

Nutrition minérale des cocotiers hybrides sur tourbe, de la pépinière à l'entrée en production

Hybrid coconut mineral nutrition on peat, from the nursery to the start of production

X. BONNEAU⁽¹⁾, R. OCHS⁽²⁾, L. QUSAIRI⁽³⁾, L. NURLAINI LUBIS⁽³⁾

Résumé. — La société Riau Sakti United Plantations a développé une plantation de cocotiers hybrides de 18 000 ha sur les tourbes profondes de la province de Riau en Indonésie, avec l'appui technique de l'IRHO-CIRAD. La nutrition minérale des jeunes cocotiers sur ce milieu purement organique a posé de très nombreux problèmes, qui ont été traités par une expérimentation intensive destinée à produire et à ajuster en temps réel un barème de fumure à l'usage de la plantation commerciale. Les principaux résultats expérimentaux sont exposés et interprétés en termes de réponse aux engrais et de référence pour le diagnostic foliaire. La nutrition minérale est caractérisée par une très forte déficience azotée, qui s'accompagne d'une déficience modérée en phosphore et en potassium. Sur le plan des micro-éléments, la nutrition est dominée par une très forte carence en cuivre, qui sera traitée dans un prochain article compte-tenu de son importance particulière, et par une déficience en fer, légère et transitoire. Il n'a pas encore été possible d'observer les effets éventuels des déficiences en bore et en zinc très sévères chez le palmier à huile sur tourbe en Malaisie, mais une faible dose des fertilisants correspondants a été maintenue en première année de plantation, par sécurité.

Mots clés. — Cocotier hybride, tourbe, nutrition minérale, barème de fumure, carence, engrais

INTRODUCTION

La société Riau Sakti United Plantations exploite une plantation de 18 000 ha de cocotiers hybrides, sur tourbe profonde, à Pulau Burung dans la province de Riau (Sumatra). Les premiers cocotiers ont été plantés en décembre 1986 : il s'agit en majorité d'hybrides PB 121 (NJM × GOA), avec quelques parcelles d'hybrides PB 111 (NRC × GOA).

Les problèmes d'aménagement de la tourbe et de mise en place de la cocoteraie sur ce milieu très particulier ont été traités dans un article précédent [16]. Ce deuxième article traite exclusivement de la nutrition minérale. Tous les éléments minéraux impliqués, ainsi que leurs interactions, sont passés en revue, à l'exception du cuivre. En effet, cet oligo-élément est très vite apparu comme étant le premier facteur limitant la croissance des jeunes cocotiers et méritait, à ce titre, d'être traité séparément dans un prochain numéro d'*Oléagineux*.

Abstract. — The Riau Sakti United Plantations company has set up an 18,000-ha hybrid coconut plantation on deep peat soils in Riau Province, Indonesia, with technical support from IRHO/CIRAD. Mineral nutrition of young coconut palms on this purely organic medium has posed a large number of problems, which were tackled by an intensive experimental programme destined to draw up and adjust - in real time - a fertilizer schedule for use by the commercial plantation. The main experimental results are given and interpreted in terms of response to fertilizers and references for leaf analysis. Mineral nutrition is characterized by a very severe nitrogen deficiency, combined with moderate phosphorus and potassium deficiencies. As far as trace elements are concerned, nutrition is dominated by a very severe copper deficiency, which in view of its importance will be covered in a subsequent article, and by a slight, temporary iron deficiency. It has not yet been possible to observe the effects, if any, of the very severe boron and zinc deficiencies seen in oil palm on peat in Malaysia, but a small amount of the corresponding fertilizer was applied in the first year after planting, as a precautionary measure.

Key words. — Hybrid coconut, peat, mineral nutrition, fertilizer schedule, deficiency, fertilizer.

INTRODUCTION

The Riau Sakti United Plantations company runs an 18,000-ha hybrid coconut plantation on deep peat at Pulau Burung in Riau Province (Sumatra). The first trees were planted in December 1986, mostly PB 121 (MYD × WAT) hybrids, with a few plots of PB 111 (CRD × WAT).

Problems with peat improvement and planting coconut on this very specific medium were discussed in a previous article [16]. This second article deals only with mineral nutrition. All the mineral elements involved, and their interactions, are discussed, with the exception of copper. This trace element rapidly proved to be the major factor limiting young coconut growth, and was therefore deemed worthy of a separate article in a subsequent issue of *Oléagineux*.

(1) Agronome cocotier, CIRAD-CP, C/O P.T. Multiagro Corp. Jalan IR. J. Juanda III/11 A - 10120 Jakarta (Indonésie)

(2) Directeur de l'Unité de Recherche Agronomie CIRAD-CP - BP 5035 - Avenue du Val de Montferrand - 34032 Montpellier Cedex (France)

(3) Agronome, Division Expérimentation, RSUP - 14440 Jakarta (Indonésie)

(1) Coconut Agronomist, CIRAD-CP, C/O P.T. Multiagro Corp. Jalan IR. J. Juanda III/11 A - 10120 Jakarta (Indonesia)

(2) Director, Agronomy Research Unit CIRAD-CP - BP 5035 - Avenue du Val de Montferrand - 34032 Montpellier Cedex (France)

(3) Agronomist, Experimentation Division, RSUP - 14440 Jakarta (Indonesia)

TABLEAU I. — Analyse chimique de la tourbe de Pulau Burung (KM.5) — (Chemical analysis of the peat at Pulau Burung (KM.5))

Analyse chimique (Chemical analysis)	Horizon (Horizon)	
	0-20 cm	20-40 cm
C % m.s. (C % d.m.)	40.9	43.3
N % m.s. (N % d.m.)	1.7	1.5
C/N (C:N)	24	28
pH eau (pH water)	4.0	3.9
P total mg/dm ³ (total P mg/dm ³)	49	31
Elements totaux ppm m.s. (Total elements ppm d.m.)		
Fe	405	245
Al	430	430
Mn	37	12
Cu	2.3	2.0
Zn	12.5	5.0
Bases échangeables meq/100 cm ³ (Exchangeable bases meq/100 cm ³)		
Ca	0.23	0.05
Mg	0.35	0.21
K	0.04	0.03
Na	0.05	0.03
H	0.16	0.22
C.E.C.	0.83	0.54

m.s. = matière sèche (d.m. = dry matter)

PROPRIETES CHIMIQUES DE LA TOURBE

Les caractéristiques chimiques moyennes de la tourbe sont données dans le tableau I. Les résultats sont exprimés en teneurs d'éléments nutritifs par unité de volume et non par unité de poids, comme cela se fait habituellement en sol minéral. En effet, la densité apparente de la tourbe, même compactée, est très faible, 10 à 15 fois moindre que celle d'un sol minéral. Ainsi, tandis qu'un volume de 100 cm³ contient un peu plus de 100 g de sol minéral sec, le même volume ne contient qu'environ 10 g de tourbe sèche. Or la disponibilité des ions nutritifs pour les racines dépend du volume de sol exploré. Par conséquent, si l'on veut comparer directement les propriétés chimiques d'une tourbe à celles d'un sol minéral, il est préférable de les exprimer plutôt en teneurs par unité de volume que par unité de poids.

En première approximation, il fallait donc s'attendre à une forte déficience en potassium, avec 0,05 meq de K pour 100 cm³ en regard d'un niveau critique de 0,15 meq pour 100 g en sol minéral. Il en était de même pour le phosphore, très inférieur au seuil de 400 mg par dm³ considéré comme le minimum nécessaire en sol minéral. Les teneurs en azote total, apparemment satisfaisantes mais assorties d'un rapport C/N élevé, laissaient également présager une déficience en azote après drainage et développement de la vie microbienne aérobie. Il n'y avait guère que le magnésium qui pouvait être considéré comme suffisamment représenté pour éviter toute déficience ; faiblesse également des éléments mineurs, dont on savait, par ailleurs, qu'ils pouvaient entrer dans certains complexes insolubles avec la matière organique. Cette pauvreté minérale de la tourbe s'explique en partie par un effet de dilution progressive : la végétation n'a plus la possibilité de s'alimenter aux dépens du substrat minéral devenu inaccessible et puise en cycle fermé sur les réserves accumulées à l'origine. Le magnésium résiste à cette dilution, grâce à la richesse du substrat (argiles magnésiennes) qui a permis à la végétation initiale d'accumuler des teneurs plus élevées.

CHEMICAL PROPERTIES OF PEAT

The average chemical characteristics of the peat are given in table I. The results are expressed in nutrient element contents per unit of volume and not per unit of weight, as generally the case with mineral soils. In effect, the bulk density of the peat, even when compacted, is very low: 10 to 15 times lower than that of mineral soils. Hence whereas 100 cm³ contains a little over 100 g of dry mineral soil, the same volume only contains around 10 g of dry peat. Nutrient ion availability to roots depends on the volume of soil penetrated, and as a result, if the aim is to make a direct comparison of the chemical properties of peat and those of mineral soil, it is preferable to express them in contents per unit of volume than per unit of weight.

As a first approximation, a severe potassium deficiency was to be expected, with 0.05 meq of K per 100 cm³ compared to a critical level of 0.15 meq for 100 g in mineral soils. The same goes for phosphorus, which was well below the threshold of 400 mg per dm³ considered as the minimum required in mineral soils. Total nitrogen contents, which were apparently satisfactory but combined with a high C:N ratio, also foreshadowed a nitrogen deficiency after drainage and the development of aerobic bacterial activity. Magnesium was practically the only element found in sufficient amount to prevent any deficiency; trace element quantities were also low, and they are known to form certain insoluble complexes with the organic matter. The mineral poverty of the peat can be partially explained by gradual dilution: the vegetation is no longer able to draw nutrients from the mineral substrate which has become inaccessible, and draws on reserves built up originally, in a closed cycle. Magnesium resists this dilution due to the richness of the substrate (magnesian clays) which enabled the initial vegetation to build up higher contents.

Par ailleurs, les résultats obtenus sur tourbe en Malaisie avec le palmier à huile [7] [8] [10] [11] [12] [14] montrent de fortes réponses au potassium et à l'azote minéral pour les éléments majeurs, et au fer, au cuivre, au zinc et au bore pour les éléments mineurs. Il était donc certain que la nutrition des cocotiers poserait de nombreux problèmes et qu'il était nécessaire d'envisager une expérimentation très ouverte à l'origine pour ne pas risquer d'omettre un des multiples éléments susceptibles d'intervenir.

DISPOSITIF D'ETUDE

Le premier barème de fumure utilisé dans la plantation a été conçu, à l'origine, à partir des résultats expérimentaux obtenus en Malaisie, notamment par l'unité de recherches de l'UPB (United Plantations Berhad) sur palmier à huile [8] [18]. Deux expériences de base ont été mises en place sur les toutes premières parcelles plantées, dans le cadre d'une petite unité de recherches d'accompagnement, créée à cet effet dès le début des travaux.

La première expérience : RS CC 01, est un dispositif factoriel 3^3 (3 facteurs à 3 niveaux) et 2 répétitions, étudiant les trois éléments majeurs N, P et K, avec une application généralisée des autres éléments susceptibles d'intervenir.

La deuxième expérience : RS CC 02, est un dispositif factoriel 2^5 (5 facteurs à 2 niveaux : présence ou absence) et 1 répétition, étudiant d'autres éléments suspectés d'être déficients : Cu, Zn, B, Ca et même Mg, avec une application généralisée de N, P et K déterminée par RS CC 01.

Ces deux expériences avaient pour but d'ajuster en temps réel les barèmes de fumure commerciale. Le réseau expérimental ainsi créé s'est ensuite enrichi d'autres expériences ou essais pour étudier les imprévus, par exemple la déficience en fer, et pour préciser et développer les résultats obtenus dans les premières expériences de référence (doses, forme et modalités d'apport des fumures).

Dans les expériences, la dose 0 indique le témoin absolu (pas d'apport d'engrais correspondant) et la dose 1 le niveau du barème commercial standard, dont les doses augmentent bien entendu progressivement en fonction de l'âge des cocotiers : la dose 2 étant égale au double de la dose 1. L'âge des cocotiers est exprimé en mois, m0 étant, dans les tableaux, le mois de mise en place en pépinière ou en champ, suivant les essais.

ELEMENTS MAJEURS

Azote-N

L'expérience de référence RS CC 01 a très vite montré un effet spectaculaire de l'azote, apporté sous forme d'urée (46 % N), comme le montre le tableau II.

L'effet améliorateur de l'urée est très démonstratif : les cocotiers témoins sans urée (N0) sont chétifs, avec des feuilles peu nombreuses, courtes, de couleur vert pâle, et une très faible nouaison, tandis que les cocotiers traités à l'urée (N1 et N2) développent un port typique d'hybride PB 121 bien nourri, avec de nombreuses feuilles longues, de couleur vert foncé, et des couronnes chargées en noix. Les fortes doses d'urée (N2) améliorent la circonférence au collet de 20 % environ pendant les deux premières années, tandis que le nombre de feuilles émises augmente de 44 % en troisième année ; les cocotiers N2 ont aussi 36 % de feuilles vertes en plus que les cocotiers N0, à trois ans.

Parallèlement aux observations de terrain, des analyses foliaires annuelles ont été effectuées (Tableau III).

Sachant qu'il y a une amélioration notable de nouaison et de production précoce entre N1 et N2, il est très probable que

Furthermore, the results obtained on peat in Malaysia with oil palm [7] [8] [10] [11] [12] [14] showed marked responses to potassium and mineral nitrogen as far as the major elements are concerned, and to iron, copper, zinc and boron (trace elements). It was therefore clear that coconut nutrition would pose numerous problems and that it was essential to plan very wide-ranging experiments from the outset so as not to overlook one of the many elements that may be involved.

STUDY DESIGN

The first fertilizer schedule used at the plantation was originally based on the experimental results obtained in Malaysia, notably by the UPB (United Plantations Berhad) research unit on oil palm [8] [18]. Two basic experiments were set up on the very first plots planted as part of a small adaptive research unit set up at the start of the work.

The first experiment - RS CC 01 - is a 3^3 factorial design (3 factors on 3 levels) with 2 replicates, studying the three major elements N, P and K, with a blanket application of the other elements likely to be involved.

The second experiment - RS CC 02 - is a 2^5 factorial design (5 factors on 2 levels: with or without) with 1 replicate, studying other elements likely to be deficient: Cu, Zn, B, Ca and even Mg, with a blanket N, P, K application determined by RS CC 01.

The aim of these two experiments was to adjust commercial fertilizer schedules in real time. The experimental network set up was then strengthened with other experiments or trials to study unforeseen, such as iron deficiency, and to fine tune and develop the results obtained in the first reference trials (fertilizer rates, forms and application methods).

In the trials, rate 0 is the absolute control (no corresponding fertilizer applications) and rate 1 the level in the standard commercial schedule, in which the rates obviously increase in line with tree age. Rate 2 is double rate 1. The age of the coconut palms is expressed in month, m0 being the month of planting in nursery or field, according to the trials.

MAJOR ELEMENTS

Nitrogen-N

Reference trial RS CC 01 rapidly showed the spectacular effect of nitrogen applied in the form of urea (46% N), as shown in table II.

The positive effect of urea is clearly visible: the control trees without urea (N0) are stunted, with few, short, pale green leaves and a very poor fruit set rate, whereas the trees given urea (N1 and N2) develop a growth habit typical of well nourished PB 121 hybrids, with numerous long, dark green leaves and well loaded crowns. High urea rates (N2) improve girth by around 20% during the first two years, whilst the number of leaves emitted increases by 44% in year 3; the N2 trees also have 36% more green leaves than the N0 trees at three years.

At the same time as field observations, leaf analyses were also carried out (Table III).

Given that there is a marked improvement in fruit set and early production between N1 et N2, it is highly likely that the

TABLEAU II. — RS CC 01 - Croissance et nouaison des jeunes cocotiers hybrides PB 121 en fonction de la dose d'urée — (RS CC 01 - Young PB 121 coconut hybrid growth and fruit set depending on urea rate)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)					Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)		Longueur de feuille (Leaf length) (cm)		Nombre de feuilles vertes par arbre (Number of green leaves per tree)		% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)			Nombre de noix par arbre (Number of nuts per tree)	
	m8	m14	m20	m26	m32	m8 à m20 (m8 to m20)	m20 à m32 (m20 to m32)	m38 (F9)	m50 (F14)	m38	m50	m29	m35	m41	90-91 4e année (Year 4)	91-92 5e année (Year 5)
N0	46.0	53.1	72.5	86.5	105.2**	10.6	9.8	385	431	15.5	19.9	0	14	21	0.3	7.1
N1	54.6**	64.3**	86.2**	101.1**	113.5**	12.3**	13.3**	433**	476**	20.8**	23.6**	18**	73**	80**	5.4**	38.8**
N2	54.3**	63.9**	86.0**	102.1**	113.1**	12.4**	14.1**	432**	483**	21.1**	23.1**	32**	75**	86**	10.9**	52.2**

TABLEAU III. — RS CC 01 - Evolution des teneurs foliaires en azote — (RS CC 01 - Leaf nitrogen content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en N (N contents) (%)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
N0	1.542	1.699	1.608	1.379	1.752
N1	1.762**	1.934**	2.029**	1.819**	2.126**
N2	1.852**	1.998**	2.138**	2.032**	2.229**

TABLEAU IV. — RS ES 41 - Croissance des plants de pépinière en fonction de la dose d'urée — (RS ES 41 - Plant growth in the nursery depending on urea rates)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)			Hauteur du plant (Plant height)		Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves)	Teneur foliaire en N% (F1) (Leaf N content -%, L1)
	m2	m5	m7	m5	m7	m7	m7
N0	10.0	17.1	23.7	111	150	8.0	1.716
N1	10.0	18.2	26.0	117	167*	8.4*	2.157**
N2	10.2	19.2*	26.9*	120	174**	8.5*	2.446**

le niveau critique soit au moins égal à celui de la dose N2, c'est-à-dire, supérieur ou égal à :

- 2.0 % dans la feuille 4
- 2.1 % dans la feuille 9
- 2.0 % dans la feuille 14 (jeunes cocotiers en début de production).

Ces valeurs sont donc au moins équivalentes aux niveaux critiques de référence en sol minéral (2.2 % N dans les feuilles 4 et 9, 2.1 % N dans la feuille 14).

Par ailleurs, deux essais d'accompagnement : RS ES 42 et RS ES 43, comparant l'action de l'urée et du sulfate d'ammoniaque (cf paragraphe "soufre-S") ont parfaitement confirmé l'effet prépondérant de l'azote, avec des niveaux critiques similaires.

De plus, un essai de pépinière : RS ES 41, a indiqué aussi une très forte réponse des plants de cocotiers à l'urée (Tableau IV). Sachant qu'il y a encore un supplément de croissance entre N1 et N2, on en déduit que le niveau critique en N dans la feuille 1 sur tourbe est au moins égal à 2.2 %, valeur notablement supérieure au niveau critique de référence en sol minéral (1.7 % N dans la feuille 1).

Toutes ces expériences montrent donc, de façon parfaitement claire, qu'il existe une forte carence en azote minéral sur la tourbe de Pulau Burung. Des apports d'engrais azoté (urée) s'avèrent indispensables et très efficaces. La figure 1

critical level is at least equal to rate N2, i.e. equal to or more than:

- 2.0% in leaf 4
- 2.1% in leaf 9
- 2.0% in leaf 14 (young trees starting to bear)

These values are therefore at least equal to the reference critical levels for mineral soils (2.2% N in leaves 4 and 9, 2.1% N in leaf 14).

Furthermore, two adaptive trials - RS ES 42 and RS ES 43 - comparing the effect of urea and ammonium sulphate (see paragraph "sulphur-S") entirely confirmed the predominant nitrogen effect, with similar critical levels. In addition, a nursery trial - RS ES 41 - also showed that coconut seedlings respond very well to urea (Table IV).

Given that there is also additional growth between N1 and N2, it can be deduced that the critical N level in leaf 1 on peat is at least equal to 2.2%, which is considerably higher than the reference critical level on mineral soils (1.7% N in leaf 1).

All these experiments therefore clearly show that there is a severe mineral nitrogen deficiency in the peat soils at Pulau Burung. Nitrogen fertilizer (urea) applications prove es-

montre de jeunes cocotiers de quatre mois seulement, ayant déjà réagi aux premières applications d'urée (ligne de gauche), par rapport aux cocotiers témoins sans urée (ligne de droite).

Phosphore-P

L'expérience de référence RS CC 01 fait apparaître un effet positif de l'engrais phosphaté (TSP à 46 % P₂O₅, puis RP à 15-20 % P₂O₅), comme l'indique le tableau V. L'effet améliorateur de l'engrais phosphaté est léger, intermittent, mais significatif : + 10 à 15 % sur la circonférence au collet entre P0 et P1 pendant les deux premières années, + 5 % environ entre P0 et P1 sur le nombre de feuilles émises. Le tableau VI montre l'évolution des teneurs foliaires en P, pour les cocotiers du traitement N2 seulement. En effet, étant donné l'étroite corrélation positive N-P, bien connue et vérifiée sur tourbe (cf paragraphe "Interaction positive N-P"), si l'on veut mettre en évidence l'effet propre du phosphore, il faut que les teneurs en azote ne soient pas limitantes.

Sachant qu'il y a une amélioration significative de croissance entre P0 et P1, mais pas entre P1 et P2, nous pouvons admettre que le niveau critique en phosphore sur tourbe se situe entre la dose P0 et la dose P1, soit entre :

- 0.140 et 0.165 % dans la feuille 4
- 0.130 et 0.145 % dans la feuille 9
- 0.120 et 0.140 % dans la feuille 14 (jeunes cocotiers en début de production).

Pour la feuille 4, le niveau critique est légèrement au-dessus du niveau critique de référence (0.140 % P). Pour les feuilles 9 et 14, ces valeurs encadrent bien le niveau critique de référence sur sol minéral (0.135 % P).

essential and extremely effective. Figure 1 shows young coconut palms aged only four months which have already responded to the first urea applications (row on the left), compared to control trees without urea (row on the right).

Phosphorus-P

Reference trial RS CC 01 shows a positive effect of phosphate fertilizer (TSP at 46% P₂O₅, then RP at 15-20% P₂O₅), as seen in table V. The positive effect of phosphate fertilizer is slight and intermittent, but significant: + 10 to 15% on girth between P0 and P1 during the first two years and around + 5% on the number of leaves emitted. Table VI shows leaf P content trends for treatments in N2 alone. In effect, given the close positive N:P correlation, which is widely known and proved on peat (see section "Positive N-P interaction"), if the aim is to detect the effect of phosphorus alone, the nitrogen contents must not be a limiting factor.

Given that there is a significant increase in growth between P0 and P1, but not between P1 and P2, it can be assumed that the critical phosphorus level on peat is between rate P0 and rate P1, i.e. between:

- 0.140 and 0.165% in leaf 4
- 0.130 and 0.145% in leaf 9
- 0.120 and 0.140% in leaf 14 (young trees just starting to bear)

For leaf 4, the critical level is slightly above the reference critical level (0.140% P). For leaves 9 and 14, the values are close to the reference critical level on mineral soils (0.135% P).

TABLEAU V. — RS CC 01 - Croissance et nouaison des jeunes cocotiers hybrides PB 121 en fonction de la dose de rock phosphate — (RS CC 01 - Young PB 121 coconut hybrid growth and fruit set depending on rock phosphate rate)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)					Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)		Longueur de feuille (Leaf length) (cm)		Nombre de feuilles vertes par arbre (Number of green leaves per tree)		% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)			Nombre de noix par arbre (Number of nuts per tree)	
	m8	m14	m20	m26	m32	m8 à m20 (m8 to m20)	m20 à m32 (m20 to m32)	m38 (F9) (L9)	m50 (F14) (L14)	m38	m50	m29	m35	m41	90-91 4e année (Year 4)	91-92 5e année (Year 5)
P0	47.2	54.9	76.7	91.1	107.7	11.4	11.9	401	455	19.1	21.7	13	44	55	4.9	27.8
P1	53.5**	63.3**	84.2**	95.0**	113.3**	12.0*	12.6*	426**	467	19.4	22.5*	18	60**	67**	7.1	37.4**
P2	54.1**	63.1**	83.8**	99.6**	111.2*	12.0*	12.6*	423**	468	18.9	22.3	19	59**	65**	4.7	32.9

TABLEAU VI. — RS CC 01 - Evolution des teneurs foliaires en phosphore — (RS CC 01 - Leaf phosphorus content trends)

Traitement (cocotiers N2) (Treatment) - N2 coconuts)	Teneurs en P (P contents) (%)									
	m9 (F4) (L4)		m21 (F4) (L4)		m33 (F9) (L9)		m45 (F14) (L14)		m57 (F14) (L14)	
P0	0.141		0.147		0.129		0.122		0.122	
P1	0.189**		0.166**		0.146**		0.141**		0.141**	
P2	0.215**		0.182**		0.155**		0.146**		0.149**	



FIG. 1. — Effet de l'urée sur de jeunes cocotiers âgés de 4 mois. Cocotiers traités à l'urée (ligne de gauche), cocotiers témoins sans urée (ligne de droite) — (Urea effect on young coconuts, 4 months old. Left row: effect of urea - Right row: control without urea)



FIG. 2. — Toxicité du T.S.P. en pépinière — (T.S.P. toxicity in nursery)

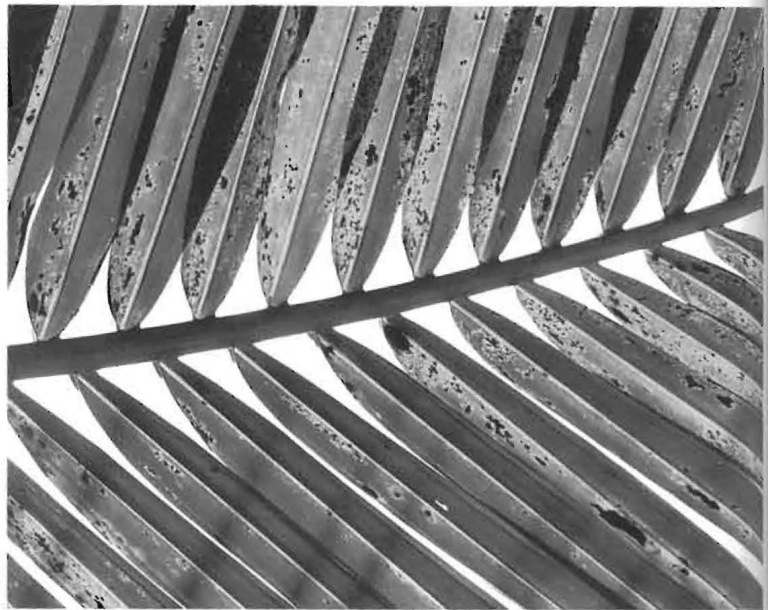


FIG. 3. — Toxicité du T.S.P. sur feuille de cocotier — (T.S.P. toxicity on coconut leaf)



FIG. 4. — Jeune cocotier carencé en potassium. Feuilles basses vite desséchées — (Potassium deficiency on young coconut. Rapid dry out of the lower leaves)

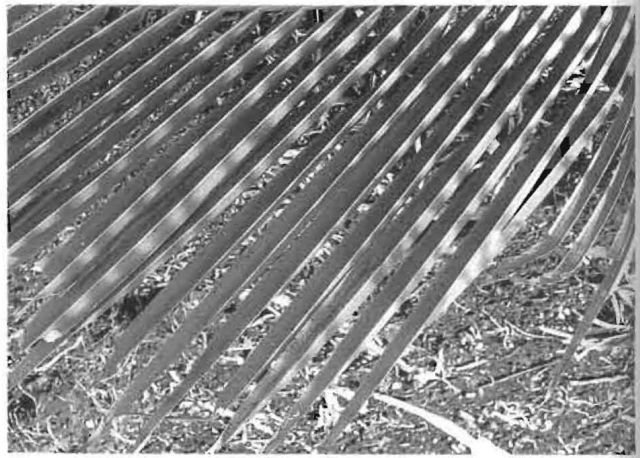


FIG. 5. — Jeune cocotier carencé en potassium. Taches rouilles sur le limbe — (Potassium deficiency on young coconut. Rust patches along the lamina)

L'essai d'accompagnement RS ES 28 compare l'effet du RP et celui du TSP (Tabl. VII), à des teneurs en azote non limitantes (elles sont soutenues par des apports d'urée sur tous les objets) et à même dose de P_2O_5 . De même que sur l'expérience de référence RS CC 01, l'engrais phosphaté a un effet positif peu spectaculaire, mais parfois significatif (sur le nombre de feuilles vertes, par exemple), le RP s'avère un peu meilleur que le TSP. On en déduit que le niveau critique en P se situe à une teneur proche de celle du traitement B (RP), soit : 0.155 % P dans la feuille 4, 0.135 % P dans la feuille 9, valeurs tout-à-fait cohérentes avec celles obtenues sur RS CC 01.

Il est important de noter que sur certaines expériences (RS CC 01, RS ES 28, RS ES 22) des phénomènes de toxicité ont été observés sur les parcelles traitées au phosphate super triple : de nombreuses petites taches brunes apparaissent sur le limbe des feuilles, très rapidement après l'apport de TSP (Fig. 2 et 3). Les premières analyses foliaires effectuées sur les jeunes cocotiers ont donné des teneurs en phosphore anormalement élevées, de l'ordre de 0.5 %, allant parfois jusqu'à 1.0 %.

Cette toxicité n'intervient pas, ou très peu, avec le phosphate de roche (RP), même à dose de P_2O_5 équivalente à celle du TSP, ce qui pourrait laisser supposer que la toxicité soit due non pas directement au phosphore, mais à une impureté contenue dans le TSP. Cependant, il est possible aussi que le phosphore du RP soit absorbé moins vite et moins massivement. Un essai de pépinière est en cours à ce propos. Quel qu'en soit le résultat, il est certain que le phosphore est très vite et très fortement assimilé par les cocotiers sur tourbe. Il faut donc limiter la dose d'engrais phosphaté apportée aux très jeunes cocotiers et utiliser le RP de préférence au TSP. Le niveau de toxicité en phosphore (si c'est vraiment lui seul qui est en cause) a été évalué à 0.22-0.24 % dans la feuille 1 sur l'essai de pépinière RS ES 22.

Ces expériences montrent donc qu'un apport d'engrais phosphaté sur tourbe est nécessaire, comme le laissait prévoir l'analyse chimique du substrat (Tabl. I). On emploiera le phosphate de roche RP, plus efficace que le phosphate super triple TSP, et surtout moins dangereux pour les très jeunes cocotiers, qui s'avèrent sensibles à un excès de TSP.

Potassium-K

L'expérience de référence RS CC 01 montre une absence d'effet, ou un effet sporadique limité de l'engrais potassique (chlorure de potasse à 60 % K_2O), comme en témoignent les tableaux VIII et IX. La dose K1.5 se distingue de la dose K0.5 par exemple sur la circonférence au collet : + 4 à 5 % à deux ans, sur le nombre de feuilles vertes : + 5 à 9 %. On notera que cette expérience ne comporte pas de vrai témoin 0, qui a été remplacé par une dose K0.5 égale à la moitié des doses du barème standard initial, car on s'attendait à une très forte carence en potassium.

Cet effet limité de l'engrais potassique est assez surprenant, compte-tenu des faibles teneurs en K échangeable de la tourbe (Tabl. I) et des réponses très nettes obtenues sur palmier à huile en Malaisie [8] [11].

Un essai complémentaire a donc été mis en place : RS ES 32, étudiant l'effet du chlorure de potasse à faible dose (Tabl. X). Cet essai prouve qu'il existe bien une carence potassique. Les cocotiers témoins K0 développent des symptômes tout à fait caractéristiques [3] : feuilles petites, peu nombreuses, se desséchant rapidement, les feuilles basses présentent souvent de nombreuses petites taches rouille alignées longitudinalement sur le limbe (Fig. 4 et 5). Mais de faibles doses de chlorure de potasse suffisent à surmonter cette déficience.

L'essai RS ES 32 montre, d'autre part, que le niveau critique en K est au moins égal à celui de la dose K0.5 (sachant qu'il y a un supplément de croissance entre K0.25 et K0.5),

Adaptive trial RS ES 28 compares the effects of RP and TSP (Table VII) at non-limiting nitrogen contents (maintained by urea applications on all the treatments), at the same rate of P_2O_5 . As in reference trial RS CC 01, phosphate fertilizer has a slight, but sometimes significant positive effect (for example on the number of green leaves), with RP slightly better than TSP. This suggests that the critical P level is close to the content in treatment B (RP), i.e. 0.155% P in leaf 4, 0.135% P in leaf 9; these values tally entirely with those obtained in RS CC 01.

It is important to note that toxicity symptoms had been observed in several trials (RS CC 01, RS ES 22, RS ES 28) where Triple Super Phosphate was used : numerous small brown patches appear on the leaf lamina very soon after TSP applications (Figures 2 and 3). The first leaf analyses carried out on young coconut palms showed abnormally high phosphorus contents of around 0.5%, sometimes up to 1.0%.

This toxicity is never, or hardly ever, seen with rock phosphate (RP), even at the same P_2O_5 rate as the TSP, which suggests that the toxicity may not be directly due to the phosphorus but to an impurity in the TSP. However, it is also possible that the phosphorus in the RP may be taken up more slowly and in smaller quantities. A nursery trial is currently looking into this. Irrespective of the result, it is clear that large quantities of phosphorus are very quickly taken up by coconut on peat. The phosphate fertilizer rate applied on young coconuts should therefore be limited and RP used rather than TSP. The level at which phosphorus becomes toxic (if phosphorus alone is indeed the cause) was estimated at 0.22-0.24% in leaf 1 in nursery trial RS ES 22.

These experiments therefore show the need for phosphate fertilizer applications on peat, as could be expected given the chemical analysis of the substrate (Table I). Rock phosphate - RP - will therefore be used, as it is more effective than triple super phosphate - TSP - and above all, less dangerous for very young trees, which prove sensitive to excess TSP.

Potassium-K

Reference trial RS CC 01 shows the nonexistent or limited, sporadic effect of potassium fertilizer (potassium chloride at 60% K_2O), as shown in tables VIII and IX. Rate K1.5 distinguishes itself from rate K0.5 by girth measurements: + 4 to 5% at two years, and the number of green leaves: + 5 to 9%. It is worth remembering that this experiment does not have a true 0 control, which was replaced by a K0.5 rate equal to half the rate in the initial standard schedule, since a very severe potassium deficiency was expected.

This limited effect of potassium fertilizer is somewhat surprising, given the low exchangeable K content of peat (Table I) and the very marked responses obtained on oil palm in Malaysia [8] [11].

An additional trial was therefore set up: RS ES 32, studying the effect of potassium chloride at low rates (Table X). The trial proves that there is indeed a potassium deficiency. The K0 control coconuts develop typical symptoms [3]: few, small leaves that dry out rapidly, often with numerous small rust patches along the lamina of the lower leaves (Fig. 4 and 5). However, low rates of potassium chloride are sufficient to overcome this deficiency.

Trial RS ES 32 shows that the critical K level is at least equal to that of rate K0.5 (given that there is an increase in growth between K0.25 and K0.5), whilst experiment RS CC 01 shows that it is not much higher than rate K0.5. The critical potassium level on peat can therefore be estimated

TABLEAU VII. — RS ES 28 - Croissance et floraison des jeunes cocotiers — (RS ES 28- Young coconut growth and flowering)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)			Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves)	% d'arbres avec symtôme(1) (% of trees with symptoms)	% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)				Teneurs foliaires en P (Leaf P contents) (%)		
	m12	m24	m36			m36	m36	m27	m30	m33	m36	m6 (F4) (L4)
T (témoin) (C - control)	69.4	106.2	121.9	21.2 b	0.0 b	14.1	44.4	58.5	63.0	0.150 b	0.105 b	0.114 c
A (TSP)	71.6	111.0	126.3	19.7 c	75.9 a	31.7	51.9	71.6	74.1	0.160 a	0.205 a	0.177 a
B (RP)	72.0	109.3	122.9	22.2 a	3.1 b	16.3	66.0	79.0	81.9	0.155 ab	0.148 ab	0.137 b

(1) Taches brunes sur le limbe des feuilles — (Brown patches on the leaf lamina)

TABLEAU VIII. — RS CC 01 - Croissance et nouaison des jeunes cocotiers hybrides PB 121 en fonction de la dose de chlorure de potasse — (RS CC 01 - Young PB 121 coconut hybrid growth and fruit set depending on potassium chloride)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)					Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)		Longueur de feuille (Leaf length) (cm)		Nombre de feuilles vertes par arbre (Number of green leaves per tree)		% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)			Nombre de noix par arbre (Number of nuts per tree)	
	m8	m14	m20	m26	m32	m8 à m20 (m8 to m20)	m20 à m32 (m20 to m32)	m38 (F9) (L9)	m50 (F14) (L14)	m38	m50	m29	m35	m41	90-91 4e année (Year 4)	91-92 5e année (Year 5)
K0.5	50.8	61.1	80.6	95.0	109.3	11.8	12.1	412	462	18.4	21.6	14	51	57	4.3	29.7
K1	51.5	59.5	79.6	95.9	110.5	11.6	12.2	417	461	18.9	22.3*	17	54	61	5.6	29.6
K1.5	52.6	60.7	84.4*	98.8*	112.3	12.0	12.8*	421	468	20.0*	22.6*	19	58*	68*	6.9	38.8*

TABLEAU IX. — RS CC 01 - Evolution des teneurs foliaires en potassium — (Leaf potassium content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en K % (K contents %)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
K0.5	2.551	2.472	2.291	1.577	1.467
K1	2.691**	2.560*	2.473**	1.764**	1.590
K1.5	2.768**	2.636**	2.572**	1.892**	1.607

TABLEAU X. — RS ES 32 - Croissance et floraison des jeunes cocotiers — (RS ES 32- Young coconut growth and flowering)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)					Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves)			% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)			Teneurs en K % (K contents %)				
	m6	m12	m18	m24	m30	m36	m18	m24	m30	m24	m30	m36	m6 (F4) (L4)	m12 (F4) (L4)	m18 (F4) (L4)	m24 (F14) (L14)
K0	36.7	51.0 b	67.0 b	93.2 b	98.2 b	100.5 b	11.0 b	13.9 b	15.1 c	12.3	45.2	51.1	1.259 c	1.506 c	1.305 c	0.691 c
K0.25	39.5	60.8 a	75.0 a	99.5 ab	104.6 ab	108.3 a	13.0 a	16.0 a	18.1 b	21.4	59.4	65.1	1.778 b	2.297 b	1.807 b	1.342 b
K0.5	39.1	60.9 a	78.2 a	106.1 a	110.3 a	111.5 a	13.7 a	17.2 a	19.8 a	26.0	64.2	73.0	2.008 a	2.471 a	1.964 a	1.580 a

TABLEAU XI. — RS ES 41 - Croissance des plants de pépinière en fonction de la dose de chlorure de potasse — (RS ES 41 - Plant growth in the nursery depending on the potassium chloride rate)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)			Hauteur du plant (Plant height) (cm)		Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves)	Teneurs en K % (F1) (K contents % - L1)
	m2	m5	m7	m5	m7		
K0	10.2	16.7	22.9	113	156	8.2	2.623
K1	10.0	18.9*	26.9*	117	168	8.5	3.458**
K2	10.0	18.9*	26.7*	118	167	8.3	3.611**

tandis que l'expérience RS CC 01 montre qu'il n'est pas très supérieur à celui de la dose K0.5. Nous pouvons donc évaluer le niveau critique en potassium sur tourbe à environ 2.0 % dans la feuille 4 et à 1.5 à 1.6 % dans la feuille 14 (jeunes cocotiers en début de production).

Ces valeurs sont légèrement au-dessus des niveaux critiques de référence en sol minéral (respectivement : 2.0 % K dans la feuille 4, 1.7 % K dans la feuille 9, 1.4 % K dans la feuille 14).

L'essai en pépinière RS ES 41 indique que la déficience en potassium commence à ce stade sur les très jeunes plants de cocotier en sac (Tabl. XI). Il existe une différence de croissance, parfois significative, entre K0 et K1, mais pas entre K1 et K2, ce qui signifie que le niveau critique se situe entre la dose K0 et la dose K1, soit entre 2.6 et 3.4 % K. Ceci est conforme au niveau critique de référence en sol minéral : 3.0 % K dans la feuille 1.

L'ensemble de ces résultats confirme l'existence d'une déficience naturelle en potassium sur la tourbe de Pulau Burung. Cependant, contrairement à ce que laissait prévoir l'analyse chimique (très faible teneur en K échangeable), des doses modérées d'engrais potassique (chlorure de potasse) suffisent à assurer une croissance optimale des jeunes cocotiers. Il est probable cependant que les besoins en K des cocotiers hybrides vont augmenter avec l'exportation des récoltes, et qu'il sera sans doute nécessaire d'ajuster à la hausse la fumure potassique des cocotiers adultes en pleine production.

Calcium-Ca

L'expérience de référence RS CC 02 montre une totale absence d'effet du calcium (Tabl. XII), apporté sous forme de calcaire broyé (55 % CaO), malgré de fortes doses (3 kg CaCO₃ par arbre et par an pour le traitement Ca1). Ceci est surprenant, compte-tenu de l'acidité de la tourbe, dont le pH varie de 3.5 à 4.0 (Tabl. I). Mais il est probable que le milieu tourbeux est fortement tamponné [13], d'où la difficulté de relever le pH. Quoiqu'il en soit, il s'avère que les cocotiers hybrides tolèrent bien l'acidité.

Le niveau critique en calcium sur tourbe peut donc être considéré comme inférieur ou égal à :

- 0.145 % dans la feuille 4,
- 0.155 % dans la feuille 9,
- 0.100 % dans la feuille 14 (jeunes cocotiers en début de production).

Ce sont des valeurs faibles par rapport à celles enregistrées habituellement sur sol minéral, mais elles sont cohérentes avec un niveau de carence de 0.1 % Ca [4].

Pour le moment, et après six ans d'expérimentation, il n'y aurait donc pas lieu d'apporter de l'engrais calcique aux jeunes cocotiers sur tourbe, sauf si, exceptionnellement, la teneur en Ca devenait inférieure à 0.1 %.

Magnesium-Mg

L'expérience de référence RS CC 02 montre également une totale absence d'effet du magnésium (Tabl. XIII), apporté sous forme de kiesérite (27 % MgO) puis de dolomite (18 % MgO). Cette absence de réponse était prévisible, étant donné la relative richesse naturelle de la tourbe de Pulau Burung en Mg échangeable (Tabl. I). Sur la plantation commerciale, les teneurs foliaires en Mg sont le plus souvent largement supérieures à 0.2 % (niveau critique de référence en Mg dans la feuille 14 sur sol minéral).

Le niveau critique en magnésium sur tourbe peut donc être considéré comme inférieur ou égal à :

- 0.300 % dans la feuille 4
- 0.275 % dans la feuille 9
- 0.245 % dans la feuille 14 (jeunes cocotiers en début de production).

ted at around 2.0% in leaf 4 and 1.5 to 1.6% in leaf 14 (young trees just starting to bear).

These values are slightly above the reference critical levels for mineral soils (2.0% K in leaf 4, 1.7% in leaf 9 and 1.4% in leaf 14).

Nursery trial RS ES 41 shows that the potassium deficiency begins at this stage, on very young coconut seedlings in bags (Table XI). There is a sometimes significant increase in growth between K0 and K1, but not between K1 and K2, which suggests that the critical level is between rate K0 and rate K1, i.e. between 2.6 and 3.4% K. This tallies with the reference critical level on mineral soils: 3.0% K in leaf 1.

These results confirm the existence of a natural potassium deficiency in the peat soils at Pulau Burung. However, contrary to what may have been expected given the chemical analysis (very low exchangeable K content), moderate rates of potassium fertilizer (potassium chloride) are sufficient to ensure optimum growth of young coconuts. However, hybrid coconut K requirements are likely to increase with harvest exports, and it will undoubtedly be necessary to step up potassium fertilizer rates on adult coconuts once they reach peak production levels.

Calcium-Ca

Reference trial RS CC 02 shows that calcium, applied in the form of crushed limestone (55 % CaO) (Table XII) has no effect whatsoever, despite high rates being applied (3 kg of CaCO₃ per tree per year in treatment Ca1). This is surprising, given the acidity of the peat, whose pH varies from 3.5 to 4.0 (Table I). However, the peat medium is probably highly neutralized [13], hence the difficulty in measuring pH. Whatever the case, the hybrid coconuts are seen to tolerate acidity well.

The critical calcium level on peat can therefore be considered to be less than or equal to:

- 0.145% in leaf 4,
- 0.155% in leaf 9,
- 0.100% in leaf 14 (young trees just starting to bear).

These values are low compared to those generally recorded on mineral soils, but tally with a deficiency threshold of 0.1% Ca [4].

For the time being, after six years of experiments, it is not necessary to apply calcium fertilizer on young coconuts on peat except in the very unlikely event of Ca contents falling below 0.1%.

Magnesium-Mg

Reference trial RS CC 02 also shows that magnesium, applied in the form of kieserite (27% MgO) and then dolomite (18% MgO) has no effect either (Table XIII). This lack of response was predictable, given the relative natural richness in exchangeable Mg of the peat soils at Pulau Burung (Table I). In the commercial plantation, leaf Mg contents are generally over 0.2% (reference critical Mg level in leaf 14 on mineral soils).

The critical magnesium level on peat can therefore be considered to be less than or equal to:

- 0.300% in leaf 4
- 0.275% in leaf 9
- 0.245% in leaf 14 (young trees just starting to bear).

TABLEAU XII. — RS CC 02 - Evolution des teneurs foliaires en calcium — (RS CC 02 - Leaf calcium content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en Ca % (Ca contents %)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
CaO	0.208	0.146	0.155	0.143	0.103
CaI	0.213	0.149	0.160	0.165**	0.126**

TABLEAU XIII. — RS CC 02 - Evolution des teneurs foliaires en magnésium — (RS CC 02 - Leaf magnesium content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en Mg % (Mg contents %)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
MgO	0.305	0.323	0.276	0.288	0.244
MgI	0.352**	0.344**	0.285	0.285	0.246

Ces valeurs sont encore très supérieures au niveau critique de référence en sol minéral. L'engrais magnésien est donc superflu, et le restera probablement longtemps.

These values are still well above the reference critical level for mineral soils. Magnesium fertilizer is therefore superfluous, and will probably remain so for some time.

Chlore-Cl

Toutes les analyses foliaires ont montré que le chlore se situait à un niveau proche de 1 %, soit largement au-dessus du niveau critique de référence en sol minéral (0.5 % Cl dans la feuille 14). Il n'y a donc pas lieu de s'en préoccuper, d'autant plus que le chlorure de potasse utilisé comme engrais potassique fournit du chlore par la même occasion.

Chlorine-Cl

All the leaf analyses show that chlorine levels were around 1%, i.e. well above the reference critical level for mineral soils (0.5% Cl in leaf 14). There is therefore no need to worry about chlorine, particularly since the potassium fertilizer applied (potassium chloride) also provides chlorine.

Soufre-S

Trois essais d'accompagnement ont été mis en place pour vérifier s'il n'existait pas une carence naturelle en soufre sur la tourbe et, le cas échéant, la corriger par des apports d'engrais soufré.

L'essai de pépinière RS ES 41 a montré une absence d'effet de l'engrais soufré (soufre en fleur à 99 % S), comme le montre le tableau XIV.

Sachant qu'il n'y a aucun effet améliorateur significatif sur la croissance des plants, on peut considérer que le niveau critique en soufre sur tourbe est inférieur ou égal à 0.145 % S dans la feuille 1.

Les deux essais RS ES 42 et RS ES 43 comparent l'action de l'urée à 46 % N (engrais azoté sans soufre) et du sulfate d'ammoniaque à 21 % N (engrais azoté et soufré). Les résultats sont donnés dans les tableaux XV à XVIII.

Ces deux essais montrent que c'est l'azote qui agit de façon prépondérante, alors que le soufre du sulfate d'ammoniaque n'apporte aucune amélioration significative. On notera l'effet positif de l'urée (qui pourtant ne contient pas de soufre) sur les teneurs en S, par rapport au témoin de RS ES 42.

Le niveau critique en soufre peut donc être considéré comme inférieur ou égal à :

- 0.160 % dans la feuille 4
- 0.170 % dans la feuille 9.

Ces valeurs sont nettement inférieures au niveau critique de référence en sol minéral (0.18 % S dans la feuille 14).

Il n'y aurait donc pas de déficience naturelle en soufre sur la tourbe de Pulau Burung, un engrais soufré spécifique serait donc superflu, d'autant plus que l'urée améliore les teneurs en S.

Sulphur-S

Three adaptive trials were set up to check whether there might be a natural sulphur deficiency on peat and, if so, to correct it by sulphur fertilizer applications.

Nursery trial RS ES 41 showed that the sulphur fertilizer (flowers of sulphur, 99% S) had no effect (Table XIV).

Given that there is no significant improvement in plant growth, the critical sulphur level on peat can be taken to be less than or equal to 0.145% S in leaf 1.

The two trials RS ES 42 and RS ES 43 compare the effect of urea at 46% N (nitrogen fertilizer without sulphur) and ammonium sulphate at 21% N (nitrogen and sulphur fertilizer). The results are given in tables XV to XVIII.

These two trials show that it is nitrogen that has the dominant effect, whilst ammonium sulphate does not produce any significant improvement. The positive effect of urea (which does not contain sulphur) on S contents in relation to the RS ES 42 control is worth noting.

The critical sulphur level can therefore be considered to be less than or equal to:

- 0.160% in leaf 4
- 0.170% in leaf 9.

These values are considerably below the reference critical level for mineral soils (0.18% S in leaf 14).

There does not therefore seem to be a natural sulphur deficiency on the peat soils at Pulau Burung, and specific sulphur fertilizer is therefore unnecessary, particularly since urea improves S contents.

TABLEAU XIV. — RS ES 41 - Croissance des plants de pépinière en fonction de la dose de soufre — (RS ES 41 - Plant growth in the nursery depending on the sulphur rate)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)			Hauteur du plant (Plant height) (cm)		Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves)	Teneurs en S % (F1) (S contents % - L1))
	m2	m5	m7	m5	m7		
S0	10.0	17.8	24.5	111	157	8.3	0.147
S1	10.1	18.6	25.9	119	165	8.3	0.182*
S2	10.1	18.1	26.1	119	169	8.3	0.208**

TABLEAU XV. — RS ES 42 - Croissance et floraison des jeunes cocotiers — (RS ES 42 - Young coconut growth and flowering)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)				Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)		Nombre de feuilles vertes par arbre (Number of green leaves per tree)				% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)		
	m6	m12	m18	m24	m10 à m12 (m10 to m12)	m12 à m24 (m12 to m24)	m12	m18	m24	m30	m27	m30	m33
T témoin sans N ni S (C control with neither N or S)	33.6 b	55.7 b	87.5 c	103.5	8.6 c	12.3 c	11.4	12.8 c	14.1 b	16.2	6.6 c	15.0 d	50.0 c
A urée (A urea)	39.3 a	73.6 a	107.7 a	116.7	10.6 a	14.9 a	12.4	14.5 a	16.4 a	17.7	34.0 a	78.7 a	94.7 a
B S.A. = 1 × urée ⁽¹⁾ (B S.A. = 1 × urea)	39.3 a	69.0 a	100.9 ab	111.3	10.0 ab	13.6 ab	12.2	14.1 ab	15.3 ab	17.1	16.6 bc	38.6 bc	77.6 b
C S.A. = 2.2 × urée ⁽²⁾ (C S.A. = 2.2 × urea)	38.0 a	68.1 a	93.8 bc	103.8	9.9 b	12.9 bc	11.4	13.2 bc	13.9 b	15.6	22.8 ab	49.3 b	68.3 bc
D S.A. = 0.67 × urée ⁽³⁾ (D S.A. = 0.67 × urea)	39.9 a	65.7 a	93.0 bc	108.5	9.8 b	12.2 c	11.3	13.3 bc	13.9 b	16.4	14.3 bc	24.5 cd	64.7 bc

(1) même quantité — (same quantity) (2) même dose de N — (same N rate) (3) même prix — (same cost)

TABLEAU XVI. — RS ES 42 - Evolution des teneurs foliaires en azote et en soufre — (RS ES 42 - Leaf nitrogen and sulphur content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en N % (N contents %)			Teneurs en S % (S contents %)		
	m6 (F1) (L1)	m12 (F4) (L4)	m18 (F9) (L9)	m6 (F1) (L1)	m12 (F4) (L4)	m18 (F9) (L9)
T	1.372 c	2.293	1.640 b	0.136 c	0.217	0.172 c
A	1.812 a	2.420	1.983 a	1.106 d	0.236	0.185 c
B	1.805 a	2.438	1.897 a	0.180 b	0.235	0.204 ab
C	1.907 a	2.307	1.935 a	0.193 a	0.240	0.219 a
D	1.663 b	2.243	1.740 b	0.170 b	0.213	0.186 bc

TABLEAU XVII. — RS ES 43 - Floraison et nouaison des jeunes cocotiers — (RS ES 43 - Young coconut flowering and fruit-set)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)		Nombre de feuilles vertes (Number of green leaves)		% d'arbres sexués (% sex differentiated trees)			Nombre de noix par régime existant à l'aisselle de F 14 (Number of nuts per bunch in the axil of L 14)		
	m33	m45	m33	m45	m24	m30	m36	m42	m45	m48
A urée (A urea)	127.5	131.3	22.5	24.0	10.0	34.2	90.8	9.0	5.5	5.3 a
B S.A. = 1 × urée ⁽¹⁾ (B S.A. = 1 × urea)	130.5	130.7	22.3	23.2	1.6	34.1	91.3	7.5	4.6	4.8 ab
C S.A. = 2.2 × urée ⁽²⁾ (C S.A. = 2.2 × urea)	125.7	126.0	22.3	23.4	10.0	50.4	95.7	8.7	4.4	5.3 a
D S.A. = 0.67 × urée ⁽³⁾ (D S.A. = 0.67 × urea)	130.5	131.0	21.7	23.6	7.5	28.3	91.5	6.7	3.7	4.0 b

(1) même quantité — (same quantity) (2) même dose de N — (same N rate) (3) même prix — (same cost)

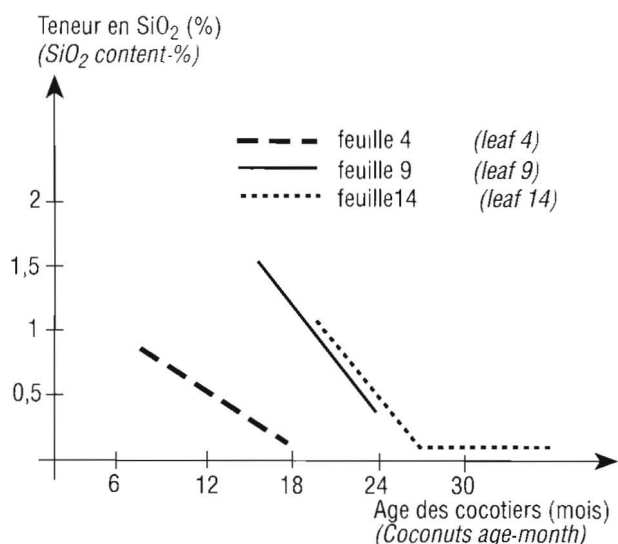


FIG. 6. — Modèle d'évolution des teneurs foliaires en silice sur la tourbe de Pulau Burung — (Silicon leaf level evolution model on the Pulau Burung peat)

Silicium-Si

Sur la plantation commerciale, les teneurs en silice SiO₂ baissent très rapidement avec l'âge des cocotiers, comme le montre la figure 6. Les teneurs en SiO₂ dans la feuille 14 chutent entre 20 et 27 mois après la plantation, pour atteindre des niveaux extrêmement faibles : 0.05 à 0.1 % SiO₂, quelquefois même indécélables à l'analyse. La teneur moyenne en SiO₂ des cocotiers adultes sur tourbe profonde est de 20 à 25 fois plus faible que sur sol minéral où les teneurs en SiO₂ varient entre 1.5 et 2.5 %.

On pouvait s'interroger sur les conséquences néfastes éventuelles d'une telle pauvreté au niveau du fonctionnement général de la plante. C'est la raison pour laquelle un certain nombre d'essais ont été mis en place pour tester l'effet de divers engrais siliciques.

La cendre de balle de riz, pourtant très riche en silice (98 % SiO₂) et finement pulvérisée, n'a donné aucun résultat. Les cocotiers n'absorbent pas la silice contenue dans cette substance.

L'argile alluviale du substratum sur lequel repose la tourbe est susceptible de fournir de la silice aux jeunes cocotiers, lorsqu'elle est épanchée au fond du trou de plantation, comme le montre l'essai d'accompagnement RS ES 49 (Tabl. XIX).

L'argile appliquée dans le trou a un effet positif sur la croissance des jeunes cocotiers, mais on ne peut pas encore l'attribuer, à coup sûr, à la silice, car d'autres éléments nutritifs entrent en jeu.

La silice de la même argile alluviale apportée en surface, dans le rond de cocotiers âgés de trois ans, n'est pas assimilée. Elle est en partie assimilée toutefois, mais de façon non significative, lorsque l'argile est préalablement diluée dans l'eau et apportée, sous forme de suspension liquide épaisse, dans le rond de cocotiers âgés de deux ans.

Un essai d'accompagnement, RS ES 55, compare l'effet de trois engrais siliciques apportés en surface, dans le rond de cocotiers âgés de quatorze mois :

- argile alluviale en suspension,
- scories d'industrie de l'acier, sommairement broyées (17 % SiO₂),
- silicate de sodium pentahydrate (28 % SiO₂) en granulés.

TABLEAU XVIII. — RS ES 43 - Evolution des teneurs foliaires en azote et en soufre — (RS ES 43 - Leaf nitrogen and sulphur content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en N % (N contents %)		Teneurs en S % (S contents %)	
	m15 (F4) (L4)	m27 (F9) (L9)	m15 (F4) (L4)	m27 (F9) (L9)
A	1.935	1.962	0.171	0.179 c
B	1.867	1.975	0.158	0.200 b
C	1.925	1.943	0.166	0.234 b
D	1.885	1.882	0.163	0.199 b

Silicon-Si

In the commercial plantation, silica - SiO₂ - contents fall very rapidly with tree age, as shown in figure 6. Silica contents in leaf 14 fall between 20 and 27 months after planting to reach extremely low levels: 0.05 to 0.1 % SiO₂, and are sometimes even impossible to detect. The mean SiO₂ content for adult coconuts on deep peat is 20 to 25 times lower than on mineral soils, where SiO₂ contents vary between 1.5 and 2.5%.

It may be worth looking into the possible adverse effect of such impoverishment on general plant functioning, and a certain number of trials were set up to test the effect of various silicon fertilizers.

Rice hull ash, although very rich in silicon (98% SiO₂) and finely powdered, did not have any effect. The trees do not absorb the silica contained in the hulls.

Alluvial clay from the substratum underlying the peat can provide young coconuts with silica, provided it is spread at the bottom of the planting hole, as shown by adaptive trial RS ES 49 (Table XIX).

The clay applied in the planting hole has a positive effect on young coconut growth, but this cannot yet be put down to silica, as other nutrients are involved.

Silica from the same alluvial clay applied on the surface in the circle around young coconuts aged three years is not assimilated. However, it is partly, although not significantly, assimilated if the clay is diluted beforehand in water and applied in the form of a thick liquid suspension in the circle around coconuts aged two years.

An adaptive trial, RS ES 55, compares the effect of three silicon fertilizers applied on the surface in the circle around coconuts aged 14 months:

- alluvial clay in suspension,
- slag from the steel industry, roughly crushed (17 % SiO₂),
- pentahydrate sodium silicate (28% SiO₂) granules.

TABLEAU XIX. — RS ES 49 - Croissance des jeunes cocotiers et évolution des teneurs foliaires en silice — (RS ES 49 - Young coconut growth and leaf silica content trends)

Traitement (Treatment)	circonférence au collet (Girth) (cm)			Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)		Teneur en SiO ₂ (SiO ₂ content)		
	m0	m6	m12	m0 à m6 (m0 to m6)	m6 à m12 (m6 to m12)	m6 (F4) (L4)	m12 (F4) (L4)	m12 (F9) (L9)
T (témoin) C (Control)	17.9 b	29.6 c	41.1	4.2	4.8 b	0.275 c	0.122 b	0.919 b
A (10 kg argile par trou) (10 kg of clay per hole)	18.3 b	32.1 b	40.2	4.3	5.5 a	0.727 b	0.430 a	1.749 a
B (20 kg argile par trou) (10 kg of clay per hole)	19.4 a	35.2 a	52.5	4.5	5.7 a	1.149 a	0.553 a	1.883 a

TABLEAU XX. — RS ES 55 - Evolution des teneurs foliaires en silice — (RS ES 55 - Leaf silica content trends)

Traitement (Treatment)	Teneur en SiO ₂ % - m20 (F4) (6 mois après l'apport) (SiO ₂ content % - m24 (L4) - 6 months after application)
T (témoin) — (C - control)	0.260 d
A (1.18 kg Na ₂ SiO ₃)	1.062 a
B (2.37 kg Na ₂ SiO ₃)	1.266 a
C (5 kg scories) — (5 kg slag)	0.274 d
D (10 kg scories) — (10 kg slag)	0.352 d
E (10 kg argile en suspension) — (10 kg clay in suspension)	0.564 c

Le tableau XX montre une absorption significative de la silice du silicate de sodium, une absorption moindre mais encore significative de la silice de l'argile en suspension et aucune absorption significative de la silice des scories, vraisemblablement trop peu finement broyées pour pouvoir libérer la silice.

Enfin, un autre essai d'accompagnement : RS ES 54, teste l'effet du silicate de sodium appliqué en surface, dans le rond de cocotiers âgés de trois ans et demi. Six mois après l'apport de silicate de sodium, la teneur en silice n'augmente pas significativement dans la feuille 14, et la nouaison des cocotiers des différents traitements ne varie pas significativement.

On peut donc déduire de ces premiers résultats que la carence en silice est corrigible, mais que les essais sont encore trop récents pour permettre de répondre à la question : y a-t-il un effet dépressif de la carence en silice sur la croissance, la nouaison et les premières productions des jeunes cocotiers ?

Table XX shows significant uptake of silica from the sodium silicate, less but nevertheless significant uptake of silica from the clay in suspension and no significant uptake of silica from the slag, which was probably not crushed finely enough to release silica.

Lastly, another adaptive trial - RS ES 54 - tests the effect of sodium silicate applied on the surface in the circle around coconuts aged three and a half years. Six months after sodium silicate applications, the silica content does not increase significantly in leaf 14, and the fruit set rate for trees in the different treatments does not vary significantly.

These first results lead to the conclusion that it is possible to correct the silica deficiency, but that the trials are still too recent to provide an answer to the question: Does the silica deficiency have a depressive effect on young coconut growth, fruit set and initial production?

ELEMENTS MINEURS (sauf le cuivre)

Fer-Fe

Une carence en fer affecte les jeunes cocotiers en première année de plantation à Pulau Burung. Les symptômes, déjà décrits dans un article précédent [15], sont caractérisés par une décoloration du limbe des feuilles, qui passent du vert foncé au vert pâle, puis au jaune, en bandes longitudinales parallèles, les nervures restant vertes. Ce symptôme est tout à fait caractéristique d'un manque de fer, sur le cocotier comme sur beaucoup d'autres plantes. A un stade très avancé de carence, tout le feuillage devient jaune.

En l'absence d'apport de fer, après un passage spectaculaire de carence visuelle, les cocotiers récupèrent naturellement. A partir de un an, pratiquement aucune trace de carence ne subsiste, sauf sur quelques très rares cocotiers isolés, qui restent complètement jaunes.

L'expérimentation a montré que le seul effet positif du fer était obtenu quand l'engrais : sulfate de fer à 20 % Fe, était

TRACE ELEMENTS (except copper)

Iron-Fe

The young coconuts at Pulau Burung suffer from an iron deficiency in the first year after planting. The symptoms, already described in a previous article [15], are characterized by discoloration of the lamina of the leaves, which change from dark to light green and then to yellow in parallel longitudinal stripes, with the veins remaining green. This symptom is entirely characteristic of a lack of iron on coconut as on many other plants. At a very advanced stage of deficiency, all the leaves become yellow.

If no iron is applied, after a period of spectacular visible symptoms, the trees recover naturally. From one year onwards, almost all the signs of deficiency disappear, except on a few rare isolated trees that remain completely yellow.

The trials have shown that iron fertilizer - iron sulphate at 20% Fe - only has a positive effect if it is applied in the

TABLEAU XXI. — RS ES 15 - Croissance des jeunes cocotiers — (RS ES 15 - Young coconut growth)

Traitement (Treatment)	Circonférence au collet (Girth) (cm)					Couleur feuille 1 (Echelle 0-1-2-3 jaune → vert) (Colour of L1 - Scale 0-1-2-3 yellow → green)					Nombre de feuilles émises (Number of leaves emitted)	Teneur foliaire en fer ppm (Leaf Fe content ppm)
	m2	m3	m4	m5	m6	m3	m4	m5	m6	m7		
A (témoin) (control)	19.3 b	22.2 b	25.3	29.9	34.8	1.9	1.9	1.9 c	1.8	1.9	6.5	36.4 b
B (10 g FeSO ₄ par trou) (10 g FeSO ₄ per hole)	19.7 b	23.6 a	26.6	31.2	36.3	1.9	2.1	2.1 b	1.8	1.9	6.6	40.9 b
C (20 g FeSO ₄ par trou) (20 g FeSO ₄ per hole)	20.8 a	22.6 b	26.2	31.4	36.7	2.1	2.1	2.3 a	2.1	2.0	6.6	42.0 b
D (50 g FeSO ₄ par trou) (50 g FeSO ₄ per hole)	21.5 a	23.7 a	26.7	32.1	37.4	2.2	2.2	2.3 a	2.2	2.2	6.7	50.9 a

TABLEAU XXII. — RS CC 02 - Evolution des teneurs foliaires en bore — (RS CC 02 - Leaf boron content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en B ppm (B contents - ppm)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
B0	10.2	12.0	11.4	10.4	10.8
B1	10.4	18.7**	23.4**	40.6**	46.2**

TABLEAU XXIII. — RS CC 02 - Evolution des teneurs foliaires en zinc — (RS CC 02 - Leaf zinc content trends)

Traitement (Treatment)	Teneurs en Zn ppm (Zn contents - ppm)				
	m9 (F4) (L4)	m21 (F4) (L4)	m33 (F9) (L9)	m45 (F14) (L14)	m57 (F14) (L14)
Zn0	13.1	10.9	9.4	8.8	9.9
Zn1	16.2**	16.5**	14.5**	12.6**	12.3**

apporté au fond du trou de plantation, juste avant la mise au champ des plants de cocotiers, comme le montre l'essai d'accompagnement RS ES 15 (Tabl. XXI).

Au champ, après plantation, le sulfate de fer, qu'il soit appliqué en surface, dans le rond des cocotiers ou pulvérisé en solution sur le feuillage, n'a aucun effet positif, si ce n'est parfois un effet léger et très provisoire sur le reverdissement du feuillage de cocotiers très carencés (mais les cocotiers témoins rattrapent très vite leur retard). Ce résultat a été clairement démontré et recoupe sur plusieurs essais, sur lesquels les teneurs foliaires en Fe ne répondent absolument pas aux apports de sulfate de fer.

Il en va exactement de même en pépinière, où l'on a pu vérifier que le sulfate de fer n'était pas phytotoxique jusqu'à une dose de 200 g FeSO₄ par plant de 4 mois.

Il est donc largement suffisant d'apporter une dose préventive de sulfate de fer dans le trou de plantation. Celle-ci est la seule efficace dans les conditions locales. Le niveau critique en fer sur tourbe est évalué à 40 ppm Fe dans les feuilles 4 et 9 et 30 ppm Fe dans la feuille 14. Ces valeurs sont quelque peu inférieures à celles obtenues sur sols coralliens [17], mais il est indubitable qu'il n'y a absolument aucune réponse des cocotiers à l'apport de sulfate de fer au-dessus des niveaux précités.

Bore-B

L'expérience de référence RS CC 02 montre une totale absence d'effet du bore, apporté sous forme de borax (37 % B₂O₃), bien que le bore soit significativement absorbé par les cocotiers (Tabl. XXII).

Le niveau critique en bore sur tourbe peut donc être considéré comme inférieur ou égal à 11 ppm.

planting hole, just before the coconut seedlings are planted out, as shown in adaptive trial RS ES 15 (Table XX).

In the field after planting, iron sulphate, irrespective of whether it is applied on the surface, in the coconut circle or sprayed onto the leaves in solution, has no positive effect apart from an occasional slight, very temporary effect on the leaves of very deficient trees, which become green again more quickly (however, the control coconuts quickly catch up). This result was clearly demonstrated and cross-checked in several trials, in which leaf Fe contents showed no response whatsoever to iron sulphate applications.

The same goes for the nursery, where it has been proved that iron sulphate is not phytotoxic at rates of up to 200 g FeSO₄ per plant at four months.

A preventive iron sulphate rate applied in the planting hole is therefore quite sufficient, and is the only effective technique under local conditions. The critical Fe level on peat is estimated at 40 ppm Fe in leaves 4 and 9 and 30 ppm Fe in leaf 14. These values are a little lower than those obtained on coral soils [17], but it is beyond any doubt that coconuts does not respond to higher rates of iron sulphate.

Boron-B

Reference trial RS CC 02 shows that boron has no effect whatsoever, if applied in the form of borax (37% B₂O₃), although significant quantities of boron are taken up by the coconuts (Table XXII).

The critical boron level on peat can therefore be considered to be less than or equal to 11 ppm.

Sur la plantation commerciale d'hybrides, on remarque de temps à autre un jeune cocotier exprimant des symptômes caractéristiques de carence en bore [2] : folioles mal séparées, à l'extrémité en baïonnette. Cette carence est passagère et sans aucune gravité. Toutefois, une explosion de symptômes plus graves : jeunes feuilles raccourcies, à folioles complètement soudées, s'est produite sur une partie du champ semencier (variété Nain Jaune Nias). Pour le barème de fumure commerciale, il a donc été prévu par sécurité une dose initiale de borax dans le trou de plantation, les doses suivantes étant modulées en fonction de l'analyse foliaire (seuil d'intervention = 12 ppm).

Zinc-Zn

L'expérience de référence RS CC 02 montre une totale absence d'effet du zinc, apporté sous forme de sulfate de Zinc (22 % Zn), bien que le zinc soit significativement absorbé par les cocotiers (Tabl. XXIII).

Le niveau critique en zinc sur tourbe peut donc être considéré comme inférieur ou égal à 10 ppm, valeur notablement inférieure au niveau optimal estimé en sol minéral à 15 ppm [5].

Sur la plantation commerciale, on apporte par sécurité deux doses initiales de zinc, l'une dans le trou de plantation, l'autre à 10 mois, les doses suivantes étant modulées en fonction de l'analyse foliaire (seuil d'intervention = 10 ppm), compte-tenu des dégâts causés par la carence en zinc sur tourbe en Malaisie avec le palmier à huile [7] [8]. Ces dégâts ont été longs et coûteux à réparer, ce qui justifie les mesures de prudence adoptées en plantation commerciale.

In the commercial hybrid plantation, young coconuts showing characteristic boron deficiency symptoms have sometimes been seen [2]: poorly separated leaves, with the tips "en baïonnette" (hook leaf). This deficiency is transient and not serious. However, there has been an outbreak of more serious symptoms - shortened young leaves, with entirely fused leaflets - has occurred in part of the seed garden (Nias Yellow Dwarf variety). For the commercial fertilizer schedule, it was considered best to include an initial borax rate in the planting hole just in case, with subsequent rates modified according to leaf analyses (intervention threshold: 12 ppm).

Zinc-Zn

Reference trial RS CC 02 shows that zinc, applied in the form of zinc sulphate (22% Zn) has no effect, although significant quantities of zinc are taken up by the coconuts (Table XXIII).

The critical zinc level on peat can therefore be considered to be less than or equal to 10 ppm, which is much lower than the optimum level for mineral soils, estimated at 15 ppm [5].

In the commercial plantation, two initial zinc rates are applied as a precaution, one in the planting hole, the other at 10 months, with subsequent rates adjusted according to leaf analysis (intervention threshold: 10 ppm), given the damage caused by zinc deficiency in oil palms on peat in Malaysia [7] [8]. This damage was costly to rectify and took a long time, which justifies the precautionary measures taken in the commercial plantation.

INTERACTIONS ENTRE ELEMENTS

Les expériences de référence n'ont pas montré d'interaction significative entre traitements sur la croissance ni sur la production, à l'exception d'une interaction positive N-P, mais non systématiquement reproductible. On retrouve cependant les interactions entre éléments minéraux liés par des phénomènes de synergie ou d'antagonisme chez le cocotier. On les citera en se limitant à celles qui se sont reproduites systématiquement dans le temps, d'une année à l'autre, et dans l'espace, d'un essai à l'autre traitant du même sujet.

Interaction positive N-P

La figure 7 et le tableau XXIV montrent très clairement l'effet positif de l'engrais azoté sur les teneurs en P et l'effet positif moins fort de l'engrais phosphaté sur les teneurs en N. C'est une bonne confirmation de la corrélation posi-

INTERACTIONS BETWEEN ELEMENTS

The reference trials have not shown any significant interactions between treatments as regards either growth or production, with the exception of a positive N-P interaction, though it is not systematically reproducible. However, there are interactions between mineral nutrients linked by synergy or antagonism phenomena in coconut. We intend to limit ourselves to those which are systematically reproduced over time, from one year to the next and in space, from one trial to another on the same topic.

Positive N-P interaction

Figure 7 and table XXIV clearly show the positive effect of nitrogen fertilizer on P contents and the slightly lesser positive effect of phosphorus fertilizers on N contents. This

TABLEAU XXIV. — RS CC 01 - Teneurs foliaires en N et en P en m45 (Feuille 14) — (RS CC 01 - Leaf N and P contents in m45 (Leaf 14))

	Teneurs en N % (N contents %)			
	P0	P1	P2	
N0	1.323	1.393	1.420	1.379
N1	1.785	1.825	1.848	1.819*
N2	1.978	2.040	2.077	2.032**
	1.696	1.753*	1.782*	
	Teneurs en P % (P contents %)			
	P0	P1	P2	
N0	0.097	0.113	0.124	0.112
N1	0.111	0.127	0.137	0.125**
N2	0.122	0.141	0.146	0.136**
	0.110	0.127**	0.136**	

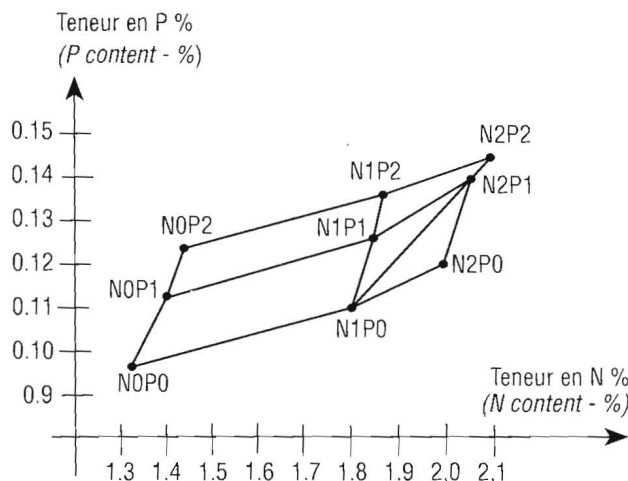


FIG. 7. — RS CC 01 - Teneurs foliaires en N et P en m45 (feuille 14) — (RS CC 01 - N and P leaf contents, age: m45, leaf 14)

tive N-P, bien connue sur le cocotier et le palmier à huile [19], plus forte dans le sens N sur P que dans le sens P sur N.

Il est donc certain qu'une bonne nutrition minérale azotée des cocotiers entraîne automatiquement vers le haut les teneurs en P, ce qui n'empêche pas qu'une fumure phosphatée reste nécessaire (cf paragraphe "phosphore-P").

Interaction positive N-S

Il y a un effet d'entraînement positif de l'engrais azoté urée sur les teneurs en soufre (Tabl. XXV), mais la réciproque n'est pas vraie. Ainsi dans les essais d'accompagnement RS ES 42 et RS ES 43, les teneurs en N des cocotiers traités au sulfate d'ammoniaque varient selon la dose d'azote assimilée, sans aucun effet supplémentaire du sulfate, alors que les teneurs en S des cocotiers traités à l'urée (qui pourtant ne contient pas de soufre) augmentent par rapport au témoin sans azote ni soufre (Tabl. XVI).

Interaction K-Na

Dès que la fertilisation potassique est trop faible, les teneurs en Na augmentent de façon parallèle à la baisse des teneurs en K (Tabl. XXVI).

Interaction K-Mg

La fertilisation potassique déprime les teneurs en Mg (Tabl. XXVII). Ce phénomène, bien étudié et quantifié sur les sables tertiaires de Côte-d'Ivoire [1] [9], n'est pas gênant à Pulau Burung, étant donné la richesse naturelle du milieu tourbeux en Mg assimilable. Il y a donc très peu de risque d'induire une carence en Mg par un excès de fertilisation potassique.

Autres corrélations

D'autres corrélations se sont reproduites systématiquement dans le temps et dans l'espace. Nous les mentionnons ici, bien qu'elles n'aient apparemment aucune incidence économique à Pulau Burung :

- le sulfate de cuivre déprime les teneurs en K et en Ca,
- le sulfate de zinc déprime les teneurs en Ca,
- l'urée augmente les teneurs en Na.

CONCLUSION

Six années d'expérimentation intensive ont permis de repérer les déficiences minérales les plus nettes et de mettre au point, année après année, un barème de fumure applicable aux jeunes cocotiers hybrides PB 121 sur tourbe, depuis la pépinière jusqu'aux premières récoltes de noix. En résumé :

- De fortes doses d'engrais azoté (urée) sont indispensables ; elles provoquent une réponse immédiate et spectaculaire des cocotiers. L'azote est de loin le premier macro-élément limitant sur la tourbe de Pulau Burung.
- Une fumure phosphatée (phosphate de roche) est nécessaire ; son effet est léger mais significatif. Les quantités de phosphate à apporter seront d'autant plus faibles que la nutrition minérale azotée sera bien assurée.
- Une fumure potassique modérée (chlorure de potasse) est indispensable. On peut s'attendre à une augmentation des besoins en potasse en fonction du niveau de production des cocotiers.
- Il n'y a apparemment aucun besoin de fumure calcique, magnésienne, chlorée ni soufrée, du moins pendant les cinq premières années de plantation.

confirms the well known positive N-P correlation on coconuts and oil palm [19], where the effect of N on P is stronger than P on N.

It is therefore clear that good nitrogen nutrition on coconuts automatically improves P contents, but this does not remove the need for phosphorus fertilizer (see section "phosphorus-P").

Positive N-S Interaction

Nitrogen fertilizer (urea) has a positive effect on sulphur contents (Table XXV), but the opposite is not true. Hence in adaptive trials RS ES 42 and RS ES 43, N contents for the coconuts treated with ammonium sulphate vary depending on the amount of N assimilated, with no additional effect due to the sulphate, whereas S contents for trees treated with urea (which does not, however, contain any sulphur) increase compared to the control with neither nitrogen nor sulphur (Table XVI).

K-Na Interaction

Once potassium fertilization is insufficient, Na contents increase in line with the fall in K contents (Table XXVI).

K-Mg Interaction

Potassium fertilizer has a depressive effect on Mg contents (Table XXVII). This phenomenon, which has been studied at length and quantified on tertiary sands in the Ivory Coast [1] [9] is not an obstacle at Pulau Burung, given the natural richness of the peat medium in assimilable Mg. There is therefore very little risk of inducing an Mg deficiency by excessive potassium fertilization.

Other correlations

Other correlations have been systematically reproduced in time and space. They are mentioned below, although they have no economic impact at Pulau Burung:

- *copper sulphate has a depressive effect on K and Ca contents,*
- *zinc sulphate has a depressive effect on Ca contents,*
- *urea increases Na contents.*

CONCLUSION

Six years of intensive experiments have made it possible to detect the most marked mineral deficiencies and draw up, year after year, a fertilizer schedule applicable to young PB 121 hybrid coconuts on peat, from the nursery to the first nut harvest. In brief:

- *High nitrogen fertilizer rates (urea) are essential; they induce an immediate and spectacular response on coconut. Nitrogen is by far the major limiting nutrient on peat at Pulau Burung.*
- *Phosphate fertilizer (rock phosphate) is necessary; it has a slight but significant effect. The amounts of phosphate to be applied will be lower the better the nitrogen nutrition.*
- *Moderate potassium fertilization (potassium chloride) is essential. An increase in potassium requirements is to be expected, in line with production.*
- *There does not appear to be any need for calcium, magnesium, chlorine or sulphur fertilizers, at least during the first five years after planting.*

TABLEAU XXV. — RS CC 01 - Teneurs foliaires en N et en S en m45 (Feuille 14) — (RS CC 01 - Leaf N and S contents in m45 (Leaf 14))

Traitement (Treatment)	Teneurs en N % (N contents %)	Teneurs en S % (S contents %)
N0	1.379	0.148
N1	1.819**	0.156**
N2	2.032**	0.169**

TABLEAU XXVI. — RS ES 32 - Teneurs foliaires en K et en Na en m6 (Feuille 4) — (RS ES 32 - Leaf K and Na contents in m6 (Leaf 4))

Traitement (Treatment)	Teneurs en K % (K contents %)	Teneurs en Na % (Na contents %)
K0	1.259 c	0.111 a
K0.25	1.778 b	0.087 b
K0.5	2.008 a	0.070 c

TABLEAU XXVII. — RS CC 01 - Teneurs foliaires en K et en Mg en m45 (Feuille 14) — (RS CC 01 - Leaf K and Mg contents in m45 (Leaf 14))

Traitement (Treatment)	Teneurs en K % (K contents %)	Teneurs en Mg % (Mg contents %)
K0.5	1.577	0.304
K1.0	1.764**	0.285*
K1.5	1.892**	0.273**

- Une fumure en bore (borax) et en zinc (sulfate de zinc) est apportée par sécurité aux jeunes cocotiers en première année de plantation, bien que le risque de carence soit très faible. Par la suite, la fumure est facultative, basée sur des seuils d'intervention (teneurs foliaires).
- Une dose initiale d'engrais ferrique (sulfate de fer) est nécessaire dans la plupart des cas, pour prévenir la carence en fer en première année de plantation. Par la suite, la fumure en fer s'avère inutile.
- Pour mémoire, une fumure en cuivre est absolument indispensable (cf article à paraître dans *Oléagineux*, 48, (2)).

- Boron (borax) and zinc (zinc sulphate) are applied as a precautionary measure on young coconuts in the first year after planting, although the risk of deficiency is very small. Fertilizer is optional thereafter, based on intervention thresholds (leaf contents).
- An initial rate of iron fertilizer (iron sulphate) is necessary in most cases to prevent iron deficiency in the first year after planting. Iron fertilizers are superfluous thereafter.
- For the record, copper fertilization is absolutely essential (see article to be published in *Oléagineux*, 48, (2)).

L'expérimentation en nutrition minérale se poursuit sur la plantation RSUP de Pulau Burung. On s'attachera maintenant à préciser les besoins des cocotiers pour les éléments nutritifs les plus sensibles. Ainsi, les besoins en N et en K des cocotiers adultes seront déterminés par deux expériences de référence, mises en place en 1991, qui étudieront la dose et la fréquence d'application des engrais correspondants respectivement : urée et chlorure de potasse. En effet, on sait encore peu de choses sur le lessivage des éléments nutritifs sur tourbe et l'efficacité d'absorption des engrais. Pour le moment, et par sécurité, l'apport des deux engrais les plus solubles : urée et chlorure de potasse, est fractionné en trois applications par an.

Les éléments nutritifs moins sensibles ne sont pas négligés pour autant. Ainsi, il est indispensable de continuer d'observer l'effet d'engrais apparemment superflus pour les jeunes cocotiers, afin de vérifier si l'absence d'effet se prolonge ou non. Ceci est particulièrement important avec les oligo-éléments, pour lesquels il faut anticiper toute explosion de carence éventuelle.

Le barème de fumure commerciale des cocotiers hybrides jusqu'à cinq ans est maintenant presque totalement fixé. A titre indicatif, les jeunes cocotiers hybrides PB 121 de quatre à cinq ans reçoivent : 3 × 600 g d'urée, 1000 g de phosphate roche et 3 × 600 g de chlorure de potasse par arbre et par an. Ces doses sont modulées en fonction des teneurs foliaires en N, P et K. Les autres engrais sont apportés si la teneur foliaire de l'élément correspondant est inférieure au seuil d'intervention, soit : 0.1 % Ca (calcaire broyé), 30 ppm Fe

Mineral nutrition experiments are continuing at the RSUP Pulau Burung Plantation. The aim is now to determine coconut requirements in terms of the most sensitive nutrients. Hence N and K requirements in adult coconuts will be determined by two reference experiments, set up in 1991, which will study the application rate and frequency for the corresponding fertilizers (urea and potassium chloride respectively). In effect, little is yet known about nutrient leaching on peat and the efficiency of fertilizer uptake. For the time being, and to be on the safe side, the two most soluble fertilizers - urea and potassium chloride - are applied in three split applications per year.

However, the less sensitive elements are not overlooked either. It is essential to observe the effect of fertilizers that appear to be superfluous on young coconuts, to check whether the lack of effect is prolonged. This is particularly important with trace elements, for which it is essential to forestall any possible deficiency outbreaks.

The commercial coconut hybrid fertilizer schedule up to five years has now been almost totally set down. For example, young PB 121 coconut hybrids aged four to five years are given 3 × 600 g of urea, 1000 g of rock phosphate and 3 × 600 g of potassium chloride per tree, per year. These rates are adjusted according to leaf N, P and K contents. Other fertilizers are applied if leaf contents for the corresponding element fall below the intervention threshold, i.e. 0.1%

(sulfate de fer), 12 ppm B (borax), 10 ppm Zn (sulfate de zinc).

Il va de soi que les doses indiquées sont valables sur le site de Pulau Burung et ne peuvent être transposées telles quelles sur d'autres sites.

Les auteurs remercient la société RSUP et son directeur, M. Tay Juhana, pour leur contribution efficace et pour l'autorisation de publier les résultats des recherches entreprises avec leur support.

Ca (crushed limestone), 30 ppm Fe (iron sulphate), 12 ppm B (borax), 10 ppm Zn (zinc sulphate).

It goes without saying that the rates quoted are valid for the Pulau Burung site and cannot be directly transposed to other sites.

The authors would like to thank the RSUP company and its Director, Mr. Tay Juhana, for their effective contribution and their authorization to publish the results of research undertaken with their support.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRUNIN C. (1970). — La nutrition magnésienne des cocoteraies en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux*, **25**, (5), 269-274.
- [2] BRUNIN C., COOMANS P. (1973). — La carence en bore sur jeunes cocotiers en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux*, **28**, (5), 229-234.
- [3] Département Cocotier de l'IRHO (1969). — Les symptômes de carence potassique du cocotier. Conseils de l'IRHO n° 82, *Oléagineux*, **24**, (3), 137-138.
- [4] DUFOUR F., QUILLEC G., OLIVIN J., RENARD J.L. (1984). — Mise en évidence d'une carence en calcium sur cocotier. *Oléagineux*, **39**, (3), 133-140.
- [5] ESCHBACH J.M., MANCIOT R. (1981). — Les oligo-éléments dans la nutrition du cocotier. *Oléagineux*, **36**, (6), 291-304.
- [6] GODEFROY J. (1977). — Analyses physiques et chimiques des sols tourbeux. *Fruits*, **32**, (11), 647-664.
- [7] GURMIT SINGH (1983). — Micro-nutrients studies on oil palm on peat. Seminar on Fertilizers in Malaysian Agriculture, Serdang, March 1983.
- [8] GURMIT SINGH, TAN YAP PAU, RAJAH PADMAN C.V., LEE FOO WAH (1987). — Experiences on the cultivation and management of oil palms on deep peat in United Plantations Berhad. *Planter*, (733), 143-157.
- [9] IRHO rapport d'activité 1976-1977, 1971-1975, non publié.
- [10] JOSEPH K.T., CHEW W.Y., TAY T.H. (1974). — Potential of peat for agriculture. MARDI, Serdang, Selangor, Malaysia, 1-16.
- [11] KANAPATHY K. (1976). — Fertilizer requirements on peat soils. *Malaysian Agricultural Journal*, **50**, (3), 292-313.
- [12] KANAPATHY K. (1978). — Planting oil palms on peat. *Perak Planters Association Journal*, 101-107.
- [13] MOHD TAYEB DOLMAT, ABDUL HALIM HASSAN, ZIN Z. ZAKARIA (1982). — Development of peat soil for oil palm planting in Malaysia. Johor Barat Agricultural project as a case study. *PORR Bulletin* (5), novembre 1982, 1-17.
- [14] NG SIEW KEE, TAN YAP PAU (1974). — Nutritional complexes of oil palms planted on peat in Malaysia. Foliar symptoms, nutrient composition and yield. *Oléagineux*, **29**, (1), 1-14.
- [15] OCHS R., BONNEAU X. (1988). — Symptômes de carence en cuivre en fer du cocotier sur tourbe en Indonésie. Conseils de l'IRHO 294, *Oléagineux*, **43**, (12), 455-457.
- [16] OCHS R., DE BENG Y. A., BONNEAU X. (1992). — Etablissement d'une cocoteraie sur tourbe profonde. *Oléagineux*, **47**, (1), 9-22.
- [17] POMIER M. (1969). — Nutrition minérale des jeunes cocotiers sur sables coralliens. *Oléagineux*, **24**, (1), 13-19.
- [18] RASMUSSEN A.N., KANAPATHY K., SANTA MARIA N., SINGH C. (1981). — Establishment of oil palms on deep peat from jungle. Proc. Int. Conf. on Oil Palm in Agriculture in the Eighties, Kuala Lumpur.
- [19] TAMPUBOLON F.H., DANIEL C., OCHS R. (1990). — Réponses du palmier à huile aux fumures azotées et phosphorées à Sumatra. *Oléagineux*, **45**, (11), 475-484.

RESUMEN

Nutrición mineral de cocoteros híbridos sobre turba - (desde el vivero hasta el inicio de producción)

X. BONNEAU, R. OCHS, L. QUSAIRI, L. NURLAINI LUBIS *Oléagineux*, 1993, **48**, N° 1, p. 9-26

La empresa Riau Sakti United Plantations realizó una plantación de cocoteros híbridos en una extensión de 18.000 ha sobre las turbas profundas de la provincia de Riau, en Indonesia, con el apoyo técnico del IRHO-CIRAD. La nutrición mineral de los cocoteros jóvenes en este medio meramente orgánico planteó problemas muy numerosos que se trataron con una experimentación intensiva encaminada a producir y ajustar una tabla de fertilización para la plantación comercial en tiempo real. Los principales resultados experimentales se exponen e interpretan en términos de respuesta a los fertilizantes y de referencia para el diagnóstico foliar. La nutrición mineral se caracteriza por una deficiencia nitrogenada muy fuerte que viene junto con una deficiencia moderada de fósforo y potasio. Desde el punto de vista de los elementos menores, la nutrición viene caracterizada principalmente por una carencia de cobre muy fuerte que se tratará en un próximo artículo, debido a su especial importancia, y por una deficiencia de hierro, leve y transitoria. Aún no se ha podido observar los posibles efectos de las deficiencias de boro y cinc muy severas en la palma aceitera en turba en Malasia, pero para mayor seguridad, se mantuvo una dosis reducida de los respectivos fertilizantes durante el primer año de siembra.

Palabras claves. — Cocotero híbrido, turba, nutrición mineral, tabla de fertilización, carencia, fertilizantes