

Evolution des sols de plantation de palmiers à huile sur savane

O. DUFOUR (1), J. OLIVIN (2)

Résumé. — Des anomalies de développement sur palmiers en replantation ont été observées sur une plantation IRHO de la savane de Dabou en Côte d'Ivoire. Les résultats d'essais et d'observations sur les sols et les arbres montrent que les palmiers en replantation souffrent d'une déficience de la nutrition hydrique qui provient d'une moindre rétention en eau des sols et d'un mauvais développement du système racinaire. Les profils de densité révèlent que, sous palmeraie, on aboutit avec l'âge à une compaction des horizons superficiels. Cette perte de structure peut être attribuée aux effets de tassement par passage des engins dans les parcelles et à une altération de la stabilité structurale par déséquilibre cationique dans le sol du fait des fumures. Des essais en colonnes de terre montrent que les cations monovalents K^+ et NH_4^+ déstabilisent la structure alors que les cations bivalents Ca^{++} , Mg^{++} et l'anion SO_4 ont un effet stabilisant. Ceci est à mettre en relation avec les niveaux foliaires élevés de potassium et à l'augmentation du potassium total dans les analyses de sols. Des effets positifs de la kiesérite, du supersimple, du plâtre et du sous-solage dans des essais de replantation confirment l'hypothèse et permettent d'envisager des méthodes de correction pour rétablir la fertilité des sols de palmeraie.

La plantation de palmiers à huile Robert-Michaux a été créée en 1930 sur la savane de Dabou. Une replantation a été entreprise dès 1965. Il est apparu après quelques années que la production n'était pas telle que permettaient de l'espérer la qualité du matériel végétal et le potentiel climatique. Tous âges confondus, les rendements en replantation (R) sont inférieurs de 20 à 30 p. 100 à ceux des extensions (E).

Ces faibles performances sont associées à des phénomènes caractéristiques au jeune âge :

— mauvais développement fréquent de la couverture de *Pueraria*, envahissement par les graminées, en particulier *Panicum brevifolium*,

— éclaircissement du feuillage des palmiers à huile et réduction du nombre des feuilles vertes,

— aggravation nette des attaques de cercosporiose, d'acariens et de termites.

En étudiant les productions, on s'aperçoit que le phénomène n'est pas propre aux replantations mais qu'il traduit une dégradation lente du potentiel de la palmeraie. En effet, si l'on compare l'évolution simultanée en replantation et en extension de la production de 12 années de cultures différentes, on observe qu'avec l'âge, le potentiel en extension diminue et que le différentiel replantation s'ame-

nuit. Il semble qu'en extension, les productions chutent vers l'âge de 12 ans (Tabl. 1).

I. — NUTRITION HYDRIQUE EN REPLANTATION

Plusieurs hypothèses ont été avancées successivement pour expliquer ce phénomène de fatigue des sols, mais ont été contredites par les faits.

La fusariose est plus importante en replantation et augmente encore le déficit de la production mais on observe que les arbres sains en replantation ont tout de même un potentiel moindre qu'en extension.

Une enquête de pH systématique a été effectuée à Dabou et à La Mé. Elle révèle qu'effectivement les sols sont sensiblement et significativement plus acides en replantation qu'en extension : 4,67 pour 4,92. Mais il ne semble pas que l'acidification des sols et la toxicité éventuelle en aluminium soient responsables de l'effet replantation car les sols des plantations de La Mé, réalisées sur défrichage de la forêt, sont en moyenne plus acides que les extensions de Dabou et la perte de potentiel est beaucoup moins sensible dans les replantations de La Mé.

Au contraire des cocotiers, dont les niveaux en calcium étaient très faibles, l'hypothèse d'une carence en calcium sur palmier à huile est actuellement contredite par les résultats d'essais où les niveaux en calcium sont sensiblement relevés par une fumure calcique sans que l'on note d'effet positif sur la croissance. Cependant, cette hypothèse ne doit pas être totalement écartée.

(1) Division Palmier à huile IRHO-CIRAD, 11, Square Pétrarque, 75116 Paris (France).

(2) Division Agronome IRHO-CIRAD, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

TABLEAU 1. — Evolution des productions en extension et replantation (tonnes de régimes/ha/an)
(Production trends in extension and in replanting - t FFB/ha/yr)

	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	Total
E	5,5	8,3	11,0	12,4	13,0	14,4	13,1	12,8	10,4	9,5	9,8	9,5	9,3	139,0
R	3,5	5,9	6,4	9,3	10,3	9,8	9,9	10,3	8,5	8,8	8,2	8,3	8,3	107,5
R/E	64	71	58	75	79	68	76	80	82	93	84	87	89	77

1. — Essais d'économie en eau.

Plusieurs essais révèlent que les palmiers à huile en replantation ont une mauvaise nutrition hydrique.

Les essais de paillage sur jeunes palmiers ont montré des effets spectaculaires sur la croissance : + 25 p. 100 après un an avec un paillage de plastique, à la PHCI (savane de Dabou), et + 12 p. 100 après un an avec un paillage de rafles de 12 m² par arbre dans le DA-ES 130 (I) (Tabl. II).

TABLEAU II. — Mensurations sur (*Measurements in*) :
DA-ES 130 (Replantation 1981)

	Témoïn (<i>Control</i>)	Rafles (<i>Stalks</i>)		
		3 m ²	6 m ²	12 m ²
Collet (<i>Girth</i>) (cm)	110,8	118,3**	116,9*	123,7**
Accroissement (<i>Gain</i>) 1982/83 (%)	156,9	166,6	168,9	173,7
Feuille (<i>Leaf</i>) 4 (F4) (cm)	240,4	254,9**	252,1*	262,8**
Accroissement (<i>Gain</i>) 1982/83 (%)	164,2	173,9	177,5	183,0

Malheureusement, le paillage de rafles s'accompagne d'une recrudescence importante de la fusariose dès les premières années qui suivent la mise en place des arbres.

Un paillage de rafles sur un rond de 4 m de rayon autour de palmiers de 6 ans en replantation s'accompagne, après 10 mois, d'une augmentation sensible du nombre de feuilles vertes (Tabl. III). Ceci montre que les symptômes « replantation » sont liés à la nutrition hydrique.

TABLEAU III. — DA-ES 139 (Replantation 1976)
Feuilles vertes et paillage sur arbres de 6 ans
(*Green leaves and mulch on 6-year-old trees*)

	Témoïn (<i>Control</i>)			Paillage (<i>Mulch</i>)		
	Nov. 1982	Sept. 1983	Accrois- sement (<i>Gain</i>)	Nov. 1982	Sept. 1983	Accrois- sement (<i>Gain</i>)
Nombre de feuilles vertes (<i>No. of green leaves</i>)	24,4	32,8	+ 8,4	24,6	35,5	+ 10,9

Les essais de sol nu obtiennent également de bonnes réponses.

Les jeunes palmiers maintenus en sol nu chimique montrent un gain de croissance de 23 p. 100 après un an par rapport aux arbres associés au *Pueraria* (Tabl. IV).

TABLEAU IV. — Mensurations sur (*Measurements in*)
DA-CP 25 (Replantation 1982) — cm —

	<i>Pueraria</i>	Sol nu chimique (<i>Chemically weeded bare soil</i>)
Collet (<i>Girth</i>)	129,5*	160,4
Longueur (<i>Length</i>) F4	227,2*	252,3

(1) Les sigles DA-ES ou DA-CP servent à numérotter des essais mis en place sur la plantation Robert-Michaux.

L'essai DA-ES 117 (replantation 1977), avait montré un effet équivalent sur la croissance au jeune âge. Après 5 ans de sol nu, on obtient des productions excellentes, équivalentes à celles obtenues au jeune âge en extension.

Par ailleurs, le sol nu s'accompagne d'une réduction importante de la fusariose.

Plusieurs séries d'observations faites ultérieurement, montrent que la nutrition hydrique des palmiers en replantation est déficitaire par rapport à celle des extensions.

2. — Comparaison de la nutrition hydrique entre extension et replantation.

La rétention en eau des horizons superficiels est moindre en replantation qu'en extension.

Des mesures d'humidité des sols, effectuées en petite saison sèche (15/9/1982), montrent que les sols de replantation de 1967 retiennent environ 20 p. 100 d'eau en moins que les sols d'extension, respectivement 9,8** et 7,9 p. 100 sur P.S. dans la couche superficielle (0-20 cm).

Le système racinaire colonise moins le sol en replantation qu'en extension (Tabl. V). Les racines s'étendent moins loin du stipe et sont beaucoup plus concentrées vers l'andain de feuilles.

Le système racinaire est moins ramifié en replantation. Le chevelu est moins abondant dans l'interligne (soit la majorité de la surface). La surface absorbante du système racinaire en replantation est donc moindre qu'en extension.

TABLEAU V. — Système racinaire en extension
et replantation entre 0 et 40 cm de profondeur
(*Root system in extension and in replanting
between 0-40 cm deep*)

Poids des racines (<i>Roots weight</i>) (g)	Interligne (<i>Interrow</i>)		Andain (<i>Windrow</i>)	
	E	R	E	R
Poids (<i>Weight</i>) :				
— total rac. (<i>root</i>) I	352,1	389,7	336,2	430,9
— total rac. (<i>root</i>) II + III + IV	275,4	268,3	281,3	313,9
RII + III + IV	78,2	68,8	83,7	72,8
RI				
— Rac. (<i>Root</i>) I à (<i>at</i>) 4 m	54,8	48,3	59,0	51,3
— Rac. (<i>Root</i>) II + III + IV à (<i>at</i>) 4 m	60,0	46,9	64,2	58,4

Ces différences d'humidité de sol et de développement du système racinaire entraînent une moindre résistance à la sécheresse des palmiers en replantation et les stomates se ferment plus précocement (Tabl. VI).

La moindre résistance à la sécheresse des palmiers sur sol de replantation a été mise indirectement en évidence par un essai en pépinière en sacs de plastique : le DA-ES 125 qui a comparé la croissance de plants de pépinière repiqués sur 4 sols différents (horizon 0-30 cm) :

- | | | |
|----------------------------|-------|------------------------------------|
| — Sol de savane | } × { | 1 répétition arrosée en permanence |
| — Sol d'extension de 6 ans | | |
| — Sol de jachère de 12 ans | | |
| — Sol de replantation | | |
- 1 répétition où l'arrosage a été arrêté avant la fin.

On observe qu'il y a peu de différences de croissance des plants selon les sols dans la répétition irriguée. Par contre,

TABLEAU VI. — DA-CP 20 (Replantation 1975) :
Ouvertures stomatiques et humidité du sol durant une
période sans pluie (*Stomata openings and soil humidity*
during a rainless period) (Jan. 1982)

Dates	Ouvertures stomatiques (<i>Stomata openings</i>)		Humidité des sols (<i>Soil humidity</i>)			
	10 h (a.m.)	15 h (3 p.m.)	(0-20 cm) - p. 100			
	E	R	E	R	E	R
3/1/1983	11,7	10,6	10,9	10,3	8,9	6,5
10/1/1983	10,9	8,9	8,7	8,2	7,3	5,8
17/1/1983	11,2	9,2	8,5	7,8	6,3	5,2
24/1/1983	9,6	9,9	7,4	7,3	6,2	5,1
31/1/1983	8,3	8,1	7,9	7,3	5,6	4,6
7/2/1983	9,7	9,8	7,9	7,1	5,6	4,5
Moyenne (<i>Mean</i>)	10,23	9,42	8,55	8,0	6,65	5,28

dans la répétition sèche, les plants sur sols de jachère et surtout de replantation se sont desséchés, alors que les arbres sur sols de savane ou d'extension ont beaucoup mieux résisté à l'arrêt de l'arrosage.

Les mesures d'humidité et de densité apparente montrent que ces deux derniers sols sont plus poreux et qu'ils retiennent donc plus d'eau que les sols de replantation. La densité supérieure en replantation traduit une instabilité structurale accrue (Tabl. VII) : les sols se recompactent plus rapidement. Après 12 ans de jachère, les effets du dessèchement sur les plants (feuilles vertes restantes) et les caractéristiques des sols sont intermédiaires.

On trouve donc une explication aux phénomènes observés en replantation : mauvais développement du *Pueraria*, apparition de feuilles sèches, pertes de production. Tous ces symptômes traduisent en fait une réduction de la rétention en eau des sols de replantation par diminution de la porosité.

II. — DESCRIPTION DES PROFILS PÉDOLOGIQUES

1) Les caractéristiques physicochimiques des sols d'extension et de replantation sont données dans le tableau VIII.

Ce sont des sols ferrallitiques très désaturés formés sur les sables tertiaires. Il n'apparaît pas dans les résultats des analyses effectuées de différence nette entre les 2 situa-

TABLEAU VIII. — Caractéristiques physicochimiques
des sols en extension et replantation
(*Physicochemical characteristics of soils*
in extension and in replanting) (horizon 0-20 cm)

		Replantation (<i>Replanting</i>)	Extension
Eléments totaux (<i>Total elements</i>)			
p. 100		Indosable (<i>trace</i>)	Indosable (<i>trace</i>)
Ca		0,22	0,21
Mg		0,35	0,25
K		0,12	0,07
Na		18,5	20,0
Fe		14,5	15,1
Al		16	16
Zn	ppm	45	60
Mn		1,3	0,9
B			
Granulométrie (<i>Texture</i>)			
A		9,7	10,7
L		1,4	2,0
Sif		1,4	2,6
Sf		22,7	23,9
Sg		64,7	61,6
Matière organique (<i>Organic matter</i>)			
Mo	p. 100	1,94	2,00
C	p. 100	1,13	1,17
N	p. 100	0,82	0,80
C/N		13,5	14,5
Phosphore (<i>Phosphorus</i>)			
Total		434	397
Olsen		72	95
Saunders		170	153
Complexe absorbant (<i>Absorbant complex</i>)			
Ca	meq/100 g	0,25	0,31
Mg		0,10	0,15
K		0,07	0,10
Na		0,01	0,01
CEC		4,31	3,98
Saturation		10	14
Al échang.		1,29	1,04
pH eau (<i>water</i>)		4,7	5,0
pH KCl		3,9	4,1

tions : le taux de matière organique est faible mais satisfaisant dans les 2 cas. Les deux sols ont la même granulométrie, les horizons superficiels sont sableux. On note que la teneur en potassium total est plus élevée dans les horizons superficiels en replantation. Dans les 2 situations, le calcium et le magnésium échangeables sont très faibles.

TABLEAU VII. — DA-ES 125 : Croissance en pépinière de sacs plastiques sur différents sols
(*Growth in polybag nurseries on different soils*)

	Savane (<i>Savannah</i>)	Extension	Jachère (<i>Fallow</i>)	Replantation (<i>Replanting</i>)
Nomb. de feuilles vertes (<i>No. of green leaves</i>)				
Répétition arrosée (<i>Watered replication</i>)	4,09	3,94	3,80	3,81
Répétition sèche (<i>Dry replication</i>)	1,70	1,29	0,80*	0,29*
Densité de sol (<i>Soil density</i>)				
Répétition arrosée (<i>Watered replication</i>)	1,25	1,23	1,27	1,32
Répétition sèche (<i>Dry replication</i>)	1,28	1,29	1,30	1,33
Humidité de sol (<i>Soil humidity</i>)				
Répétition arrosée (<i>Watered replication</i>)	17,8	18,1	17,7	15,3
Répétition sèche (<i>Dry replication</i>)	11,8	12,0	10,5	10,0

L'enquête générale sur le pH (cf. § I) avait montré que l'acidité en replantation est un peu plus élevée qu'en extension : 4,67 pour 4,92. Ceci traduit une désaturation plus accentuée du complexe.

On ne trouve donc pas, dans les analyses de sol présentées, d'explication à la moindre rétention en eau des sols de replantation.

2) L'observation des profils ne révèle apparemment pas de différences, on trouve partout :

— un premier horizon de 10 cm d'épaisseur meuble et de structure particulière, fortement colonisé par les racines des palmiers et des adventices. De couleur gris foncé, cet horizon est assez fortement humifère ;

— un deuxième horizon de couleur gris clair présente une structure continue. Cet horizon s'étend de 10 à 25 cm en extension, il est plus profond en replantation. Ceci indique que la palmeraie enrichit plus les sols en matière organique que la savane. Ces sols de replantation seraient donc *a priori* plus favorables de ce point de vue que les sols de savane ;

— un troisième horizon à structure massive continue et de couleur ocre succède au précédent avec une transition plus ou moins rapide. On n'y trouve que peu de racines primaires.

3) Les mesures de densité effectuées par la méthode du cylindre font ressortir certaines différences :

a) Le profil de densité sous savane est assez classique. On retrouve une forme de sigmoïde, un horizon organique meuble en surface puis un niveau compact vers 30-40 cm. On retrouve une porosité supérieure en dessous qui diminue ensuite dans les horizons profonds. Le profil est de

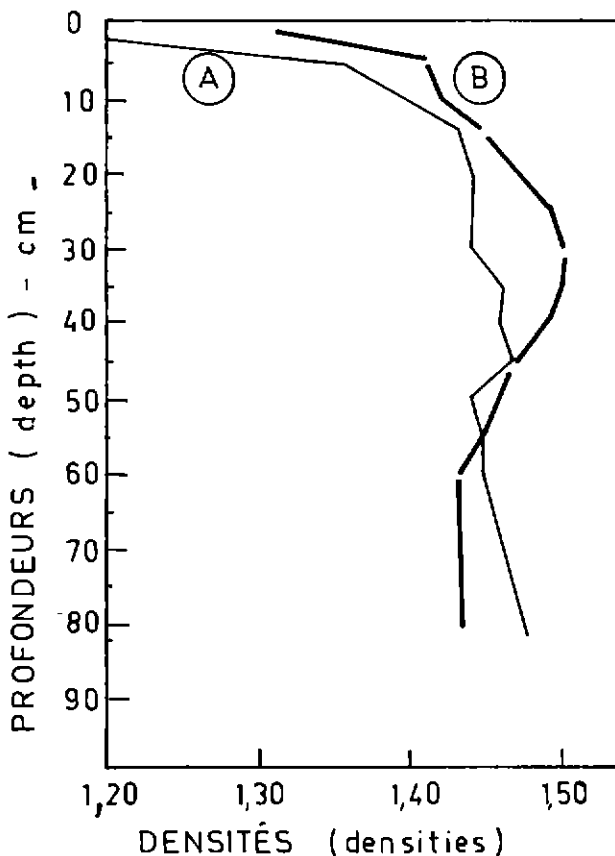


FIG. 1. — Profils de densité sous savane et andains (Density profiles under savannah and under windrow).

(A) : Andains (Windrow).

(B) : Savane (Savannah).

même type sous-andain de feuilles en palmeraie mais l'horizon meuble de surface est plus profond (Fig. 1).

On retrouve ainsi le profil type d'un sol « battant » : les horizons supérieurs peu argileux ont une structure très instable et le sol se compacte du fait des agents extérieurs.

La matière organique a un rôle stabilisant important ; les horizons superficiels ont une bonne structure. L'amélioration par la matière organique s'observe bien entre les sols de savane et les sols sous-andains. Dans les horizons profonds ocres, le sol se compacte par tassement sur lui-même et parce qu'il est abiotique.

b) Sous palmeraie, on constate deux types d'évolution des sols :

— dans l'interligne dans lequel circulent les engins de récolte et d'entretien, le sol subit un tassement par le haut jusqu'à environ 40 cm de profondeur.

On observe ceci dans les études systématiques faites en extension. Avec l'âge, les horizons superficiels se compactent et, dès 15 ans, on trouve à 5 cm de profondeur un horizon colmaté impénétrable, avec un couteau, à l'état humide (Fig. 2).

Cette sole est évidemment très nocive et on peut lui attribuer la disparition de la végétation adventice dans certaines parcelles d'extension vers N15. L'entretien des cultures, qui conduit à la disparition de toute végétation à système racinaire plus ou moins profond qui ameublir le sol, doit aussi être responsable de ce tassement ;

— dans le rond où est appliquée la fumure, dans le cas des expériences, on note également une évolution particulière. Le sol n'est pas soumis au tassement des engins mais on note cependant une compaction de surface en replantation et extension âgée.

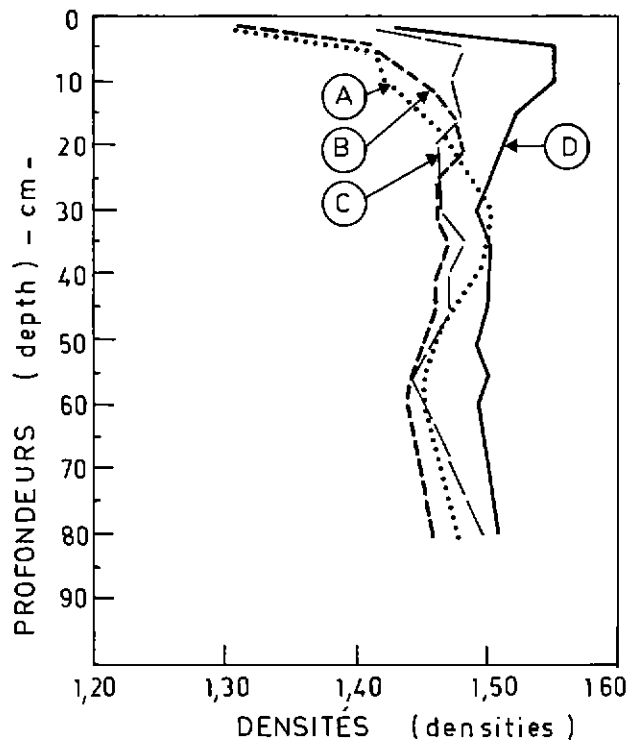


FIG. 2. — Evolution des profils de densité avec l'âge dans l'interligne en extension (Evolution of density profiles with age in the interrow in extension).

(A) : Savane (Savannah).

(B) : N8.

(C) : N16.

(D) : N20.

TABLEAU IX. — DA-CP 13 : Densité et apport de potasse (*Density and potassium application*)

Profondeur (Depth) (cm)	K1 Mg0	K0 Mg1
0 - 3	1,46	1,39
5 - 8	1,45	1,42
8 - 11	1,45	1,46
13 - 16	1,44	1,41
18 - 21	1,44	1,44
23 - 26	1,43	1,43
28 - 31	1,43	1,41
33 - 36	1,43	1,40
38 - 41	1,42	1,43

Ceci s'observe particulièrement bien dans le DA-ES 116 (Fig. 3), et les mesures pratiquées sur différents traitements de fumure du DA-CP 13 montrent que le phénomène se produit aussi sous l'effet des apports de potasse (Tabl. IX).

c) Les profils de densité en replantation sont caractérisés par la persistance d'une sole compacte vers 15 cm (Fig. 4). La zone facilement utilisable par les racines ne s'étend que sur 15 cm de profondeur environ alors qu'en savane elle s'étend jusqu'à 30 cm.

Les façons culturales (labours, pulvérisages) pratiquées lors de la préparation du terrain avant la replantation sont trop superficielles et n'arrivent pas à briser en profondeur la zone compactée dans les interlignes et qui s'étend jusqu'à 40 cm. Après ce travail du sol, les horizons superficiels se tassent à nouveau rapidement, il y a *instabilité structurale* des 20 premiers centimètres de sol (Fig. 5).

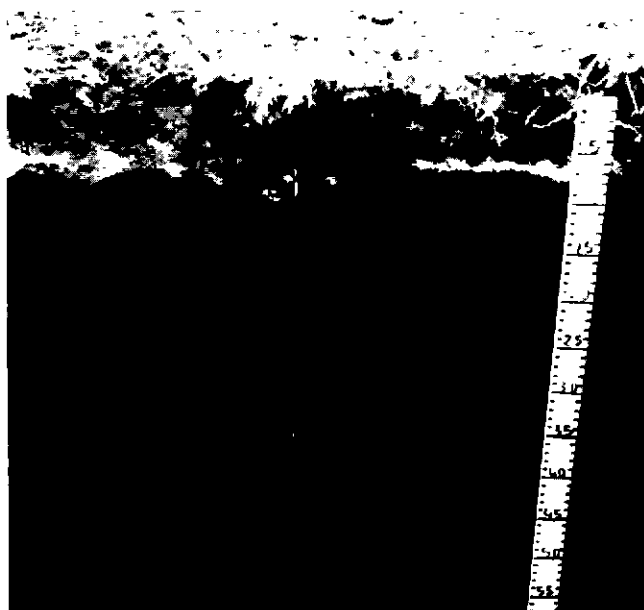


FIG 5. — Sol compacté — très faible développement racinaire (*Compacted soil — very poor root development*).

Il faut remarquer que la compacité des horizons s'accroît considérablement quand la densité passe seulement de 1,3 à 1,5, ce qui laisse supposer l'existence de phénomènes comme la cimentation des grains de sable, par exemple, qui restent à identifier.

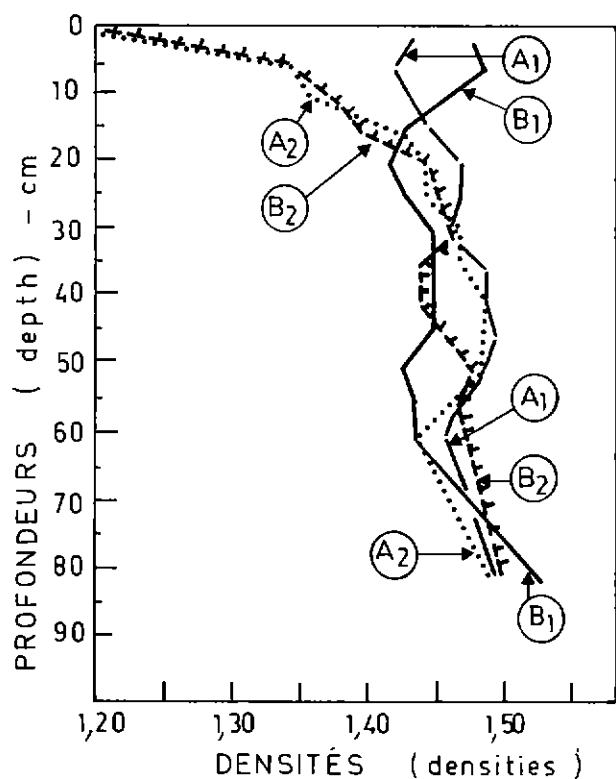


FIG. 3. — Profils de densité dans le rond fumé et sous andains (*Density profiles in the fertilized circle and under windrow*)

- (A1) : Rond (Circle) } Extension
- (A2) : Andain (Windrow) }
- (B1) : Rond (Circle) } Replantation
- (B2) : Andain (Windrow) }

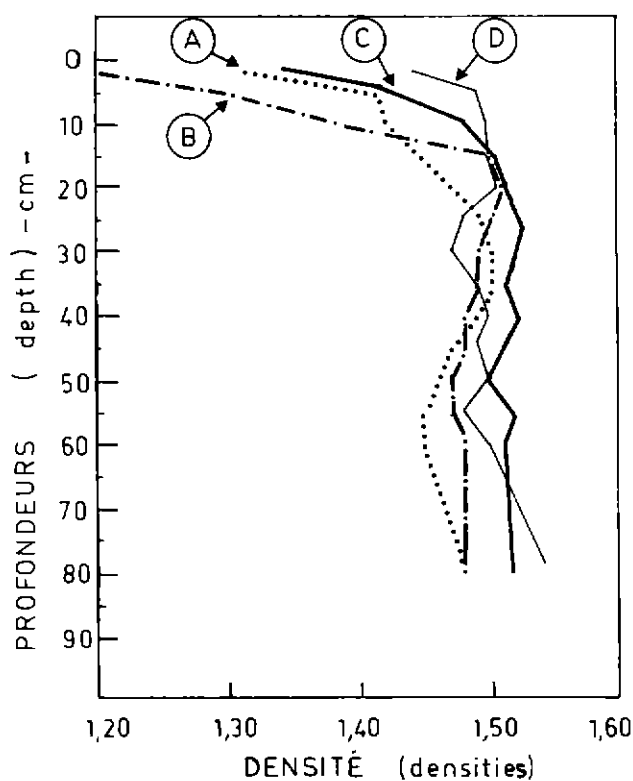


FIG. 4. — Evolution des profils de densité avec l'âge dans l'interligne en replantation (*Evolution of density profiles with age in the interrow in replanting*).

- (A) : Savane (Savannah).
- (B) : 1 an après préparation (1 year after preparation).
- (C) : N4.
- (D) : N12.

III. — EFFET DE LA POTASSE SUR LA STRUCTURE

1. — Essais en colonnes de terre.

De nombreuses manipulations en laboratoire ont permis de constater que la stabilité structurale des sols de la savane de Dabou était directement liée à l'équilibre $K^+NH_4^+/Mg^{++}Ca^{++}$.

On a utilisé pour ces essais des colonnes en PVC contenant chacune 3 kg de terre tamisée. Après avoir appliqué différents engrais en surface, on observait la vitesse de percolation et la coloration des percolats après avoir versé 2 litres d'eau par jour, par colonne, pendant 2 jours.

L'apport de tous les engrais potassiques et ammoniacés entraîne une coloration très forte des percolats et, la plupart du temps, un colmatage des colonnes. Ce colmatage est réversible ; en ajoutant $Mg SO_4$, le percolat redevient limpide et la colonne draine à nouveau. On observe des précipités dans le percolat des colonnes Mg^{++} ou Ca^{++} qu'on ne trouve pas dans les colonnes K^+ ou NH_4^+ .

On note d'autre part un effet positif supplémentaire des formes sulfate de Ca et de Mg sur les formes chlorure. Les sulfates, qui ont en effet la propriété de précipiter les oxydes, éclaircissent plus les percolats que les chlorures.

Les essais en colonnes montrent que la fumure potassique induit une instabilité structurale. Ceci nous donne l'explication de la compaction des horizons superficiels observée dans les ronds recevant la fumure.

D'autres études en colonnes de terre ont montré qu'un excès d'ions K^+ solubilise et déplace les hydroxydes de fer et d'aluminium qui concourent probablement d'une façon importante à la stabilisation de la structure en cimentant les agrégats. Cette hypothèse pourra être confirmée par des études de la minérostructure par des observations de lames minces.

2. — Equilibres K/Ca Mg au champ.

Le déséquilibre de la fumure potassique en replantation est mis en évidence par les teneurs foliaires qui présentent des niveaux élevés en potassium et faibles en calcium.

L'intervention de l'équilibre K/Ca Mg dans le problème replantation est démontrée par plusieurs résultats d'essai. On trouve régulièrement en replantation une relation entre la production et le niveau en calcium dans le DF :

- DA-ES 101 : $r = 0,889^*$
- DA-CP 15 : $r = 0,551^*$
- DA-CP 17 (objet K0) : $r = 0,727^{***}$
- DA-ES 83 : $r = 0,655^{**}$

Il a été dit précédemment que cette liaison n'avait probablement pas pour origine une carence en calcium car dans plusieurs essais les fumures calciques (dolomie, chaux agricole) ont relevé le calcium dans les feuilles sans avoir d'effet sur la croissance. Par contre, en apportant à la plantation les sulfates de Ca ou Mg, qui avaient donné les meilleurs résultats en colonnes de terre (kiesérite, supersimple, plâtre), on obtient assez rapidement des réponses positives au champ sur la croissance des jeunes palmiers.

• DA-ES 121 A et 121 B : comparaison kiesérite, dolomie. Alors que les teneurs des feuilles en magnésium ne sont pas carencées, on observe un effet positif de la kiesérite sur la croissance (Tabl. X).

TABLEAU X. — DA-ES 121 : Circonférence au collet à 2 ans (*Girth at 2 years*) — cm —

	Kiesérite	Dolomie (<i>Dolomite</i>)
DA-ES 121 A	130,9	126,4**
DA-ES 121 B	142,0	137,3*

• DA-ES 120 : comparaison témoin, dolomie, phosphate tricalcique, supersimple (3 kg/arbre).

En colonne de terre, seul le supersimple avait montré un effet, les autres engrais n'agissant pas, sans doute par insolubilité. Dans le DA-ES 120, on trouve un effet positif du supersimple sur la croissance. Le tricalcique a aussi un effet, mais celui-ci est différé d'un an (Tabl. XI).

TABLEAU XI. — DA-ES 120 : Circonférence au collet (*Girth*) — cm —

Age	Témoin (<i>Control</i>)	Dolomie (<i>Dolomite</i>)	Tricalcique (<i>Tricalcium</i>)	Supersimple
1 an (<i>year</i>)	67	68	68	70*
2 ans (<i>years</i>)	115	115	120*	123**

• DA-ES 140 : comparaison témoin, plâtre.

On obtient sur le DA-ES 140 un effet comparable à celui du DA-ES 120. Le plâtre (1 kg/arbre) apporte un gain de croissance de 6 p. 100, après 7 mois, sur la longueur de la feuille : 139** cm contre 132 pour le témoin.

Il faut cependant remarquer que ces effets positifs obtenus au très jeune âge, bien que significatifs, sont faibles en valeur relative. De plus, ils s'estompent rapidement avec l'âge (à 3 ans en général). Il est donc presque certain que les arrières effets sur la production seront nuls ou négligeables. Des apports d'engrais calciques ou magnésiens limités à l'époque de la plantation, bien qu'utiles, sont insuffisants pour corriger de façon permanente la fatigue des sols.

IV. — MISE AU POINT DE MÉTHODES CORRECTIVES

La fatigue des sols en replantation et ses effets peuvent s'expliquer par une mauvaise évolution de la structure et un tassement des horizons superficiels.

Ce tassement entraîne :

- une moindre rétention en eau des sols ;
- un mauvais développement et une mauvaise efficacité du système racinaire ;
- sans doute une mauvaise aération du sol.

Ce tassement, qui se produit très progressivement, peut avoir différentes causes : le passage des engins agricoles dans les interlignes, une protection du sol insuffisamment assurée par la faible végétation naturelle qui colonise les interlignes. Par ailleurs, cette végétation est dépourvue d'espèces à fort enracinement qui ameublissent le sol et qui restituent en surface des éléments prélevés en profondeur. Enfin, les doses élevées d'engrais KCl, indispensables par ailleurs du fait des faibles teneurs en potassium de ces sols, contribuent à accroître l'instabilité structurale. En fin de compte, les horizons supérieurs deviennent battants.

Cette instabilité limite la persistance des effets des façons culturales. De plus, les méthodes actuelles de replantation ne parviennent pas à remanier la sole compactée qui subsiste vers 15 cm.

Pour corriger la situation on peut donc intervenir à 2 niveaux :

— améliorer la stabilité structurale en redressant l'équilibre K/Ca Mg par des apports de fond de fumure calcique pour suivre les résultats obtenus dans les essais DA-ES 120, 121 A, 121 B et 140 ;

— rétablir la porosité par des façons culturales en travaillant jusqu'à 60-70 cm de profondeur pour « éclater » la couche compacte. Les modalités sont encore à déterminer : labour, sous-solage.

Un premier essai de sous-solage DA-ES 143 (replantation 1983) donne des résultats encourageants puisqu'on a obtenu après 1 an un gain de croissance de 8 p. 100 dans les objets sous-solés par rapport aux parcelles où les arbres ont été plantés sur sol non remanié (Tabl. XII).

TABLEAU XII. — DA-ES 143 : Circonférence au collet après 1 an (*Girth after 1 year*) — cm —

Supersimple (kg/ha)	0	1 000	2 000	Moy. (<i>Mean</i>)
Témoin (<i>Control</i>)	50,4	49,6	49,6	49,8
Sous-solage	53,2	53,6	54,7	53,8*
Moyenne (<i>Mean</i>)	51,8	51,6	53,2	51,8

L'observation des profils racinaires dans cet essai montre que les racines colonisent sélectivement les zones ameublées (Fig. 6). Malgré l'amélioration observée, la technique



FIG. 6. — Sol sous-solé — bon développement des racines dans la zone travaillée (*Subsoiled soil — good root development in the worked zone*).



◀ FIG. 7. — Modèle de corps sous-soleur avec coultre (*Subsoiler with disc coulter*).

FIG. 8. — Opération de sous-solage en replantation avant abattage (*Subsoiling in replanting before felling*). ▶



de sous-solage utilisée pour cet essai est donc encore imparfaite car il persiste des parties compactées impénétrables par les racines. Il est envisagé d'utiliser des socs à ailettes, travaillant à 90 cm de profondeur qui pourront remanier la totalité du profil jusqu'à 50 cm.

Etant donné les problèmes d'érosion, ce sous-solage devra se faire le long des courbes de niveaux. On peut également envisager la création de diguettes.

L'introduction dans les interlignes de plantes arbustives (légumineuses arbustives de préférence comme *Flemingia* à système racinaire puissant et profond, qui va être expérimentée) pourrait avoir le même effet sur le sol (ameublissement, remontée des éléments minéraux) qu'une jachère classique. Il pourra peut-être alors se poser le problème de certaines compétitions avec les palmiers (eau — éléments fertilisants) qui seront à préciser.

CONCLUSION

Il semble donc bien que les pertes de production observées sur la replantation de la palmeraie de la savane de Dabou, proviennent d'une mauvaise évolution de la structure des sols diminuant la rétention en eau et gênant le développement racinaire.

Cette dégradation de la structure a probablement diverses origines : tassement des sols par les engins, perte de stabilité structurale par déséquilibre cationique, absence de plantes adventices à système racinaire profond.

Plusieurs méthodes correctives en cours d'expérimentation ont déjà donné des résultats prometteurs : gypse, sous-solage, sol nu localisé. La solution proviendra probablement d'un ensemble de mesures concourantes à la fois préventives et curatives qui demanderont une remise en question des méthodes d'entretien et de plantation actuelles, en particulier : maintien d'un certain recré dans les plantations, équilibres cationiques des fumures, sous-solage en courbes de niveau.

BIBLIOGRAPHIE À CONSULTER

- [1] BERTRAND R. (1971). — Réponse de l'enracinement du riz de plateau aux caractères physiques et chimiques du sol. *Agron. trop.*, 26, N° 3, p. 376-386.
- [2] BIROT Y., GALABERT J. (1969, 1970). — Economie de l'eau et travail du sol dans les plantations forestières en zone sèche. *Bois et Forêts Trop.*, N° 127, p. 29-44 ; N° 128, p. 29-37, N° 129, p. 3-20 ; N° 130, p. 12-22.
- [3] CALLOT C., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L. (1982). — *Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale.* I.N.R.A., Fr., 325 p.
- [4] CHARREAU C., NICOU R. (1971). — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest Africaine et ses incidences économiques. *Agron. trop.*, 26, N° 2, p. 209-255 ; N° 5, p. 565-631 ; N° 9, p. 903-978, N° 11, p. 1183-1247.
- [5] CONCARET J. (1981). — *Drainage agricole. Théorie et pratique* Chambre d'Agriculture de Bourgogne, Dijon, Fr., 509 p.
- [6] DABIN B. (1964) — Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 2, N° 1, p. 29-40.
- [7] FAUCK R. (1974). — Les facteurs et les mécanismes de la pédogenèse dans les sols rouges et jaunes ferrallitiques sur sable et grès en Afrique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 12, N° 1, p. 69-72.
- [8] HENIN S., GRAS R., MONNIER G. (1969). — *Le profil cultural.* Masson et Cie, Paris, Fr., 2^e éd.
- [9] HUMBEL F., MULIER J. P., RIEFFEL J. M. (1977). — Quantité de matières organiques associées aux sols du domaine ferrallitique au Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 11, N° 3, p. 259-274
- [10] JANSE A.R.P., HULSBOS W. C., OCHS R. (1955). — Etude des modifications physiques d'un sol de savane par la culture du palmier à huile. *Oléagineux*, 10, N° 5, p. 321-331.
- [11] JONES M. J., WILD A. (1975). — *Soils of the West African Savannah The maintenance and improvement of their fertility.* Commonwealth Agric. Bur., G.B., 1975, Tech. Comm. N° 55, 246 p.
- [12] NICOU R., SEGUY L., HADDAD G. (1970). — Comparaison de l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial en présence ou absence de travail du sol. *Agron. trop.*, 25, N° 8, p. 639-659.
- [13] OLIVIN J., OCHS R. (1978). — Propriétés hydriques des sols et alimentation en eau des oléagineux pérennes en Afrique de l'Ouest *Oléagineux*, 33, N° 1, p. 1-12 (bilingue fr.-angl.).

SUMMARY

Evolution of soils in oil palm plantation on savannah.

O. DUFOUR and J. OLIVIN, *Oléagineux*, 1985, 40, N° 3, p. 113-123.

Development anomalies in oil palms in replanting were observed on an IRHO plantation on the Dabou savannah in the Ivory Coast. Trial results and observations of the soils and trees show that oil palms in replanting suffer from a deficient water supply which results from the soils' lower water retention capacity and from poor root development. Density profiles reveal that under palm grove the surface horizons compact with age. This loss of structure can be attributed to the packing effect of the passing of machines in the plots and to an impairment of the structural stability by a cation imbalance in the soil due to fertilizers. Earth column tests show that the monovalent cations K^+ and NH_4^+ destabilize the structure whereas the bivalent cations Ca^{++} and Mg^{++} and the anion SO_4 have a stabilizing effect. This should be related to high levels of K in the leaves and to the increase of total K in the soil analyses. Positive effects of Kieserite, single super, gypsum and subsoiling in replanting trials confirm the hypothesis and indicate corrective methods to restore soil fertility in the palm grove.

RESUMEN

Evolución de los suelos de sabana bajo plantación de palma aceitera.

O. DUFOUR y J. OLIVIN, *Oléagineux*, 1985, 40, N° 3, p. 113-123.

Se observó anomalías de desarrollo en palmas de renovación en una plantación del IRHO en Dabou, Costa de Marfil, en el área de sabana. Los resultados de experimentos y observaciones de suelos y árboles muestran que las palmas de renovación padecen una deficiencia de la nutrición hídrica que se debe a una capacidad inferior de retención de los suelos, y a un desarrollo insuficiente del sistema radical. Los perfiles de densidad muestran que los horizontes superficiales suelen compactarse con la edad bajo los palmerales. Esta pérdida de estructura puede atribuirse a los efectos de del apisonamiento por el paso de vehículos en las parcelas, y a una alteración de la estabilidad estructural por el desequilibrio cationico en el suelo como consecuencia de las fertilizaciones. Ensayos en columnas de tierra muestran que los cationes monovalentes K^+ y NH_4^+ desestabilizan la estructura, cuando los cationes bivalentes Ca^{++} , Mg^{++} y el anión SO_4 surten un efecto estabilizador. Este hecho debe relacionarse con los altos contenidos de potasio en las hojas, y con el aumento del potasio total en los análisis de suelos. Efectos positivos de la kieserita, del supersimple, del yeso y de la subsolación en los experimentos de renovación, confirman la hipótesis, y permiten considerar la aplicación de métodos de corrección encaminados a restablecer la fertilidad de los suelos en los palmerales.

Evolution of soils in oil palm plantation on savannah

O. DUFOUR (1) and J. OLIVIN (2)

INTRODUCTION

The Robert-Michaux oil palm plantation was created in 1930 on the Dabou savannah. Replanting was started in 1965. After several years, it became clear that production was not that hoped for, given the quality of the planting material and the climatic potential. Taking all ages together, yields in replanting (R) are 20-30 p. 100 less than those in extension (E).

These poor performances are associated with phenomena characteristic of the young age :

- frequent poor development of *Pueraria* cover, invasion by grasses in particular *Panicum brevifolium* ;
- lightening of the oil palm leaves and reduction of the number of green leaves ;
- a sharp rise in *Cercospora* leaf spot, mite and termite attacks.

On studying production, it is apparent that this phenomenon is not peculiar to replanting but reflects slow degradation of oil palm potential. In fact, if the simultaneous development of 12 different planting years in replanting and in extension is compared, it is observed that with age, potential production in extension diminishes, and that the replanting differential is reduced. It seems that in extension, production drops around 12 years of age (Table I).

I. — WATER SUPPLY IN REPLANTING

Successive hypotheses were proposed to explain this phenomenon of soil exhaustion, but they were contradicted by the facts.

Fusarium wilt is more abundant in replanting and it further contributes to the production deficit, but it is found that healthy trees in replanting still have a lower potential than those in extension.

A systematic pH inquiry was undertaken at Dabou and at La Me. It reveals that soils in replanting are in fact considerably and significantly more acid than those in extension : 4.67 compared to 4.92. However, it does not seem that acidification and possible aluminium toxicity are responsible for the replanting effect because soils of La Me plantings established on cleared forest are more acid on an average than the Dabou extension, yet the loss of potential is less.

Contrary to coconut, whose Ca levels were very low, the hypothesis of a Ca deficiency in oil palm is presently refuted by the trial results, where levels of this element are appreciably raised by a calcic fertilizer, without there being any positive effect on growth. However, this hypothesis should be borne in mind

1. — Water saving trials.

Several trials show that oil palms in replanting have a poor water supply.

Mulching trials on young oil palms have shown spectacular effects on growth : + 25 p. 100 after one year with PHCI plastic mulching (Dabou savannah) and + 12 p. 100 after one year with bunch stalk mulching 12 m²/tree in trial DA-ES 130 (3) at the R. Michaux plantation (Table II).

Unfortunately, the bunch mulch results in renewed and significant outbreaks of *Fusarium* wilt in the first few years after the trees are planted.

However, when applied on a circle 4 m in radius around 6-year-old oil palms in replanting, it does lead, 10 months later, to an appreciable increase in the number of green leaves (Table III). This shows that « replanting » symptoms are related to water supply.

Bare soil trials also give good results.

Young oil palms grown on chemically weeded bare soil have a 23 p. 100 increase in growth after one year in comparison to trees associated with *Pueraria* (Table IV).

Trial DA-ES 117 (replanting 1977) showed a similar effect on growth in immaturity. After 5 years of bare soil, excellent yields are obtained, equivalent to those obtained at the same age in extension.

In other respects, bare soil results in a considerable reduction of *Fusarium* wilt.

Several series of observations made subsequently show that the water supply of oil palms in replanting is insufficient in comparison to that of extensions.

2. — Comparison of water supply between extension and replanting.

Water retention in surface horizons is less in replanting than in extension.

Measurements of soil humidity taken during the short dry season (15/9/1982) show that soils of the 1967 replanting retain about 20 p. 100 less water than the soils in extension, respectively 7.9 and 9.8** p. 100 on d.w. in the topsoil (0-20 cm).

The root system colonizes the soil less in replanting than in extension (Table V). The roots do not extend so far from the stipe and are much more concentrated near the leaf windrow.

The system is less ramified and hair roots are rarer in the interrow (the majority of the surface area), so that the absorbant surface is smaller than in extension.

Lower soil humidity and less root system development in replanting leads to *lower resistance* to drought in the oil palms, and the stomata close earlier (Table VI).

The lower resistance to drought on replanted soils was indirectly revealed by a polybag nursery trial, DA ES 125, which compared the growth of pricked-out nursery plants on 4 different soils (horizon 0-30 cm).

- | | | |
|--|-------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> — Savannah — 6-year extension — 12-year fallow — Replanting | } × { | <ul style="list-style-type: none"> 1 replication watered permanently 1 replication where watering was stopped before the end |
|--|-------|--|

We find that there are very few differences in the plants' growth according to the soils in the irrigated replication. On the contrary, in the dry replication, in fallow soils, and even more so in replanting, the plants dried up, whereas those on savannah soils or in extension resisted the irrigation shut-down much better.

Humidity and apparent density measurements show that the latter two soils are more porous and thus retain more water than the soils in replanting. The higher density in replanting indicates increased structural instability (Table VII) : soils recompact faster. After 12 years of fallow, the effect of drying up on the

(1) Oil Palm Division, IRHO-CIRAD, 11, square Pétrarque 75116 Paris (France).

(2) Agronomy Division, IRHO-CIRAD, B. P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

(3) The codes DA-ES or DA-CP are used to number the trials set up on the Robert-Michaux plantation.

plants (number of remaining green leaves) and the soil characteristics are intermediary.

Thus an explanation is found of the phenomena observed in replanting : poor *Pueraria* development, appearance of dried-up leaves, production losses. In fact, all of these symptoms result from a reduction of the water retention of replanting soils, due to a diminution of porosity.

II. — DESCRIPTION OF SOIL PROFILES

1. — **Physicochemical characteristics** of extension and replanting soils are given in Table VIII.

These soils are ferrallitic and very desaturated, formed on tertiary sands. The analysis results show no clear difference between the 2 situations : the rate of organic matter is low but satisfactory in both cases. Both soils have the same texture, the surface horizons are sandy. The total K content is higher in the topsoil in replanting. In both situations, exchangeable Ca and Mg are very low.

The general inquiry on pH (*cf.* § I) has shown that acidity is slightly higher in replanting than in extension : 4.67 compared to 4.92. This results in a more pronounced desaturation of the complex.

Therefore, the soil analyses offer no explanation of the lower water retention in replanting soils.

2. — **Observation of the profiles** apparently did not show any differences, everywhere there was :

— *a first horizon* 10 cm thick, loose and of a particle structure heavily colonized by the roots of oil palms and weeds. Dark grey in colour, this horizon has quite a high humus content ;

— *a second horizon*, light grey in colour, has a continuous structure. This horizon is from 10 — 25 cm deep in extension, and deeper in replanting. This indicates that the palm grove enriches the soils in organic matter more than savannah. In principle, then, these replanting soils would be more favourable from this point of view than savannah soils.

— *a third horizon*, with a continuous massive structure, ochre in colour, comes next, and the transition is more or less rapid. Only a few primary roots are found here.

3. — **Density measurements** taken with the cylinder method reveal certain differences ;

a) The density profile **under savannah** is fairly standard : a sigmoid form, a loose organic horizon on the surface, then a compact layer at 30-40 cm. Underneath, there is a better porosity which diminishes in the deeper horizons. The profile is of the type found under leaf windrow in the palm grove, but the loose topsoil is deeper (Fig. 1).

Here, we have the typical profile of a « beating » soil : the upper horizons with a low clay content, have a very unstable structure and the soil compacts under the influence of outside agents.

Organic matter has an important stabilizing role : the surface horizons have a good structure. Improvement by organic matter can be easily observed between savannah soils and the sub-windrow soils. In the deep ochre horizons, the soil settles under its own weight and because it is abiotic.

b) **Under oil palm**, soils evolve in two ways :

— *in the interrow*, where machines for harvesting and maintenance circulate, the soil is rammed from above, to about 40 cm in depth. This is observed in the systematic studies made in extension. With age, the surface horizons compact by 15 years, a packed layer is found 5 cm down, which is impenetrable to a knife when wet (Fig. 2).

This cemented layer is obviously very harmful and is the cause of the disappearance of weeds in certain extension plots towards N15. Crop maintenance, which leads to the disappearance of all vegetation with more or less deep root systems, which loosen the soil, is probably also responsible for this compacting.

— *in the circle*, where the fertilizer is applied, a particular development is also noted in experiments. The soil is not compacted by machines, but surface packing is noted in replanting and in old extension.

This is specially true in DA-ES 116 (Fig. 3) and measurements of different fertilizer treatments in DA-CP 13 show that the

phenomenon also occurs under the effect of K applications (Table IX).

c) **Density profiles in replanting** are characterized by the persistence of a compacted layer at about 15 cm (Fig. 4). The zone easily usable by the roots is only about 15 cm deep, whereas in savannah, it extends to 30 cm.

Crop practices (ploughing, harrowing) for preparing the land before replanting are too superficial and do not break up the compacted zone in depth in the interrow, where it goes down to 40 cm. After this tillage, the topsoil rapidly compacts again, and the first 20 cm of the soil are *structurally unstable* (Fig. 5).

Horizon compactness considerably increases when density only rises from 1.3 to 1.5, which suggests the existence of phenomena, which remain to be identified, such as the cementation of grains of sand.

III. — EFFECT OF K ON STRUCTURE

1. — Earth column tests.

Numerous operations in the laboratory have shown that the structural stability of Dabou Savannah soils was directly tied to the balance : $K + NH_4^+ / Mg^{++} + Ca^{++}$.

For these tests, PVC columns, each containing 3 kg of sifted earth, were used. After different fertilizers were applied on the surface, the speed of percolation was observed, as well as the colour of the percolates, after 2 litre water/day/column were added for 2 days.

All potassic and ammoniated fertilizer treatment bring about a **very dark coloring of the percolates** and most of the time **clogging** of the columns. This clogging is reversible ; by adding $Mg SO_4$, the percolate becomes clear and the column drains again. Precipitates are observed in the percolate of the Mg^{++} or Ca^{++} columns which are not found in the K^+ or NH_4^+ columns.

In addition, an extra positive effect of **sulphate forms of Ca and Mg** compared to chloride forms is noted. Sulphates, which precipitate oxides, clear the percolates more than the chlorides.

Trials on columns show that potassic fertilizer induces structural instability. This gives us the explanation of the compacting of the topsoil in the circles receiving fertilizer.

Other studies in earth columns have shown that an excess of K^+ ions solubilize and displace iron and aluminium hydroxides which probably appreciably contribute to structure stabilization by cementing the aggregates. This hypothesis could be confirmed by minerostructure studies by thin layer examinations.

2. — K/Ca Mg balances in the field.

The imbalance of K fertilization in replanting is revealed by leaf contents which give levels high in K and low in Ca.

The involvement of the K/Ca balance in the replanting problem is proved by several trial results. In replanting, a correlation between production and the Ca level in leaf analysis is found regularly :

— DA-ES 101	$r = 0.889^*$
— DA-CP 15	$r = 0.551^*$
— DA-CP 17 (Treatment K0)	$r = 0.727^{***}$
— DA-ES 83	$r = 0.655^{**}$

It has already been said that this relationship probably did not originate in a Ca deficit because in several trials calcic fertilizers (dolomite) increased Ca in the leaves without affecting growth. On the contrary, in treating the plantation with sulphates of Ca or Mg, which gave the best results in earth columns (Kieserite, singlesuper, gypsum), positive responses in the growth of young oil palms in the field are obtained quite rapidly.

• DA-ES 121 A and 121 B : Kieserite/dolomite comparison. Whereas leaf Mg contents are not deficient, there is a positive effect of Kieserite on growth (Table X).

• DA-ES 120 : control, dolomite, tricalcium phosphate and singlesuper (3 kg/tree) comparison.

In earth columns, only singlesuper had an effect, the other fertilizers did not act, undoubtedly because of insolubility. In DA-ES 120, singlesuper has a positive effect on growth. Tricalcium also has an effect, but it is deferred for a year (Table XI).

• DA-ES 140 : control/gypsum comparison.

On DA-ES 140, an effect comparable to that of DA-ES 120 is obtained. The gypsum (1 kg/tree) brings about a 6 p. 100 increase in leaf length after 7 months : 139** cm compared to 132 cm for the control.

However, it is necessary to remark that these positive effects at a very young age, although significant, are low in relative value. Moreover, they disappear rapidly with age (generally by 3 years). It is thus almost certain there will be little or no after effect on production. Limited calcic or magnesian fertilization at the time of planting, although useful, are not enough to correct soil exhaustion permanently.

IV. — ESTABLISHMENT OF CORRECTIVE METHODS

Soil exhaustion in replanting and its effects can be explained by a poor evolution of the structure and compacting of the surface horizons.

This compacting results in :

- lower water retention by soils ;
- an underdeveloped and ineffective root system ;
- and, no doubt, bad aeration of the soil.

This packing of the soil occurs very gradually and can have different causes : the passing of agricultural machines in the interrow, insufficient protection of the soil by the sparse natural vegetation which colonizes the interrows. In other respects, this vegetation does not include deep-rooting species which break up earth and restore to the topsoil elements taken up in depth. Finally, the high KCl fertilizer rates, indispensable because of the low K contents of these soils, help to increase structural instability. As a result, the surface horizons become beating.

This instability limits the persistence of the effects of crop practices. In addition, current replanting methods do not manage to break down the compacted layer which remains 15 cm down.

There are 2 ways of correcting the situation :

- to improve structural stability by correcting the K/Ca Mg balance by calcic ground dressing, to follow the results obtained in trials DA-ES 120, 121 A, 121 B and 140 ;
- to restore porosity by tillage, working down to 60-70 cm in

order to break up the compact layer ; the methods have yet to be determined : ploughing, subsoiling.

An initial subsoiling trial DA-ES 143 (replanting 1983) gives encouraging results, since after one year, there was an 8 p. 100 increase in growth in subsoiled treatments compared to plots where the trees were planted on unworked soil (Table XII).

Observation of root profiles in this trial shows that the roots colonize loose zones selectively (Fig. 6). In spite of the improvement, the subsoiling technique used for this trial is therefore still imperfect, because areas impenetrable to the roots remain. It is planned to use bladed shares working the soil 90 cm deep which could break up the entire profile down to 50 cm.

Given the problems of erosion, this subsoiling should be done along the contour lines. Creating bunds can also be considered.

The planting in the interrows of shrubs (shrubby legumes preferably like *Flemingia*, with powerful, deep root systems, which is to be experimented), could have the same effect on the soil (loosening, surfacing of mineral elements) as standard fallow. There might then be a certain amount of competition with the oil palm for water and fertilizing elements, which has to be determined.

CONCLUSION

It seems obvious that production losses observed in palm grove replanting on the Dabou savannah result from deterioration of the soil structure, reducing water retention and hampering root development.

This degradation of the structure probably has numerous causes : compacting of the soil by machines, loss of structural stability by cation imbalance, absence of weeds with a deep root system.

Several corrective methods now being experimented have already given encouraging results : gypsum application, subsoiling, localized bare soil. The solution probably lies in a set of concurrent measures both preventive and curative, which will involve the revision of current maintenance and planting methods, in particular :

- maintenance of some regrowth in the plantations ;
- cation balances of fertilizers ;
- subsoiling on the contour lines.

