = 0.7753 \quad *** \alpha = 0.001$$

G = résistance mécanique mesurée à l'émergéomètre (Dynes).

L'analyse de ces résultats fait apparaître que dans certains cas, le coefficient concernant l'énergie cinétique est négatif, plus l'énergie est forte, plus la résistance est faible. L'énergie cinétique n'a pas seulement un effet de tassement mais simultanément, elle entraîne le rejaillissement, et ceci d'autant plus que l'échantillon est constitué de sables moyens. L'épaisseur de la couche caractérisée par la mesure est alors réduite par le rejaillissement ; sa résistance est d'autant plus faible.

Il y a donc là un artéfact dû à l'utilisation de pots qui ne reproduisent pas les conditions de terrain : pas de ruissellement et exarcebation du rejaillissement.

Si l'on considère séparément la courbe  $G = f(H)$ , fig. 33 pour chaque échantillon étudié du site V (SODEFEL), les résultats sont paradoxaux (tableau 14).

Commentaire de la figure 33 : cf. tableau 14.

Les résistances à l'émergence sont les plus marquées pour les échantillons qui ont reçu des intensités de 30 mm/h, puis 120 mm/h avec moustiquaire, puis 120 mm/h.

$G = 24.07e^{-0.09H}$	$G = 24.028e^{-0.110H}$	$G = 22.39e^{-0.130H}$
$n = 12$	$n = 12$	$n = 12$
$r^2 = 0.53$	$r^2 = 0.92$	$r^2 = 0.66$

Les échantillons soumis à des intensités de 120 mm/h subissent un fort rejaillissement qui favorise dans le pot la formation d'une lame d'eau qui protège ensuite le sol des phéno-

mènes de tassement. Par contre, il ne se forme pas de lame en surface des échantillons soumis à des intensités plus faibles (30 mm/h) et le tassement y sera finalement plus fort. Des résultats analogues ont été obtenus par BOUKAR (1982) ; cet auteur a en effet montré que le mode d'apport d'eau (avec ou sans lame percolante ou ruisselante) a une importance capitale sur la formation des croûtes.

Les résultats obtenus en utilisant les pots ne peuvent donc pas être transposés directement au champ. Ils mettent néanmoins en évidence des comportements intéressants pour l'étude des mécanismes.

## 2) Etude de la levée du riz

Avec les mêmes dispositifs, on a remplacé la pointe par une graine prégermée de riz pluvial, placée au centre du pot et à la même profondeur que la pointe.

Comme pour les pots précédents, les pots remplis de sol du site V (SODEFEL) ont été soumis à différentes intensités de pluies (mêmes quantités). De plus, deux types de dessiccation ont été appliqués : rapide (ventilateur) et lente (air ambiant).

La résistance à la pénétration a été mesurée à l'Aiguille Proctor sur chaque échantillon où venait d'avoir lieu une levée. Ces résultats sont présentés dans le tableau 15.

Commentaire du tableau 15 : Comme sur le tableau 14 qui indique la résistance à l'émersion en fonction de la teneur en eau, on constate ici que la résistance à la pénétration augmente quand l'humidité diminue et que la levée réussit pour une teneur en eau d'environ 7 % (cf. fig. 31), valeur légèrement inférieure à l'humidité à pF 4,2. Deux facteurs limitants peuvent s'exercer lors de la levée : l'alimentation hydrique de la plantule à partir du sol (qui ne semble pas cependant être déterminante, car la plantule ne puise pas sur son système racinaire, mais sur ses propres réserves) et la résistance mécanique à la levée (qui, comme nous l'avons vu, dépend pour l'essentiel de l'humidité). Les résultats mettent en évidence (cf. fig. 31, et tableau 15) que la valeur limite de la résistance à la pénétration est  $P = 45,0 \times 10^5$  dynes.

En reportant les données d'humidité et d'énergie cinétique dans les formules établies précédemment, il est également possible de calculer pour "G" la valeur limite de  $G = 9,8 \text{ Dynes} \times 10^5$  (soit 10 bars environ), valeur qui correspond sensiblement à celles trouvées pour d'autres plantes cultivées (HANKS and THORPE, 1950 et 1957 ; TAYLOR, 1962), aucune levée n'est observée au-dessus de 12-18 bars (PARKERS et TAYLOR, 1965).

Le tassement mesuré par Z (tab. 15) est de l'ordre de  $6 \pm 2$  mm et paraît indépendant du degré de dessiccation.

### 3) Conclusion (concernant la résistance de la pellicule superficielle).

- La pellicule fait obstacle à la levée des plantules non seulement par son organisation laminaire et la discontinuité qu'elle introduit, mais également et surtout par la prise en masse (cohésion) consécutive à la dessiccation. Par ailleurs, le remodelage et le tassement de la surface sont perturbés par les conditions expérimentales de l'étude en pot de sorte que l'influence de l'énergie cinétique des pluies est masquée.

- L'humidité est le facteur prépondérant de la cohésion des pellicules. Après les premières pluies, le vent associé à un fort ensoleillement peut avoir un effet catastrophique sur la levée (et donc sur la densité du peuplement) non seulement parce que l'alimentation en eau risque de n'être plus assurée lors de la mise en place du système racinaire, mais aussi du fait de la forte résistance à la levée des plantules qu'exerce un matériau desséché. Pour les plantes à petites graines, particulièrement sensibles aux obstacles mécaniques, il est donc très souhaitable d'effectuer une irrigation après semis pour diminuer la cohésion de la couche superficielle.

- La méthode suivie semble bien adaptée pour déterminer les seuils de résistance de levées. Par contre, elle paraît peu fonctionnelle en ce qui concerne la mise en évidence de l'effet de l'énergie cinétique, les conditions étant trop éloignées de celles du terrain.

## E - IRRIGATION PAR ASPERSION

L'utilisation des systèmes d'irrigation à aspersion est relativement fréquente sur les grandes plantations du centre de la Côte d'Ivoire. Ceci s'explique par la forte demande hydrique de la saison sèche, le relief peu marqué et la rentabilité (souhaitée) de certaines productions comme les légumes. A la suite d'un rapport technique établi par le PNUD/FAO/AUB en 1971, la SODEFEL a adopté un système d'irrigation à aspersion qui porte sur environ 540 Ha situés dans la région de MARABADIASSA, sur la rive droite du BANDAMA.

Or, des problèmes de levée de semences, en relation avec la formation d'une croûte superficielle sont apparus rapidement. En accord avec les responsables du projet et en tenant compte de leurs observations, un protocole a été mis sur pied pour étudier l'effet de divers facteurs (types d'asperseurs, mode de préparation du lit de semences) sur la formation des pellicules superficielles et sur le ruissellement. Le tableau 16 consi-

gne les coefficients de ruissellement ( $K_r = \frac{\text{lame ruisselée}}{\text{lame de pluie}} \times 100$ ).

Tableau 16 : Coefficients de ruissellement (Lr/Pu) SODEFEL - Irrigation par aspersion (En %).

Pluies d'irrigation	Gicleur A				Gicleur B				Gicleur C				
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	
S <sub>1</sub> = Labour	Nue	0.2	0.5	1.0	0.2	5.2	12.4	28.6	19.6	0.0	0.0	5.2	8.6
	Mulch	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S <sub>2</sub> = Chiselage	Nue	0.5	1.5	1.8	0.8	0.5	1.2	1.3	1.6	0.0	0.0	0.9	2.9
	Mulch	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
S <sub>3</sub> = Standard	Nue	0.0	0.3	0.4	0.6	2.2	8.1	10.1	10.2	0.0	0.0	0.7	4.2
	Mulch	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.6

Commentaire : La valeur maximale de  $K_r$  pour les traitements avec paillage (mulch) est de 1 % dans les systèmes S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub> avec le gicleur B, et nulle pour S<sub>1</sub> sous les mêmes conditions. Dans le cas des parcelles nues, le coefficient maximal de ruissellement ( $K_r = 29\%$ ) se trouve dans S<sub>1</sub> avec le gicleur B. Ces résultats confirment l'effet du paillage dans le comportement hydrodynamique du sol déjà signalé par l'infiltromètre à aspersion.

Une première analyse de variance qui portait sur les moyennes de ces coefficients de ruissellement pour les 4 irrigations (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> et R<sub>4</sub>) et les 3 facteurs (couvert, traitement, gicleur) a montré que le facteur "traitement" n'intervient pas de façon significative sur la variance.

$$\frac{\sigma_T^2}{\sigma_r^2} = 1.2 < F_2^4 = 6.9 \quad (\alpha = 0.05)$$

Après avoir éliminer ce facteur, nous avons mené une seconde analyse de variance en considérant chaque irrigation comme une répétition ; les résultats sont portés sur le tableau 17.

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de variance, de l'irrigation par aspersion, SODEFEL, respectivement pour l'état de la surface et le type de gicleur.

Source de variation	Degrés de liberté	Somme de carrés des écarts	Carrés moyens	F <sub>c</sub>	F <sub>T</sub> < 0.01
Résiduelle	18	77.75	4.32		
Etat de surface	1	66.92	66.92	15.49	> 8.28 ***
Gicleur	2	68.24	34.12	7.9	> 6.01 ***
Interaction	2	55.75	27.88	6.45	> 6.01 ***
Total	23	268.67			

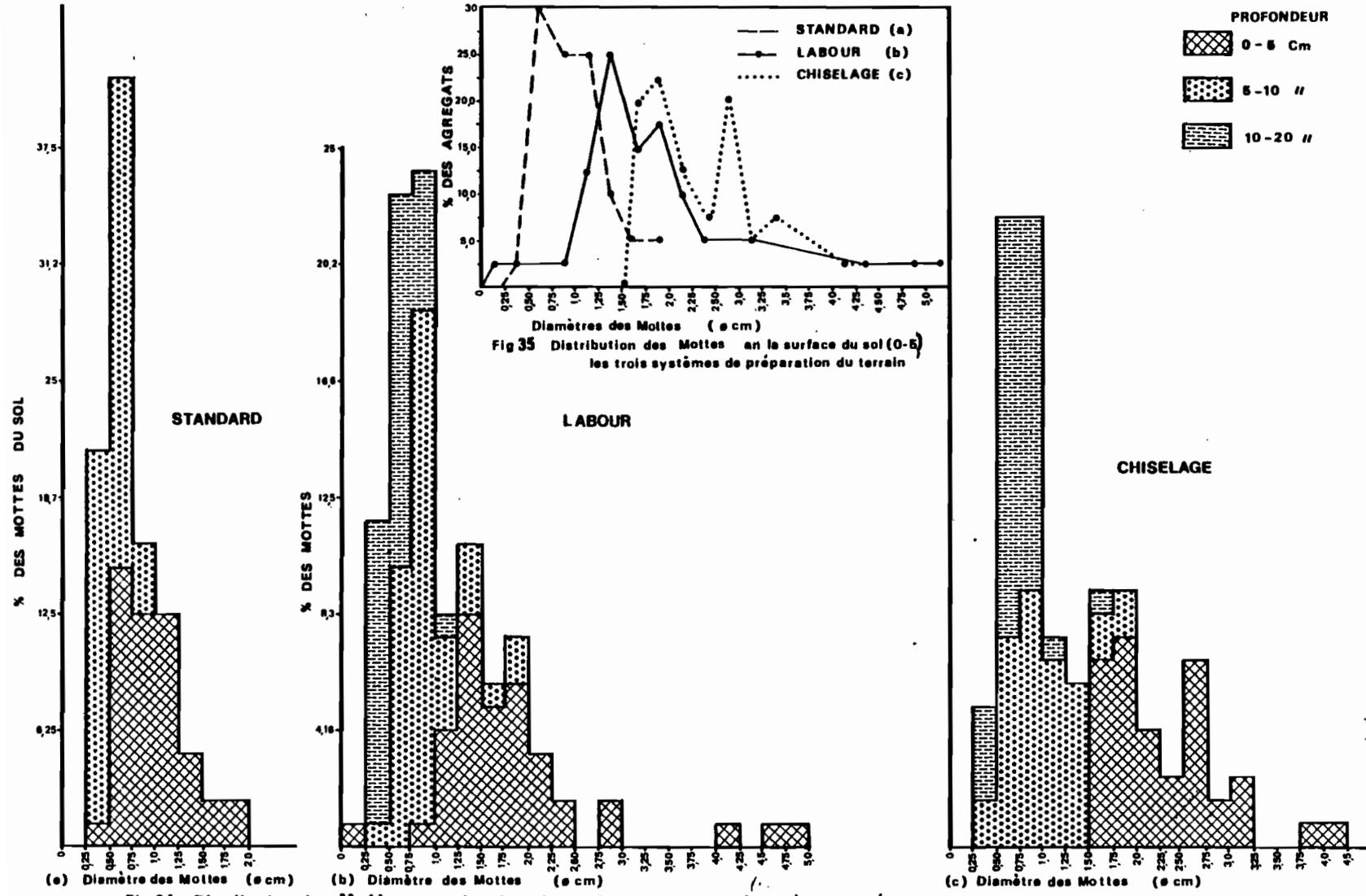
Commentaire : les effets "état de surface", "gicleur", et leur inter-action, ont une signification statistique

### 1) Les types de traitement

Les différents systèmes de préparation du sol conditionnent l'état d'aération et la porosité, ainsi que la taille des mottes formées. La figure 34 montre la distribution des mottes en fonction de leur taille et de la profondeur. La figure 35 montre la variation de la taille des mottes formées à la surface du sol par chaque système : c'est le traitement standard qui comporte le plus de petites mottes puis le labour et finalement, le chiselage.

Il y a formation de croûtes dans les trois systèmes de préparation du terrain (photos F, G, H). Les différences qui existent entre elles sont difficiles à interpréter, l'hypothèse la plus logique est que la taille des mottes superficielles joue un rôle important sur la formation des MOPS, leur épaisseur, mais les lames minces, en nombre insuffisant, n'ont pas permis de préciser ces observations.

Bien que statistiquement, il n'existe pas de différences significatives entre les traitements, les différents systèmes de préparation du terrain doivent avoir une influence sur l'infiltration et le ruissellement, mais le nombre de répétitions est probablement insuffisant pour que des différences puissent se manifester statistiquement.



**Fig 34 Distribution des Mottes du sol en fonction de la profondeur et du système de préparation du terrain a/ standard (ORSTOM) b/ labour c/ chiselage. SODEFEL. Irrigation par aspersion**

## 2) Types de surface

Les valeurs moyennes de ruissellement pour chaque état de surface du sol sont portées sur le tableau 18.

Tableau 18 : Valeurs moyennes de ruissellement par type de surface.

Types de gicleur	Types de couverture		
	nue	mulch	moyenne
A	0.65	0	0.33
B	8.00	0.393	4.5
C	1.88	0.133	1.0
moyenne	3.5	0.263	1.94

Commentaire : Les différences entre les deux états de surface du sol sont assez significatives, d'où l'intérêt de l'utilisation de bagasse de canne à sucre comme paillage, l'interaction mulch/gicleur est elle-même significative. La moyenne des coefficients de ruissellement est de 3.51 % pour les 9 parcelles en sol nu, et seulement de 0.26 % pour les 9 parcelles couvertes d'un paillage de bagasse ; l'efficacité de ce mulch vis-à-vis de l'infiltration se voit donc confirmée sous irrigation.

## 3) Types de gicleur

D'après le tableau 18, le classement des gicleurs est : B, C, A. Pour interpréter ces résultats, nous allons passer en revue deux paramètres essentiels susceptibles d'intervenir

- 1) sur le ruissellement
- 2) sur la formation de MOPS (et donc aussi sur le ruissellement).

Il s'agit de l'intensité et de l'énergie cinétique des gouttes de pluie.

### a) Les intensités

Les intensités ont été mesurées sur les parcelles, et donc à des distances variables des gicleurs (cf. fig. 13). Nous donnons ici la moyenne des intensités (24 répétitions) et l'écart-type des gicleurs.

Tableau 19 : Intensités réelles (moyennes) calculées pour chaque gicleur.

Types de gicleur	Distance (m)	Intensité prévue (mm/h)	Moyenne des intensités réelles	Ecart - type
A	3.50	5	5.9	2.3
B	9.50	10	8.9	1.4
C	14.50	15	5.7	1.2

Commentaire :

\*Les intensités mesurées sont assez éloignées (surtout pour le gicleur C) des intensités prévues. On remarquera que ces différences sont par excès, lorsque la distance à l'asperseur est courte (3.50 m pour A), et qu'elles sont par défaut lorsque la distance est grande (B et surtout C : 15 m).

\*Par contre, l'écart-type diminue avec la distance à l'asperseur, ce qui semble indiquer, paradoxalement, que la sensibilité au vent est surtout forte à faible distance du gicleur.

\*Compte-tenu de ces différences de distance, il apparaît que les intensités des asperseurs A et C diffèrent peu alors que (tab. 18) le ruissellement en C est trois fois plus important qu'en A ; un autre facteur intervient donc. C'est la raison pour laquelle nous devons évaluer les énergies cinétiques des trois gicleurs.

b) Les énergies cinétiques

$$E_c = 1/2 m v^2$$

Or, sous une pluie, m et v dépendent de la taille des gouttes. v dépend de la vitesse de rotation de l'asperseur, de la vitesse initiale et de la résistance de l'air.

1) Taille des gouttes

La taille des gouttes qui arrivent au sol dépend de la distance à l'asperseur ; trois distances ont été utilisées (cf. fig. 36). Le diamètre  $D_{50}$  varie largement avec la distance et le type de gicleur (tab. 20).

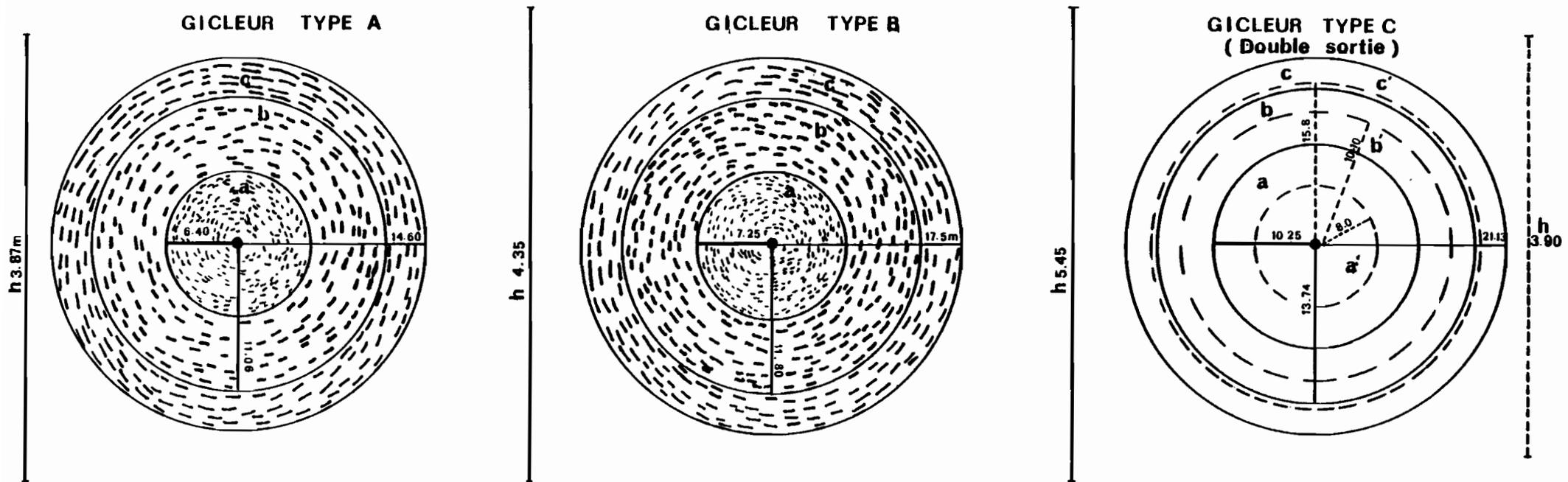


FIG 36

Caractéristiques de distribution de taille de gouttes (distances) pour chaque type de gicleur (a) intérieur, (b) médian, (c) extérieur, et hauteur (h) maximale atteinte par le jet d'eau de chaque gicleur.

Tableau 20 : Diamètre D<sub>50</sub> des gouttes de pluie produites par chaque type de gicleur.

Distance	Types de gicleur			
	A	B	C (deux sorties)	
			grosses	petite
Intérieure	0.623	1.100	1.030	-
Médiane	1.008	1.132	2.267	-
Extérieure	1.101	2.389	2.306	2.511

Commentaire : Il apparaît d'emblée que le diamètre augmente avec la distance (donc les petites gouttes qui tombent avant sont effectivement les plus sensibles au vent (cf. les écarts-types) et que le gicleur C produit des gouttes nettement plus grosses que le gicleur A.

2) La vitesse d'impact

En connaissant "t", la durée en secondes d'une rotation d'asperseur, "h" sa hauteur, "x" la distance, et "e" l'angle avec l'horizontale, il est possible d'évaluer gicleur par gicleur la vitesse initiale minimale (sans tenir compte de la résistance de l'air).

$$V_i = \left[ 2 g h + \frac{4\pi r^2}{t^2} - \frac{g x^2}{2 (h - x \operatorname{tg} \theta) \operatorname{COS}^2 \theta} \right]^{1/2}$$

Les calculs font apparaître que la vitesse de rotation des asperseurs est très petite devant la vitesse initiale à la sortie du gicleur et donc, que les différences de vitesse de rotation, observées entre asperseurs, n'entraînent pas de variations notables de l'énergie cinétique (tab. 21).

Tableau 21 : Vitesses minimales d'impact pour chaque type de gicleur (m/s).

Types de gicleur	Distances		
	Ext.	Méd.	Int.
A	16.6	15.6	16.0
B	15.2	13.3	12.5
C grosse	16.39	15.21	14.0
petite	16.30	15.20	15.3

Commentaire : ces vitesses sont supérieures aux vitesses limites des plus grosses gouttes de pluie dans l'air.

En appliquant la formule de l'énergie cinétique ( $E_c = 1/2 m v^2$ ), nous obtenons les valeurs pour chaque type de gicleur (tab. 22).

Tableau 22 : Valeurs des énergies cinétiques selon chaque type de gicleur ( $J/mm^2$ ).

Distances	Types de gicleur			
	A	B	C (double sortie)	
Int.	6.76	10.88	grosse 8.84	petite -
Méd.	8.88	10.44	21.0	-
Ext.	10.43	21.19	23.4	12.24

Commentaire : En général, l'énergie cinétique augmente de l'intérieur vers l'extérieur, ce qui est en correspondance avec le diamètre des gouttes de chaque gicleur ; c'est le gicleur type C qui a la valeur maximale.

Enfin, si l'on tient compte des distances des parcelles :

$$A = 6.8/mm \quad B = 16.2/mm \quad C = 17.5/mm,$$

il apparaît que les énergies cinétiques de A et C diffèrent considérablement et que ce facteur est susceptible d'expliquer, par l'intermédiaire de la formation des MOPS, les différences de ruissellement. Par contre, les énergies cinétiques de B et de C diffèrent peu, et pour expliquer les différences de ruissellement, il faut faire intervenir les intensités de pluie.

#### 4) Conclusion partielle

Les résultats précédents tendent à montrer que c'est l'agressivité des pluies d'irrigation, exprimée par le produit  $I \times E_c$  qui permet le mieux d'expliquer les différences de ruissellement.

Gicleur	A	B	C
Coef. de ruissellement	0.65	8.00	1.88
$E_c \times I$	40.12	131.22	98.0

D'une manière pratique, c'est A (faible intensité, petites gouttes) qui est à retenir pour ce type de sol à faible stabilité structurale.

## VI.- CONCLUSIONS

### I.- RAPPEL DES OBJECTIFS ET CONDITIONS DE L'ETUDE

#### 1) Les objectifs

Dans ce travail, une pellicule superficielle, ou croûte de battance, a été produite expérimentalement à l'aide d'un "infiltromètre à aspersion" en simulant des séquences d'averses de fréquence décennale sur des sols ferrallitiques sableux du Centre Nord de la Côte d'Ivoire.

L'expérimentation a été menée à trois niveaux et avec les objectifs suivants :

- en pots de 0,85 dm<sup>3</sup>, sur échantillons remaniés, pour mesurer la résistance mécanique de la pellicule à la pénétration d'une pointe et pour préciser les conditions de levée de semences de riz pluvial.
- in situ, à l'échelle du m<sup>2</sup>, pour mesurer les paramètres hydrodynamiques du sol et de sa pellicule dans diverses conditions d'apport pluvial et sur des parcelles de caractéristiques différentes.
- au champ, dans des conditions d'irrigation par aspersion, pour étudier l'influence du gicleur, du mode de préparation et de la couverture du sol.

Le but était de mettre en évidence l'effet, sur la formation et les propriétés de la pellicule, des caractéristiques de la pluie (énergie cinétique, succession d'averses, gicleurs) d'une part, de celles du sol (texture et en particulier charge en cailloux, couverture et mode de préparation) d'autre part.

#### 2) Obtention des paramètres

- Les pluies simulées ont été produites par un infiltromètre à aspersion mis au point au laboratoire de pédologie expérimentale de l'ORSTOM, en Côte d'Ivoire. Cet appareil arrose des parcelles de 1 m<sup>2</sup>.
- Le ruissellement sur ces parcelles a été mesuré au limnigraphe.
- Les variations de turbidité ont été suivies par des prélèvements échelonnés des eaux de ruissellement.

- La détachabilité est la somme des matières entraînées en suspension et de celles déposées dans le canal d'évacuation.
- Les teneurs en eau correspondantes du sol sont celles de la couche 0-5 cm. (et non de la seule pellicule) mesurées par la méthode pondérale.
- La résistance mécanique de la pellicule a été mesurée par pénétration d'un point de deux manières : de haut en bas, à l'aiguille Proctor, de bas en haut avec un dispositif original appelé émergéomètre qui simule mieux les conditions d'émersion d'une plantule.
- L'émergéomètre et les dispositifs afférents ont été conçus et construits dans le même laboratoire, en collaboration avec J. ASSELINE.
- Les dispositifs de préparation et de couverture du sol, ainsi que d'aspersion au champ avec différents gicleurs ont été établis en concertation avec la SODEFEL.

### 3) Conditions expérimentales

- Les 5 sols concernés sont situés dans la même zone climatique en région de savane, et sont de type ferrallitique, moyennement désaturés (C.P.C.S., 1967). La représentativité régionale est précisée dans l'étude de PERRAUD (1971).
- Ils diffèrent par la granulométrie de la couche supérieure, dont la terre fine est à dominante sableuse (9 à 17 % d'argile et 5 à 10 % de limon fin), avec pour deux sites, dominance de sables fins et très fins (54 % et 61 %), et pour les trois autres, dominances de sables grossiers (57 %, 60 % et 68 %). Le taux de refus est important (45 %) pour deux des sites à sables grossiers. On a donc peu étudié l'effet protecteur des cailloux dans le cas d'une texture à dominance de sables grossiers, et encore moins avec dominance de sables fins.
- Le protocole des pluies simulées était composé d'une séquence de 4 averses égales, séparées par des temps de ressuyage croissants (4, 17, 43 h) ; le total des précipitations était dans tous les cas de 100 mm. Deux intensités furent comparées, 30 et 120 mm/h d'où des durées d'averses différentes : 12,5' et 50'.
- Les 4 états de couverture du sol étaient : sol nu, toile moustiquaire, toile ombrière de la SODEFEL, paillage de bagasse (résidus) de canne à sucre.

- Pour les mesures au champ, sous irrigation, on a comparé trois types de gicleurs, trois types de préparation du sol (labour, chiselage et traitement standard ORSTOM), et deux états de couverture (sol nu et avec bagasse).

## II.- RESULTATS D'ORDRE METHODOLOGIQUE

Ils concernent essentiellement l'utilisation de l'EMERGEOMETRE.

Cet appareil, dont la pointe rompt la pellicule superficielle de bas en haut, simule mieux les conditions d'émergence des plantules que l'aiguille Proctor. Celle-ci procède en effet de haut en bas, et avec appui de la pellicule sur le sol sous-jacent, d'où des valeurs plus élevées de résistance à la pénétration. La relation entre ces valeurs P et les valeurs G obtenues à l'émergeomètre est de la forme  $G = 0.483 P^{0.803}$

Toutefois, la mise en oeuvre de l'émergeomètre présente les contraintes suivantes, d'ordre technique ou relatives au phénomène à mesurer :

- sol reconstitué et placé dans un pot de rayon inférieur à la distance maximale de rejaillissement.
- pointe de sonde de diamètre déterminé (mais adaptable) et placée à une profondeur pré-réglée sous la pellicule.
- perturbation apportée par cette pointe fixe, lors de la formation de la pellicule superficielle.
- nécessité à adapter la force à la résistance à vaincre (ordre de grandeur).
- difficulté de contrôler la force initiale (équilibrage des bras de levier).
- construction des échantillons sous pluies simulées sur de la terre placée dans des pots équipés d'une sonde : 180 dispositifs ont pu être construits en 3 mois.
- contrôle de la teneur en eau de la pellicule et du sol par séchage à l'air ou accéléré par ventilation.

Il est possible de supprimer, ou d'atténuer, certaines de ces contraintes. On peut par exemple :

- augmenter la force appliquée en remplaçant par des poids une partie de l'eau du bac.

- contrôler la teneur en eau de l'échantillon par pesée sur balance de précision en cours de séchage.
- adapter le diamètre de la pointe à celui des plantules dont on veut simuler l'émission.
- placer la pointe à une profondeur correspondant à l'épaisseur moyenne de la pellicule obtenue au préalable dans des conditions identiques, mais en l'absence de pointe.

### III.- CONDITIONS DE FORMATION ET PROPRIETES DES PELLICULES

#### 1) Formation et organisation des pellicules

Seules les conditions de formation et les propriétés hydrodynamiques et mécaniques des pellicules superficielles ont été étudiées et sont présentées ici. En particulier, l'organisation verticale et latérale n'est pas précisée, le seul paramètre indiqué est l'épaisseur de ces pellicules. Cependant, des lames minces verticales ont été façonnées, qui permettront d'indiquer ultérieurement l'organisation des pellicules à l'échelle microscopique.

Le développement de la pellicule au cours de l'averse simulée n'a pas non plus été suivi : seul l'état final résultant a été caractérisé. Une étude de sa formation aurait été utile notamment pour mettre en évidence les perturbations apportées par la présence d'une pointe à quelques millimètres sous la surface moyenne (cratères d'impact, et leurs remaniements ultérieurs sous lame d'eau).

#### a) Influence de la texture du sol

Les pellicules les plus épaisses (3 mm) et les plus résistantes ( $G = 65.10^5$  dynes) s'obtiennent, en l'absence de toute couverture superficielle, sur les sols à forte teneur en sables fins et très fins (60 %) avec moins de 20 % de sables grossiers (sites IV et V). Les pellicules les plus minces (1 mm) ont été obtenues sur les sols à sables grossiers (60 %) avec moins de 20 % de sables fins (sites I, II, III). Mais sur les sites I et III, la charge superficielle en cailloux, pratiquement contigus, amortit considérablement l'impact des gouttes de pluie. Cette couverture continue de cailloux correspond à un taux initial de refus du sol de 45 %. Cet effet protecteur ne joue pas pour le site II où le taux de refus n'est que de 10 %. Les sols choisis n'ont pas permis d'étudier le comportement de sols à dominance de sables fins associés à une forte teneur en cailloux.

### b) Influence de l'énergie cinétique

Il y a formation d'une pellicule, même pour des énergies cinétiques très faibles, inférieures à 3 joules/mm/m<sup>2</sup>. Son épaisseur est alors de 2 et 3 mm. Le seuil inférieur pour la formation d'une pellicule n'est pas connu mais doit exister puisqu'il ne se forme pas de pellicule sous une couverture complète du sol (énergie cinétique nulle). Toutefois, VALENTIN (1981) et SEINY (1982) ont montré qu'une pellicule pouvait se former même en l'absence d'impact direct des gouttes, par réorganisation liée aux phénomènes mécaniques qui accompagnent l'humectation ; c'est même ce qui a amené C. VALENTIN à distinguer ces organisations pelliculaires superficielles de croûtes résultant de la battance des pluies.

### c) Rôle de la couverture du sol

- La pellicule formée sous couverture du sol (cailloux dégagés à l'affleurement, toile ombrière, moustiquaire) est discontinue, peu épaisse et peu résistante.
- Sous couverture continue de bagasse, épaisse de plusieurs millimètres, il ne se forme plus de pellicule; d'où un taux de ruissellement réduit de 70 % par rapport au sol non couvert, au profit de l'infiltration. De même, la turbidité et la détachabilité sont réduites, le stock hydrique (eau retenue par le sol) augmente alors de 60 %.

La toile ombrière réduit le ruissellement mieux que la moustiquaire (réduction de 18 %). En ce qui concerne la détachabilité, c'est le paillage de bagasse qui est le plus efficace (réduction de 98 % par rapport au sol nu), ensuite la toile ombrière (95 %), puis la moustiquaire (69 %).

## 2) Comportement superficiel du sol

### a) Variation de la turbidité

- Le pic Cs de turbidité en début d'averse a été observé dans 21 % des cas, sa valeur moyenne est de 6,2 g/litre. Il est de l'ordre du double du palier de turbidité Cx, qui lui fait suite au cours de l'averse.
- La turbidité moyenne Cx est étroitement dépendante de l'énergie cinétique (et à travers celle-ci du type de couverture) : pour Ec = 3 J/mm/m<sup>2</sup>, le sol étant protégé par une moustiquaire. Cx est de l'ordre de 0,9 g/litre, il n'y a pas de pic de turbidité Cs, et pour Ec = 24 J/mm/m<sup>2</sup>, le sol étant nu, cx est de 3 g/l.

b) La détachabilité

Mesurée à l'échelle du  $m^2$ , la détachabilité est en accord avec l'indice d'érodibilité proposé par WISCHMEIER (0,21 à 0,40) et varie comme l'indice de HENIN (1,0 à 4,3) du moins en l'absence de cailloux, ces indices étant calculés à partir de la granulométrie de la seule terre fine. L'accord n'apparaît plus lorsque le sol est couvert de gravillons : le seuil est situé entre un refus pondéral de 10 % (site II) et un refus de 45 % (sites I et III).

3) Résistance mécanique à la rupture

a) Comparaison des deux méthodes de mesure de la résistance mécanique de la pellicule à la pénétration d'une pointe.

Les valeurs P plus élevées, obtenues à l'aiguille Proctor, qui pénètre de haut en bas, correspondent à un poinçonnement de la pellicule en appui sur le sol sous-jacent. Les valeurs G, obtenues à l'émergéomètre, et obtenues par contrainte exercée de bas en haut, mesurent plutôt la rupture par cisaillement : interviennent alors la résistance au décollement de la pellicule soulevée, son poids et donc son épaisseur, sa résistance à la rupture. Une étude séparée des différents paramètres en jeu est nécessaire pour préciser leur combinaison dans la relation empirique globale mise en évidence  $G = \alpha P^a$ .

Il est intéressant, en effet, de connaître cette relation, car l'obtention de P est plus aisée (20 mesures à l'heure) que celle de G, laquelle a cependant une signification plus en rapport avec le phénomène à chiffrer (résistance à l'émersion de plantules).

Les modifications méthodologiques proposées en II permettraient aussi une meilleure adaptation de G au phénomène étudié et d'accroître la précision et la fidélité de sa mesure.

b) Influence de la dessiccation sur la résistance à la rupture

Le rôle de la vitesse et du mode de dessiccation sur les caractéristiques de la pellicule et sa résistance mécanique n'a pas été étudié. Mais on a relié cette résistance au degré de dessiccation (teneur en eau) de la couche 0 - 5 cm au moment de l'essai : la résistance croît exponentiellement quand la teneur en eau décroît. Une compréhension du phénomène nécessiterait à la fois d'observer au microscope l'organisation de la pellicule et de pouvoir exprimer sa teneur en eau et celle du sol sous-jacent en termes de potentiels à l'aide de la courbe humidité - succion de celle-ci. Une étude de la distribution dimensionnelle des pores permettrait aussi de préciser le rôle de l'eau dans la cohésion des particules.

c) Résistance - limite pour la levée des plantules

La levée de semences prégermées de riz pluvial a été constatée pour des résistances inférieures à  $75.10^5$  dynes mesurées à l'aiguille Proctor, et les teneurs en eau correspondantes étant supérieures à 7 % (pondérales).

4) Variations liées à la préparation du sol et au type de gicleur

- Le gicleur A (intensité réduite à 5,5 mm/h et gouttes de petit diamètre : 0,62 mm) donne les meilleurs résultats sur le site SODEFEL en ce qui concerne l'indice d'instabilité structurale.
- En ce qui concerne le ruissellement et la formation d'une pellicule superficielle, aucune différence en relation avec le mode de préparation du sol n'a été constatée. Par contre, la couverture du sol et le type de gicleurs entraînent les différences suivantes : les valeurs des coefficients de ruissellement pour les traitements avec paillage sont de 1 % avec le gicleur B, et de 29 % dans les parcelles nues.

A noter que le mode de préparation standard donne des mottes de plus petit diamètre (0,25 à 1,5 cm), ensuite le labour (1 à 5 cm), puis le chiselage (1,5 à 4,5 cm).

IV.- RECOMMANDATIONS AUX PRATICIENS

- a) Pour les sols du site V (SODEFEL), qui sont très sensibles à la formation de croûtes superficielles : éviter de les choisir pour des plantations de légumes à grains de petite taille.
- b) L'humidité pondérale ( $H_p$ ) des sols du site V (SODEFEL) ne doit pas passer sous le seuil de 7 %, soit un pF de 4.2 ; humidité à laquelle la levée du riz est encore possible.
- c) L'emploi de semences pré-germées diminue le temps de la levée et augmente la possibilité de réussir la levée de la plantule avant que la surface du sol soit complètement sèche.
- d) L'utilisation de bagasse de canne à sucre comme une technique anticroûtante est très efficace à l'échelle d'un  $m^2$ . Il faudrait l'essayer sur une échelle plus grande.
- e) L'effet protecteur des gravillons à la surface du sol doit être envisagé lors de projets de mise en valeur des sols dans les régions de savane.

- f) Les systèmes d'irrigation doivent être adaptés aux différents types de sols.
- g) On peut jouer sur les types de préparation du sol pour déterminer une méthode préventive de la formation des croûtes de battance : sur les sols de SODEFEL, on doit éviter le pulvérisage de la surface du sol.

---

**BIBLIOGRAPHIE**

---

- AARSTAD J.S. and MILLER D.E. 1981 - Effects of small amounts of residue on furrow erosion.  
Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 45. 116-118.
- ALLISON L.E. and MOORE D.C. 1956 - Effect of VAMA and HPAN soil conditioners on aggregation, surface crusting and moisture retention in alkali soils.  
Soil. Sci. Soc. Proceeding. Vol. 20. n° 2. 143-146.
- ALLISON L.E. 1956 - Soil and plant responses to VAMA and HPAN Soil conditioners in the presence of the high exchangeable sodium.  
Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 20. 147-151.
- ALLISON L.E. 1964 - Salinity in relation to irrigation.  
Advances in Agronomy. Vol.16. 170-210. Edit. by A.G. Norman.  
Academic Press.
- ALBERGEL T.J. 1982 - Un nouvel outil pour estimer le ruissellement sur un petit bassin versant. Le mini-simulateur de pluies, expérimentation sur le bassin de Binnde.  
Rapport d'élève. Année de spécialisation. ORSTOM. Centre de Ouagadougou.
- ALPEROVITCH N. and DAN J. 1973 - Chemical and geomorphological comparison of two types of Leossial crusts in the Central Neugeu (Israel).  
Istrael J. Agric. Res. 23(I). 13-19.
- ARNDT W. 1965 a - The nature of the mechanical impedance to seedlings by soils surface seals.  
Aust. J. Soil Res. 3, 45-54.
- ARNDT W. 1965 b - The impedance of soil seal and the forces of emerging seedlings.  
Aust. J. Soil Res. 3. 55-68.
- ASSELIN J. et VALENTIN 1977 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.  
ORSTOM. Côte d'Ivoire. Pédologie Expérimentale.
- ASSELIN J. 1981. Construction d'un infiltromètre à aspersion.  
ORSTOM Adiopodoumé. Pédologie Expérimentale (Notice technique).
- AVENARD J.M. 1971 - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Aspects de la Géomorphologie.  
Mémoires ORSTOM N° 50, Paris.
- AUDRY et al. 1973 - Essai sur les dynamiques actuelles de sols.  
ORSTOM, Paris. Doc. multigr.

- BARLEY K.P., FARRELL D.A. and GREACEN E.L. 1965 - The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots.  
Aust. J. Soil Res. 3. 69-75.
- BARLEY K.P. and GREACEN E.L. 1967 - Mechanical resistance as a soil factor. Influencing the growth of roots and underground shoots.  
Advances in Agronomy. Vol. 19. 1-43.  
Edit. by A.G. Norman. Academic Press.
- BENNETT O.L. ASHLEY D.A. and DOSS B.D. 1964 - Methode of reducing soil crusting to increase cotton seedling emergence.  
Agronomy Journal. 56. 162-165.
- BERGSMA E. and VALENZUELA C.R. (1981) - Drop testing aggregate stability of some soils near Merida Spain.  
Earth. Surface processes and land forms. Vol. 6. 309-318.
- BHATTI A.S. 1974 - Treatment of cotton seed for germination.  
Plant and Soil 41 : 681-684.
- BISAL F. 1967 - Infiltration rate as related to rainfall energy.  
Can. J. Soil. Sci. Vol. 47. 33-37.
- BISHAY B.G. and STOOPS G. 1975 - Micromorphologie of irrigation crusts formed on a calcareous soil of the mechanised farm. North-West. Egypt.  
Pedology 25 (2). 143.
- BLAC A.L. and SIDDOWNAY F.A. 1979 - Influence of tillage and wheat straw residue manegement on soil properties in the Great plains.  
J. of Soil and Water conservation. Vol. 34. 220-223.
- BLIC De Ph. 1976 - Le comportement des sols ferralitiques de Côte d'Ivoire. Après défrichement et mise en culture mécanisée, rôle des traits hérités du milieu naturel.  
Cah. ORSTOM. Sér. Pédologie. Vol. XIV n° 2.
- BLAVIA W.C., WOLDENHAVER and LAW D.E. (1971) - Materials for stabiliting surface clods of cropped soils.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 35. 119-122.
- BOND J.J. and WILLES W.D. 1969 - Soil Water evaporation : surface residue rate and placement effects.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 33. 445-448.
- BOUKAR S.L. 1982 - Etude expérimentale de la réorganisation superficielle d'un matériau pédologique minéral, sous l'effet de trois modes d'apport d'eau : aspersion, lame d'eau circulant et non circulante.  
D.E.A. Pédologie et aménagement des sols. ORSTOM, Univ. Paris VI - I.N.A. P-G.
- BOIFFIN J. et SEBILLOTTE M. 1976 - Climat, stabilité structurale et battance  
Essai d'analyse d'un comportement du sol au champ.  
Ann. Agron. 27 (3). 295-325.
- BOUMA J. 1969 - Microstructure and stability of two sandy loam soils with differnet soil manegement.  
Department of regional soil Science. Agricult. University Wageningen. Agriculture Research. Rapport 24.

- BRADFORD J.M. 1980 - The penetration resistance in a soil with well defined structural units.  
Soil Sci. Amer. Journal. Vol. 44. 601-606.
- BRESLERE and KEMPER W.D. 1970 - Soil water evaporation as affected by wetting methods and crust formation.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 34. 3-8.
- BREWER R. 1964 - Fabric and mineral analysis of soil.  
Edit. Willey and Sons. Inc. London.
- BROSSMAN G.D., VORST J.J. and STEINHART M. (1982) - A technique for measuring soil crust strengths.  
J. of Soil and Water Conservation. 225-226.
- BRYAN R.B. 1968 - The development use and efficiency of indices of soil erodibility. Geoderma 2, 5-25.
- BRYAN R.B. 1974 - A simulated rainfall test for the prediction of soil erodibility.  
Z. Geomorpho. N.F. Suppl. bd 21. 138-150. Berlin.
- BRYAN R.B. 1976 - Considerations on soil erodibility indices and sheetwash.  
Catena. Vol. 3, 99-11.
- BRYAN R.B. 1981 - Soil erosion under simulated rainfall in the field and laboratory : variability of erosion under controlled conditions. Erosion and sediment transport measurement (Proceeding of the Florence symposium). IAHS Publ. n° 133. 391-403.
- BUBENZER G.D. and JONES B.A. 1971 - Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rain fall.  
Transactions of the ASAE. 625-628.
- BURINGH P. 1970 - Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions.  
Second edition. PUDOC. Wageningen. Centre for Agricultural publishing and documentation.
- CARTER L.M. and TRAVERNETTI J.R. 1968 - Influence of precision tillage and soil compaction on cotton yields.  
Transaction of the ASAE. Vol. II, n° 1. 65-73.
- CASSEL D.K. and al. 1978 - An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk Sandy Loam.  
Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 42. 116-120.
- CASENAVE A. 1981 - Etude des crues decennales des petits bassins forestiers en Afrique tropicale. Rapport final, ORSTOM, Abidjan.
- CHANCELLOR W.J. 1971 - Effects of compaction on soil strength.  
ASAE Monograph. Compaction of Agricultural soil. 190-222.
- CHENY, TARCHITZKY and al. 1980 - Scanning electron microscope observations on soil crust and their formation.  
Soil Science. Vol. 130 n° 1. 49-55.

- CHEPIL W.S. and WOODROFF N.P. 1963 - The physics of wind erosion and its control. *Advances in agronomy*, Vol. 15, 211-299.  
Edit. A.P. Academic Press. London.
- CHEVALLIER P. 1982 - Simulation de pluie sur deux Bassins versants Sahéliens (Mare d'Oursi, Haute Volta).  
ORSTOM, Ouaga Dougou, Haute Volta).
- C. I. D. T. 1981-1982 - Rapport Annuel d'activités. Campagne 1981-82.  
C.I.D.T. Direction Générale, Bouaké C.I.
- COHRON G.T. 1971 - Forces causing soil compaction.  
ASAE. Monograph. *Compaction of Agricultural Soil*. 106-122.
- COLLINET J. et VALENTIN 1979 - Analyse de différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. *Nouvelles perspectives. Applications agronomiques*.  
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. Vol. XVII, n° 4. 283-328.
- COLLIS N.G. and SENNIFER B.H. 1966 - Germination of seeds as influenced by matric potential and by Area of Contact between seed and soil water. *Aust. J. Soil Res.* 4. 145-164.
- DE LEENHEER L. 1975 - La résistance du sol au pénétromètre ; interprétation pédologique et agronomique des résultats obtenus par une nouvelle méthode.  
*Pédologie*. XXV. 2. 87-104.
- DE PLOEY J. 1981 - Some laboratory techniques for investigation land erosion. *Erosion and Sediment transport measurement (proceeding of the Florence Symposium)*. I A H S Public. n° 133.
- DE PLOEY J. 1980 - Crusting and time dependent rain wash mechanisms on loamy soil. *Conservation 80 (Proc. Conf. Wat. College Agric. Engng. Silsoe U.K.* 139-158.
- DE VLEESCHAUWER D.R., LAL R. and DE BOOT M. 1978 - Comparison of detachability indices in relation to soil erodibility for some important Nigerian soil. *Pedologie* XXVII, 1, 5-20.
- DEMANGEOT J. 1976 - Les espaces naturels tropicaux (Essai de Géographie physique). *Collection Géographie*. Edit. Masson. 64-68.
- DHIR et al. 1974 - A note on particle size distribution in surface crust in a arid zone soil.  
*J. Indian Soc. Soil Sci.* Vol. 22 (4) 377-378.
- DOMBY C.W. and KOHNKE H. 1956 - Influence of soil crust on gaseous diffusion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* Vol. 20. 1-5.
- DULEY F.L. 1939 - Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 4. 60-64.
- EDWARDS W.M. and LARSON W.E. 1969 - Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development.  
*Transaction of the ASAE*. Vol. 12. N° 4. 463-470.

- EDWARDS W.M., VAN DER PLOEY R.R., EHLERS W. 1980 - Effect of hydraulic properties of crust and plow layer horizons on infiltration during heavy rainfall.  
Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. n° 143. 84-92.
- ELLISON W.D. 1946 - Soil detachment and transportation.  
Soil conservation. 11 (8). 179-181.
- ELDIN M. 1971 - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. II. Le climat.  
Mémoires ORSTOM n° 50.
- EVANS D.D. and BOUL S.W. 1968 - Micromorphological study of soil crust.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 32. 19-22.
- F.A.O. 1967 - La défense des terres cultivées contre l'érosion hydraulique.  
Coll. FAO. Progrès et mise en valeur. Agriculture n° 81, Rome.
- FARMER E.E. 1973 - Relative detachability of soil particles by simulated rainfall.  
Soil Sci. Amer. Proc. Vol. 37. 629-633.
- FARREL D.A. 1972 - The effect of soil crusts on infiltration the effect on aggregate size and depth of tillage on steady infiltration through crust topped Tilled Soil.  
Med. Fac. Land Bouw Schaf. Rijksuniv. Gent. 37 (3). 1132- 1149.
- FEODOROFF A. 1965 - Mécanismes de l'érosion par la pluie.  
Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2).  
Vol. VII, fasc. 2. 149-163.
- FLOCKER W.S., VOMOCIL J.A. 1959 - Some growth responses of tomatoes to soil compaction.  
Soil Sc. Soc. Proceedings. 188-191.
- FOSTER G.R. and MEYER L.D. 1975 - Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics.  
Present and prospective technology for prediction sediment yields and sources. ARS-5-40 USDA. 190-207.
- FOURNIER F. 1960 - Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. 157-168.  
Presses Universitaires de France.
- FREITAG D.R. 1968 - Penetration test for soil measurements.  
Transaction of the ASAE. Vol. II. n° 6. 750-753.
- FREITAG D.R. 1971 - Methods of measuring soil compaction.  
ASAE Monograph. Compaction of agricultural soil. 47-103.
- FRIDLAND V.M., CHIZHIKOVA and KARAYEU A. 1975 - Change in moist tropical weathering crusts during soil formation in a moderately dry climate.  
Soviet Soil Sc. Vol. 224. 673-676.
- GILL R.W. 1968 - Influence of compaction hardening of soil on penetration resistance.  
Transaction of the ASAE. Vol. 11. n° 6. 741-745.
- GOYAL M.R. 1979 - Mechanical properties of soil crust.  
ASAE. Papier n° 79-1547. New Orléans, Louisiana.

- GUILLAUMET J.L. et ADJANOHOUN E. 1971 - Le milieu naturel de la côte d'Ivoire : la végétation de la Côte d'Ivoire.  
Mémoire ORSTOM n° 50.
- HADAS A., WOLF D. and MEIRSON I. 1978 - Tillage implements a soil structure relationship and their effects on crop stands.  
Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 42. 632-637.
- HANKS R.J. and THORP. F.C. 1956 - Seedling emergence of wheat as related to soil moisture content, bulk density, oxygen diffusion rate and crust strength. Soil Sci. Soc. Proc. 307-310.
- HANKS R.J. and THORP F.C. 1957 - Seedling emergence of wheat grain sorghum and soybeans as influenced by soil crust strength and moisture content. Soil Science. Soc. Proceedings. 357-359.
- HANKS R.J. 1960 - Soil crusting and seedling emergence.  
7th Int. Congress. of Soil Science, Madison. Wisc. U.S.A. 340-346.
- HARRIS W.L. 1971 - The soil compaction process.  
A.S.A.E. Monograph. Compaction of Agricultural Soil. 9-44.
- HEGARTY T. and ROYLE S. 1978 - Combined effects of moisture content prior to compaction, compactive effort and rainfall quantity of soil crust, strength.  
J. of Soil Sc. 29, 167-173.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G. 1969 - Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.  
2ème édition. Masson.
- HENRY J.E. and Mc KIBBEN J.S. 1967 - Effect of soil strength on corn root penetration.  
Transaction of the ASAE. Vol. 10. n° 2. 281-288.
- HILLEL D. 1960 - Crust formation in loessial soil.  
7th. Int. Congress. of soil Sc. Madison. Wisc. U.S.A. 330-339.
- HILLEL D. 1964 - Infiltration and rainfall-runoff as by surface crust.  
8th Int. Congress of Soil Sc. Bucharest, Romania. 53-62.
- HILLEL D. and GARDNER W.R. 1969 - Steady infiltration into crust-topped profiles. Soil Sc. Vol. 108. n° 2. 137-142.
- HILLEL D. and GARDNER W.R. 1970 - Transient infiltration into crust-topped profiles. Soil Science, Vol. 109, n° 2, 69-76.
- HILLEL D. 1982 - Introduction to soil physics.  
Academic press London. 176-199.
- HUDSON N.W. 1971 - Soil Conservation.  
B.T. Batsford Limited. London.
- IDESSA - CIDT (Recherche - Développement) 1981 - Connaissances actuelles sur la préparation d'un défrichement en zones de savanes de Côte d'Ivoire.  
Ministère de la Recherche Scientifique. Institut de Savanes.

- IMBERNON J. 1981 - Etude de la variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol du Sénégal.  
Mémoire 3<sup>e</sup> Cycle. Inst. National Polytechnique de Grenoble.
- IRIS J.M. 1982 - Etude pédologique et représentation cartographique à 1/50 000 d'une zone de 15 000 Ha du centre de la Côte d'Ivoire.  
Rapport d'Elève 2<sup>e</sup> Année, ORSTOM, Abidjan.
- JAMES, L.G., LARSON C.L. 1976 - Modeling infiltration and redistribution of soil water during intermittent applications.  
Transaction of the ASAE. Vol. 19. n° 3. 482-488.
- JAMISON V.C. 1954 - L'effet of some soil conditioners on friability and compactibility of soils.  
Soil Sci. Soc. Proc. 391-394.
- JENSEN E.H., JAMES R.F. and GIFFORD R.O. 1972 - Emergence force of forage seedlings.  
Agronomy J. 64: 635-638.
- KEZDI ARPAD, 1974 - Handbook of soil mechanics.  
Vol. I. Soil physics. Elsevier Scientific publishing company.
- KINNELL P.I.A. 1981 - Rainfall intensity - kinetic energie relationships for soil loss prediction.  
Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 153-155.
- KLUTE A. 1972 - The determination of hydraulique conductivity and diffusivity of unsaturated soils.  
Soil Science. Vol. 113. n° 4. 264-277.
- KUTILEK M. 1974 - Infiltration into crust-topped soil.  
Polish Journal of Soil Science. Vol. 11 n° 1. 3-7 (Zechoslovakia).
- LAFFORGUE et NAAH. 1976 - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées.  
Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. Vol. XIII, n° 3, 195-237.
- LAFFORGUE A. 1977 - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles.  
Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. Vol. XIV, n° 4, 299-344.
- LAGIERE R. 1966 - Le cotonnier. Techniques agricoles et productions tropicales.  
Pag. 32 et 40 ; 70 et 88  
G.P. Maison Neuve et la Rose.
- LAL R. 1976 - Soil erosion problems on an alfisol in western, Nigeria and their control. ITTA Monograph. 1. 126-137.
- LAL R. 1981 - Analyses of different processes governing soil erosion by water in the tropics. Erosion sediment transport measurement (proceeding of the Florence Symposium). IAHS. Publ. n° 133. 351-364.
- LAWS W.D. 1954 - The influence of soil properties on the effectiveness of synthetic soil conditioners.  
Soil Sc. Soc. Proceedings. 378-381.

- LEMOS P. and LUTZ J.F. 1957 - Soil crusting and some factors affecting it. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 485-451.
- LEPRUN J.C. 1978 - Compte-rendu de fin d'études sur les sols et leurs susceptibilité à l'érosion, les terres de cuves salées, les formations de "brousse tigrée" dans le Gourma. ORSTOM - DGRST, Paris.
- LHOMME J.P. et MONTENY B. 1979 - Etude agroclimatique de la région centre Bandamade Côte d'Ivoire. Application à la riziculture pluviale. ORSTOM. Abidjan, Côte d'Ivoire.
- LOOPE W. and GIFFORD G. 1972 - Influence of a soil micro-floral crust on select properties of soil under pinyon-juniper in southeastern Utah. Journal of soil and water Conservation. Vol. 27, n° 4, 164-167.
- MALAKA M. 1977 - A study of the chemistry and hydraulic conductivity of mound material and soil from different habitats of some Nigerian termites. Aus J. Soil. Res. 15. 87-91.
- MAZURAK A.P. and MOSHER P.N. 1968 - Detachment of soil particles in simulated rainfall. Soil Sc. Soc. Am. Proc. Vol. 32. 716-719.
- MAERTENS C. 1965 - La résistance mécanique de sols à la pénétration. Ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Ann. Agron. 15 (5) 539-554.
- MEYER L.D., JOHNSON C.B. and FOSTER R. 1972 - Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites. Journal of soil and water conservation. 264-268.
- MEYER L.D., FOSTER G.R. and RÖMKENS L. 1975 - Source of soil eroded by water from upland slopes. Present and prespective technology for predicting sediment yields and sources. ARS-S 40 USDA. 177-189.
- Mc INTYRE D.S. 1958 - Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. Soil Sc. 85. 261-266.
- MOLDENHAUER W.C. and KEMPER W.D. 1969 - Interdependence of water drop and clod size on infiltration and clod stability. Soil Sc. Soc. Am. Proc. Vol. 33, n° 2. 297-301.
- MUTCHLER C.K. and LARSON C.L. 1971 - Splash amounts from water-drop impact on a smooth surface. Water Resources Research. Vol. 7. n° 1. 195-200.
- MUTCHLER C.K. and YOUNG R.A. 1975 - Soil detachment by raindrops present and prespective technology for predicting sediment yields and sources proceedings of the sediment yield workshop. Oxford, Mississippi. USDA. ARS - 40. 113-117.
- NEIBLING G.R., FOSTER G.R. and al. 1981 - Laboratory and field testing of a programmable plot-sized rainfall simulator. Erosion and sediment transport measurements (proceedings of the Florence Symposium). IAHS. Publ. n° 133. 257-277.

## REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier le gouvernement française qui m'a permis d'effectuer ce travail à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM), par l'intermédiaire du Comité d'Etudes pour la Formation d'Ingénieurs (C.E.F.I.).

C'est la Côte d'Ivoire qui m'a offert à la fois un sujet de recherches, un terrain pour l'aborder et une équipe de pédologues pour me guider à toutes les étapes de la réalisation de cette étude. Je remercie le Ministère de la Recherche de ce pays pour le soutien qu'il m'a apporté, ainsi que le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé. C'est en effet le laboratoire de Pédologie expérimentale de ce centre qui m'a accueilli et qui m'a apporté à la fois un environnement intellectuel de haut niveau et l'aide journalière qui m'était nécessaire aux plans scientifique, méthodologique et technique.

Ce sont plus précisément les travaux de C. VALENTIN, dans le domaine de la connaissance des propriétés et du comportement de la surface du sol exposé au choc des pluies, qui ont suscité mon activité de recherche. C'est ce chercheur qui m'a en outre aidé, en discutant et en présentant les résultats. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance, ainsi qu'à MM. J. ASSELINE et M. JANEAU, pour la mise au point de l'infiltromètre à aspersion et de l'émergéomètre plus particulièrement. Je remercie également pour leur aide précieuse MM. FRITSCH et LEVEQUE.

C'est pour moi l'occasion aussi de remercier le gouvernement de mon pays, le Mexique, notamment l'Université autonome de Chapingo où j'ai effectué mes études, et le CONACYT (Conseil National de Science et Technologie) qui a suscité ma spécialisation dans le domaine de la conservation des sols et pris à ce sujet les contacts nécessaires avec le gouvernement français.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J. BOULAIN, de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour avoir accepté de présider le Jury.

Je remercie très sincèrement Monsieur F.X. HUMBEL pour avoir consacré de son temps à la lecture du manuscrit et pour sa présence au sein du Jury, ainsi que Messieurs PEYRE, LENEUF et CHRISTMANN pour avoir accepté d'être membres du Jury.

Je tiens également à remercier la S.O.D.E.F.E.L. et la C.I.D.T., sociétés de développement sur les terrains et avec l'aide desquelles se sont déroulés les essais d'aspersion, et j'exprime l'espoir que les résultats pratiques présentés ici pourront servir aux paysans de Côte d'Ivoire. On ne peut passer 16 mois dans ce pays si accueillant sans nouer de multiples et précieux contacts avec la population et je remercie tous ceux qui ont contribué à rendre mon séjour agréable et utile.

Ne pouvant citer tous les employés de l'ORSTOM, de la S.O.D.E.F.E.L. qui m'ont aidé au cours de ce travail, je leur exprime ici ma reconnaissance par l'intermédiaire du Directeur de la Station d'Adiopodoumé, M. J. COLLINET.

C'est en France, au sein du laboratoire de Pédologie de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon que s'est déroulée la phase finale de présentation de ce mémoire et je voudrais remercier aussi tous ceux qui m'ont aidé, notamment Madame ELIE et Messieurs CARLE et GUILLORE qui ont assuré la réalisation technique de ce volume.



- NERPIN S.V. and CHUDNOUSKIC A.F. 1970 - Physics of the soil (translated from Russian). 247-249.  
Israel program for Scientific translation Jerusalem.
- OADES J.M. 1976 - Prevention of crust formation in soils by poly (vinyl alcohol). Aust. J. Soil Res. 14. 139-148.
- ONSTAD C.A., RADKE J.K. and JOUNG R.A. 1981 - An outdoor portable rainfall erosion laboratory. Erosion and sediments transport measurements (proceeding of the Florence Symposium). IAHS. Publ. 133.
- ORR H.K. 1975 - Recovery from soil compaction on blue grass rang in the black Hills. Transaction of the ASAE. Vol. 18. n° 6. 1076-1081.
- ORSBORNE P.D. and WRIGLEY H.H. 1979 - An alternative to stubble burning in southern New South Wales.  
J. of Soil Conservation services of N.S.W. Vol. 35. 98-100.
- O.R.S.T.O.M. 1969 - Glossaire de pédologie. Description des horizons.  
ORSTOM Paris, France.
- O.R.S.T.O.M. 1973 - Bulletin du Groupe de Travail sur la dynamique actuelle des sols. Comité technique de Pédologie. N° 2. ORSTOM, Paris.
- PAGES E.R. 1979 - The effect of poly (vinyl alcohol) on the crust strength of silty soils.  
J. of Soil Sc. 30. 643-651.
- PAGLIAI M., LAMARCA M. 1979 - Micromorphological study of soil crust.  
Agrochimica XXIII n-1. 16-25.
- PARLANGE J.I. 1972a - Theory of water movement in soils : two and three dimensional steady infiltration.  
Soil Sc. Vol. 113 n° 2. 96-101.
- PARLANGE J.I. 1972b - Theory of water movement in soil. Unsteady infiltration from spheroidal cavities.  
Soil Sc. Vol. 113. n° 3. 156-161.
- PARLANGE J.I. 1972c - Theory of water movement in soil. Multidimensional cavities under pressure.  
Soil Sc. Vol. 113. n° 6. 379-382.
- PARLANGE J.I. 1972d - Theory of water movement in soil. One dimensional infiltration with constant flux at the surface.  
Soil Sc. Vol. 114. n° 1. 1-5.
- PARR J.F. and BERTRAND A.R. 1960 - Water infiltration into soil.  
Advances in agronomy. Vol. 12. 311-363.
- PALMER R.S. 1965 - Waterdrop impact force.  
Transaction of the ASAE. 69, 70 & 73.
- PERRAUD A. 1971 - Le milieu naturel de la côte d'Ivoire. Le sol.  
Mémoire ORSTOM n° 50, Paris.
- PHILIP J.R. 1957a - The theory of infiltration. I : the infiltration equation and its solution.  
Soil. Sc. 83. 345-357.

- PHILIP J.R. 1957b - The theory of infiltration. II : the profil of infinity.  
Soil Sc. 83. 435-448.
- PHILIP J.R. 1957c - The theory of infiltration. III : moisture profiles and  
relation to experiment.  
Soil Sc. 84. 163-168.
- PHILIP J.R. 1957d - The theory of infiltration. IV : sorptivity and algebraic  
infiltration equations.  
Soil Sc. 84. 257-264.
- PHILIP J.R. 1957e - The theory of infiltration. V : the influence of the ini-  
tial moisture content.  
Soil Sc. 84. 329-339.
- PRIHAR S.S. and AGGARNAL G.C. 1975 - A new technique for measuring emergence  
force of seedling and some.  
Laboratory and field studies with corn (Zea Mays L).  
Soil Sc. Vol. 120. n° 3. 200-204.
- POESEN J. 1981 - Rainwash experiments on the erodibility of loose sediments.  
Earth Surface Processes and Land Forms. Vol. 6. 285-307.
- POESEN J. and SAVAT J. 1981 - Detachment and transportation of loose sedi-  
ments by raindrop splash.  
II. Detachability and transportability measurement.  
CATENA. Vol. 8. 19-41. Braunschweig.
- PARKER J.J. and TAYLOR H.H.C. 1965 - Soil strength and seedling emergence.  
I. Soil type, moisture tension, temperature and planting depth  
effects.  
Agron. J. 57 (3). 289-291.
- RAATS P.A.C. 1974 - Steady infiltration into crusted soils.  
Transaction of the 10th intern. Congress of Soil Science. Tome I.  
75-80.
- RANGANATHA B.R. and SATYANARAYANA . 1979 - Effect of clay and sesquioxides on  
sol crust and its influence on seedling emergence.  
J. Indian Soc. Soil Sci. Vol. 27 (3) 242-245.
- RATHORE T.R., GHILDYAL B.P., SACHAN R.S. 1981 - Germination and emergence of  
soybean under crusted soil conditions.  
I. Effect of crust impedance to seedling emergence.  
Plant and Soil 62. 97-105. Ms 4628.
- RATHORE T.R., GHILDYAL B.P., SACHAN R.S. 1982 - Germination and emergence  
of soybean under crusted soil conditions.  
II. Seed environment and varietal differences.  
Plant and Soil. 65. 73-77. Ms 46574.
- RICHARDS L.A. 1953 - Modulus of rupture as an index of crusting of soils.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17. 321-323.
- ROGOWSKI A.S. 1972 - Estimation of the soil moisture characteristic and  
hydraulic conductivity : comparison of models.  
Soil Science Vol. 114. n° 6. 423-429.

- ROSE C.W. 1960 - Soil detachment caused by rainfall.  
Soil Science 89. 28-35.
- ROOSE E. 1976 - Use of universal soil loss equation to predict erosion in west Africa. In soil erosion. Prediction and control.  
Soil Cons. Soc. of Amer. 21.
- SANGLERAT G. 1965 - Le pénétromètre et la reconnaissance de sols. Interpolation des diagrammes de pénétration théorique et pratique.  
D.N.D.A. Paris.
- SAXTON K.E., Mc COOL D.K. and PAPENDICK R.I. 1981 - Slot mulch for runoff and erosion control.  
Journal of Soil and Water Conservation. 44-47.
- SEGINER, IDO. 1970 - A model of surface crusting and infiltration of bare soil.  
Water Ressources Research. Vol. 6. n° 2. 629-633.
- SHARMA D.P. and AGRAWAL R.P. 1978 - Effect of initial moisture content and conditions of drying on crust strength.  
J. Indian Soc. Soil. Sci. Vol. 26 (3). 254-256.
- SHARMA D.P. and AGRAWAL R.P. 1980 - Physicochemical properties of soil crusts and their relationship with the modulus of rupture in alluvial soil.  
J. of the Indian Soc. of Soil Sci. Vol. 28 (1). 119-121.
- SINGER M.J. and BLACKARD J. 1978 - Effect of mulching on sediment in runoff from simulated rainfall.  
Soil Sc. Soc. Amer. J. Vol. 48. 481-487.
- SINGER M.J., MATSUDA Y. and BLACKARD J. 1981 - Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash.  
Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol. 45. 107-110.
- SLACK D.C. and LARSON C.L. 1981 - Modelling infiltration : the key process in water management, runoff and erosion.  
Tropical Agricultural Hydrology. 433-450.  
Edited by R. LAL and E.W. Russell. John Willey & Sons.
- SODEFEL 1977 - Rapport pédologique des périmètres maraichers de Marabadiassa. Projet de Pédologie PNUD/FAO/AUB. Bouaké, Côte d'Ivoire.
- SODEFEL 1977 - Périmètres maraichers de Marabadaissa. Avant-projet d'irrigation. Rapport d'ensemble.  
Projet de Pédologie PNUD/FAO/AUB. Bouake, Côte d'Ivoire.
- Soil Conservation Society of Amerique. 1976 - Resource conservation.  
Glossary. Second edition. U.S.D.A.
- SOOD M.C. and CHAUDHARY. 1980 - Soil erosion and runoff from a sandy loam soil in relation to initiel clod size, tillage-time moisture and redisue mulching under simulated rainfall.  
J. Indian Soc. Soil Sci. Vol. 28 (1). 24-27.
- STOUT B.A. and al. 1961 - Effect of soil compaction on seedling emergence under simulated field conditions.  
Agricultural Engineering. 68-87.

- STUART D.M. and DIXON R.M. 1973 - Water movement and caliche formation in layered arid and semi-arid soils.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 37. 323-324.
- TAYLOR H.M. 1962 - Seedling emergence of wheat grain sorghum and guaras affected by rigidity and thickness of surface crusts.  
Soil Sc. Soc. Proc. 431-433.
- TAYLOR H.M. and BURNETT E. 1964 - Influence of soil strength on the root - Growth habits of plants.  
Soil Science. Vol. 98. 174-180.
- TAYLOR H.M. 1971 - Effects of soil seedling emergence root growth and crop yield. In compaction of Agricultural soil.  
ASAE Monograph. 292-315.
- TROUSE C.A. 1972 - Soil conditions as they effect plant establishment, root development and yield. In compaction of Agricultural Soils.  
ASAE Monograph. 225-275.
- TAYLOR H.M. and VOMOCIL J.A. 1959 - Changes in soil compressibility associated with polyelectrolyte treatment.  
Soil Sc. Soc. Amer. Proc. Vol. 3. 181-183
- U.S.D.A. 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkalin soils.  
Hand Book 60. Washington D.C.
- VALENTIN C. 1978 - Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire.  
ORSTOM, Lab. de Pédolog. Adiopodoumé.
- VALENTIN C. 1981a - Résistance mécanique à la pénétration de quelques sols ferrallitiques (Nord de la Côte d'Ivoire).  
ORSTOM, Pédologie expérimentale. Adiopodoumé C.I.
- VALENTIN C. 1981b - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (AGADEZ, Niger).  
Thèse 3ème cycle, Paris VII.
- VOORHEES W.B., SENT G. and NELSON W.W. 1978 - Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern Corn Belt.  
Soil Sci. Soc. Amer. Journ. Vol. 42. 344-345.
- WARKENTIN B.P. 1972 - Effects of composition on content and transmission of water in sol.  
In compaction of Agricultural Soil. ASAE. Monograph. 125-153.
- WHITELEY G.M., UTOMO W.H. and DEXTER A.R. 1981 - Comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots.  
Plant and soil 61. 351-364.
- WILLIAMS B., GREENLAND D.J. and QUIRK J.P. 1967 - The tensile strength of soil cores containing polyvinyl alcohol.  
Aust. J. Soil. Res. 5. 85-92.
- WISCHMEIER W.H. 1959 - A rainfall erosion index for universal soil loss equation.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23. 246-249.

- WISCHMEIER W.H. and MANNERING J.V. 1969 - Relation of soil properties to its erodibility.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 33. 131-136.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B., CROSS B.V. 1971 - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites.  
J. of Soil and Water Conservation. 189-193.
- YARIV S. 1976 - Comments on the mechanisms of soil detachment by rainfall.  
Geoderma 15. 393-399.
- ZANKER A. 1972 - Nomograph for hydraulic conductivity and intrinsic permeability of water-soil system.  
Soil Sc. Vol. 113. n° 5. 375-377.



A N N E X E S



## ANNEXE I

### NOTE SUR L'UTILISATION DU MOT CROÛTE

Le mot croûte prêtant parfois à confusion, voici d'après une courte revue bibliographique les différents sens qu'il peut prendre en pédologie.

Tenant compte du mécanisme de formation, CHEN et al. (1980) distinguent deux types de croûtes :

- 1) La croûte de structure : elle est formée par le choc des gouttes de pluie.
- 2) La croûte de dépôt : elle est formée par la translation de particules fines et leur dépôt à une certaine distance de leur emplacement d'origine.

#### CROUTES CALCAIRES

Sans doute le problème de l'encroûtement des sols est commun aux sols agricoles, sous une grande variété de conditions climatiques, mais il se manifeste le plus vivement dans les régions arides et semi-arides. CHEPIL and WOODRUFF (1963), SHARMA (1978), PAGLIAI (1979), VALENTIN (1981).

Au nord du Mexique par exemple, où les précipitations pluviales sont assez réduites, on trouve la formation de croûtes calcaires (croûtes de dépôt) ou "caliches". L'eau se charge de carbonates de calcium et de silicates qui se concentrent dans les premières couches du sol. Lorsque l'eau est éliminée par évaporation, le carbonate de calcium, le silicate et les autres sels se déposent à la surface. La répétition constante d'humectation et de dessiccation entraîne le durcissement du carbonate de calcium et du silicate, qui se cimentent et constituent une couche imperméable. BURIN (1970), STUART (1973), DHIR (1974), BISHAY (1975).

#### CROUTES SALINES

Elles sont typiques d'un certain environnement, les sols où l'on trouve le plus souvent cette formation sont appelés sols "alkalins" selon ELLISON (1956a), U.S.D.A. (1954), ou "takyr" selon les scientifiques russes. ALPEROVITCH (1973).

Les sols alcalins sont caractérisés principalement par une haute teneur en sodium échangeable dans le complexe d'échange cationique ; ALLISON (1964), BURINGH (1970). Le caractère défloculant du sodium dans ces sols se manifestent de deux manières :

- a) désagrégation ou pert de la structure du sol ;
- b) augmentation de la dureté du sol ou la tendance à la formation d'une croûte à la surface.

ALLISON (1956b) suggère de tenir compte, en plus du sodium, d'autres facteurs tels que la texture ou teneur en argile, et le type d'argile présent.

#### CROUTES SUR SOLS LATERITIQUES

Peu d'études ont été faites sur les sols de climat tropical ou subtropical. FRIDLAND (1975) a travaillé sur la formation des croûtes dans les régions de steppe en faisant des analyses minéralogiques pour expliquer la nature de la croûte formée de quartz et kaolinite. RANGANATHA (1979) a étudié l'effet de l'argile et des sesquioxides sur la formation des croûtes ; il a travaillé sur des sols rouges dérivés de granite-gneiss, sous climat subtropical.

#### CROUTES CRYPTOLOGAMIQUES

La croûte du sol formée par des algues et des lichens ou autres microflores modifie l'infiltration et l'instabilité du sol. LOOPE et GIFFORD (1972) ont fait une étude à Utah (U.S.A.) pour évaluer l'influence des croûtes cryptogamiques sur le taux d'infiltration, la production potentielle de sédiments et d'autres propriétés du sol. Les différentes espèces de lichens sont : Collema cocephorum truck, Dermatocarpon hepaticum fut, Gensia fulgens et peccania kanasa. Ces espèces sont principalement noires. Elles forment une croûte foncée.

ANNEXE II



P.O. TIENINGBOUE

SOL FERRALLITIQUE

Utilisation du sol : Agricole

Climat : soudanien

Topographie : 7% pente

Roche : Granite

Horizon de 0 à 8 cm

Sec, 5 YR 6/3 sec et 5 YR 4/1 humide (brun clair et gris foncé), à matière organique non directement décelable, teneur en matière organique 1.1%, teneur approximative en éléments grossiers 15%, très peu de graviers, cailloux peu abondants, de débris de cuirasse de forme arrondie, à arêtes émoussées, approximativement 45% de sable, 25% d'argile. Texture sablo-argileuse à sable grossier quartzueux. Structure fragmentaire très nette, prismatique fine, volume des vides assez important entre agrégats. Agrégats à pores peu nombreux, fins, tubulaires. Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique, peu collant, friable. Présence de croûtes. Quelques racines fines et moyennes. Horizon labouré. Transition diffuse irrégulière.

Horizon de 8 à 25 cm

Sec 5 YR 5/3 sec et 5 YR 4/3 humide (brun rougeâtre). Apparemment non organique. Graviers très abondants, cailloux abondants, de roche ignée grenue dure, de forme allongée, altérée. Approximativement 60% de sable. Texture sableuse siliceux. Structure particulière peu nette, volume de vides assez important entre agrégats. Agrégats à pores nombreux. Matériau non plastique, non collant, très friable, très fragile. Quelques racines, grosses entre les agrégats. Activité biologique faible, transition nette, ondulée.

Horizon de 25 à 47 cm

Sec, 5 YR 5/8 sec, 5 YR 4/6 humide (rouge jaunâtre) éléments à oxydes en taches ferrugineuses, graviers très abondants, cailloux peu abondants de roche ignée grenue, forme allongée dure. Texture argilo-sableuse. Structure massive. Volume de vides très faible entre agrégats. Agrégats à pores peu nombreux. Matériau à consistance malléable, plastique, collant, peu friable, peu fragile, pas de racines, activité biologique très faible. Transition nette, régulière.

Horizon de 47 à >47 cm

Sec, 5 YR 5/6 sec et 5 YR 4/8 humide (rouge jaunâtre) éléments à oxydes en cuirasses, cailloux peu abondants de roche ignée grenue. Texture argileuse. Structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse moyenne. Volume des vides très faible entre agrégats. Agrégats à pores peu nombreux. Matériau à consistance malléable, très plastique, très collant, peu friable, non fragile. Pas de racines. Activité biologique nulle.

Fiche analytique du profil N° 1 TIENINGBOUE (4 - Nov. 82)

(P.0)

SITE I

	PROFONDEUR DES HORIZONS (cm)			
	Ap 0 - 8	B <sub>Gr</sub> 8 - 25	B <sub>22</sub> 25 - 47	C > 47
<b>GRANULOMETRIE</b>				
Argile	8.7	15.3	28.1	26.4
Limon fin %	4.6	4.8	6.1	7.7
Limon grossier %	4.1	3.9	3.5	4.7
Sable fin %	22.0	14.7	10.3	15.0
Sable grossier %	57.9	59.2	49.4	42.0
Refus %	18.4	58.7	18.2	6.7
SF/SG	0.38	0.25	0.21	0.36
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>				
Carbone %	6.51	3.71	3.92	2.61
Azote %	0.40	0.33	0.35	0.20
C/N	16.28	11.24	11.20	13.05
M.O. totale %	1.1	0.6	0.7	0.5
pH (eau)	7.0	0.4	5.6	5.2
<b>CARACTERES PHYSIQUES</b>				
pF - 2,5	8.2	9.3	17.5	20.9
- 2,8	6.9	8.2	16.5	18.3
- 3,0	6.3	8.1	15.4	18.1
- 4,2	4.3	6.6	13.4	16.0
<b>Structure</b>				
VAL. HENIN				
I.S.	1.4	1.1	1.4	1.7
K cm/h	2.5	4.6	18.4	9.8
<b>Agrégats</b>				
Alcool	61.4	70.5	78.3	80.7
Eau	63.1	69.8	74.0	71.2
Benzène	62.2	68.5	51.1	37.2

P.O. TIENINGBOUE

SOL FERRALLITIQUE

Utilisation du sol : Agricole

Climat : soudanien

Pente : 5%

Roche : Granite

Horizon 0 à 7 cm

Sec YR 5/1 sec et 10 YR 4/1 humide (gris et gris foncé). A matière organique non directement décelable. Teneur en matière organique voisine 1.2, très peu de graviers, très peu de cailloux de roche ignée grenue. Texture sableuse à sable grossier, siliceux. Structure fragmentaire peu nette polyédrique, très fine. Volume de vides faible entre agrégats, poreux. Matériau à consistance rigide, peu cimenté, non plastique, peu collant, friable, très fragile. Croûtes localisées à la surface. Quelques racines, moyennes entre les agrégats. Horizon labouré. Transition graduelle irrégulière.

Horizon 7 à 17 cm

Sec, 5 YR 5/1 sec et 5 YR 4/2 humide (gris et gris rougeâtre foncé) à matière organique non directement décelable. Graviers, cailloux de roche ignée grenue, altérée. Texture sablo-argileuse. Structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse, moyenne. Volume de vides important entre agrégats, poreux. Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique, collant, peu friable, pas de racines. Horizon labouré, transition nette régulière.

Horizon 17 à 35 cm

Sec, 7.5 YR 6/2 sec et 7.5 YR 5/4 (gris rosé et brun). Graviers très abondants, cailloux très abondants, de roche ignée grenue, à arêtes émoussés, faiblement altérés. Texture sableuse, à sable grossier, quartzueux. Structure particulière peu nette. Volume de vides assez important entre agrégats, non poreux. Matériau à consistance rigide, non plastique, non collant, très friable, pas de racines. Activité biologique nulle. Transition nette irrégulière.

Horizon 35 à 90 cm

Sec, 5 YR 6/8 sec et 5 YR 5/8 (jaune rougeâtre et rouge jaunâtre). Nombreuses tâches liées aux faces des unités structurales, irrégulières. Eléments à oxydes ferrugineux en taches ferrugineuses) très peu de cailloux de roche sédimentaire argileuse, dure. A arêtes anguleuses faiblement altérées. Texture argilo-sableuse, micacé. Structure massive. Volume de vides très faible entre agrégats, non poreux. Matériau à consistance malléable, fortement cimenté, peu plastique, collant, non friable, non fragile. Pas de racines. Activité biologique nulle.

	PROFONDEUR DES HORIZONS (cm)			
	Ap 0 - 7	B <sub>12</sub> 7 - 17	B <sub>G1</sub> 17 - 35	C 35 - 90
<b>GRANULOMETRIE</b>				
Argile	12,3	11.6	15.5	17.9
Limon fin %	6.3	5.3	5.1	7.0
Limon grossier %	4.3	3.5	3.4	4.4
Sable fin %	18.3	13.5	12.5	15.0
Sable grossier %	56.9	64.0	61.5	52.9
Refus %	14.2	22.0	63.5	19.2
SF/SG	0.32	0.21	0.20	0.28
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>				
Carbone %	6.98	6.17	3.28	2.25
Azote %	0.43	0.40	0.23	0.18
C/N	16.23	15.43	14.26	12.50
M.O. totale %	1.20	1.10	0.60	0.40
pH (eau)				
<b>CARACTERES PHYSIQUES</b>				
pF - 2,5	8.9	9.7	8.6	18.3
- 2,8	8.7	8.1	8.4	16.3
- 3,0	8.0	8.0	7.5	15.2
- 4,2	5.1	5.6	5.0	10.6
Structure				
VAL. HENIN				
I.S.	1.6	1.2	0.9	1.4
K cm/h	1.8	4.8	10.5	10.2
Agrégats				
Alcool	63.7	67.9	80.2	79.9
Eau	64.0	64.3	73.9	69.0
Benzène	62.5	64.2	73.5	54.5

PROFIL n° 3

28.04.82

P.O. TIENINGBOUE

SOL FERRALLITIQUE

Utilisation du sol : Agricole

Climat : soudanien

Roche : Granite

Pente : 5%

Horizon 0 - 30 cm

Sec, 5 YR 6/2 sec et 10 YR 4/4 humide (gris rosé et brun jaunâtre foncé). Apparemment non organique. Cailloux très abondants de roche ignée grenue. Texture sableuse, à sable grossier quartzueux. Structure fragmentaire, polyédrique subanguleuse, fine. Volume de vides assez important entre agrégats, poreux. Matériau à consistance semi-rigide, peu cimenté, non plastique, non collant, très friable, très fragile. Croûtes sur la surface du sol. Racines fines et moyennes. Horizon labouré. Transition nette.

> 30 cm

Cuirasse ferrique.

5 YR 7/8 sec et 5 YR 4/8, humide (jaune rougeâtre et rouge jaunâtre).

	PROFONDEUR DES HORIZONS (cm)	
	Ap1 0 - 30	R > 30
<b>GRANULOMETRIE</b>		
Argile	9.7	
Limon fin %	5.8	
Limon grossier %	3.7	
Sable fin %	15.4	
Sable grossier %	62.9	
Refus %	36.2	
SF/SG	0.25	
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>		
Carbone %	8.14	
Azote %	0.60	
C/N	13.57	
M.O. totale %	1.40	
pH (eau)	5.8	
<b>CARACTERES PHYSIQUES</b>		
pF - 2,5	9.0	
- 2,8	7.8	
- 3,0	7.6	
- 4,2	5.2	
<b>Structure</b>		
VAL. HENIN		
I.S.	0.7	
K cm/h	7.1	
<b>Agrégats</b>		
Alcool	71.5	
Eau	71.5	
Benzène	71.0	

WEDALA

SOL FERRALLITIQUE

Utilisation du sol : Agricole (Abandonné)

Climat : soudanien

Roche : Granite

Pente : 3%

Horizon 0 à 10

Humide, 10 YR 4/1 humide (gris foncé) à matière organique non directement décelable. Texture limono-argileuse. Structure fragmentaire nette, polyédrique fine. Volume de vides très faible entre agrégats, poreux. Matériau à consistance malléable, peu cimenté, plastique, collant peu friable, fragile. Croûtes à la surface du sol. Racines fines et moyennes. Traces du travail du sol. Transition graduelle régulière.

Horizon 10 à 22

Humide, 10 YR 4/2 humide (brun grisâtre foncé) à matière organique non directement décelable, très peu de graviers de roche ignée grenue. Texture argileuse. Structure fragmentaire, polyédrique subanguleuse, moyenne. Volume des vides assez importantes entre agrégats, très poreux. Matériaux à consistance malléable, Non cimenté très plastique, très collant, peu friable non fragile. Quelques racines moyennes et grosses. Activité biologique très faible. Transition nette irrégulière.

Horizon 22 à 38 cm

Humide, 10 YR 4/4 humide (brun jaunâtre foncé) quelques taches sans relation visible avec les autres caractères. Peu contrastés. Eléments sesquioxides non identifiés, de forme diffuse. Graviers très abondants, cailloux de roche ignée, grenue. Arêtes anguleuses, faiblement altérées. Texture argilo-sableuse, à sable fin. Structure fragmentaire peu nette. Volume de vides important entre agrégats, peu poreux. Matériau à consistance semi-rigide, peu cimenté, peu plastique, non collant, friable. Fragile. Quelques racines grosses, activité biologique nulle. Transition graduelle ondulée.

Horizon 38 à >58 cm

Humide 7.5 YR 5/6 humide brun vif, taches associées aux éléments grossiers. Eléments ferrugineux en taches ferrugineuses, graviers et cailloux de roche ignée grenue de forme irrégulière. Non altéré. Texture sableuse, à sable grossier, Quartzueux. Structure massive. Volume de vides très faible entre agrégats, non poreux. Matériau à consistance rigide. Fortement cimenté, Non plastique, non collant, non friable, non fragile. Pas de racines. Activité biologique nulle.

	PROFONDEUR DES HORIZONS (cm)			
	Ap (0 - 10)	B11 (10 - 22)	BG1 (22 - 38)	C (38 - 70)
<b>GRANULOMETRIE</b>				
Argile	15.5	20.8	23.5	21.3
Limon fin %	12.3	10.2	8.2	4.8
Limon grossier %	13.6	13.8	13.0	5.5
Sable fin %	33.7	32.3	27.4	14.3
Sable grossier %	19.6	17.3	24.3	51.7
Refus %	2.1	3.6	26.5	50.1
SF/SG	1.72	1.87	1.13	0.28
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>				
Carbone %	15.23	13.04	7.95	3.72
Azote %	1.05	0.93	0.70	0.28
C/N	14.50	14.02	11.36	13.29
M.O. totale %	2.60	2.2	1.4	0.60
pH (eau)	6.0	5.6	5.6	5.9
<b>CARACTERES PHYSIQUES</b>				
pF - 2,5	15.8	17.2	16.5	15.4
- 2,8	13.2	14.4	14.7	18.9
- 3,0	12.0	13.4	13.7	19.5
- 4,2	7.6	9.0	10.0	21.2
<b>Structure</b>				
VAL. HENIN				
I.S.	1.1	1.1	1.7	1.6
K cm/h	4.2	4.0	3.4	7.9
<b>Agrégats</b>				
Alcool	78.7	47.1	48.6	72.4
Eau	83.4	33.6	35.8	58.7
Benzène	53.6	18.0	18.7	47.7

SODEFEL MARABADIASSA

SOL FERRALLITIQUE

Utilisation du sol : Agricole

Climat : soudanien

Topographie : 3% pente moyenne

Roche : Granite

Horizon 0 à 20 cm

Humide, 7.5 YR 7/0 humide (gris clair). A matière organique non directement décelable. Sans éléments grossiers. Texture limono-argileuse. Structure fragmentaire peu nette polyédrique fine. Volume des vides faible entre agrégats, poreux. Matériau à consistance malléable peu cimenté, plastique, collant peu friable, fragiles croûtes à la surface du sol. Racines fines, moyennes et grosses. Termitières hypogées. Horizon labouré. Transition nette irrégulière.

Horizon 20 à 40 cm

Humide, 10 YR 5/6 humide (brun jaunâtre) apparemment non organique, très peu de graviers de (roche ignée grenue). Texture argileuse. Structure fragmentaire, nette, polyédrique moyenne. Volume de vides assez important entre agrégats, poreux. Matériau à consistance malléable peu cimenté très plastique, très collant peu friable, peu fragile. Quelques racines moyennes. Termitières. Transition graduelle, ondulée.

Horizon 40 à 60 cm

Humide, 10 YR 5/6 humide (brun jaunâtre), graviers très abondants, cailloux peu abondants de roche ignée, de forme irrégulière; à arêtes anguleuses, faiblement altérées. Texture argilo-sableuse à sable fin, siliceux. Structure fragmentaire peu nette, polyédrique, subanguleuse fine. Volume de vides assez important entre agrégats, très poreux. Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique, peu collant, très friable, fragile. Pas de racines. Termitières. Transition graduelle, régulière.

Horizon 60 à >100

Humide, 10 YR 5/8 humide (brun jaunâtre) quelques taches peu étendues, associées aux éléments grossiers, arrondis. Éléments ferrugineux, en taches ferrugineuses. Graviers très abondants, cailloux de roche sédimentaire argileuse, non altéré. Texture sablo-argileuse. Structure massive. Non poreux. Fortement cimenté.

	PROFONDEUR DES HORIZONS (cm)			
	A (0 - 20)	B11 (20 - 40)	BGr (40 - 60)	C (60 - 110)
<b>GRANULOMETRIE</b>				
Argile	18.6	25.4	27.6	26.9
Limon fin %	5.6	6.8	7.0	8.5
Limon grossier %	16.3	13.0	12.3	8.9
Sable fin %	41.9	36.2	30.3	23.2
Sable grossier %	13.9	15.4	19.1	28.3
Refus %	1.5	0.4	51.5	71.2
SF/SG	3.01	2.35	1.59	0.82
<b>MATIERES ORGANIQUES</b>				
Carbone %	9.36	5.91	5.79	3.95
Azote %	0.68	0.45	0.50	0.33
C/N	13.76	13.13	11.58	11.97
M.O. totale %	1.6	1.0	1.0	0.70
pH (eau)	6.3	5.2	6.5	6.1
<b>CARACTERES PHYSIQUES</b>				
pF - 2,5	16.6	18.2	19.5	20.9
- 2,8	13.8	15.5	16.9	18.9
- 3,0	12.9	14.2	15.8	17.0
- 4,2	7.5	9.5	11.4	14.1
<b>Structure</b>				
VAL. HENIN				
I.S.	4.7	2.4	2.4	2.0
K cm/h	3.4	4.0	2.7	2.1
<b>Agrégats</b>				
Alcool	17.6	30.7	40.8	51.1
Eau	14.0	26.4	23.8	37.6
Benzène	13.5	16.9	14.8	18.6

Tableau 1 - DONNEES DE PLUIES DE LA STATION CLIMATOLOGIQUE DU DEPARTEMENT DES CULTURES VIVRIERES  
IDESSA BOUAKE

1975

1976

1977

1978

1979

DATE Jour-Mois	Pu mm	I mm/h	Δt min																
12-III	75.3	85.7	25'	18-III	10.5	36.7	9'	17-III	12.5	47.1	10'	5-III	32.0	30.0	7'	24-III	13.5	46.2	8'
20-III	10.5	37.5	4'	10-IV	26.5	58.3	11'	30-III	18.5	19.6	14'	11-III	22.0	60	12'	2-IV	13.0	3.6	20'
26-III	52.5	40.0	6'	11-IV	40.0	50.0	5'	29-IV	11.5	41.2	10'	22-III	14.0	64.7	10'	16-IV	100.5	105.7	32'
6-IV	35.0	142.5	12'	14-IV	37.0	78.8	20'	3-V	21.5	102.9	10'	2-IV	43.0	92.6	16'	22-IV	32.0	26.0	15'
19-IV	10.0	19.5	26'	25-IV	15.5	119.2	8'	9-V	10.5	32.4	10'	9-IV	30.5	72.0	15'	1-V	33.5	35.3	33'
21-IV	21.0	56.2	5'	13-V	10	20.6	10'	10-V	29.0	37.5	5'	27-IV	32.0	40	6'	16-V	13.5	17.7	97'
3-V	10.5	50.0	4'	17-V	10	30.0	6'	28-V	11.0	70.8	7'	29-IV	12.0	60.0	9'	18-V	25.5	90.0	6'
7-V	29.0	41.7	7'	20-V	13.5	24.8	10'	29-V	35.0	28.1	10'	2-V	30.0	65.4	8'				
24-V	20.0	67.6	10'					30-V	9.5	79.2	7'	10-V	11.0	27.5	24'				
30-V	16.0	94.1	10'									12-V	11.5	10.0	30'				
31-V	11.0	50.0	4'									22-V	10.5	81.3	5'				

Tableau 2 : Calcul de l'indice d'humectation pour les différents sites expérimentaux.

INDICE D'HUMECTATION I K												
SITE	PARCELLE A 120 mm/h				PARCELLE B 120 mm/h + MOUSTIQUAIRE				PARCELLE C 30 mm/h			
	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\Delta$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\Delta$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\Delta$
I	0	17.25	38.71	24.18	0	17.54	38.76	24.97	0	17.54	40.67	24.28
II	0	17.45	40.28	26.10	0	17.54	39.14	25.65	0	17.54	39.14	25.92
III	0	17.74	39.05	26.12	0	17.54	38.80	26.27	0	17.54	38.80	26.32
IV	0	17.58	39.91	26.01	0	17.73	39.90	26.36	0	17.24	38.68	26.36
V	0	18.17	39.72	27.03	0	17.71	39.00	26.22	0	17.69	38.37	25.87
VI	0	17.78	38.27	25.70	0	17.22	38.77	25.90	0	17.40	38.87	26.26

**Tableau 3 : PROTOCOLE D'IRRIGATION A ASPERSION SODEFEL, BLOC M - 7**

	GICLEUR TYPE A INTENSITE 5/mm/h				GICLEUR TYPE B INTENSITE 10 mm/h				GICLEUR TYPE C INTENSITE 15 mm/h			
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
td	9:00-14:00 5h α				12:00-14:30 2:30 α				15:00-16:40 1:40 α			
td		7:00-12:00 5h 17h				7:30-10:00 2:30 17h				9:40-11:20 1:40 17h		
td			16:00-21:00 5h 4h				14:00-16:30 2:30 4h				16:20-18:00 1:40 5h	
td				16:30-21:30 5h 43:30				1:30-4:00 2:30 43:30				3:30-5:10 1:40 43:30
DATE	20-V-82	21-V-82	21-V-82	23-V-82	24-V-82	25-V-82	25-V-82	27-V-82	27-V-82	28-V-82	28-V-82	30-V-82

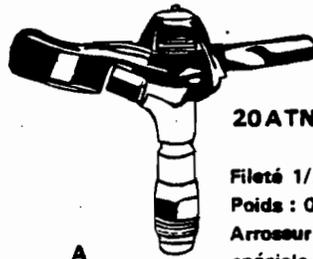
## MATERIEL MOBILE POUR UNE PARCELLE

(50 x 70)

Le matériel mobile permet la livraison entre l'hydrant (prise d'eau du réseau) et l'asperseur.

- a) Un genou mobile 4" 2 sorties 3". Permet l'ouverture et la fermeture de l'hydrant et assure la connexion entre le réseau et les canalisations aluminium.
- b) Deux canalisations aluminium 3" 6 mètres. Elles sont montées sur le genou mobile, deux de chaque côté.
- c) Deux réduction 3", 2" + tes 2" : permettent la liaison entre les canalisations 3" 6 mètres et les antennes 2".
- d) Sept canalisations alu 2" 12 mètres ; viennent se monter en intercalaires des asperseurs pour obtenir un écartement de 12 mètres entre chaque asperseur.
- e) Six canalisations alu 2" 12 mètres + semelles 600 mm. Permettent de raccorder les asperseurs sur les canalisations. Les semelles servent à la stabilité de l'installation.
- f) Six raccords PERROT F1". Ils se montent sur les canalisations alu 2" 6 mètres et assurent l'étanchéité au moyen d'une bille de caoutchouc si l'asperseur n'est pas monté.
- g) Six raccords PERROT M1" ; ils permettent la liaison entre le raccord PERROT F1" et l'asperseur.
- h) Six asperseur type A, 6 asperseurs type B et 4 asperseurs type C. Ceux-ci permettent la diffusion de l'eau sur les cultures.

Fig 1 3 TYPES DE GICLEURS CIRCULAIRES



**20ATNT23°**

Fileté 1/2" (15-21).

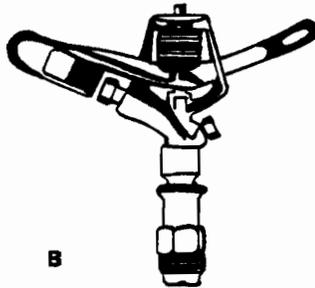
Poids : 0.300 kg.

Arroseur circulaire équipé d'une seule buse spéciale 23°.

Corps bronze .

Bras bronze ou aluminium suivant le diamètre de la buse .

A



**30 WTNT**

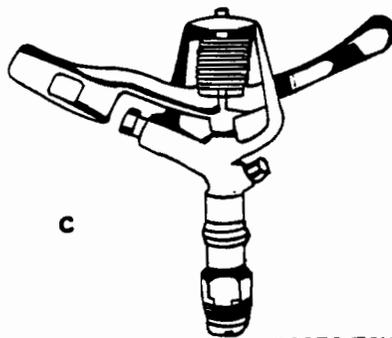
Fileté 3/4" (20-27).

Poids : 0.600 kg .

Arroseur circulaire à une seule buse, la buse petit rayon est remplacée par un bouchon .

Corps et bras bronze .

B



**14070 TNT**

Fileté 3/4" (20-27) .

Poids : 0.800 kg .

Arroseur circulaire à deux buses : la buse grand rayon est motrice, la buse petit rayon a une inclinaison de 7 ou 20° suivant sa dimension .

Corps et bras bronze .

C

ANNEXE III



Tableau 1 - DONNEES DE BASE INFILTROMETRE A ASPERSION

SITE : I = P.O. TIENINGBOUE

DATE : 5\*, 6\*\*, 8\*\*\*, AVRIL 82

PARCELLE A  $I_p = 120$  mm/h

PARCELLE B  $I_p = 120$  mm/h

PARCELLE C  $I_p = 30$  mm/h

	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$
to	16:00	9:12'30"	13:25'	12:07'30"	17:11'	10:23'30"	14:36'	12:52	18:00	11:50'	16:42'	13:40'
tu	16:12'30"	9:25'	13:37'30"	12:18'	17:23'30"	10:36'	14:47'30"	13:04'30"	18:50	12:40	17:32'	14:30'
ta (h)	-	17.h0'	4h.0'	46h.30'	-	17h.0'	4h.0'	45h.00'	-	17h.0'	4h.0'	44h.10'
(td)	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	50'	50'	50'	50'
I, (mm/h)	118	116	120	128	120	118	120	118	30	32	26	30
Lr (mm)	6.70	16.40	19.40	17.84	0.5	10.86	14.74	15.04	0.0	2.3	10.97	9.66
Dr (mm)	0.47	0.25	0.25	0.10	0.0	0.31	0.20	0.10	0.0	0.1	0.1	0.05
Rx (mm/h)	62.8	96.0	97.0	91.0	10.2	66.0	80.0	84.0	0.0	7.0	14.40	17.0
Pu (mm)	24.58	24.82	25.00	26.66	25.0	24.58	25.00	24.58	25.0	26.66	21.66	25.0
Fn (mm/h)	57.9	20.0	23.0	34.0	109.8	46.0	43.0	34.0	30.0	25.0	9.5	13
W (mm)	22.33	7.92	6.03	9.55	25.18	18.33	10.74	14.36	24.9	24.16	10.51	15.19
Pi (mm)	12.95	3.86	1.0	1.06	14.0	2.95	1.5	1.47	24.9	4.26	1.10	3.0
Pe (mm)	21.63	20.96	24.0	25.6	11.0	21.63	23.5	23.11	0.10	22.4	20.47	22.0
$\Sigma W$	22.33	30.25	36.28	45.83	25.18	43.51	54.25	68.61	24.9	49.06	59.57	74.76
$\Sigma Lr$	6.70	23.35	42.75	60.59	0.5	11.36	26.1	41.14	0.0	2.3	13.27	22.93
$\Sigma Pu$	24.58	49.4	74.3	101.06	25.00	49.58	74.58	99.16	25.0	51.60	73.20	98.20

MOUSTIQUAIRE

Tableau 2 - DONNEES DE BASE INFILTROMETRE A ASPERSION

SITE II : P.O. TIENINGBOUE

DATE : 9<sup>\*</sup> 10<sup>\*\*</sup> 12, <sup>\*\*\*</sup> AVRIL 82

PARCELLE A I<sub>p</sub> = 120 mm/h

PARCELLE B I<sub>p</sub> = 120 mm/h

PARCELLE C I<sub>p</sub> = 30 mm/h

	α <sup>*</sup>	β <sup>**</sup>	δ <sup>**</sup>	Δ <sup>***</sup>	α <sup>*</sup>	β <sup>**</sup>	δ <sup>**</sup>	Δ <sup>***</sup>	α <sup>*</sup>	β <sup>**</sup>	δ <sup>**</sup>	Δ <sup>***</sup>
to	16:00	9:25	13:20'	9:36'30'	17:00'	10:12'30'	14:25	10:35'38"	18:00	11:50'	16:40'	13:00
tu	16:12'30"	9:37'30"	13:32'30"	9:49'	17:12'30"	10:25	14:37'30"	10:48'08"	18:50	12:40'	17:30'	13:50
ta (h)	-	17h.15'	3h.55'	44h.00'	-	17h.00'	4h.00'	44h.00'	-	17h.00	4h.00	43h.30'
(td)	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	50'	50'	50'	50'
I, (mm/h)	120	126	120	120	120	120	120	120	30	30	30	30
Lr (mm)	9.52	14.1	19.94	15.99	0.0	8.41	11.79	13.2	4.36	14.12	18.11	14.42
Dr (mm)	0.18	0.40	0.30	0.30	0.0	0.50	0.10	0.35	0.20	0.20	0.21	0.21
Rx (mm/h)	56.00	61.6	100	88.0	0.0	53.0	64.0	86.0	10.0	20.0	24.4	24.0
Pu (mm)	25.0	26.25	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.00	25.00	25.0	25.0	25.0
Fn (mm/h)	46.0	56.0	23.0	24.0	12.0	63.0	51.0	32.0	17.5	9.0	5.6	6.7
W (mm)	15.44	12.1	5.02	8.99	25.0	16.55	13.17	11.76	20.64	10.88	6.89	10.58
Pi (mm)	6.0	2.8	2.0	1.33	25.0	4.33	2.66	3.0	6.25	2.16	1.20	2.5
Pe (mm)	19.0	23.45	23.0	23.67	0.0	20.67	22.34	22.0	18.75	22.84	23.80	22.6
Σ W	9.52	23.62	43.56	59.55	0.0	8.41	20.2	33.4	4.36	18.48	36.69	51.11
Σ Lr	15.44	27.54	32.56	41.55	25.0	41.55	54.72	66.48	20.64	31.52	38.41	48.99
Σ Pu	25.00	51.25	76.25	101.25	25.0	50.0	75.0	100.00	25.64	50.0	75.0	100.0

MOUSTIQUAIRE

156

Tableau 3 - DONNEES DE BASE INFILTROMETRE A ASPERSION

SITE III : P.O : TIENINGBOUE

DATE : 13\*, 14\*\* et 16\*\*\* AVRIL 82

PARCELLE A  $I_p = 120$  mm/h

PARCELLE B  $I_p = 120$  mm/h

PARCELLE C  $I_p = 30$  mm/h

	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$
to	16:00	9:25'	13:44'10"	8:41'28"	16:55'	10:13'15"	14:50'	9:50'30"	18:00	11:50'	17:4'35"	12:00
tu	16:12'30"	9:37'30"	13:56'40"	8:53'58"	17:07'30"	10:25'45"	15:02'30"	10:03'	18:50	12:40'	17:54'35"	12:50'
ta (h)	-	17h.15'	4h.20'	43:03'	-	17h.0'	4h.25'	43h.13'	-	17h.0'	4h.25'	42h.30'
(td)	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	50'	50'	50'	50'
$I_p$ (mm/h)	122	120	120	121	120	120	124	120	30	30	30	29
Lr (mm)	5.35	18.0	18.79	17.59	0.0	8.51	12.06	11.1	1.74	8.92	13.67	9.32
Dr (mm)	0.30	0.25	0.30	0.40	0.0	0.25	0.25	0.29	0.10	0.18	0.15	0.16
Rx (mm/h)	55.0	97.5	96.40	90.0	0.0	50.0	66.0	66.0	11.0	16.0	20.0	16.6
Pu (mm)	25.41	25.0	25.00	25.20	25.0	25.0	25.83	25.00	25.0	25.0	25.0	24.16
Fu (mm/h)	61.0	23.0	18.0	32.5	120.0	64.0	46.5	56.0	19.0	13.5	11.0	12.5
W (mm)	20.02	6.96	6.17	7.57	24.46	16.45	13.73	13.96	23.22	16.04	11.29	14.75
Pi (mm)	12,53	2.0	1.66	1.68	24.96	3.66	2.41	3.0	14.20	2.75	1.75	3.5
Pe (mm)	12.88	23.0	23.34	23.52	0.04	21.34	23.42	22.0	10.80	22.25	23.25	20.66
$\Sigma W$	5.35	23.35	42,14	59.73	0.0	8.51	20.57	31.67	1.74	10.66	24.33	33.65
$\Sigma Lr$	20.02	26.98	33.15	40.72	24.96	41.41	55.14	69.00	23.22	39.26	50.55	65.30
$\Sigma Pu$	25.41	50.41	75.41	100.41	25.0	50.00	75.83	100.85	25.0	50.0	75.0	99.16

MOUSTIQUAIRE

Tableau 4 - DONNEES DE BASE INFILTROMETRE A ASPERSION

SITE IV OUEDALA

DATE : 24<sup>\*</sup>, 25<sup>\*\*</sup>, 27<sup>\*\*\*</sup>

PARCELLE A I<sub>p</sub> = 120 mm/h

PARCELLE B I<sub>p</sub> = 120 mm/h

PARCELLE C I<sub>p</sub> = 30 mm/h

	α <sup>*</sup>	β <sup>**</sup>	δ <sup>**</sup>	Δ <sup>***</sup>	α <sup>*</sup>	β <sup>**</sup>	δ <sup>**</sup>	Δ <sup>***</sup>	α <sup>*</sup>	β <sup>**</sup>	δ <sup>**</sup>	Δ <sup>***</sup>
t <sub>o</sub>	15:20	9:09'30"	13:07'30"	9:14	16:25	10:09'30"	14:05'30"	10:07'30"	17:36'	11:27'	16:30'	12:0
t <sub>u</sub>	15:32'30"	9:20	13:20	9:26'30"	16:37'30"	10:20	14:18	10:20'	18:26	12:8'	17:20	12:50
t <sub>a</sub> (h)	-	16h.45'	3h.47'	43h.54'	-	16h.30'	3h.45'	43h.15'	-	16h.13'	4:13'	42h.20'
(td)	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	50'	50'	50'	50'
I, (mm/h)	121	122	120	120	120	122	120	118	29	30	30	30
L <sub>r</sub> (mm)	13.82	21.71	22.84	21.61	0.85	14.09	15.74	14.59	1.45	11.21	15.81	15.01
D <sub>r</sub> (mm)	0.38	0.21	0.30	0.50	0.1	0.1	0.40	0.50	0.09	0.25	0.30	0.20
R <sub>x</sub> (mm/h)	96.0	116.0	115	110.0	15	82.0	86.0	86.0	6.0	17.0	20.5	21.8
P <sub>u</sub> (mm)	25.20	25.41	25.00	25.00	25.00	25.41	25.0	24.58	24.16	25.00	25.00	25.00
F <sub>n</sub> (mm/h)	23.0	2	5	13	105	44.5	36	25	23	13.2	9.5	8.1
W (mm)	11.35	3.66	2.12	3.35	24.11	11.29	9.22	9.95	22.6	13.75	9.15	9.95
P <sub>i</sub> (mm)	6.72	1.35	1.16	1.16	17'0	2.88	2.0	2.13	17.07	2.29	1.5	1.7
P <sub>e</sub> (mm)	18.48	24.06	23.84	23.84	8.0	22.53	23.0	22.45	7.09	22.71	23.5	23.3
Σ W	13.82	35.53	58.37	79.98	0.85	14.94	30.68	45.27	1.45	12.66	28.47	48.48
Σ L <sub>r</sub>	11.35	15.01	17.13	20.48	24.11	35.4	44.62	54.57	22.6	36.35	45.5	55.45
Σ P <sub>u</sub>	25.20	50.61	75.61	100.61	25.0	50.41	75.41	99.99	24.16	49.16	74.16	99.16

MOUSTIQUAIRE

Tableau 5 - DONNEES DE BASE INFILTROMETRE A ASPERSION

SITE V : SODEFEL I

DATE : 3~~è~~, 4~~è~~, 6~~è~~ MAI-82

PARCELLE A I<sub>p</sub> = 120 mm/h

PARCELLE B I<sub>p</sub> = 120 mm/h

PARCELLE C I<sub>p</sub> = 30 mm/h

	α*	β**	δ**	Δ***	α*	β**	δ**	Δ***	α*	β**	δ**	Δ***
to	16:00	9:53'	14:05	9:04'	16:45'	10:30	15:05	10:07	17:34'30"	11:17'30"	16:10	12:00
tu	16:12'30"	10:05'30"	14:17'30"	9:16'30"	16:47'30"	10:42'30"	15:17'30"	10:19'30"	18:24'30"	12:07'30"	17:00	12:50
ta (h)	-	17h.40'	4h.0'	42h.50'	-	17h.43"	4h.22'	42h.50'	-	18h.53'	4h.03'	43h.0'
(td)	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	50'	50'	50'	50'
I, (mm/h)	126	120	126	120	123	120	120	122	30	29	30	30
Lr (mm)	16.82	15.39	12.59	6.63	8.94	17.59	16.99	16.99	3.77	9.52	13.11	15.11
Dr (mm)	0.35	0.30	0.50	0.20	0.40	0.65	0.60	0.60	0.20	0.20	0.20	0.30
Rx (mm/h)	108.0	81.6	84.0	62.0	92.0	98.0	96.0	100.0	16.5	19.3	18.6	20.0
Pu (mm)	26.25	25.0	26.20	25.0	25.62	25.0	25.0	25.41	25.0	24.10	25.0	25.0
Fn (mm/h)	12.0	39.0	38.0	45.0	38.0	24.0	31.0	22.0	14.0	10.0	11.5	8.0
W (mm)	9.38	9.57	13.61	18.33	16.64	7.39	7.97	8.38	21.19	14.55	11.85	9.85
Pi (mm)	6.30	1.0	1.4	1.0	10.25	2.85	1.33	2.03	14.0	2.9	1.5	1.75
Pe (mm)	19.95	24.0	14.85	24.0	15.37	22.17	23.67	23.38	11.0	21.26	23.50	23.25
ΣW	16.82	32.21	44.8	51.43	8.94	26.53	43.52	60.51	3.77	13.29	26.4	41.51
Σ Lr	9.38	18.95	32.56	50.89	16.64	24.03	32.0	40.38	21.19	35.74	47.59	57.44
Σ Pu	26.25	51.25	77.50	102.5	25.62	50.62	75.62	101.03	25.0	49.16	74.16	99.16

MOUSTIQUAIRE

Tableau 6 - DONNEES DE BASE INFILTROMETRE A ASPERSION

SITE VI : SODEFEL II

DATE : 7\*, 8\*\*, 10\*\*\* MAI - 82

PARCELLE A Ip = 120 mm/h

PARCELLE B Ip = 120 mm/h

PARCELLE C Ip = 30 mm/h

	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$	$\alpha^*$	$\beta^{**}$	$\delta^{**}$	$\Delta^{***}$
to	15:05	9:16	13:32	9:00	16:05	10:14'	14:32	10:00	17:16'32"	11:30'	16:30'	12:00
tu	15:17'30"	9:28'30"	13:44'30"	9:12'30"	16:17'30"	10:26'30"	14:44'30"	10:12'30"	18:06'32"	12:20'	17:20'	12:50'
ta (h)	-	18h	4h4'	43h.15'	-	18h.0	4h.6'	43h.15	-	17h.24'	4h.10'	42h.40'
(td)	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	12'30"	50'	50'	50'	50'
I, (mm/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	30	30	30	30
Lr (mm)	0.0	5.55	<u>9.92</u>	5.76	1.85	13.81	17.4	16.2	0.0	0.0	2.35	9.05
Dr (mm)	0.0	<u>0.80</u>	<u>1.75</u>	<u>2.0</u>	0.20	0.50	0.59	0.45	0.0	0.0	0.15	0.35
Rx (mm/h)	0.0	56.0	65.0	26.0	41.80	84.0	46.0	91	0.0	0.0	6.5	11.0
Pu (mm)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.00	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Fn (mm/h)	120.0	60.0	43.0	94.0	78.20	42	23	29	30	30 ?	23.5	19.00
W (mm)	24.96	19.41	15.04	19.2	23.11	11.15	7.56	8.76	24.96	24.96	22.61	15.91
Pi (mm)	24.96	9.0	5.66	6.5	18.0	3.3	2.5	2.8	24.96	24.96	9.0	6.0
Pe (mm)	0.04	16.0	19.34	18.5	7.0	21.7	22.5	22.2	0.04	0.04	16.0	18.0
$\Sigma$ Lr	0.0	5.55	15.47	21.23	1.85	15.66	33.06	49.26	0.0	0.0	2.35	11.4
$\Sigma$ W	24.96	44.37	59.42	78.62	23.11	34.61	42.17	50.93	24.96	49.92	72.53	88.44
$\Sigma$ Pu	25.0	50.00	75.00	100.00	25.0	50.0	75.0	100.0	25.0	50.0	75.0	100.0

BAGASSE CANNE A SUCRE

TOILE OMBRIERE

BAGASSE CANNE A SUCRE

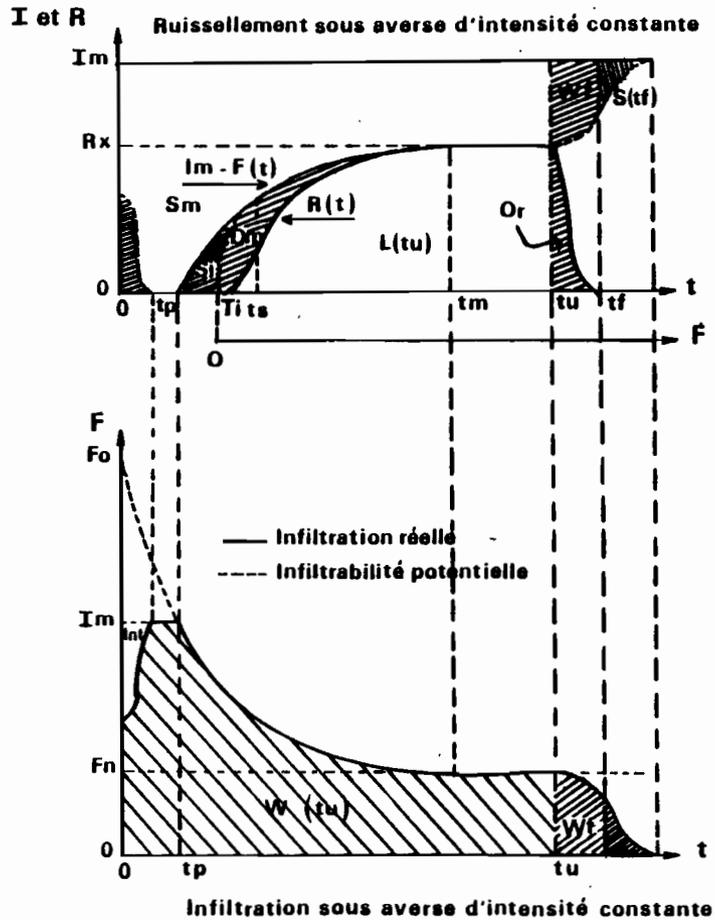


Fig 1 HYDROGRAMME TYPE montrant les 4 phases de ruissellement ( d'après LAFFORGUE 1976 )

$I_m$  = Intensité de l'averse simulée

$R_t$  = Intensité de ruissellement

$F_t$  = Intensité d'infiltration

$O-t_i$  = Phase d'imbibition

$t_p$  = Temps de transition

$S_i$  = Lamme d'eau stockée

$t_i-t_m$  = Phase transitoire

$D_m$  = Détention superficielle mobilisable  
 -  $W_f$  infiltrée  
 -  $O_r$  détention superficielle récupérable

$t_s$  = Temps de ruissellement de la parcelle

$t_m-t_u$  Régime permanent de ruissellement

$R_x$  = Intensité maximale de ruissellement

$F_n$  = Intensité minimale d'infiltration

$t_u-t_f$  = Phase de vidange

$L_r$  = Lamme d'eau ruisselée totale

$P_i$  = Hauteur de pluie d'imbibition

$W$  = Lamme d'eau infiltrée

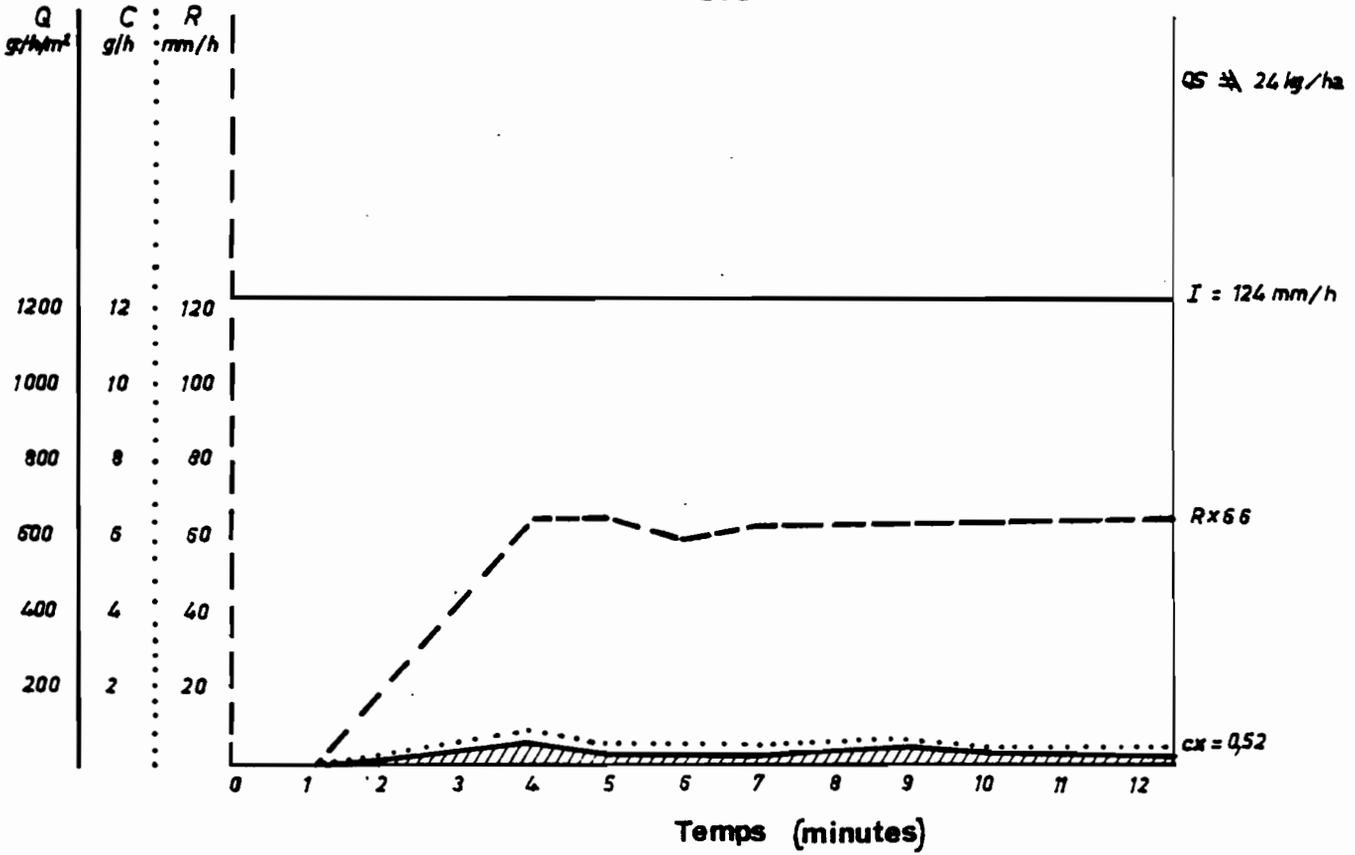


Fig 2 Représentation graphique du solidigramme, du turbidigramme et de l'hydrogramme du site III, parcelle B et pluie 8

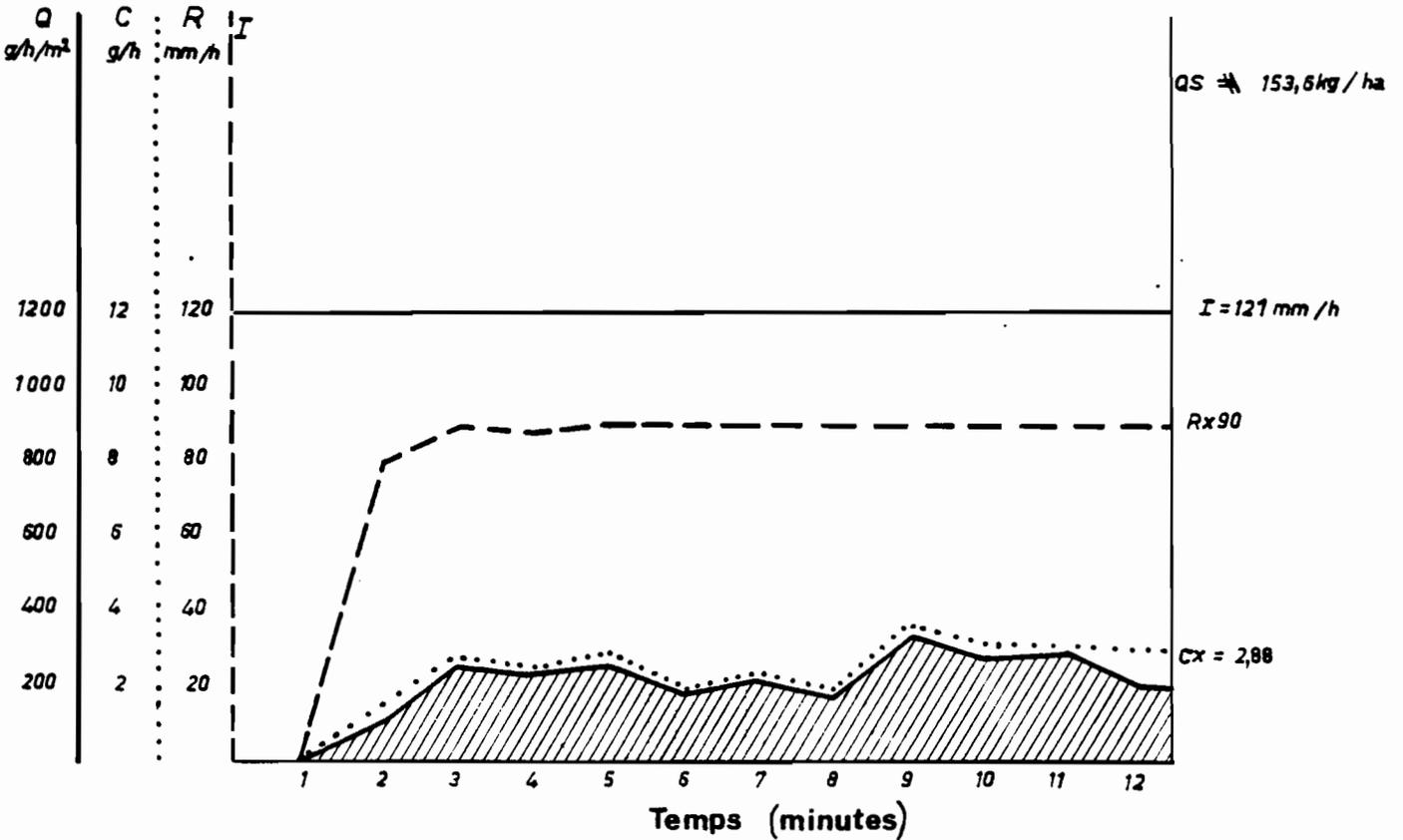


Fig 3 Représentation graphique du solidigramme, du turbidigramme et de l'hydrogramme du site III parcelle A pluie A

Tableau 7 - Données de ruissellement ( $10^{-3}$  mm) par gicleur et par système de préparation du terrain, Aspersión SODEFEL.

Système de préparation du terrain		Gicleur A 5 mm/h				Gicleur B 10 mm/h				Gicleur C 15 mm/h			
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
S <sub>1</sub> Labour	Mulch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ΣLr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Nue	80	220	520	100	800	2260	6000	4050	-	-	1000	912
	ΣLr		300	820	920		3060	9060	13110				1912
S <sub>2</sub> Chiselage	Mulch	-	-	-	-	-	120	180	120	-	-	-	-
	ΣLr	-	-	-	-	-	300	420	420	-	-	-	-
	Nue	160	500	660	260	140	300	400	450	-	-	100	320
	ΣLr		660	1320	1580		440	840	1290				420
S <sub>3</sub> Standard	Mulch	-	-	-	-	-	120	250	190	-	-	-	140
	ΣLr	-	-	-	-	-	370	560	560	-	-	-	140
	Nue	-	100	130	200	460	1600	2900	2680	-	-	150	180
	ΣLr											330	163

Tableau 8 - Données de la pluie d'irrigation (mm/m<sup>2</sup>). Mesure sur 1 m<sup>2</sup>. (SODEFEL)

		Gicleur A 5 mm/h				Gicleur B 10 mm/h				Gicleur C 15 mm/h			
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
S <sub>1</sub> Labour	Mulch	15.240	16.020	19.600	16.935	8.0	9.740	10.760	11.870	2.440	4.400	10.600	8.800
	ΣPu	46.240	46.700	50.740	47.893	16.880	18.240	20.960	17.720	9.320	5.200	19.260	10.660
	Nue		92.940	143.680	191.573		35.120	56.080	83.800		14.520	33.780	44.44
S <sub>2</sub> Chiselage	Mulch	23.400	23.600	24.960	23.966	12.940	17.400	17.600	26.860	13.0	6.890	10.400	6.940
	ΣPu						30.340	47.940	74.800				
	Nue	32.00	34.400	36.300	34.233	26.040	26.000	29.960	27.840	15.400	8.860	10.790	11.000
	ΣPu		66.400	102.700	135.933		52.040	82.000	109.840		24.260	35.050	46.050
S <sub>3</sub> Standard	Mulch	21.520	22.660	19.560	21.246	15.020	20.260	25.220	22.240	7.360	6.720	2.640	8.920
	ΣPu						35.280	60.500	82.740				
	Nue	30.470	32.670	35.700	32.976	20.400	19.760	28.800	26.180	9.476	6.660	22.290	4.260
	ΣPu		63.140	98.840	131.786		40.160	68.960	95.140		16.135	38.425	42.685

Type de gicleur	VITESSE DE ROTATION (SECONDES)					
	1	2	3	4	5	6
Gicleur A 20 TNT 12 x 12 (5 mm/h) Tripreds	33.0	44.5	59.0	56.4	43.0	40.0
	34.0	40.0	60.0	57.7	44.0	40.6
	33.6	46.6	60.0	57.8	43.3	40.5
	33.0	45.0	59.0	56.7	43.7	40.1
	$\bar{x} = 33.25$	$\bar{x} = 44.03$	$\bar{x} = 59.5$	$\bar{x} = 57.15$	$\bar{x} = 43.5$	$\bar{x} = 40.3$
Gicleur B 30 TNT 12 x 12 (10 mm/h)	34.0	30.0	29.0	29.9	31.6	31.2
	34.0	30.0	29.0	30.0	30.5	34.8
	33.0	29.0	29.4	31.6	30.6	32.6
	33.0	29.4	29.0	30.0	31.3	31.4
	34.0	30.0	29.6	30.7	30.9	33.0
	$\bar{x} = 33.6$	$\bar{x} = 29.6$	$\bar{x} = 29.2$	$\bar{x} = 30.4$	$\bar{x} = 31.0$	$\bar{x} = 32.6$
Gicleur C 70 EW 18 x 18 (15 mm/h) double sortie	2.54	3.34	2.10			
	2.48	3.42	2.07			
	2.50	3.37	1.10			
	$\bar{x} = 2.49$	$\bar{x} = 3.37$	$\bar{x} = 2.09$			

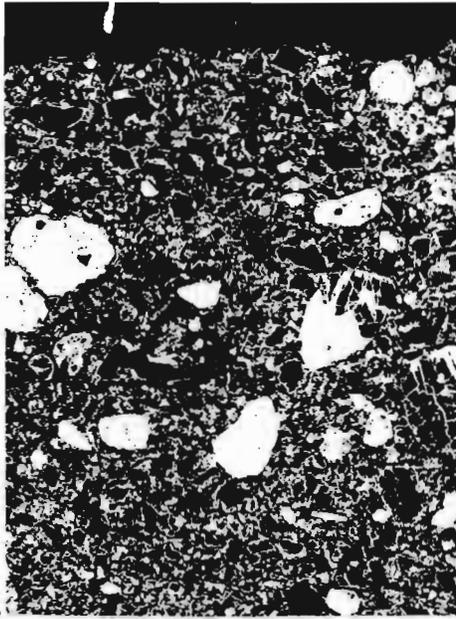
Tableau 9 - Vitesse de rotation des gicleurs dans le système d'irrigation par aspersion. SODEFEL.

ANNEXE IV

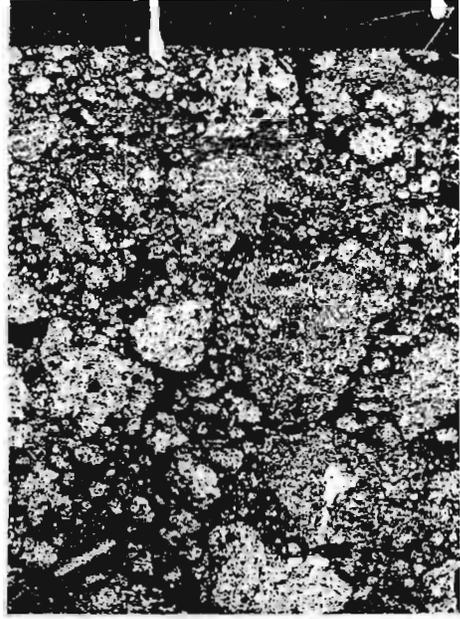
PLANCHE I

Différents comportements de la surface du sol (lames minces) des sites expérimentaux.

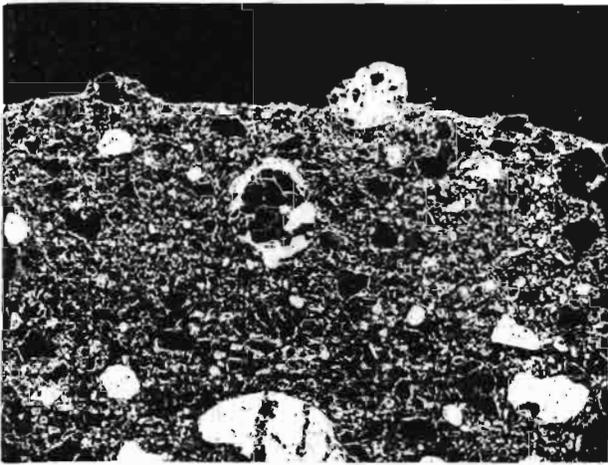
- Photo A : Site I, Tieningboué, parcelle A (120 mm/h). Après la première averse ( $\alpha$ ). Porosité abondante, texture gravillonnaire.
- Photo B : Site V, SODEFEL, parcelle A (120 mm/h). Après la première averse ( $\alpha$ ). Porosité assez réduite ; texture sablo-limoneuse.
- Photo C : Site I, Tieningboué, parcelle A (120 mm/h). Après la dernière averse ( $\Delta$ ). Tassement et émergence à la surface des matériaux grossiers.
- Photo D : Site IV, Wedala, parcelle A (120 mm/h). Après la troisième averse ( $\S$ ). Formation d'une pellicule non continue.
- Photo E : Irrigation par aspersion SODEFEL : système de préparation du sol S<sub>2</sub> (chiselage). Après la troisième irrigation (R<sub>3</sub>), gicleur type B, parcelle nue.
- Photo F : Irrigation par aspersion SODEFEL : système de préparation du sol S<sub>3</sub> (standard), après la dernière irrigation, gicleur (R<sub>4</sub>), gicleur type B, parcelle nue.
- Photo G : Site V, SODEFEL, parcelle A (120 mm/h). Après la dernière pluie ( $\Delta$ ).
- Photo H : Irrigation par aspersion SODEFEL : système de préparation du sol S<sub>1</sub> (labour). Après la troisième irrigation (R<sub>3</sub>), gicleur type C, parcelle nue.



A



B



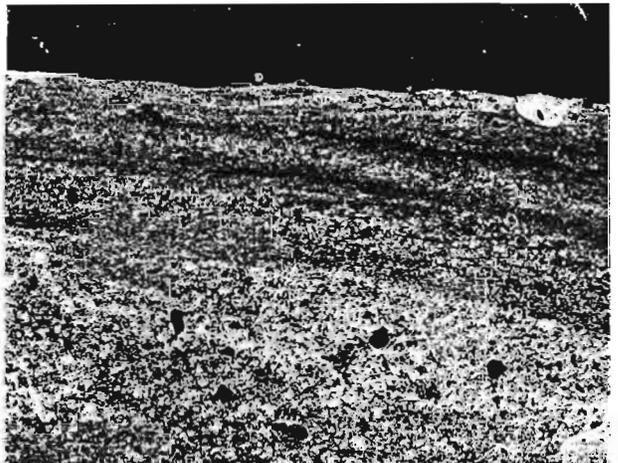
C



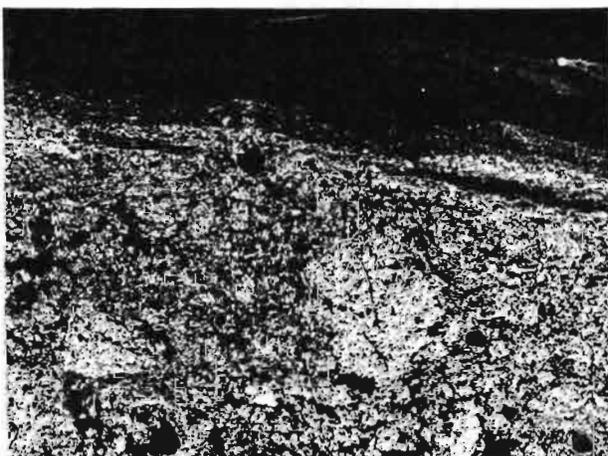
D



E



F



G



H