

Mise en évidence d'une carence en calcium sur cocotier

F. O. DUFOUR (1), G. QUILLEC (2), J. OLIVIN (3), J.-L. RENARD (2)

Résumé. — Une coloration anormale des feuilles, suivie de nécroses, est apparue dès la première année sur toutes les variétés de cocotiers (GQA compris) d'un champ semencier, mis en place après une palmeraie âgée sur des sols lessivés du bassin sédimentaire du Sud de la Côte d'Ivoire. Deux essais de fumure ont montré que la fréquence des symptômes était liée aux teneurs en calcium dans les feuilles et dans le sol. Par ailleurs, la fumure calcique a un effet positif sur la croissance générale et les teneurs en calcium des cocotiers. Ces observations montrent, pour la première fois, que les jeunes cocotiers, en particulier les variétés naines, peuvent être affectés par la carence calcique dans certaines situations de sols très désaturés.

I. — INTRODUCTION

Un champ semencier d'une centaine d'hectares a été mis en place de 1977 à 1980 au sein de la plantation de palmiers Robert-Michaux, située dans la zone des savanes de Dabou, dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Il fait suite à une plantation de palmiers de 1930 abattue en 1976. Plusieurs variétés de cocotiers y sont représentées : Nains Jaunes du Ghana (N J G), Nains Verts de Guinée équatoriale (N V E), Nains Rouges de Malaisie (N R M) et du Cameroun (N R C), et Grands Ouest Africain (G O A).

Les sols formés sur les sédiments appelés « sables tertiaires » appartiennent au type ferrallitique fortement désaturé. Leurs caractéristiques physico-chimiques (Tabl. I) sont celles de ce type de formation pédologique à l'exception des valeurs du complexe absorbant. Celui-ci se caractérise par des teneurs en Ca^{++} (0,06 mé/100 g), K^+ (0,05 mé/100 g) et aussi en Mg^{++} (0,04 mé/100 g) particulièrement faibles. La très forte désaturation du complexe absorbant a pour conséquence une forte acidité (pH eau = 4,3).

L'I.R.H.O. a donc mis en place, dès la plantation en mai 1977, l'expérience DA-CC 3 pour étudier l'effet des principaux éléments sur la nutrition minérale et la croissance des Nains Jaunes afin de définir le barème de fumure le mieux adapté à cette situation particulière. Il s'agit d'un essai factoriel $\text{N}^3 \text{K}^3 \text{Mg}^3$, subdivisé P^2 , qui a reçu les doses d'engrais définies au tableau II.

(1) Service Agronomie I.R.H.O., B.P. 08 Dabou (Côte d'Ivoire).

(2) Département Phytopathologie I.R.H.O. — B.P. 08 Dabou (Côte d'Ivoire).

(3) Département Agronomie I.R.H.O. — IRHO-GERDAT, B.P. 5035 34032 Montpellier Cedex (France).

TABLEAU I. — Côte d'Ivoire, Dabou : Caractéristiques physico-chimiques moyennes des sols du champ semencier

(Ivory Coast, Dabou : Average physico-chemical characteristics of soils of the seed garden)

	Profondeur (Depth)	
	0-30 cm	30-50 cm
Granulométrie (Grain size) (p. 100)		
Argile (Clay)	14,0	14,6
Limon (Silt)	2,0	2,0
Sable fin (Fine sand)	2,4	2,6
Sable très fin (Very fine sand)	29,2	30,9
Sable grossier (Coarse sand)	52,4	49,9
Matière organique (Organic matter) (p. 100)	1,58	1,08
Carbone (Carbon) (p. 100)	0,92	0,62
Azote total (Total nitrogen) (p. 1000)	0,62	0,45
C/N	15	14
Phosphore (Phosphorus)		
Total (ppm)	468	397
Olsen (ppm)	107	75
Saunders (ppm)	276	236
Complexe absorbant (Complex)		
Ca (me/100 g)	0,06	0,06
Mg (me/100 g)	0,04	0,03
K (me/100 g)	0,05	0,05
Na (me/100 g)	0,01	0,01
Somme (Sum) (me/100 g)	0,16	0,15
CEC (me/100 g)	3,58	3,02
Saturation (p. 100)	4,5	5,0
pH eau (water)	4,32	4,57

Nota : La CEC est mesurée à l'acétate d'ammonium à pH 7 (The CEC is measured using ammonium acetate, pH 7).

TABLEAU II. — DA-CC 3 (1977) Fumures appliquées (Fertilizers applied) (g/arbre/an-/tree/year)

Niveaux (Levels) :	Urée (Urea)			Chlorure de potassium (Potassium chloride)			Kiésérite			Phosphate tricalcique (Tricalcium phosphate)	
	N1	N2	N3	K1	K2	K3	Mg1	Mg2	Mg3	P0	P1
1977	100	200	300	200	400	600	100	200	300	0	100
1978	150	300	450	400	800	1 200	200	400	600	0	200
1979	200	400	600	800	1 200	1 600	400	600	800	0	300
1980 (1)	0	300	600	1 000	1 400	1 800	600	800	1 000	0	500
1981 et après (and later)	0	300	600	500	1 000	1 500	0	1 000	2 000	0	1 000

(1) En 1980, il y eut un apport général de chaux agricole de 500 g/arbre (In 1980, a general application of agricultural lime — 500 g/tree — was made).

Dès 1978, des symptômes de dépérissement foliaire ont été observés, d'abord sur les Nains Jaunes puis sur les Nains Rouges, les GOA et les Nains Verts. Les premières hypothèses concernant l'origine de ces symptômes ont conduit à mettre en cause le calcium. Comme cet élément n'est apporté que secondairement dans la subdivision du DA-CC3 avec l'engrais phosphaté, il a été décidé en 1980 de faire débiter un 2^e essai, toujours sur des Nains Jaunes de 1977, afin d'étudier différentes doses d'engrais calcique. Le DA-ES 115 est donc un essai en blocs de Fisher à 4 niveaux répétés 6 fois (Tabl. III).

II. — DESCRIPTION DES SYMPTÔMES

Les premiers symptômes sont visibles sur les feuilles de rangs 1, 2, 3, parfois 4 et même sur les flèches. Ils correspondent à des taches jaunes arrondies de 3 à 8 mm de diamètre dont le centre devient marron (Fig. 1). Ces taches, d'abord isolées, s'élargissent et deviennent coalescentes, puis se dessèchent. Sur les jeunes feuilles, ces symptômes sont assez régulièrement répartis sur toutes les folioles alors que, sur les feuilles de rang supérieur à 4, les symptômes sont localisés à la base de la feuille (Fig. 1). Ce jaunissement est irréversible et évolue vers le dessèchement des folioles puis de la feuille. Un jeune cocotier atteint présente généralement les 2 ou 3 premières feuilles jaunissantes, puis 2 ou 3 feuilles sèches et 5 ou 6 feuilles encore vertes ponctuées de taches jaunes caractéristiques. Enfin, la face externe des pétioles de feuilles d'ordre 4 ou 5 présente des taches brunes, plus ou moins alignées, et coalescentes (Fig. 2).

Ces symptômes bien visibles sur les feuilles sont doublés d'anomalies du développement du système racinaire pour toutes les variétés de cocotiers. Dès 1979, la dissection des plants présentant des nécroses foliaires a permis de constater que le système racinaire est très mal développé. Le nombre de racines primaires est insuffisant, leur longueur n'excède pas 25 cm et la plupart d'entre elles sont pourries à l'extrémité. Il en est d'ailleurs de même pour les racines secondaires et tertiaires. On a pu observer sur certaines racines primaires une succession de boursouffures, chacune d'entre elles correspondant à une destruction des tissus puis à l'émission d'une ou plusieurs racines sur le côté. Le

système racinaire est en meilleur état lorsqu'il s'agit d'un plant sain, mais il est anormalement peu développé pour des arbres de deux ans et demi.

III. — LIAISON SYMPTÔMES ET CALCIUM

Les observations et isolements effectués au niveau des taches jaunes n'ont pas révélé la présence de champignons parasites. Aucun dégât d'insectes non plus n'a été associé à ces symptômes.

Par contre, l'analyse de la répartition des arbres affectés dans l'expérience DA-CC 3 montre qu'il existe une relation entre la sévérité des symptômes et la fumure.

1. — Fréquence des symptômes par traitement du DA-CC 3.

Une note, variant de 0 à 3, a été attribuée à chaque arbre selon l'intensité des symptômes observés (0 = arbre sain). Le regroupement des notes individuelles permet de calculer les indices de Mc Kinsey (1) par parcelle (Tabl. IV).

Lors du premier relevé des symptômes en 1979 (2 ans d'âge) les fumures potassique et magnésienne augmentaient significativement ces symptômes tandis que la fumure phosphocalcique en particulier et aussi l'azote les diminuaient significativement. En 1981, on observe une rémission progressive des symptômes sur l'ensemble de l'expérience et seul l'effet de l'engrais phosphocalcique reste significatif.

2. — Liaison entre la gravité des symptômes et les teneurs foliaires en calcium.

Au moment de l'apparition des symptômes, les teneurs en calcium étaient extrêmement faibles (Tabl. V) pour toutes les variétés de cocotiers du champ semencier.

On note que les niveaux en azote et en phosphore sont corrects. Les teneurs en potassium sont élevées alors que le magnésium et surtout le calcium présentent des valeurs fai-

$$(1) \text{ Indice de Mc Kinsey par parcelle} = \frac{\text{somme des notes individuelles}}{\text{Nombre d'arbres} \times \text{note maximale (3)}} \times 100$$

TABLEAU III. — DA-ES 115 (1977) — Fumures appliquées (*Fertilizers applied*)
(g/arbre/an -/tree/year)

Dates	Niveaux (<i>Levels</i>)				Engrais (<i>Fertilizers</i>)
	0	1	2	3	
Fév. (<i>Feb.</i>) 1980	0	430	860	1 290	Chaux agricole (<i>Agricultural lime</i>) Phosphate tricalcique (<i>Tricalcium phosphate</i>) Dolomie (<i>Dolomite</i>)
Fév. (<i>Feb.</i>) 1981	0	500	1 000	1 500	
Juin (<i>June</i>) 1981	0	1 000	2 000	3 000	

TABLEAU IV. — DA-CC 3 — Classement des symptômes selon l'indice de McKinsey
(*Classification of symptoms according to McKinsey value*)

	N1	N2	N3	K1	K2	K3	Mg1	Mg2	Mg3	P0	P1
2 ans (<i>years</i>)/Juin (<i>June</i>) 1979	14,2	15,3	10,8*	12,8	13,1	14,3	10,1	12,0	18,1**	17,6	9,2**
Fév. (<i>Feb.</i>) 1981	8,0	7,7	10,0	6,7	9,4	9,6	4,6	10,0	11,1	12,8	4,4**
4 ans (<i>years</i>)/Juin (<i>June</i>) 1981	5,6	5,9	7,1	5,0	6,5	7,1	3,1	7,3	8,2	9,4	3,1**

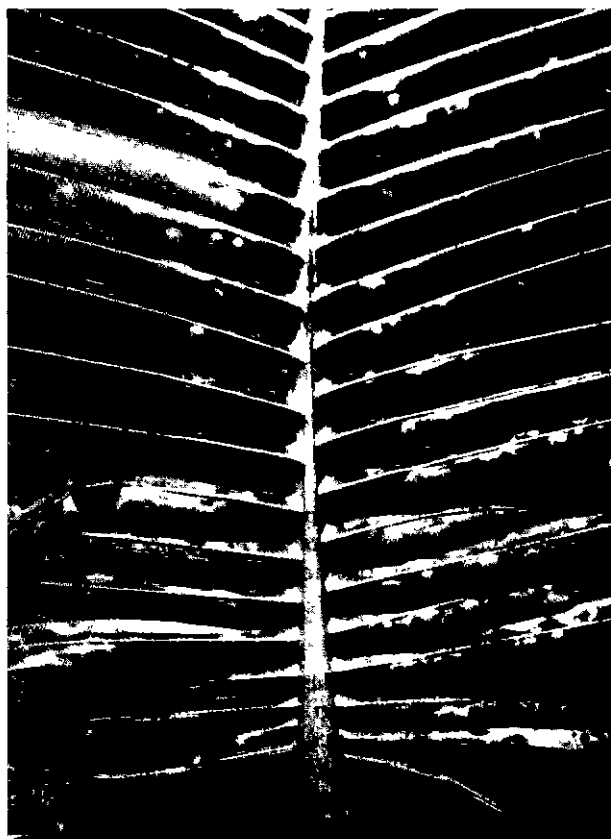


FIG. 1. — Symptômes caractéristiques de carence en Ca sur cocotier
(Characteristic symptoms of Ca deficiency on coconut).



FIG. 2. — Symptômes de carence en Ca sur le pétiole d'une feuille
(Symptoms of Ca deficiency on the petiole of a leaf).

bles qui sont en accord avec les très faibles teneurs en Ca++ et Mg+ du complexe absorbant du sol.

Par ailleurs, dans l'expérience DA-CC 3, les teneurs en calcium sont très faibles sur l'objet P0 qui ne reçoit pas d'engrais phosphocalcique. L'apport de phosphate tricalci-

que et également celui d'urée, qui réduisaient la gravité des symptômes en juin 1979, amélioraient les teneurs foliaires en calcium. A l'inverse, les apports de chlorure de potassium et de Kiésérite qui aggravaient la maladie, réduisaient les teneurs (Tabl. VI).

TABLEAU V. — Champ semencier de Dabou. — Teneurs des feuilles de rang 4 en p. 100 de m.s. en janvier 1981
(Dabou seed garden — Contents of leaves of rank 4 — p. 100 d.m. — in January 1981)

Variétés (Varieties)	N	P	K	Ca	Mg	Cl	S
Nains verts (Green dwarfs)	2,01	0,142	2,226	0,073	0,283	1,004	0,165
Nains rouges (Red dwarfs)	2,10	1,145	2,158	0,066	0,204	0,812	0,164
Nains jaunes (Yellow dwarfs)	2,08	0,144	2,198	0,062	0,318	1,105	0,142
GOA (WAT)	2,20	0,130	2,751	0,044	0,194	1,016	0,139

TABLEAU VI. — DA-CC 3 — Teneurs des feuilles 4 — Moyenne par objet à 20 mois — Février 1979 —
(Contents of leaves 4 — Average per treatment at 20 months — February 1979)

Par simplification, seules les teneurs statistiquement différentes sont données pour N, K, Mg, Cl (For simplification, only statistically different contents are given N, K, Mg and Cl)

Eléments	Urée (Urea)			Chlorure de potassium (Potassium chloride)			Kiésérite			Phosphate tricalcique (Tricalcium phosphate)	
	N1	N2	N3	K1	K2	K3	Mg1	Mg2	Mg3	P0	P1
N	2,07	2,16 *	2,21 **								
P											
K				1,998	2,092**	2,565**	2,404	2,282*	2,164**	0,141	0,141
Ca	0,092	0,095	0,106	0,116	0,094	0,082*	0,107	0,099	0,086	0,088	0,107
Mg				0,279	0,247*	0,225**	0,188	0,251**	0,312**	0,242	0,259*
Cl	0,929	0,835*	0,763**	0,762	0,837	0,928**					

Le tableau VII montre, de plus, qu'en 1979 lorsque les symptômes de dessèchement ont été observés, seules les teneurs en calcium avaient été déjà sensiblement augmentées depuis 2 ans (+ 20 p. 100) dans l'objet P, du fait des apports de tricalcique. Au contraire, les teneurs en P, déjà satisfaisantes pour P0, n'avaient pas encore été modifiées. D'ailleurs, leur augmentation ultérieure bien que significative est faible (3 p. 100). Le phosphate tricalcique agit donc bien par l'intermédiaire de son calcium.

La figure 3 illustre bien la relation existant entre les teneurs en calcium de la feuille 4 à 20 mois et les symptômes de dessèchement qui peuvent apparaître pour des teneurs inférieures à 0,150. Ils peuvent devenir très graves pour des teneurs inférieures à 0,085 p. 100.

Les dosages du manganèse, de l'aluminium et du fer dans les feuilles de rang 4 prélevées en 1981 ont montré que les teneurs de ces éléments étaient normales et que l'abaissement du pH du sol n'induisait pas de carence en Mn ou de toxicité en Al. Les analyses comparatives de racines d'arbres malades et d'arbres sains n'ont pas mis en évidence non plus de différences sensibles. Les traitements du DA-CC 3 étaient sans effet en 1981 sur les teneurs dans les feuilles de ces oligoéléments, à l'exception du phosphate tricalcique qui augmentait les teneurs en fer qui passaient de 147 ppm avec P0 à 181 ppm avec P1.

3. — Liaison entre la gravité des symptômes et les teneurs du sol en calcium échangeable.

Les teneurs en Ca^{2+} d'échantillons de sol prélevés à proximité d'arbres malades sont sensiblement plus faibles que celles d'échantillons prélevés à proximité d'arbres sains (Tabl. VIII). Les taux de saturation et les pH sont corrélativement un peu plus faibles à proximité des arbres mala-

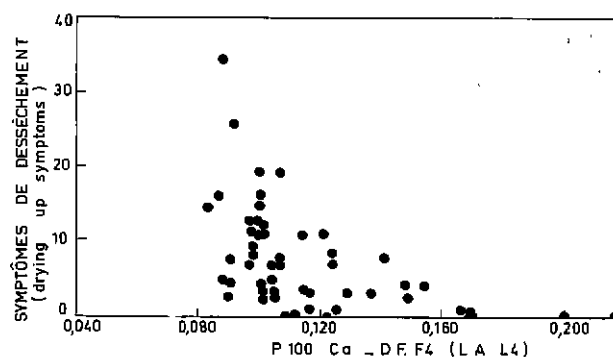


FIG. 3. — DA-CC3 — Relations entre teneurs en Ca et symptômes de dessèchement foliaire (*Relationship between Ca contents and drying up of leaves*).

des. Par contre, il n'existe pas de différence pour la matière organique, l'azote total, le phosphore total et le phosphore assimilable (méthode Olsen).

4. — Conclusions.

Les symptômes de dessèchement des feuilles observés sur les Nains Jaunes du champ semencier plantés en 1977 à Dabou sont très nets à deux ans d'âge quand :

- la teneur moyenne de la couche superficielle (0-30 cm) du sol en Ca^{2+} devient inférieure à 0,15 mé/100 g ;
- la teneur moyenne en calcium de la feuille de rang 4 devient inférieure à 0,085 p. 100 ;

— tous les traitements du DA-CC 3 qui améliorent la nutrition en calcium réduisent en même temps la gravité de la maladie, tandis que les traitements qui font baisser la teneur foliaire en calcium augmentent les symptômes.

TABLEAU VII. — DA-CC 3 — Effet du phosphate tricalcique sur les teneurs en phosphore et calcium (*Effect of tricalcium phosphate on phosphorus and calcium contents*)

	Teneurs en Ca		Teneurs en P	
	P0	P1	P0	P1
Mars (March) 1978 (F4)	0,108	0,129* (119)	0,132	0,134 (102)
Fév. (Feb.) 1979 (F4)	0,088	0,107 (122)	0,141	0,141 (100)
Fév. (Feb.) 1980 (F9)	0,077	0,094 (122)	0,132	0,136** (103)
Mars (March) 1981 (F4)	0,071	0,079 (111)	0,139	0,143** (103)
Fév. (Feb.) 1982 (F9)	0,095	0,111** (117)	0,143	0,147** (103)

Entre parenthèses = p. 100 par rapport à P0 (*Percentage compared to P0 is given in the brackets*).

TABLEAU VIII. — Caractéristiques chimiques du sol (*Chemical characteristics of the soils*)

	Profondeur (Depth) 0-15 cm				Profondeur (Depth) 15-30 cm			
	Arbres (Trees)		Arbres (Trees)		Arbres (Trees)		Arbres (Trees)	
	sains (healthy)	malades (diseased)	sains (healthy)	malades (diseased)	sains (healthy)	malades (diseased)	sains (healthy)	malades (diseased)
Matière organique	(p. 100)	2,13	2,15	1,77	1,78			
N total	(p. 1000)	0,96	0,96	0,76	0,76			
P total	(ppm)	467	500	521	500			
P assimilable	(ppm) Olsen	145	138	139	132			
Ca^{2+} échang. (exchang.)	mé/100 g	0,21	0,16	0,10	0,06			
Mg^{2+} échang. (exchang.)	mé/100 g	0,13	0,10	0,07	0,05			
K^{+} échang. (exchang.)	mé/100 g	0,09	0,08	0,06	0,06			
S ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$)	mé/100 g	0,43	0,34	0,23	0,17			
C.E.C. mesurée à (measured at) pH7	mé/100 g	4,65	4,58	4,30	4,22			
Taux de saturation	(p. 100)	9	5	8	4			
pH eau (water)		4,24	4,16	4,14	4,06			

On pense que la carence calcique se manifesterait surtout au très jeune âge car le tableau IV montre qu'il y a une rémission générale des symptômes dès 1981 alors que, d'après le tableau VII, les teneurs en calcium n'ont pas augmenté depuis 1979. En 1982, la teneur moyenne de l'expérience est de 0,103 p. 100 pour la feuille 9 alors qu'elle n'était que de 0,086 p. 100 en 1980 ; cette augmentation est probablement due aux apports généralisés d'engrais calciques (Tabl. II). A l'âge de 5 ans, les symptômes ont complètement disparu sur l'ensemble du champ semencier mais les jeunes arbres sont hétérogènes, peu développés, en particulier le stipe est grêle.

IV. — EFFET DE LA FUMURE CALCIQUE SUR LA CROISSANCE

1. — Le système foliaire.

L'apport de phosphate tricalcique est le seul traitement qui a eu un effet positif sur la croissance. Cet effet a été net dès l'âge de 3 ans sur la taille du collet puis, l'année suivante, sur le nombre de folioles de la feuille 3. Par contre, l'émission foliaire n'a pas été modifiée (Tabl. IX).

L'effet du calcium sur la croissance des Nains Jaunes est confirmé par le DA-ES 115 dans lequel les arbres qui reçoivent l'engrais calcique ont depuis mars 1983 (3 ans depuis la mise en place de l'essai) des feuilles plus longues que celles des arbres témoins. Cette croissance plus rapide des jeunes cocotiers Nains Jaunes du DA-ES 115, qui ont reçu des engrais calciques divers (chaux, phosphate tricalcique, dolomie), s'accompagne d'une élévation des teneurs en calcium, celle du témoin étant très faible (0,082 p. 100), du maintien des teneurs en phosphore qui sont satisfaisantes, et d'une baisse des teneurs en magnésium qui restent néanmoins satisfaisantes du fait de l'antagonisme avec le calcium (Tabl. X). Les teneurs en potassium sont inchangées.

En définitive, aussi bien pour DA-CC 3 que pour DA-ES 115, les teneurs natives en calcium du sol et des feuilles sont faibles ou très faibles tandis que les niveaux des teneurs en phosphore ne sont pas carenciels. De plus, seul-

TABLEAU X. — DA-ES 115 — Croissance et nutrition minérale en mars 1983
(Growth and mineral nutrition in March 1983).

Niveau d'engrais calciques (Level of calcium fertilizers)	0	1	2	3
Longueur de la feuille 3 (cm) (Length of leaf 3)	246	263**	261*	273**
Teneurs de la feuille 9 (Contents of leaf 9)				
Ca (p. 100)	0,082	0,121**	0,121**	0,135**
P (p. 100)	0,119	0,121	0,119	0,120
Mg (p. 100)	0,257	0,240	0,226*	0,225*
K (p. 100)	1,690	1,650	1,720	1,690

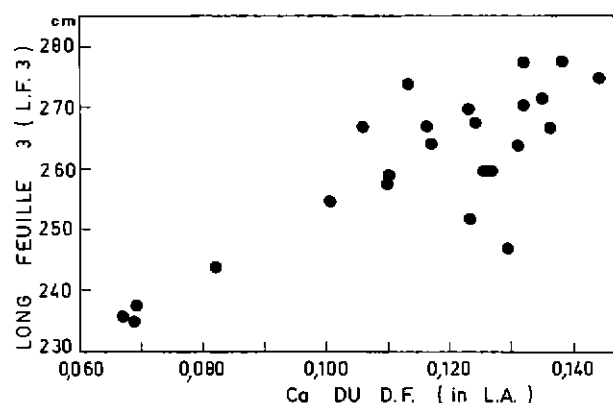


FIG. 4. — DA-ES 115 — Relation longueur de la feuille 3 et niveau en calcium dans le DF (Relationship between length of leaf 3 and calcium level in L.A.).

les les teneurs en calcium sont augmentées par les apports de phosphate tricalcique. Les coefficients des corrélations partielles montrent que la liaison est beaucoup plus forte entre les mesures de croissance et les teneurs en calcium qu'avec les teneurs en phosphore (Tabl. XI). La relation « croissance — teneurs en calcium » est illustrée par la figure 4.

TABLEAU IX. — DA-CC 3 — Croissance — Valeurs de l'objet P1 en pourcentage de celles de l'objet P0 (sans phosphate tricalcique)
(Growth-Values for treatment P1 in percentages of values for P0 — without tricalcium phosphate)

Jun/Juillet (June/July)	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Collet (Root bulb)	104	104	104*	108**	109** (71 cm)	—
Nombre de folioles de la feuille 3 (No. of leaflets of leaf 3)	—	99	101	105**	107** (159)	—
Nombre de feuilles émises (No. of leaves produced)	—	102	102	103	101 (8,1)	—
Longueur de la feuille 4 (sept.) (Length of leaf 4)	—	—	—	—	—	111* (231 cm)

— Entre parenthèses = valeurs réelles (Real values are given in the brackets).

TABLEAU XI. — Coefficients de corrélations (*Correlation coefficients*)

	Collet (<i>Root bulb</i>)	Nbre de folioles de la feuille 3 (<i>No. of leaflets of leaf 3</i>)	Longueur (<i>Length</i>) F 3	Teneurs (<i>Contents</i>) en P
Corrélations totales (<i>Total correlations</i>)				
— DA-CC 3				
Teneurs en Ca (<i>contents</i>)	0,561***	0,528***	—	0,497***
Teneurs en P (<i>contents</i>)	0,299	0,297	—	—
— DA-ES 115				
Teneurs en Ca (<i>contents</i>)	—	—	0,828**	0,438*
Teneurs en P (<i>contents</i>)	—	—	0,454**	—
Corrélations partielles (<i>Partial correlations</i>)				
— DA-CC 3				
Teneurs en Ca (<i>contents</i>) (P constant)	0,498***	0,459***	—	
Teneurs en P (<i>contents</i>) (Ca constant)	0,028	0,047	—	
— DA-ES 115				
Teneurs en Ca (<i>contents</i>) (P constant)	—	—	0,859***	
Teneurs en P (<i>contents</i>) (Ca constant)	—	—	0,582**	

DA-CC 3 : Teneurs en mars 1983 et mesures de croissance en juillet 1983 (*Contents in March 1983 and growth measurements in July 1983*).

DA-ES 115 : Teneurs et mesures de croissance en mars 1983 (*Contents and growth measurements in March 1983*).

2. — Le système racinaire.

L'étude du système racinaire est beaucoup plus difficile car cet organe est très divisé et difficilement accessible. On a néanmoins estimé [Ouvrier, 1981] le poids des racines de la couche superficielle du sol pour 16 cocotiers choisis de la façon suivante :

- 1 parcelle 4 cocotiers bien développés,
 $N_2K_3Mg_2$ — P0 4 cocotiers mal développés,
- 1 parcelle 4 cocotiers bien développés,
 $N_2K_3Mg_2$ — P1 4 cocotiers mal développés.

Dans l'ensemble le système racinaire est insuffisamment développé (cf. § II) mais celui des cocotiers de la parcelle P1 est globalement plus abondant que celui des arbres de la parcelle P0. De plus, dans chaque parcelle les arbres bien développés ont un système racinaire plus fourni que celui des arbres mal développés. La figure 5 montre bien la différence existant entre un arbre bien développé de la parcelle P1 et un arbre mal développé de la parcelle P0.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les nouveaux symptômes de désordre foliaire qui ont affecté très tôt, dès l'âge de 2 ans, les différentes variétés de cocotiers nains, ainsi que les GOA du champ semencier de Dabou, ont pu être rattachés à une carence en calcium due essentiellement à un appauvrissement, particulièrement poussé en cet élément, du complexe absorbant du sol. Les symptômes peuvent apparaître pour les teneurs de la feuille 4 inférieures à 0,150 et devenir très graves pour des teneurs inférieures à 0,085.

Les essais décrits ne permettent pas de déterminer la valeur du niveau critique du calcium des feuilles. Dans le

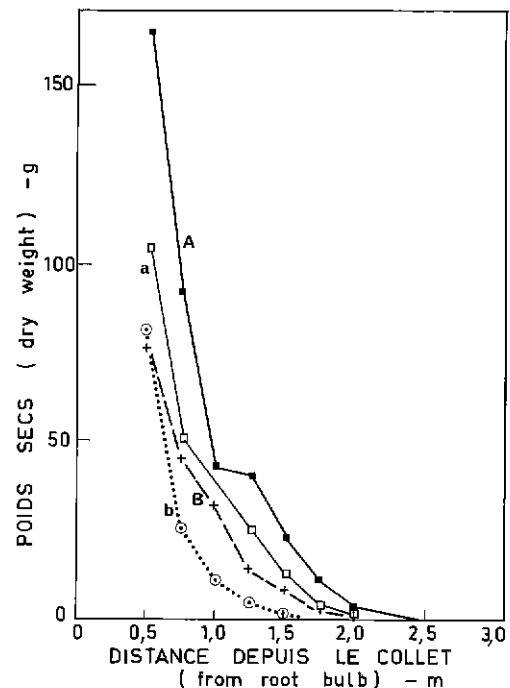


FIG. 5. — DA-CC3 — Poids des racines absorbantes — III + IV — (*Weight of absorbant roots — III + IV*).

Parcelles (*Plots*)

P1 P0

A a = Arbres à développement normal (*Normally-developed trees*).

B b = Arbres à développement faible (*Poorly-developed trees*).

DA-ES 115, on note bien un effet-dose sur les teneurs en Ca et la croissance (Tabl. X) mais, comme on ne sait si la dose 3 procure la croissance maximale, on peut seulement

dire que le niveau critique de la feuille 9 est au moins égal à la teneur de ce traitement (0,135 p. 100).

Les variétés naines, en général, ne sont pas utilisées pour créer des plantations de rapport, et le GOA n'est plus utilisé dans les plantations récentes. On peut se demander si, dans les mêmes conditions, le cocotier hybride PB-121 serait sensible à la carence. Du fait de l'absence d'un dispositif expérimental comparable à celui du DA-CC 3, il n'est pas possible de répondre en toute certitude ; cependant des observations réalisées dans certaines parcelles de l'expérience DA-CC 2 de Dabou, qui par ailleurs ont permis d'étudier la déficience en chlore (1), apportent semble-t-il une réponse négative. Les teneurs en calcium de la feuille 4

de certaines parcelles du DA-CC 2, lorsqu'il avait 5 ans d'âge, variaient en effet entre 0,076 et 0,088 p. 100 et aucun symptôme analogue à ceux décrits à propos du champ semencier n'a été observé sur les arbres.

Il est intéressant par ailleurs de comparer les teneurs foliaires en calcium de plusieurs variétés de cocotiers plantés dans quelques situations écologiques différentes. Les teneurs qui figurent au tableau XII proviennent en général de champs semenciers (CS). Les arbres reçoivent les fumures N, P, K, Mg appropriées, ils peuvent donc recevoir si nécessaire un engrais phosphaté (qui contient du Ca) comme l'objet P1 du DA-CC 3 dont la teneur en Ca de la F 9 n'était à 5 ans que de 0,111 (Tabl. VII).

L'analyse du tableau XII montre que les teneurs en Ca d'une variété de cocotiers peuvent varier énormément. Les plus faibles teneurs, à l'exception de celles de Dabou, se

(1) Oléagineux, 1983, 38, N° 5, p. 309-321.

TABLEAU XII. — Teneurs foliaires en calcium de plusieurs variétés de cocotiers pour quelques situations écologiques
(Leaf calcium contents of several varieties of coconut under different ecological conditions)

Pays (Country)	Localités (Localities)	Types de sols (Types of soils)	Années de plantations (Planting years)	Rangs des feuilles et âge (Ranks of leaves — F — and age)	Variétés (varieties) (a)						
					GOA (WAT)	NJ (YD)	NRC (CRD)	NRM (MRD)	NVB (BGD)	NVE (EGD)	PB-121
Côte d'Ivoire (Ivory Coast)	Assinie CS1	Sables grossiers très désaturés sur sédiments quaternaires <i>Highly desaturated coarse sands on quaternary sediments</i>	1962	F14 moyenne (average) 14/15 ans (years)							
				moyenne (mean) mini maxi	0,160 0,160 0,161	0,114 0,094 0,134		0,094 0,094 0,094			
				1965	F14 moyenne (average) 11/12 ans (years)						
	moyenne (mean) mini maxi	0,167 0,121 0,241	0,129 0,107 0,147								
		Amavibré CS4 CS5	Colluvions sableu- ses de sédiments tertiaires <i>Sandy colluvial deposits of tertiary sediments</i>	1969	F14 moyenne (average) 7/ 8 ans (years)						
	moyenne (mean) mini maxi				0,423 (1) 0,374 0,494	0,329 (2) 0,236 0,393		0,300 (2) 0,336 0,263	0,281 (2)		
				1970	F14 moyenne (average) 6/ 7 ans (years)						
	moyenne (mean) mini maxi	0,387 (3) 0,374 0,400	0,395 (2) 0,388 0,402			0,272 (2) 0,249 0,294	0,287 (4)				
		PB-CC 16(K2Mg1) CS7		1970	F 9 à 5 ans (years) F14 à 6 ans (years)						
					0,243 0,400						
	Port-Bouët Station	Sables grossiers sur sédiments quaternaires <i>Coarse sands on quaternary sedi- ments</i>	1960 à (to) 1964	F14 moyenne (average) 1976/77	0,515	0,401	0,302			0,381	
	Tabou CS Pohona	Sols ferrallitiques formés sur roches anciennes <i>Lateritic soils formed on ancient rocks</i>	1976-77	3 ans (years) 4 ans (years) 5 ans (years)	F 4-0,290 F 9-0,369 F14-0,474	F 9-0,269 F14-0,270	F14-0,296 F14-0,271			F 4-0,319 F 9-0,355 F14-0,335	
Indonésie (Indonesia)	Rejosari (**)	Latosol	Jan. 1975 & 1976	F 4 à (at) * mois (months) F 9 à (at) * mois (months) F14 à (at) * mois (months) F14 à (at) * mois (months) F14 à (at) * mois (months)		(28) 0,24		(20) 0,24 (33) 0,21 (46) 0,25 (53) 0,22 (65) 0,22			
				F 4 à (at) 24 mois (months) F 4 à (at) 36 mois (months) F14 à (at) 48 mois (months)		0,32 (F14) 0,35 0,40		0,28 (F9) 0,25 0,46			
	Bangun Purba (**)	Sols ferrallitiques de nature sableuse <i>Sandy lateritic soils</i>	1977	F 9 a (at) 36 mois (months) F14 à (at) 48 mois (months) F14 a (at) 60 mois (months)	0,30 0,30 0,34					0,26 0,31 0,25	
Philippines	Bugsuk	Sols d'origine corallienne <i>Soils of coral origin</i>	Oct. à (to) Nov. 1975	F4 à (at) ± 24 mois (months) F9 à (at) ± 36 mois (months) F9 à (at) ± 48 mois (months) F9 a (at) ± 60 mois (months)	0,855 0,870 0,811 0,781	0,646 0,919 0,785 0,782		0,588 0,676 0,614 0,465			

(a) : GOA (WAT) = Grand Ouest Africain (West African Tall).

NJ (YD) = Nain jaune (Yellow Dwarf).

NRC (CRD) = Nain rouge du Cameroun (Cameroon Red Dwarf).

NRM (MRD) = Nain rouge de Malaisie (Malayan Red Dwarf).

NVB (BGD) = Nain vert du Brésil (Brazil Green Dwarf).

NVE (EGD) = Nain vert de Guinée équatoriale (Equatorial Guinea Green Dwarf).

PB-121 = Hybride NJG × GOA (GYD × WAT).

(1) Correspond à CS4 (corresponds to SG4).

(2) Correspond à CS5 (corresponds to SG5).

(3) Correspond à CS6 (corresponds to SG6).

(4) Correspond à PB-CC 16 (corresponds to PB-CC-16).

(*) Nombre de mois indiqué entre parenthèses dans les colonnes de variétés (No. of months indicated in the brackets in varieties column).

(**) Analyses de (Analysis performed at) Marihat Research Station (Indonesia Sumatra).

rencontrent à Assinie en Côte d'Ivoire pour le champ semencier planté sur des sables quaternaires blancs extrêmement pauvres en cations échangeables ; les teneurs des feuilles 14 des NRC et des NVB peuvent même être inférieures à 0,100 p. 100 (mais on ne sait pas si ces arbres avaient présenté des désordres foliaires) par contre, la teneur du N J (0,160) est sensiblement supérieure. A l'opposé, les cocotiers plantés sur les sols d'origine corallienne de l'île de Bugsuk (Philippines) présentent les teneurs les plus élevées ; à 3 ans celle du N J est de 0,900 pour la feuille 9 !

Dans les autres situations écologiques étudiées, dont la liste n'est évidemment pas exhaustive, les teneurs des N J (F 14) varient entre 0,270 et 0,400 p. 100 pour des arbres d'âges variables (5 à 17 ans).

Dans la plupart des cas, les teneurs en calcium des N J sont supérieures à celles des NRM ou des NRC.

Un inventaire, très restreint, de différentes situations écologiques en Afrique et en Asie montre que les cocotiers peuvent s'accommoder d'une large gamme de teneurs foliaires en calcium (0,200 à 0,500 et plus) sans conséquence défavorable. Le champ semencier de Dabou (Côte d'Ivoire) fournit le premier cas connu d'une situation où la nutrition calcique devient très insuffisante. Compte tenu de l'extrême faiblesse des teneurs foliaires correspondantes (moins de 0,100 p. 100), il est probable que cette carence calcique doit rarement se manifester. A l'inverse, dans les sols extrêmement riches en calcium (atolls coralliens par exemple) apparaissent des désordres nutritionnels graves : fortes carences en potassium, manganèse, fer, qu'il faut corriger.

SUMMARY

Revelation of a calcium deficiency in coconut.

F. O. DUFOUR, G. QUILLEC, J. OLIVIN, J.-L. RENARD, *Oléagineux*, 1984, 39, N° 3, p. 133-142.

Abnormal colouring of leaves, followed by necroses, appeared during the first year on all varieties of coconuts (including WAT) in a seed garden, planted on the site of an old palm grove on leached soils of the sedimentary basin of the South Ivory Coast. Two manuring trials showed that the frequency of symptoms was linked to the calcium contents of the leaves and the soil. Also, calcium fertilizer had a positive effect on the general growth and the calcium contents of the coconuts. These observations show for the first time that young coconuts, particularly Dwarf varieties, can be affected by calcium deficiency in certain localities where soils are highly desaturated.

RESUMEN

Demostración de una carencia de calcio en el cocotero.

F. O. DUFOUR, G. QUILLEC, J. OLIVIN, J.-L. RENARD, *Oléagineux*, 1984, 39, N° 3, p. 133-142.

Una coloración anormal de las hojas, a la que se siguieron necrosis, apareció desde el primer año en todas las variedades de cocotero, incluso en los GOA, en un campo de producción de semillas implantado para renovar un palmaral de edad en suelos lixiviados de la cuenca sedimentaria del sur de Costa de Marfil. Dos ensayos de fertilización han mostrado que la frecuencia de síntomas estaba relacionada con los contenidos de calcio en las hojas y en el suelo. Por otro lado, el abonado cálcico muestra un efecto positivo en el crecimiento general y en los contenidos de calcio de los cocoteros. Estas observaciones muestran por primera vez que los cocoteros jóvenes, particularmente las variedades enanas, pueden quedar afectados por la carencia de calcio en algunas situaciones de suelos muy desaturados.

Revelation of a calcium deficiency in coconut

F. O. DUFOUR (1), G. QUILLEC (2), J. OLIVIN (3) and J.-L. RENARD (2)

I. — INTRODUCTION

A seed garden of about 100 ha was planted from 1977-1980 in the Robert Michaux oil palm plantation, located in the Dabou savannah region in the South of the Ivory Coast. It took the place of a 1930 oil palm plantation, felled in 1976. Several varieties of coconut are represented: Ghana Yellow Dwarf (GYD), Equatorial Guinea Green Dwarf (EGD), Malayan Red Dwarf (MRD), Cameroon Red Dwarf (CRD), and West African Tall (WAT).

The soils, formed on sediments known as « tertiary sands », belong to the highly desaturated lateritic type. Their physico-chemical characteristics (Table I) are typical of this kind of

pedological formation, with the exception of values for the absorbent complex. This is characterized by particularly low Ca^{2+} (0.06 meq/100 g), K^+ (0.05 meq/100 g) and Mg^{2+} (0.04 meq/100 g) contents. The very high desaturation of the absorbent complex results in high acidity (pH of water = 4.3).

For this reason, immediately after planting (in May 1977), the I.R.H.O. set up experiment DA-CC 3 to study the effect of the principal elements on the mineral nutrition and growth of the Yellow Dwarfs, so that the most suitable manuring schedule for this particular situation could be established. This was a N^3 , K^3 , Mg^3 factorial trial, subdivided into P^2 , and the doses of fertilizer given in Table II were applied.

From 1978 onwards, symptoms of leaf wilt were observed, first on the Yellow Dwarfs, then on Red Dwarfs, WAT and Green Dwarfs. The first hypotheses regarding the origin of these symptoms placed suspicion on calcium. Since this element was applied only secondarily in the subdivision of DA-CC 3 with phosphate fertilizer, it was decided in 1980 to start another trial, also using the 1977 Yellow Dwarfs, for the study of different doses of calcium fertilizers. DA-ES 115 is a trial in Fisher blocks at 4 levels, with 6 replications (Table III).

(1) I.R.H.O. Agronomy Service, B. P. 08, Dabou (Ivory Coast).

(2) I.R.H.O. Phytopathology Department, B.P. 08, Dabou (Ivory Coast).

(3) I.R.H.O. Agronomy Department, IRHO-GERDAT, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex (France).

II. — DESCRIPTION OF SYMPTOMS

The first symptoms are visible on leaves of rank 1, 2, 3 and sometimes 4, and even on the spears. They consist of rounded yellow spots 3-8 mm in diameter, becoming brown in the centre (Fig. 1). These spots are isolated at first, then widen and become coalescent, and finally dry out. On young leaves, these symptoms are fairly evenly distributed over the leaflets, whereas on leaves above rank 4, the symptoms are localized at the base of the leaf (Fig. 1). This yellowing is irreversible and leads to the drying out of the leaflets and then the leaf. The first 2 or 3 leaves of a young coconut displaying these symptoms are generally yellow, followed by 2 or 3 dried up leaves, and 5 or 6 leaves that are still green, but spotted with characteristic yellow patches. Finally, the outer side of the petiole of leaves of order 4 or 5 displays coalescent brown patches, more or less in alignment (Fig. 2).

These easily visible symptoms on the leaves are reinforced by abnormalities in the development of the root system for all varieties of coconut. From 1979 onwards, dissection of plants displaying leaf necrosis revealed a very poorly developed root system. There was an insufficient number of primary roots, which did not exceed 25 cm in length, and most of them were rotten at the end. The same was true for secondary and tertiary roots. On certain primary roots, a succession of swellings was observed, each corresponding to the destruction of tissues, followed by the emission of one or several roots on the side. The root system was in better condition in the case of healthy plants, but is was abnormally under-developed for two-and-a-half-year-old trees.

III. — LINK BETWEEN THE SYMPTOMS AND CALCIUM

Observations and isolations performed on the yellow patches did not reveal any parasitic fungi. No insect damage was associated with these symptoms.

However, an analysis of the distribution of the affected trees in the DA-CC 3 trial showed that there was a link between the severity of the symptoms and the fertilizer used.

1. — Frequency of symptoms per treatment in trial DA-CC 3.

A score, ranging from 0 to 3, was given to each tree, according to the intensity of the symptoms observed (0 = healthy tree). The grouping of individual scores enabled the McKinsey values (1) to be calculated per plot (Table IV).

When symptoms were recorded for the first time in 1979 (2 years old), magnesium and potassium fertilizers significantly increased these symptoms, whereas phosphocalcium fertilizer in particular, and also nitrogen, significantly decreased them. In 1981 progressive remission of symptoms throughout the experiment was observed, and only the effect of the phosphocalcium fertilizer remained significant.

2. — Link between the severity of symptoms and leaf calcium contents.

When the symptoms appeared, calcium contents were extremely low (Table V) for all varieties of coconuts in the seed garden.

It should be noted that the nitrogen and phosphorus levels were satisfactory. Potassium levels were high, whereas values for magnesium, and especially calcium, were low, in agreement with the very low Ca^{2+} and Mg^{+} contents of the soil absorbant complex.

Elsewhere, in the DA-CC 3 experiment, calcium contents were very low in treatment P0, which received no phosphocalcium fertilizer. Application of tricalcium phosphate and urea, which reduced the severity of symptoms in June 1979, improved leaf calcium contents. On the contrary, application of potassium chloride and Kieserite, which aggravated the disease, reduced the contents (Table VI).

In addition, Table VII shows that in 1979, when the first symptoms of drying up were observed, only calcium contents had been markedly increased during the past 2 years (+ 20 p. 100) in treatment P, as a result of tricalcium application. On the

contrary, P contents, which were already satisfactory for P0, had not yet been modified. Also, their subsequent increase, although significant, was low (3 p. 100). Tricalcium phosphate therefore acts via its calcium.

Figure 3 is a good illustration of the relationship between calcium contents of leaf 4 at 20 months and drying out symptoms which may appear with contents of less than 0.150. They may become very serious with contents lower than 0.085 p. 100.

Titration of manganese, aluminium and iron in rank 4 leaf samples taken in 1981 showed that contents of these elements were normal, and that the decrease in soil pH did not induce Mn deficiency or Al toxicity. Comparative analyses of the roots of diseased and healthy trees also did not reveal any marked differences. Treatments in DA-CC 3 were without effect in 1981 on the leaf contents of these trace elements, apart from tricalcium phosphate, which increased iron contents : these increased from 147 ppm for P0 to 181 ppm for P1.

3. — Link between the severity of symptoms and soil exchangeable calcium contents.

The Ca^{2+} contents of soil samples taken close to diseased trees were markedly lower than those of samples taken near healthy trees (Table VIII). Correlatively, saturation rates and pHs were a little lower close to diseased trees. However, there was no difference in organic matter, total nitrogen, total phosphorus or assimilable phosphorus (Olsen method).

4. — Conclusions.

The drying up symptoms observed on the Yellow Dwarfs in the seed garden planted at Dabou in 1977 are very marked at two years of age, when :

- the mean Ca^{2+} content of the surface layer of the soil (0-30 cm) drops below 0.15 meq/100 g ;
- the mean calcium content of the rank 4 leaf becomes less than 0.085 p. 100 ;
- all treatments in DA-CC 3 which improve calcium nutrition simultaneously reduce the seriousness of the disease, whereas treatments decreasing leaf calcium contents aggravate symptoms.

Calcium deficiency seems to appear especially when the trees are very young, since Table IV shows that there has been a general remission of symptoms since 1981, whereas, according to Table VII, calcium contents have not increased since 1979. In 1982, the mean content in the experiment was 0.103 p. 100 for leaf 9, whereas it was only 0.086 p. 100 in 1980 ; this increase is probably due to the general application of calcium fertilizers (Table II). At 5 years of age, the symptoms have completely disappeared from the seed garden, but the young trees are heterogeneous and poorly-developed ; the stem, in particular, is slender.

IV. — EFFECT OF CALCIUM FERTILIZER ON GROWTH

1. — The leaf system.

The application of tricalcium phosphate was the only treatment to have a positive effect on growth. This effect was clear from 3 years of age onward on the size of the root bulb, and the following year on the number of leaflets of leaf 3. Leaf production, on the contrary, was not affected (Table IX).

The effect of calcium on the growth of the Yellow Dwarfs was confirmed in DA-ES 115, in which, since March 1983 (3 years after the trial was set up), trees receiving calcium fertilizer have longer leaves than control trees. This more rapid growth of the young coconuts in DA-ES 115 receiving various calcium fertilizers (lime, tricalcium phosphate, dolomite) is accompanied by an increase in calcium contents, with that of the control being very low (0.082 p. 100), the maintenance of satisfactory phosphorus contents, and a decrease in magnesium contents, which nevertheless remain satisfactory on account of calcium antagonism (Table X). Potassium contents are unchanged.

In general, in both DA-CC 3 and DA-ES 115, natural soil and leaf calcium contents are low or very low whereas phosphorus levels are not deficient. Also, only calcium contents are increased by tricalcium phosphate application. The partial correlation coefficients show that measurements of growth are much more strongly linked to calcium than to phosphorus (Table XI). The « growth — calcium content » relationship is shown in Figure 4.

$$(1) \text{ Mc Kinsey value per plot} = \frac{\text{sums of individual scores}}{\text{No. of trees} \times \text{max. score (3)}} \times 100$$

