

# Réponse de jeunes cocotiers hybrides à la fumure minérale en Papouasie-Nouvelle-Guinée Premiers bilans agroéconomiques

Ollivier J.<sup>1,2</sup>, Akus W.<sup>2</sup>, Leplaideur A.<sup>1</sup>, Bonneau X.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIRAD-CP, TA 80 / PS3, 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup> PNG Cocoa & Coconut Research Institute, PO Box 642, Madang, Papouasie-Nouvelle-Guinée

Le cocotier (*Cocos nucifera* L.) est largement cultivé dans les 14 provinces côtières et des îles de Papouasie-Nouvelle-Guinée (PNG). La cocoteraie couvre environ 250 000 ha et la production de coprah des dernières années (1996-1999) oscille entre 140 000 et 150 000 t (Omuru, 2000). La production, de seulement 124 360 t en 1998, est la conséquence de la sécheresse liée au phénomène El Niño qui a touché la Papouasie-Nouvelle-Guinée de mai à septembre 1997.

La production de coprah fournit une importante source de revenus à une proportion considérable de la population côtière. Les rendements de coprah par hectare sont estimés entre 0,5 et 1,0 t/ha/an ; ils varient selon l'âge des arbres et les conditions agroécologiques. Cependant, cette productivité pourrait être augmentée de 0,75 à 1,5 t/ha par l'adoption de meilleures techniques d'entretien et de gestion de la matière organique, ainsi que par des apports raisonnés d'engrais.

Le problème de la faible productivité des cocotiers en Papouasie-Nouvelle-Guinée

est lié à de nombreux facteurs comme l'utilisation de matériel végétal tout-venant non sélectionné, la proportion croissante d'arbres séniles dans les grandes plantations, les problèmes de ravageurs limitant le redéveloppement des cocotiers dans la région des îles, l'accès limité au matériel végétal amélioré. Le manque de mesures incitatives pour maintenir un niveau de productivité stable, les déficiences nutritionnelles et les pratiques culturales médiocres consécutives à l'abandon du cocotier pour d'autres cultures comme le palmier à huile, sont aussi des facteurs limitant la productivité.

Alors que l'adoption de variétés à haut potentiel de production est un exercice à long terme, des pratiques agronomiques adaptées, une meilleure connaissance des déficiences nutritionnelles du cocotier (*Cocos nucifera* L.) et des apports judicieux de fertilisants pourraient être applicables à court terme afin d'augmenter la productivité du cocotier en Papouasie-Nouvelle-Guinée.

## Résumé

Une expérience de nutrition menée en Papouasie-Nouvelle-Guinée sur de jeunes cocotiers hybrides met en évidence une réponse positive aux engrais azotés et chlorés. Les bonnes conditions édapho-climatiques et l'itinéraire technique suivi sont déterminants pour le rendement qui atteint en moyenne 2,7 t de coprah par hectare la cinquième année. L'apport de chlorure de sodium augmente de façon significative la teneur en coprah par hectare, mais son application n'est pas rentable dans le contexte local. L'apport d'engrais azotés double le rendement en première année de production, mais son effet n'est plus significatif dès la deuxième année. L'essai, suivi des coûts d'établissement, des coûts opérationnels, et des temps de travaux a fait l'objet d'une attention particulière au cours de l'essai.

## Abstract

A nutrition trial conducted in Papua New Guinea on young hybrid coconut palms revealed a positive response to nitrogen and chlorine fertilizers. The good soil and climatic conditions and the crop management sequence followed were determining factors in the yields obtained: 2.7 t of copra per hectare on average year 5. Applying sodium chloride significantly increased copra content per nut, but was not cost-effective under local conditions. Nitrogen fertilizers doubled yields the first year of production, but no longer had a significant effect as of year 2. Particular care was taken to monitor setup and operating costs and work times during the trial.

Entre les années 60 et 80, plusieurs essais de fertilisation avaient été mis en place par le Département de l'agriculture et de l'élevage. Des déficiences en soufre ont été décrites : elles provoquent chlorose, faibles rendements et coprah caoutchouteux de faible qualité (Southern, 1969). Des essais menés en Nouvelle-Irlande ont montré des réponses positives à l'apport d'engrais potassiques (Sumbak, 1976).

Depuis une quinzaine d'années, le PNG Cocoa and Coconut Research Institute (CCRI) a mis en œuvre une stratégie nationale de recherche sur le cocotier. Le programme d'agronomie tente de proposer des solutions techniques innovantes et des pratiques culturales qui pourraient améliorer le revenu des producteurs. Par exemple, des essais sont conduits sur les systèmes de culture associées au cocotier, problématique forte, car la production de coprah est de plus en plus dominée par le secteur villageois et il faut soutenir la diversification des sources de revenus de petites structures de production. Ces informations sont très attendues par les bailleurs de fonds attentifs à une raisonnable diffusion des résultats des essais. De même, la recherche au sein de ce programme doit également répondre à d'autres enjeux tels que les stratégies de réhabilitation et de replantation de larges superficies plantées de cocoteraies vieillissantes, qui pourraient être mieux valorisées qu'à l'heure actuelle.

Le programme se doit aussi d'accompagner les recherches menées sur l'amélioration du cocotier. Depuis la fin des années 80, un programme d'étude sur la diversité du cocotier en Papouasie-Nouvelle-Guinée a permis de sélectionner des populations de Grands locaux qui, depuis 1993, ont été utilisés dans un programme d'amélioration d'hybrides Nains par Grands. Ces travaux, menés à la station de recherche Stewart dans la province de Madang sur la Grande-Terre de Papouasie-Nouvelle-Guinée, ont pour objectif d'identifier des variétés hybrides adaptées et hautement productives.

Afin d'exprimer le potentiel de production de ces nouvelles variétés, il était essentiel de lancer un programme sur la nutrition minérale dès l'établissement des premières plantations, en 1994, à la station Stewart. Outre des analyses de sols, la collecte annuelle d'échantillons foliaires a permis de suivre la nutrition des arbres et de corriger les déficiences par des applications raisonnées d'engrais.

En parallèle à cette expérimentation menée à la station de recherche Stewart, une enquête multilocale sur la nutrition des cocotiers utilisant le diagnostic foliaire a été menée au cours des dernières années, permettant de dresser un bilan nutritionnel des arbres et de recommander des applications de fumure pour corriger les déficiences les plus graves (Ollivier *et al.*, 1999).

### Matériel et méthodes :

L'essai de nutrition minérale PNG-CCRI 801 a été mis en place en 1996 à la station de recherche de l'Institut basé à 40 km au nord de Madang sur la Grande-Terre de Papouasie-Nouvelle-Guinée (photo 1).

L'essai a été installé sur une parcelle plantée, dans les années 60, en cacaoyers sous ombrage de *Leucaena leucophylla*. Au cours des dix dernières années, les cacaoyers ont progressivement disparu par manque d'entretien. Au début de l'essai, la parcelle était donc couverte d'un mélange de recrû forestier et de *Leucaena*.

### Sols et conditions climatiques

La préparation du sol a consisté en l'abatage manuel, en 1993, suivi par un andainage mécanique au bulldozer en 1995. Une légumineuse de couverture a été semée. *Pueraria phaseoloides* a couvert la surface du sol de l'essai cinq à six mois après la plantation des cocotiers.

Situé entre 100 et 600 m de la côte, l'essai est partiellement établi sur le cor-

don littoral et sur la plaine intérieure. Les sols de la zone côtière sont formés d'alluvions, de dépôts alluviaux marins et de cendres volcaniques (Bleeker, 1983). Les sols du cordon littoral sont sablo-limoneux, de couleur marron foncé, ces sols sont classés comme « typic tropopsaments » d'après la classification des sols de l'Usda. Les sols de la plaine intérieure sont limono-argileux friables de couleur noire ou gris marron foncé à argileux de couleur marron foncé en surface reposant sur un sous-sol argilo-sableux. Ce sol est classé comme « Udoll tropopsament » d'après la classification des sols de l'Usda.

D'un point de vue physique, la granulométrie est bien équilibrée, avec notamment une bonne proportion de limons, la teneur en matière organique de l'horizon superficiel est excellente : couche d'humus noir, poreuse, avec forte activité biologique (Bonneau, 1999). Du point de vue chimique, le pH est très favorable — légèrement acide, dans la gamme d'assimilabilité maximale des éléments nutritifs importants —, la capacité d'échange des cations est très forte — 25 à 45 meq/100g —, riche et équilibrée en éléments échangeables (Banga, 1993). Ce sol présente donc de très bonnes aptitudes à la culture du cocotier, sans carence grave prévisible (tableau 1).

Les conditions climatiques de la station Stewart sont très favorables, avec une pluviosité moyenne annuelle de 3 533 mm calculée à partir de 42 ans de relevés à Madang. La saison pluvieuse est intense



Photo 1. Vue aérienne de l'essai de nutrition à la station de recherche Stewart. / Aerial view of the nutrition trial at the Stewart research station.

Tableau 1. Analyse des sols de la Station de recherche Stewart. / Analysis of soils at the Stewart research station.

## Cordon littoral/Coastal strip

Profondeur Depth (cm)	pH Eau Water pH	Cations échangeables Exchangeable cations (meq%)			CEC	SB/BS (%)	P Ass. Ass. P (ppm)	C org Org. C (%)	N tot. Tot. N (%)	C/N	Granulométrie (%) Grain size (%)		
		Ca	Mg	K							S	L	A
0 - 12	6,6	28,7	3,87	2,10	44,9	77	15,8	7,57	0,59	13	54	22	24
12 - 33	6,9	19,9	1,61	0,91	33,2	68	6,1	3,21	0,25	13	51	19	30
33 - 62	6,8	14,5	2,23	0,69	26,8	66	4,6	1,42	0,08	18	62	15	23
62 - 90	6,8	17,2	7,80	0,95	34,1	76	8,9	0,35	0,03	12	68	8	23
90 - 112	7,0	14,5	5,40	0,86	26,3	79	14,6	0,37	0,03	12	79	2	9
112 - 130	7,0	18,6	8,35	0,23	34,1	80	7,1	0,15	0,02	8	73	8	19

## Plaine intérieure/Inland plain

Profondeur Depth (cm)	pH Eau Water pH	Cations échangeables Exchangeable cations (meq%)			CEC	SB/BS (%)	P Ass. Ass. P (ppm)	C org Org. C (%)	N tot. Tot. N (%)	C/N	Granulométrie (%) Grain size (%)		
		Ca	Mg	K							S	L	A
0 - 15	6,2	24,8	6,42	1,72	38,1	86	4,7	7,88	0,52	15	37	33	29
15 - 30	6,2	17,6	6,97	0,21	30,2	83	4,2	3,86	0,26	15	35	31	34
30 - 58	5,8	17,2	8,65	0,15	32,0	82	1,1	0,96	0,11	9	30	21	48
58 - 92	6,2	20,6	9,25	0,12	29,4	100	2,0	0,24	0,03	8	50	13	37
92 - 130	6,2	19,2	8,02	0,15	31,6	88	8,4	0,17	0,03	6	61	11	28

D'après Banqa/After Banqa, 1993

S : sable/sand; L : limons/loam; A : argile/C. clay

SB : taux de saturation des bases/BS : base saturation rate

entre novembre et mai et la saison sèche s'étend de juillet à septembre. Mais les sols sont rarement en état de déficit hydrique, car il pleut toujours un minimum en saison sèche. Cependant, en 1997, l'effet El Niño a été fortement ressenti et seulement 55 mm de pluie ont été relevés de juin à août 1997. La pluviométrie enregistrée à la station depuis la plantation de l'essai a été, dans l'ensemble, très satisfaisante, avec une moyenne de 3 184 mm sur les quatre dernières années (tableau 2). La moyenne annuelle des températures est de 26,5°C, avec un minima moyen de 23,1°C et un

maxima moyen de 30,0°C (Mac Alpine *et al.*, 1983).

## Dispositif expérimental

Le terrain a été préparé en 1995 et l'essai a été planté, en janvier 1996, à une densité de 160 arbres par hectare (triangle équilatéral de 8,5 m de côté). Le dispositif est factoriel 3<sup>3</sup> subdivisé, soit 54 parcelles, chaque parcelle étant constituée de 12 arbres utiles par traitement entourés par 18 arbres de bordure recevant le même traitement.

Les cocotiers plantés sont des hybrides produits par pollinisation assistée sur le

champ semencier d'Omuru dans la province de Madang. Chaque bloc de 18 parcelles a été planté avec un hybride différent. L'hybride MRD x KKT3-Ulatava (île de Karkar, province de Madang) a été planté dans le bloc 1, MRD x GLT2-Raulawat (province de Nouvelle-Bretagne) dans le bloc 2, et MRD x OLT3-Kikibator (province d'Oro) dans le bloc 3.

Des fossés antibraconnage ont été creusés, en 1997, autour des parcelles élémentaires. Un entretien régulier a été réalisé au jeune âge pour favoriser la mise en place de la plante de couverture et maintenir désherbés les ronds autour des arbres.

Tableau 2. Pluviosité à la station de recherche Stewart et moyenne de la région de Madang. / Rainfall at the Stewart research station, Madang region.

Années/Year	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tot.
1994	165	158	312	480	214	140	145	67	104	66	154	445	2 450
1995	235	262	321	427	608	126	73	23	10	669	271	506	3 531
1996	122	198	234	302	572	362	208	103	217	499	382	281	3 480
1997	232	233	48	979	671	88	32	16	7	146	87	407	2 946
1998	247	480	151	379	358	220	64	179	164	473	308	257	3 280
1999	74	257	186	138	221	338	172	364	455	530	171	113	3 019
Moyenne/Mean	179	265	208	451	441	212	116	125	159	397	229	335	3 118
Madang*	382	287	343	436	332	204	172	151	144	324	378	404	3 558

\* D'après Mac Alpine *et al.*, 1983 (données moyennes 1956-1970)/After MacAlpine *et al.*, 1983 (mean data 1956-1970)

### Traitements

Les éléments azote, phosphore, potasse et chlore sont étudiés. Le tableau 3 présente les doses d'engrais appliquées par arbre et par an (photo 2).

### Analyses

Les échantillons de feuilles ont été prélevés sur les 12 arbres utiles de chaque parcelle. Les 54 parcelles ont été échantillonnées en octobre 1997 sur la feuille de rang 9 (F9), puis en octobre 1998, et enfin en novembre 1999 sur les feuilles de rang 14 (F14).

La préparation des échantillons a suivi le protocole décrit par de Taffin *et al.* (1991). Les échantillons ont été analysés par le laboratoire d'analyse du Cirad à Montpellier.

### Observation des caractéristiques végétaives et de production.

Des mesures de croissance des arbres ont été réalisées au cours des trois premières



J. Ollivier

Photo 2. Application de fumure minérale sur des cocotiers âgés de quatre ans et demi. / Fertilizer application on four-and-a-half-year-old coconut palms.

Tableau 3. Doses d'engrais apportées selon les traitements et par année (en g/arbre). / Fertilizer rates applied according to treatment, per year (g/palm).

Année Year	Urée à 46% N (en 1996) puis sulfate d'ammonium à 21% N (en 1997-1999) Urea at 46% N (in 1996), then ammonium sulphate at 21% N (in 1997-1999)			Phosphate super triple à 46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Triple super phosphate at 46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			Sulfate de potassium à 50% K <sub>2</sub> O Potassium sulphate at 50% K <sub>2</sub> O			Chlorure de sodium à 60% Cl Sodium chloride at 60% Cl	
	N 0	N 1	N 2	P 0	P 1	P 2	K 0	K 1	K 2	Cl 0	Cl 1
1996	0	150	300	0	150	300	0	300	600	0	500
1997	0	500	1 000	0	250	500	0	500	1 000	0	750
1998	0	1 500	3 000	0	500	1 000	0	500	1 000	0	1 500
1999	0	1 500	3 000	0	500	1 000	0	500	1 000	0	2 000

années. Trois variables ont été observées tous les six mois : la circonférence du collet à 20 cm du sol (CC), le nombre de feuilles émises au cours des 6 mois écoulés entre deux observations (NFE) et la longueur de la feuille de rang 4,9 ou 14 (LF).

La floraison a été observée tous les trois mois, de 28 à 37 mois après plantation. Les récoltes mensuelles sont faites arbre par arbre pour évaluer le nombre de régimes et le nombre de noix sur les arbres utiles. Les noix sont ensuite regroupées par parcelle utile, débarrassées et le poids des noix débarrassées cassées est enregistré. Les noix débarrassées cassées sont ensachées et transportées au four à coprah, elles sont alors disposées sur un séchoir de type Ceylan, en lits étagés, coques en l'air pendant environ deux jours, puis la coque est

retirée manuellement et le séchage se poursuit encore deux jours. Le coprah est alors sorti du four, ensaché puis stocké avant d'être transporté pour la vente au dépôt du Coprah Marketing Board le plus proche.

Afin d'avoir une idée précise de la production attendue la cinquième année, un comptage des couronnes des arbres utiles a été réalisé en mai 2000. La production a donc été estimée en intégrant les récoltes réelles réalisées de janvier à avril et celles estimées de mai à décembre, avec comme hypothèse une vitesse d'émission moyenne de 16 palmes par an.

Le poids de coprah après séchage est enregistré à intervalles de récolte réguliers pour calculer le ratio poids de coprah/poids des noix débarrassées sans eau.

### Calculs économiques

Pour indiquer aux éventuels utilisateurs les conditions d'organisation du travail et la trésorerie qu'il est nécessaire d'investir pour accéder à ces performances, les temps de travaux, les coûts de la main-d'œuvre salariée et le prix des intrants ont été enregistrés de 1995 à 1999, période allant de l'établissement de l'essai à la première année de production. Une première évaluation de l'efficacité des engrais a ainsi été faite. Cependant, la rentabilité de la fumure doit être calculée sur une période de 8 à 10 ans. En effet, l'évaluation concomitante des effets des engrais et des hybrides ne peut se faire sur une période plus courte, car les 4 premières années de production correspondent à la phase jeune-adulte et les 4 années suivantes au plateau

de production. Ce laps de temps de 10 ans permet aussi d'intégrer d'éventuels épisodes climatiques plus ou moins exceptionnels.

Les temps de travaux journaliers ont été mesurés pour toutes les activités et présentés en nombre de journées de travail (HJ). Une journée de travail correspond à 5-6 heures de travail effectives. Seul le travail spécifique du débouillage au champ est rémunéré en fonction du rendement et payé au poids de noix débouillées cassées.

Les données recueillies en kinas (monnaie de Papouasie-Nouvelle-Guinée) ont été transformées en dollars en tenant compte du taux de change annuel moyen.

## Résultats

### Effets des apports d'engrais sur la croissance et la production

Des différences significatives sur les variables de croissance sont observées lors de la phase immature des cocotiers.

Une réponse positive aux apports d'azote est observée sur le nombre de feuilles émises de mai 1996 à avril 1998, avec 27,8 feuilles émises pour N1 et N2 contre 25,1 feuilles pour les arbres N0. L'action de l'azote a aussi augmenté de 19 % la longueur de la feuille 9 en 1997 pour N1, 22 mois après la plantation (tableau 4).

Les effets des apports de chlore se sont révélés significatifs sur la plupart des caractères observés : circonférence au collet (au cours des 5 observations couvrant une période de croissance de 34 mois), nombre de feuilles émises (au cours des 22 premiers mois), longueur de la feuille (à 22 et 28 mois) au cours des 3 premières années après plantation.

L'action positive de l'azote et du chlore sur la précocité de floraison s'est poursuivie avec des différences très significatives de 28 à 34 mois après plantation (tableau 5). A trois ans, la plupart des arbres étant fleuris, le taux de floraison n'est plus un facteur discriminant.

Les premières fleurs sont apparues deux ans après la plantation, les premiers régimes ont été récoltés en avril 1999, soit 40 mois après la plantation.

La première année de production donne un rendement moyen sur l'essai de 0,6 tonne de coprah par hectare, ce qui est assez remarquable et range cet essai au-dessus de la moyenne de cocotiers hybrides placés dans de bonnes conditions. Cette première production est marquée par une

Tableau 4. Effets de l'azote et du chlore sur la croissance. *Effects on growth of nitrogen and chlorine.*

Age	N0	N1	N2	Sig. N	Cl0	Cl1	Sig. Cl
<b>10 mois/months</b>							
CC/G	40	48	47	*	43	47	**
NFE/NLE	4,5	5,3	5,3	**	4,9	5,2	**
LF4/LL4	221	225	215	NS	219	223	NS
<b>16 mois/months</b>							
CC/G	82	99	97	NS	89	96	**
NFE/NLE	5,4	6,0	6,2	*	5,7	6,1	**
LF9/LL9	260	286	289	*	273	284	NS
<b>22 mois/months</b>							
CC/G	96	112	109	NS	102	109	**
NFE/NLE	5,4	6,1	6,0	NS	5,7	5,9	*
LF9/LL9	332	395	383	*	365	375	*
<b>28 mois/months</b>							
CC/G	144	148	143	NS	143	147	**
NFE/NLE	9,9	10,4	10,3	**	10,1	10,2	NS
LF14/LL14	422	480	459	NS	449	459	*
<b>34 mois/months</b>							
CC/G	166	171	167	NS	166	171	**
NFE/NLE	9,4	9,6	9,6	NS	9,5	9,6	NS
LF14/LL14	486	521	509	NS	502	509	NS
<b>46 mois/months</b>							
CC/G	177	179	175	NS	174	179	*

CC : circonférence au collet (cm)/G: girth (cm); NFE : nombre de feuilles émises (pas de temps de 6 mois)/NLE: number of leaves emitted (per 6-month time lapse); LF : longueur de la feuille de rang 4, 9 ou 14/LL: length of leaf 4, 9 or 14; Sig. N = différence significative liée à l'azote/significant difference linked to nitrogen; Sig. Cl = différence significative liée au chlore/significant difference linked to chlorine

\*\* = significatif à 1%/significant at 1% \* = significatif à 5%/significant at 5%. NS = différence non significative/not significant

Tableau 5. Effets de l'azote et du chlore sur la précocité. / *Effects of nitrogen and chlorine on precocity.*

Traitement Treatment	Arbres fleuris à 28 mois (%) Palms with flowers at 34 months (%)	Arbres fleuris à 31 mois (%) Palms with flowers at 34 months (%)	Arbres fleuris à 34 mois (%) Palms with flowers at 34 months (%)	Arbres fleuris à 37 mois (%) Palms with flowers at 34 months (%)
N0	11	32	47	69
N1	26 **	53 **	65 **	80
N2	30 **	56 **	67 **	79
Cl0	19	41	56	74
Cl1	25 **	52 **	64 **	78

\*\* = différence significative à 1%/significant difference at 1%

très bonne réponse à l'apport azoté, le nombre de noix par arbre passant de 9 (N0) à 19,4 (N1) et 22,4 (N2) (tableau 6).

Ainsi, les apports d'engrais azotés permettent de doubler les rendements lors de la première année de production : de 0,3 t (N0) à 0,7 t (N1) et 0,8 t (N2), ce qui montre bien qu'une bonne nutrition azotée au jeune âge est très importante. Mais les résultats en seconde année de production montrent que l'effet des apports azotés s'estompe assez vite, et la différence entre 70 noix par arbre pour N0 contre 79 noix par arbre pour N1 et N2 n'est plus significative (tableau 6).

Ces résultats confirment que l'amélioration de la nutrition azotée est le fait non seulement des apports d'engrais minéral azoté mais aussi d'autres facteurs influant sur le cycle de l'azote comme un bon drainage, la mise en place d'une légumineuse de couverture fixatrice d'azote (photo 3) et un bon entretien.

En revanche, l'effet du chlore qui se fait sentir par l'augmentation du poids de coprah par noix passant de 220 g (Cl0) à 251 g (Cl1) en première année de production, est confirmé en début de seconde année dans des proportions similaires : 212 g (Cl0) et 253 g (Cl1). Cette amélioration

Tableau 6. Rendements suivant les traitements (en coprah/ha). / Yields according to treatment (copra/ha).

Traitements Treatment	Variables									
	Nombre de noix par arbre Number of nuts per palm		Coprah/noix Copra/nut (g)		Coprah/arbre Copra/palm (kg)		Equivalent coprah/ha Copra equivalent/ha (t)		Nombre de noix par tonne de coprah Number of nuts per tonne of copra	
	Année 4 Year 4	Année 5 Year 5	Année 4 Year 4	Année 5 Year 5	Année 4 Year 4	Année 5 Year 5	Année 4 Year 4	Année 5 Year 5	Année 4 Year 4	Année 5 Year 5
N0	9,0	70,0	240	236	2,2 (100)	16,5 (100)	0,33	2,51	4 166	4 237
N1	19,4	79,5	240	232	4,7 (214)	18,4 (112)	0,71	2,80	4 166	4 310
N2	22,4	79,0	227	228	5,1 (232)	18,0 (109)	0,78	2,74	4 405	4 386
C10	16,4	74,8	220 (100)	212 (100)	3,6 (100)	15,9 (100)	0,55	2,42	4 545	4 717
C11	17,4	77,5	251 (114)	253 (119)	4,4 (122)	19,6 (123)	0,67	2,98	3 984	3 953

tion des teneurs a un effet direct sur le nombre de noix nécessaire pour traiter une tonne de coprah, moins de 4 000 pour C11 contre 4 600 pour C10 (photo 4).

Les effets des traitements sur les teneurs foliaires montrent une teneur moyenne en azote en augmentation (2,06 % N dans la feuille 14 en novembre 1999 contre 1,9 % en novembre 1998) (tableau 7). L'effet du sulfate d'ammoniaque sur les teneurs en N se révèle encore significatif pour la troisième année consécutive, mais il s'atténue. L'amélioration généralisée de la nutrition

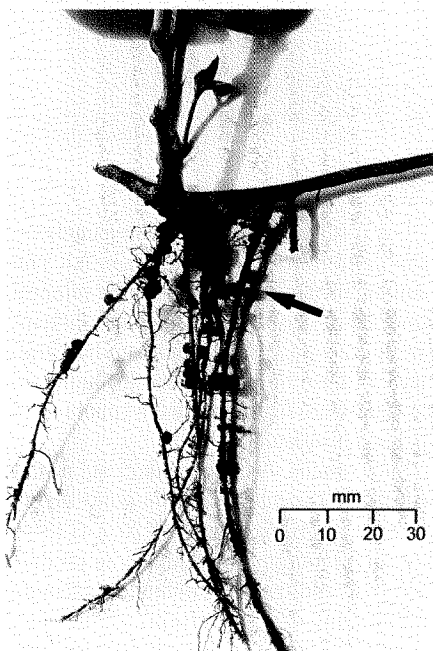
azotée devrait amener à un amortissement de l'effet de l'azote sur la production avec un certain décalage dans le temps.

Les apports de phosphore super triple et de sulfate de potassium ne montrent aucun effet sur les teneurs foliaires en ces éléments. En 1999, les teneurs moyennes en P (0,142 %) et en K (1,057 %) confirment la bonne capacité du sol à fournir ces éléments à la plante.

Les applications de chlore agissent fortement sur les teneurs foliaires en chlore, ainsi l'écart constaté en 1999, de 0,083 %

pour le traitement C10 à 0,384 % pour C11, est similaire à celui relevé en 1998. Sur cet essai, il s'agit d'une absorption sélective — beaucoup de chlore et peu de sodium — comme le montre l'effet limité du NaCl sur les teneurs en sodium qui vont de 0,05 % pour NaCl0 à 0,07 % pour NaCl1, malgré un apport conséquent de chlorure de sodium, de 2 kg par arbre en mai 1999 pour le traitement NaCl1. Contrairement à ce que l'on observe dans d'autres situations, où l'apport de NaCl déséquilibre le rapport K/Na au profit du sodium, les cocotiers de l'essai

Photo 3. Nodosités sur des racines de *Pueraria phaseoloides*. / Nodules on *Pueraria phaseoloides* roots.



J. Ollivier

Photo 4. Cocotiers âgés de quatre ans et demi ayant reçu une fumure N1 C11. / Four-and-a-half-year-old coconut palms given fertilizer treatment N1 C11.



J. Ollivier

Tableau 7. Action des engrais sur les teneurs foliaires en éléments nutritifs (feuille de rang 14). / Effect of fertilizers on leaf nutrient contents (rank 14 leaf).

Traitements Treatment	N	P	K	Na	Cl	S	B
N0 1998	1,82	0,139	1,047	0,093	0,201	0,193	8,2
N0 1999	2,02	0,143	1,064	0,060	0,214	0,185	12,9
N1 1998	1,92**	0,139	1,070	0,066	0,191	0,202*	8,1
N1 1999	2,08**	0,140	1,071	0,055	0,243	0,196**	12,8
N2 1998	1,94**	0,137	1,055	0,076	0,183	0,206*	7,8
N2 1999	2,08**	0,141	1,034	0,064	0,242	0,202**	12,0
P0 1998	1,86	0,134	1,005	0,088	0,191	0,199	8,1
P0 1999	2,03	0,139	1,054	0,070	0,238	0,193	12,5
P1 1998	1,91	0,141	1,130	0,070	0,196	0,200	8,1
P1 1999	2,08	0,144	1,082	0,050	0,224	0,197	13,0
P2 1998	1,90	0,140	1,036	0,078	0,189	0,203	8,0
P2 1999	2,06	0,142	1,034	0,060	0,238	0,192	12,2
K0 1998	1,89	0,142	1,080	0,078	0,187	0,189	8,3
K0 1999	2,09	0,144	1,084	0,062	0,224	0,192	12,5
K1 1998	1,88	0,138*	0,974	0,082	0,187	0,206**	8,0
K1 1999	2,04	0,142	1,029	0,065	0,249	0,192	12,6
K2 1998	1,91	0,135*	1,118	0,075	0,201	0,207**	7,9
K2 1999	2,04	0,139	1,057	0,053	0,228	0,198	12,6
C10 1998	1,88	0,137	1,098	0,069	0,074	0,203	8,5**
C10 1999	2,03	0,139	1,107	0,050	0,083	0,197*	13,4**
C11 1998	1,90*	0,140	1,017*	0,088**	0,310**	0,198	7,6
C11 1999	2,08**	0,145**	1,006**	0,070**	0,384**	0,191	11,8

\*\* : différence significative à 1%/significant difference at 1%. \* : différence significative à 5%/significant difference at 5%. NS : différence non significative/not significant

PNCC01 filtrent le sodium. Ainsi, le rapport K/Na dans les feuilles est peu affecté par l'apport d'engrais NaCl.

Les niveaux de bore très bas de 1998 (8,1 ppm), visualisés par des symptômes de carence comme des feuilles aux folioles soudées sur nombre d'arbres épars de l'essai, ont très nettement augmenté en 1999 (12,6 ppm) à la suite de l'apport de 30 g de borax en juillet 1999.

### Coûts d'établissement des cocotiers et d'application des fumures

Les données technico-économiques couvrant la période 1995-1999 sont ramenées à l'hectare de plantation. La mise en place et l'entretien d'un hectare de cocoteraie hybride sur la station a coûté, sur une période de cinq ans, 1 175 \$US dont près de la moitié en charges de main-d'œuvre : 575 \$US (tableau 8). Les frais liés à l'établissement de la plantation se concentrant au cours des deux premières années (80 % de l'investissement).

Les revenus générés par la vente du coprah lors des deux premières années de production varient en fonction des traitements respectivement de 866 à 1070 \$US pour N0 et N1 et de 902 à 1113 \$US pour C10 et C11 (tableau 9). La différence négligeable de production cumulée entre N1 et N2 indique clairement qu'un apport à simple dose est à préconiser.

Il apparaît aussi clairement que, sur le site de la station de recherche de Stewart, où il n'y a pas de saison sèche marquée, l'apport de chlore n'est pas rentable dans les conditions économiques locales. L'augmentation de la production reste trop faible pour couvrir les charges spécifiques liées à la fertilisation chlorée. En considérant les charges spécifiques liées à l'application de fertilisants pendant cinq ans, la fertilisation chlorée ne serait rentable qu'à un prix maximum de 117 \$US la tonne de NaCl, ce qui est loin d'être le cas actuellement (265 \$US la tonne). Il est cependant intéressant de constater que le coût de transformation, ramené à la tonne de coprah, le plus faible, est celui rencontré avec C11: 82 \$US contre 92 \$US pour C10 (tableau 9).

Les coûts spécifiques (achat d'engrais, transport et épandage) cumulés sur la période des 5 ans d'application, qui sont liés à la fertilisation azotée (dose N1 avec urée) s'élèvent à 183 \$US.

La marge nette par hectare (hors coût d'établissement) à la fin de la sixième année (2 années de production) est de 617 \$US pour N0, 586 \$US pour N1 (urée)

et 460 \$US pour N2. Il apparaît clairement que la rentabilité de l'engrais minéral azoté dans le cas étudié est mauvaise si l'on maintient une application tout au long des cinq années (différentiel de marge N1-N0 négatif). Cette application azotée serait économiquement viable si le prix de la tonne d'urée ne dépassait pas 220 \$US alors qu'il est de 294 \$US.

Le coût de traitement de la noix est très lié à la densité des cocotiers et au nombre de noix requis pour traiter une tonne de coprah. La récolte et le traitement des noix intègrent les différentes opérations : collecte et regroupement des noix au champ, transport des demi-noix débourrées cassées du champ au four, chargement du four, retournement des demi-noix en cours de séchage, décoquage et ensachage. Le déburrage est réalisé après le regroupement des noix et payé au kilo de noix débourrées cassées ; ce coût n'est donc pas lié au nombre de noix, il varie un peu selon le taux de coprah par noix.

Le taux de conversion du poids de coprah sec/poids des noix débourrées sans eau est de 30 % mesuré sur 7 récoltes en 1999 et 2000. Le coût moyen de traitement, de la collecte des noix à l'ensachage, par tonne de coprah s'élève à 86 \$US (tableau 10).

Le coût moyen de traitement, de la collecte des noix à l'ensachage, par tonne de coprah s'élève à 86 \$US (tableau 10).

## Discussion

### Recommandations techniques

Les résultats préliminaires de cet essai montrent que les conditions édapho-climatiques de la station Stewart sont très favorables à la culture du cocotier. De bonnes pratiques culturales et des apports raisonnés d'azote et de chlore permettent d'augmenter le rendement de façon significative.

Cette situation, observée en station, ne peut cependant pas être généralisée à tout le pays. Une enquête de nutrition montre de fortes disparités selon les régions de Papouasie-Nouvelle-Guinée (Ollivier *et al.*, 1999).

Alors que les teneurs foliaires d'azote sont globalement élevées sur l'essai, bien corrélées avec les niveaux de production observés, il n'en est pas de même sur l'ensemble des sites observés en Papouasie-Nouvelle-Guinée (carte). Ainsi, sur 34 analyses réalisées sur 23 sites de 11 provinces de Papouasie-Nouvelle-Guinée, les niveaux d'azote sont faibles (dans 80 % des cas), voire très faibles (jusqu'à 1,2 % de la matière sèche (Ollivier *et al.*, 1999).

Tableau 8. Coût d'établissement et d'entretien des cinq premières années de culture. / *Setup and upkeep costs for the first five years after planting.*

	Année 0 Year 0 (1995)			Année 1 Year 1			Année 2 Year 2			Année 3 Year 3			Année 4 Year 4 (1999)			Total des cinq années Total 5 years				
	HT MH	HJ MD	\$US US\$	Q	HT MH	HJ MD	\$US US\$	Q	HJ MD	\$US US\$	Q	HJ MD	\$US US\$	Q	HJ MD	\$US US\$	Q	HT MH	HJ MD	\$US US\$
<b>Coût d'établissement/Setup costs</b>																				
Coupe manuelle (contrat/ha) Manual felling (contract/ha)		10	47															10	47	
Alignement andains layonnage Lining up windrows and paths		13	45															13	45	
Andainage mécanique (hr bulldozer D8/ha) Mechanical windrowing (hours D8 bulldozer/ha)		4	233															4	233	
Infrastructure - Drainage routes/roads						15,5	54		9,8	32		2	5					27,3	92	
Piquetage, trouaison, plantation cocotier Lining, holing, planting (coconut palms)						12,6	44											12,6	44	
Etablissement et entretien légumineuse de couverture Setup and upkeep (legume cover crop)						16,8	59											16,8	59	
Entretien manuel interlignes Manual upkeep (interrows)						14	49		3,8	12		4,3	11		4	10		22,1	83	
Entretien manuel des ronds Manual upkeep (circles)						16,5	58		13	43		17	42		9,8	25		46,2	168	
Traitement herbicide Herbicide treatment						5,9	21		3,6	12		0,6	2		1,3	3		10,1	37	
Hersage mécanique Mechanical harrowing						2,1	5											2,1	5	
Transport gravier route Gravel transport (road)						1,6	2											1,6	2	
Broyage mécanique Mechanical slashing						3,8	9											3,8	9	
Transport des plants Plant transport						2,9	4											2,9	4	
<b>Matériel végétal et produits phytosanitaires/Planting material and phytosanitary products</b>																				
Plants cocotiers Coconut seedlings (plants/ha)						168	215											168	215	
Semences de légumineuse Legume cover crop seeds (kg/ha)						10	38											10	38	
Herbicides (l/ha)						5,7	52		3,6	30		0,6	3		1,3	6		11,2	92	
Inoculum (g/ha)						50	2											50	2	
Total	4	23	325		10	81,3	613		30	129,6		23	63		15	45		14,4	158	1 175

HT: temps de travail machine outil en heures (bulldozer, tracteur)/MH: machinery work times in hours (bulldozer, tractor)

HJ : homme-jour, nombre de journées de travail/MD: man-days, number of days work

Q : Quantité/Quantity

\$US : Coût en dollars US/US\$: cost in US dollars

contrat/ha : montant par hectare convenu avec un groupe de personnes/Contract/ha: sum per hectare agreed with a group of people



Tableau 9. Analyse économique des applications d'engrais (ramenées à l'hectare). Bilan des cinq premières années. / *Economic analysis of fertilizer costs (per hectare). Conclusions for the first five years.*

Produits et coûts opérationnels liés aux applications d'engrais/Income and operating costs linked to fertilizer applications							
Traitements Treatment	HJ/MD	Q (t/ha)	Revenu Revenue (\$US/US\$)	Fertilisants Fertilizers (\$US/US\$)	Application (\$US/US\$)	Transformation Processing (\$US/US\$)	Marge nette Nett income (\$US/US\$)
N0	73,0	2,84	866			- 248	617
N1 (5 ans d'application/5 years applications)	107,0	3,51	1 070	- 125	- 58	- 301	586
N2 (5 ans d'application/5 years applications)	107,9	3,52	1 073	- 249	- 58	- 306	460
Cl0	78,4	2,96	902			- 272	360
Cl1 (5 ans d'application/5 years applications)	106,8	3,65	1 113	- 287	- 58	- 298	470

HJ : homme-jour, nombre de journées de travail/MD: man-days, number of days work

Q (t/ha) : quantité de coprah produit à l'hectare/quantity of copra produced per hectare

Q (NN) : nombre de noix/number of nuts

Tableau 9 (suite/cont.). Analyse économique des applications d'engrais (ramenées à l'hectare). Bilan des cinq premières années. / *Economic analysis of fertilizer costs (per hectare). Conclusions for the first five years.*

Coût de transformationselon traitement (collecte, débouillage, séchage et transport) Processing costs according to treatment (collection, husking, drying and transport)				
Traitements Treatment	HJ/ MD	Q (NN)	Coût transformation Processing cost (\$US/US\$)	Coût/tonne coprah Cost/tonne of copra (\$US/US\$)
N0	73,0	12 010	248	87
N1	86,7	15 026	301	86
N2	87,6	15 454	306	87
Cl0	78,4	13 868	272	92
Cl1	86,5	14 449	298	82

HJ : homme-jour, nombre de journées de travail/MD: man-days, number of days work

Q (t/ha) : quantité de coprah produit à l'hectare/quantity of copra produced per hectare

Q (NN) : nombre de noix/number of nuts

Les analyses des horizons de surface de sols propices à la culture du cocotier et du cacaoyer en Papouasie-Nouvelle-Guinée (Hanson *et al.*, 1998) montrent une grande variabilité des teneurs en N (0,17 à 0,95 %) et des valeurs C/N (8 à 14).

La plantation d'une légumineuse de couverture et l'apport d'azote sont fortement recommandés et justifiés sur bon nombre de sites, étant donné les faibles niveaux en azote observés. Ces faibles teneurs sont liées suivant les cas : à la faible pluviosité, aux conditions de sols défavorables, à la minéralisation de la matière organique (sols coralliens, sables lessivés ou zones hydromorphes) ou encore à un entretien insuffisant qui favorise le développement de graminées comme *Imperata cylindrica*, grosses consommatrices d'azote.

Le résultat montrant que l'apport de phosphore n'a pas d'effet sur la production peut être extrapolé à de nombreux sites de Papouasie-Nouvelle-Guinée, comme le confirme l'enquête de nutrition où les te-

neurs en cet élément semblent être globalement satisfaisantes (Ollivier *et al.*, 1999).

Les apports de sulfate de potassium n'ont aucun effet sur la croissance, la précocité et les premières productions, alors que les apports de chlorure de sodium sont bénéfiques.

L'interaction K-Cl apparaît significative et probablement liée à l'antagonisme K-Na. Cette observation a déjà été faite à Gunung Batin en Indonésie. Le chlore est l'élément dominant et le potassium ne révèle son effet qu'en second lieu (Bonneau *et al.*, 1997).

Les teneurs en potassium observées à travers le pays peuvent varier selon les sites, de 0,24 % à 1,58 % de la matière sèche, valeur très élevée (Ollivier *et al.*, 1999).

Les conditions observées à la station ne peuvent donc être généralisées, sachant que la distribution du potassium dans le sol est liée au type de roche mère. La disponibilité en potassium dépend aussi des relations avec les autres cations. Des teneurs trop élevées en calcium ou en magnésium peuvent déprimer la source disponible en K.

Les taux de potassium échangeable relevés dans les principaux sols de cocoteraie en Papouasie-Nouvelle-Guinée fluctuent de 0,05 meq dans la province de Milne Bay à 9,73 meq dans la province de Morobe. Des déficiences en potassium sur cocotier ont été signalées par Baseden et Southern (1959) sur des sols coralliens sur la côte est de Nouvelle-Irlande. Cela est confirmé par les analyses foliaires du site de Kisela où l'on a recensé l'une des plus faibles teneurs en potassium (0,360 % de la m.s). Ces auteurs fixent également à 0,6 meq/100 g de K dans le sol le seuil en dessous duquel les cocotiers n'ont pas les réserves nécessaires pour maintenir une production sans apport d'engrais. Les sables côtiers, les sols coralliens et latéritiques montrent souvent des teneurs en K dans le sol inférieures à 0,15 meq/100 g. C'est le cas de la plupart des sols de Nouvelle-Irlande et de Milne Bay. Seuls les sols formés de cendres d'origine volcanique, avec des teneurs élevées en K échangeable, sont favorables. C'est le cas de l'est et de l'ouest de la Nouvelle-Bretagne et de la station de recherche Stewart avec les apports volcaniques de Karkar. Les teneurs foliaires en K des cocotiers sont souvent proches du niveau critique et ne nécessitent pas ou peu de corrections.

Dans la province Central, près du Cape Rodney, de fortes teneurs en magnésium dans le sol couplées avec de très faibles teneurs en potassium provoquent de sérieuses déficiences sur les cocotiers (Sumbak, 1976). Ces résultats sont confirmés par les diagnostics foliaires sur le champ semencier de Manabo, où les plus faibles teneurs ont été observées (0,238 % sur cocotiers Grand et 0,306 % sur cocotiers Nain) (Ollivier *et al.*, 1999). Des symptômes de déficience sur le feuillage et des

Tableau 10. Coûts de collecte, de transformation et de transport par tonne de coprah. / Collection, processing and transport costs per tonne of copra.

	Q	HJ/MD	Coût/Cost
Collecte et mise en tas des noix au champ (nb de noix)/Nut collection and piling in the field (no. of nuts)	4 260	9,3	18,42
Débourrage/ensachage/transport au four en PNDC <i>Husking/bagging/transport to oven: WSHN (kg)</i>	3 327	5,1	36,28
Séchage/retournement des noix sur le lit de séchage/Nut drying and turning		4,6	9,06
Décoquage/ensachage/Shellings/bagging		5,6	11,13
Transport au champ par tracteur (Q en l fuel)/Transport to field by tractor (Q in l diesel)	2,44	0,2	7,33
Transport du coprah au dépôt du Copra Marketing Board (par camion)/Copra transport to Copra Marketing Board depot (by truck)		0,1	3,84
Total		24,9	86,06

Q : quantité/quantity

HJ : homme-jour/MD: man-days

PNDC : Poids noix débouffées cassées/WSHN: Weight of split husked nuts

Nombre moyen de noix par arbre/Mean number of nuts per palm: 16,9

Temps effectif pour débouffeur une noix : minimum 15 secondes, soit 17,75 heures pour 4 260 noix/Time taken to husk a nut: minimum 15 seconds, ie 17.75 hours for 4 260 nuts

PNDC moyen par homme/jour : 650 kg/WSHN per man-day: 650 kg

Poids moyen d'un sac de noix débouffées cassées/Average weight of a bag of split husked nuts: 70 kg

Nombre de sacs par tonne de coprah sec/Number of bags per tonne of dry copra: 18,5

Poids moyen d'un sac de coprah sec/Average weight of a bag of dry copra: 54 kg

arbres très peu chargés en noix ont été clairement visibles. Des résultats similaires sont observés dans les provinces de Milne Bay et de Gulf. Des essais de fumure dans la province Central ont montré de

bonnes réponses aux apports potassiques (Sumbak, 1976).

La production est fortement corrélée aux teneurs en potassium dans la feuille (Manciot *et al.*, 1980). Cette corrélation a

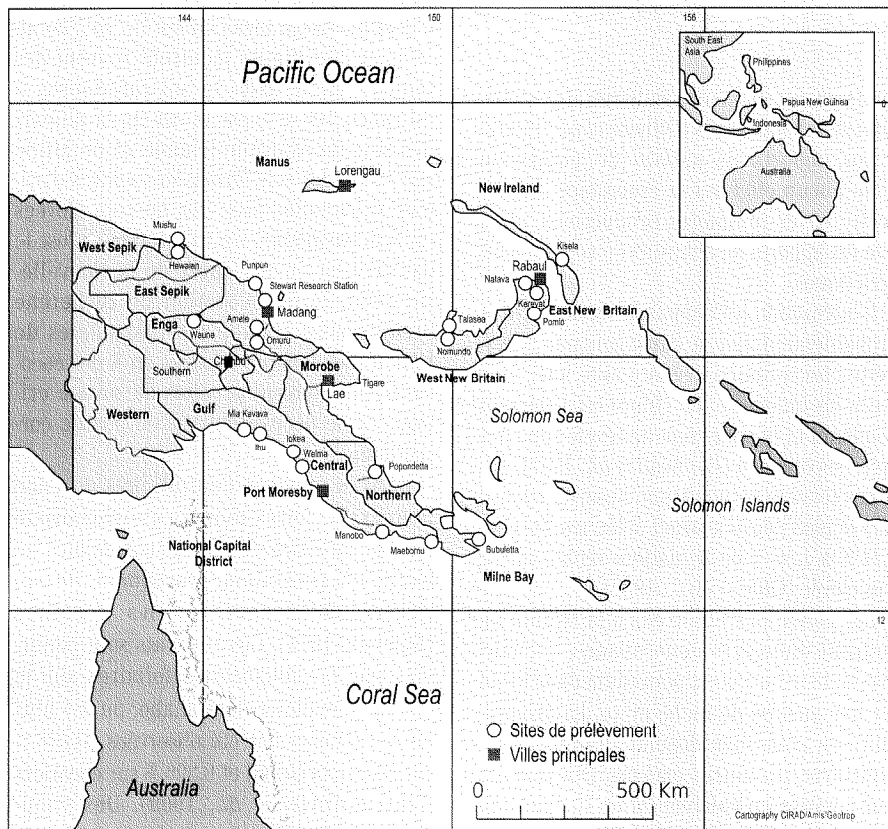
été observée sur les sites de Mushu et d'Hawaian dans la province East Sepik. Ces parcelles présentent des teneurs foliaires très variées. Mushu, situé sur une île corallienne, montre une teneur très faible, de 0,647 % contre 1,49 % sur le site d'Hawaian sur la Grande-Terre. En 1998, la production est de 41,6 noix/arbre/an et 7,7 kg de coprah/arbre/an à Mushu, alors qu'à Hawaian pour l'hybride NRM x GR elle atteint 74,1 noix/arbre/an et 12,8 kg de coprah/arbre/an (Ovasuru, 1999).

Les résultats de l'essai mené à station Stewart montrent chaque année que des apports de chlorure de sodium augmentent de façon très significative les teneurs foliaires en Cl. Cela confirme un phénomène déjà cité à de nombreuses reprises : les cocotiers absorbent très efficacement le chlore (Bonneau *et al.*, 1997).

Le contraste observé pour le potassium est également visible pour les teneurs en chlore, avec des valeurs comprises entre 0,009 % sur un site très éloigné de la côte dans la province d'Enga, et 0,96 % sur la côte sud de la Grande-Terre balayée par de forts vents de sud-est (provinces Central et Gulf).

L'effet du chlore sur l'essai est surprenant. Comme les arbres ont été plantés à une centaine de mètres de la mer, on aurait pu croire qu'ils bénéficieraient d'apports de chlore atmosphérique en quantité suffisante. La réponse positive aux apports de sel sur les teneurs foliaires en Cl, sur la

Emplacement des différents sites de prélèvement d'échantillons foliaires. / Location of the different leaf sampling sites.



croissance et sur la précocité des arbres montre le contraire.

La sévère déficience en chlore s'explique par de très faibles apports atmosphériques. Cependant, dans les conditions de la province de Madang, le gain sur la production par application de sel, bien que significatif, reste limité. Ce phénomène de faible réponse de la production s'explique par l'absence de déficit hydrique observé sur la période considérée.

Le chlore est un élément essentiel dans la résistance au stress hydrique, comme cela a été décrit en Indonésie (Bonneau *et al.*, 1997) et aux Philippines (Magat, 1998). La plupart des sols ne contiennent que très peu de chlore. Les apports provenant exclusivement de l'atmosphère sont liés à la distance de la côte ainsi qu'à la vitesse et à la direction des vents dominants (Delmas et Djouka, 1983).

En Papouasie-Nouvelle-Guinée, le climat est influencé principalement par le mouvement saisonnier en latitude de deux masses d'air (Mac Alpine *et al.*, 1983). Les vents de nord-ouest, de décembre à avril, associés à une forte pluviosité, et les alizés du sud-est, entre mai et octobre, marquant une saison plus sèche. La fréquence et la vitesse des vents sont des facteurs importants influençant le transfert de sel dans l'atmosphère et son dépôt sous forme sèche ou humide. Or les conditions changent énormément entre le Sud et le Nord de la Grande-Terre et les îles.

Aucune mesure n'a été faite pour évaluer les apports de sel par l'atmosphère en Papouasie-Nouvelle-Guinée, mais selon toute vraisemblance ils devraient être élevés sur la côte sud de la Grande-Terre au cours de la période des alizés. Les fortes teneurs foliaires en chlore des arbres provenant des sites des provinces Gulf, Central et Milne Bay confirment ces hypothèses.

Un tout autre scénario est observé sur la côte nord de la Grande-Terre où les vents dominants sont plutôt ouest-nord-ouest au cours de la mousson alors que les vents du sud-est sont arrêtés par le relief. On note d'ailleurs à Stewart la faible vitesse du vent et la faible puissance des vagues. L'apport de chlore par les embruns est donc limité, même à courte distance du rivage.

Enfin, le bore s'est montré déficient sur l'essai. Des symptômes visuels ont été observés et cartographiés sur des champs semenciers proches du site de l'essai et ont révélé une fréquence élevée d'arbres carencés (Beaudoin, comm. pers., 1995).

### Recommandations économiques partielles

Si l'on constate, en station, que des apports de fertilisants azotés et chlorés permettent d'augmenter le rendement de façon significative, leur rentabilité est cependant discutable.

Les premiers bilans économiques montrent qu'il n'est pas rentable d'appliquer des engrais azotés sur une durée de cinq ans. Les observations de croissance et de précocité montrent que l'effet de l'azote est limité dans le temps. L'analyse des teneurs foliaires permet de ne préconiser l'application de fertilisants azotés — sous forme d'urée ou d'un engrais organique riche en N — qu'en dose starter, de la première à la troisième année.

Le coût du sulfate d'ammoniaque (21 % N), de l'ordre de 241 \$US, se révèle aussi très élevé comparé à celui de l'urée (46 % N) dont le prix est de 294 \$US en raison du coût du transport des engrais importés. La substitution du sulfate d'ammoniaque par l'urée pourrait diminuer considérablement le coût des engrais. En dose starter sur les trois premières années d'application — soit 180 kg d'urée au total —, le coût de l'engrais azoté s'élèverait à 62 \$US par hectare. En admettant que la dose starter appliquée donne le même effet sur les rendements, le différentiel N1-N0 serait alors positif et permettrait de dégager un profit de 55 \$US par hectare la cinquième année.

Le traitement N0 de l'essai, comme tout autre traitement, bénéficie de pratiques culturales : drainage, entretien régulier, éradication manuelle et chimique des adventices sur l'interligne et maintien de la couverture dès la première année. Cet itinéraire technique est optimal et les effets sur les teneurs en azote de la feuille montrent l'efficacité de la plante de couverture. Ces conditions très favorables sont assez éloignées des situations généralement observées en milieu villageois ou même en plantation.

Les effets des applications de chlorure de sodium sur la production sont très significatifs et les teneurs foliaires en Cl permettent de prévoir des effets qui devraient se maintenir sur le long terme. Malheureusement, le coût du sel importé d'Indonésie ou de Malaisie est également assez prohibitif (265 \$US/tonne) et il n'est pour l'instant pas économiquement rentable. Mais, là aussi, les conditions pourraient changer, un projet d'exploitation de sel marin sur la côte sud de la Grande-Terre pourrait rendre le prix du sel plus

abordable. De plus, si les conditions météorologiques évoluent avec des effets de type El Niño plus souvent répétés, il est probable que l'effet du chlore s'accroîtra et que le gain de production induit modifiera de façon sensible les résultats économiques.

Les productions enregistrées ces quatre dernières années en Papouasie-Nouvelle-Guinée permettent d'illustrer ces hypothèses. En 1998, après la sécheresse de 1997, la production de coprah a été de 124 000 t, environ 15 % de moins qu'en 1996, 1997 et 1999 (respectivement 149 000 t, 140 000 t et 151 000 t).

### Conclusion

Les résultats préliminaires de l'essai de nutrition mené à la station Stewart révèlent une très bonne précocité des hybrides en raison de conditions climatiques très favorables, d'un bon drainage et d'une bonne fertilité des sols. Seuls les apports azotés et chlorés ont montré un effet sur la croissance et la précocité de production. L'effet de l'azote sur la production s'est néanmoins très vite estompé, et il apparaît judicieux de n'envisager qu'une application azotée limitée aux premières années de croissance.

La substitution de l'urée par un engrais organique riche en N (fientes de poulet d'élevage) disponible dans l'environnement local à prix abordable pourrait être envisagée afin d'améliorer la rentabilité économique.

L'effet du chlore, dont l'action est plus durable, reste cependant limité en raison d'une pluviosité abondante. Dans les conditions économiques locales, les apports de chlorure de sodium ne sont pas rentables.

L'essai mené à la station Stewart est encore trop récent pour tirer des conclusions définitives, mais les observations faites sur les sites multilocaux et les résultats agro-économiques sont une source d'information très utile. Ils permettent de recommander des apports de fertilisants sur cocotier, de proposer des activités de développement prioritaires et de donner des bases pour la mise en place d'essais de recherche participatifs dans le domaine de la nutrition du cocotier, pour le bénéfice des producteurs.

Placés dans de bonnes conditions agro-cologiques, les nouveaux hybrides développés par le PNG-CCRI se montrent performants. La poursuite des observations sur la production de cet essai permettra de défi-

nir d'une façon plus précise le retour sur investissement.

Les premiers résultats renforcent le fait que l'adoption d'une plante de couverture devrait être un message fort des services de vulgarisation pour améliorer la nutrition azotée déficiente dans la majorité des sites observés lors de l'enquête de nutrition. ■

#### Remerciements

Nous tenons à remercier le PNG Cocoa & Coconut Research Institute, pour avoir facilité cette étude, particulièrement Kurengen Sik, Pius Pulo et Harold Levillain qui ont collecté des données de cet essai.

### Bibliographie / References

- BANGA M., 1993. Soil survey of Murnas and Kailie Plantations. Madang Province. Departement of agriculture and livestock, Land Utilisation section, Report n° 680, 52 p.
- BASEDEN S.C., SOUTHERN P.J., 1959. Evidence of potassium deficiency in coconut palm in New Ireland. Papua New Guinea Agric. J. 11 : 101-116.
- BLEEKER P., 1983. Soils of Papua New Guinea. Canberra, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australian National University Press, 352 p.
- BONNEAU X., BOUTIN D., BOURGOING R., SUGARIANTO J., 1997. Le chlorure de sodium, fertilisant idéal du cocotier en Indonésie. Plant. Rech. Dév. 4 (5) : 336-346.
- BONNEAU X., 1999. Report on the visit to the Stewart Research Station, CCRI, Madang, Papua New Guinea. Doc. Cp 1104, 11 p.
- DELMAS R., DJOUKA A., 1983. Etude des apports atmosphériques de chlore aux sols en Basse Côte d'Ivoire. Oléagineux 38 (7) : 429-437.
- DE TAFFIN G., ROGNON F., 1991. Le diagnostic foliaire du cocotier. Conseils de l'Irho 318. Oléagineux 46 (4) : 170-171.
- HANSON L.W., BOURKE R.M., YINIL D.S., 1998. Cocoa and coconut growing environments in Papua New Guinea. A guide for research and extensions activities. Australian Agency for International development, 79 p.
- MAC ALPINE J.R., KEIG G., FALLS R., 1983. Climate of Papua New Guinea. Canberra, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australian National University Press, 200 p.
- MAGAT S., 1998. Coconut rehabilitation techniques & post-rehabilitation technologies to sustain coconut production. Cocotech-Apcc, Bali, p. 1-34.
- MANCIOT R., OLLAGNIER M., OCHS R., 1980. Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. Oléagineux 35, n° hors série, 55 p.
- OLLIVIER J., AKUS W., BONNEAU X., 1999. Coconut Nutrition in Papua New Guinea. Cord XV (2) : 76-105.
- OMURU E., 2000. Country paper: Thirty years of the coconut industry in Papua New Guinea (1969-1999). In : 30 years of coconut industry in asian pacific coconut member countries, Jakarta, Asian and Pacific Coconut Community.
- OVASURU T., 1999. Mid Term Research Review, 20 et 21 May 1999, PNG Cocoa & Coconut Research Institute, p.289-302 (document interne).
- SOUTHERN P.J., 1969. Sulfur deficiency in Coconuts. Oléagineux 24 (4) : 211-220.
- SUMBAK J.H., 1976. Progress of two coconut fertilizer trials in Papua New Guinea. Oléagineux 31 (10) : 427-434.

# Response of young hybrid coconut palms to inorganic fertilizers in Papua New Guinea

## Preliminary agro-economic conclusions

Ollivier J.<sup>1,2</sup>, Akus W.<sup>2</sup>, Leplaideur A.<sup>1</sup>, Bonneau X.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIRAD-CP, TA 80 / PS3, 34398 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup> PNG Cocoa & Coconut Research Institute, PO Box 642, Madang, Papua New Guinea

Coconut (*Cocos nucifera* L.) is grown throughout the 14 coastal provinces and islands of Papua New Guinea (PNG). The crop covers some 250 000 ha, and copra output in recent years (1996-1999) has varied between 140 000 and 150 000 t (Omuru, 2000). The figure of just 124 360 t in 1998 was a result of the drought following El Niño, which affected Papua New Guinea from May to September 1997.

Copra production is a major source of income for a large proportion of the country's coastal inhabitants. Copra yields per hectare are estimated at between 0.5 and 1.0 t/ha/year, depending on palm age and the agro ecological conditions. However, mean productivity could be increased from 0.75 to 1.5 t/ha by adopting better upkeep and organic matter management techniques, and through rational fertilizer applications.

The problem of low coconut palm productivity in Papua New Guinea stems from numerous factors, such as the use of non-selected planting material, the increasing proportion of senile palms on estates, pest problems that hinder coconut redevelopment in the islands, and limited access to improved planting material. The lack of incentives to maintain stable productivity levels, nutrient deficiencies, poor crop production practices and the shift from coconut to other crops such as oil palm also serve to hamper productivity.

While adopting varieties with high yield potential is a long-term undertaking, using the right agronomic practices, obtaining better knowledge of coconut palm mineral deficiencies, and practising appropriate fertilizer applications are all steps that could be taken in the short term to improve coconut productivity in Papua New Guinea.

Between the 1960s and 80s, several fertilizer trials were set up by the Department of Agriculture and Livestock. Sulphur deficiencies were identified as resulting in chlorosis, low yields and poor quality, rubbery copra (Southern, 1969). Trials in New Ireland revealed positive responses to potassium fertilizers (Sumbak, 1976).

For the last fifteen years or so, the PNG Cocoa and Coconut Research Institute (CCRI) has

been implementing a national coconut research strategy. The Agronomy Programme works to develop innovative technical solutions and crop production practices likely to increase producer incomes. For instance, trials are under way on coconut-based farming systems, a major issue given that copra production is increasingly dominated by the smallholder sector and that it is essential to support diversification of the sources of income for small production structures. The conclusions are eagerly awaited by funding agencies, who are keen to ensure the widespread dissemination of trial results. Likewise, the Agronomy Programme's research also has to address other issues such as strategies for rehabilitating and replanting large areas of ageing coconut palms, which could be more productive than at present.

The programme also needs to back up the research under way on coconut improvement. Since the late 1980s, a project set up to study coconut diversity in Papua New Guinea has resulted in the selection of local Talls that have been used since 1993 in a Dwarf x Tall hybrid improvement programme. The work, which is being conducted by the Stewart research station in Madang province on the Papua New Guinea mainland, set out to identify high-yielding hybrids suitable for local conditions.

To determine the yield potential of these new varieties, it was essential to launch a mineral nutrition programme right from when the first plantings were set up at the Stewart station in 1994. In addition to soil analyses, annual leaf sampling was used to monitor palm nutrition and correct deficiencies through rational fertilizer applications.

Alongside the Stewart station's trial, a multi-site coconut nutrition survey has been conducted recently, enabling the establishment of a palm nutrition balance and fertilizer recommendations to correct the most serious deficiencies (Ollivier *et al.*, 1999).

### Material and methods

Mineral nutrition trial PNG-CCRI 801 was set up in 1996 at the Institute's research station 40 km north of Madang on the Papua New Guinea mainland (photo 1).

The trial was set up in a plot previously planted with cocoa under leucaena (*Leucaena leucophylla*) shading in the 1960s. In the previous ten years, the cocoa trees had gradually died for lack of upkeep. By the start of the trial, the plot was thus covered by a mixture of forest regrowth and *Leucaena*.

### Soils and climatic conditions

Land preparation involved cutting down the vegetation by hand in 1993 and windrowing with a bulldozer in 1995. A legume cover crop, *Pueraria phaseloides*, was sown, and covered the trial area within five to six months of planting the coconut palms.

The trial is between 100 and 600 m from the coast, and straddles the coastal strip and the inland plain. The soils on the coast are alluvial deposits, marine deposits and volcanic ash (Bleeker, 1983). Those of the coastal strip are dark brown sandy loams classed as typic tropopsaments under the USDA system. Those of the inland plain are friable black or dark brownish-grey clay loam silts or dark brown clays on the surface, underlain by sandy clays, and are classed as Udoll tropopsaments.

From a physical point of view, the soil texture is well balanced, in particular with a high proportion of loams, and the organic matter content of the topsoil is excellent: a layer of porous black humus with a high level of biological activity (Bonneau, 1999). From a chemical point of view, the pH is highly favourable—slightly acid, within the maximum assimilability range for the main nutrients—, and the cation exchange capacity is very high—25 to 45 meq/100g—, rich and balanced in terms of exchangeable elements (Banga, 1993). The soil is thus highly suitable for coconut, with no foreseeable severe deficiencies (table 1).

Climatic conditions at the Stewart station are highly favourable, with average annual rainfall of 3 533 mm based on 42 years of records for Madang. The rainy season is intense from November to May, and the dry season runs from July to September. However, there is rarely a water deficit, since it always rains a little, even in the dry season. Nevertheless, in 1997, El Niño had a marked effect, with just 55 mm of rain recorded from June to August. The rainfall

levels recorded at the station since the trial was set up have generally been highly satisfactory, with an average of 3 184 mm over the last four years (table 2). The annual mean temperature is 26.5°C, with a mean minimum of 23.1°C and a mean maximum of 30.0°C (MacAlpine *et al.*, 1983).

### Experimental design

The land was prepared in 1995 and the trial planted in January 1996 at a density of 160 palms/ha (in 8.5-m equilateral triangles), in a subdivided 3<sup>3</sup> factorial design, ie 54 plots each comprising 12 useful palms per treatment plus 18 border palms given the same treatment.

The coconut palms planted were hybrids produced by assisted pollination at the Omuru seed garden, Madang. Each block of 18 plots was planted with a different hybrid. Hybrid MRD x KKT3-Ulatava (Karkar island, Madang province) was planted in block 1, MRD x GLT2-Raulawat (New Britain province) in block 2, and MRD x OLT3B-Kikibator (Oro province) in block 3.

Anti-poaching trenches were dug around the elementary plots in 1997. Regular upkeep was practised to begin with, to encourage cover crop establishment and keep the circles around the palms clean.

### Treatments

Nitrogen, phosphorus, potassium and chlorine are under study. Table 3 shows the fertilizer rates applied per palm per year (photo 2).

### Analyses

Leaf samples were taken from the 12 useful palms in each plot. The 54 plots were sampled in October 1997, taking rank 9 leaves (L9), in October 1998, and in November 1999 taking rank 14 leaves (L14).

The samples were prepared as per the protocol described by de Taffin *et al.* (1991), and analysed by the CIRAD laboratory in Montpellier.

### Observation of vegetative and production characteristics

Palm growth measurements were taken for the first three years. Three variables were observed every six months: girth 20 cm from the ground (G), number of leaves emitted over the six months between observations (NLE) and length of leaf 4, 9 or 14 (LL).

Flowering was observed every three months, from 28 to 37 months after planting. Each palm was harvested monthly to evaluate the number of bunches and number of nuts per useful palm. The nuts were then pooled per plot, husked, and the split husked nut weight recorded. The split husked nuts were then bagged and taken to the copra oven, dried shell upwards on shelves in a Ceylon type dryer for around two days, after

which the shell was removed manually and the copra was dried for a further two days before being removed from the oven, bagged, stored and finally taken to the nearest Copra Marketing Board depot for sale.

To obtain an accurate idea of expected yields in year 5, crown loads on useful palms were counted in May 2000. Production was thus estimated based on the actual harvests from January to April and those estimated for May to December, assuming a mean emission rate of 16 leaves a year.

Copra weights after drying were recorded for regular harvest intervals so as to calculate the ratio of weight of copra: weight of husked nuts minus water.

### Economic calculations

To show potential users the work organization conditions and investment required to achieve such a performance, work times, hired labour costs and input prices were recorded from 1995, when the trial was set up, to 1999, the first productive year. An initial evaluation of fertilizer effectiveness was made. However, fertilizer cost-effectiveness needs to be calculated over a period of 8 to 10 years. In effect, it is impossible to assess the effects of both fertilizers and hybrids over a shorter period, since the first four years of production correspond to the "young adult" phase and the next four to the production plateau. The 10-year period also makes it possible to include any more or less exceptional climatic events.

Daily work times were measured for all activities, and expressed in mandays (MD). One man-day corresponds to five to six hours' work. Only workers involved in husking in the field are paid on a piecemeal basis, according to the weight of split husked nuts.

The data gathered in kinas (the currency in Papua New Guinea) were converted into dollars using the annual mean exchange rate.

### Results

#### Effects of fertilizer applications on growth and production

Significant differences in growth variables were observed during the immature period.

There was a positive response to nitrogen applications in terms of the numbers of leaves emitted from May 1996 to April 1998, with 27.8 leaves emitted for N1 and N2 compared to 25.1 for the N0 palms. Nitrogen also increased the length of leaf 9 by 19% in 1997 for N1, 22 months after planting (table 4).

Chlorine applications had a significant effect on most of the characters observed: girth (during the five observations covering a 34-month growth period), number of leaves

emitted (during the first 22 months), and leaf length (at 22 and 28 months) in the first three years after planting.

The positive effect of nitrogen and chlorine on flowering precocity continued, with highly significant differences from 28 to 34 months after planting (table 5). After three years, as most of the palms had flowered, the flowering rate was no longer a discriminating factor.

The first flowers appeared two years after planting, and the first bunches were harvested in April 1999, 40 months after planting.

The first year's production gave an annual yield for the trial of 0.6 t of copra per hectare, which is remarkable and puts this trial above the average for coconut palms planted under good conditions. This first figure was marked by the very good response to nitrogen applications, with the number of nuts per palm increasing from 9 (N0) to 19.4 (N1) and 22.4 (N2) (table 6).

Nitrogen applications thus doubled yields in year 1: from 0.3 t (N0) to 0.7 t (N1) and 0.8 t (N2), which clearly shows that good nitrogen nutrition is very important for young palms. However, the results in year 2 showed that the effect of nitrogen applications faded quite fast, and the difference between 70 nuts per palm for N0 and 79 for N1 and N2 was no longer significant (table 6).

These results confirm that the improved nitrogen nutrition was not merely a result of inorganic nitrogen applications, but also of other factors that affect the nitrogen cycle, such as good drainage, establishment of a nitrogen-fixing legume cover crop (photo 3) and good upkeep.

However, the effect of chlorine—an increase in copra weight per nut, from 220 g (C10) to 251 g (C11) in the first production year—was confirmed at the start of year 2, in similar proportions: 212 g (C10) and 253 g (C11). The improvement in contents had a direct effect on the number of nuts required for 1 t of copra: under 4 000 for C11 compared to 4 600 for C10 (photo 4).

Treatment effects on leaf contents revealed an increased mean nitrogen content (2.06% N in leaf 14 in November 1999 compared to 1.9% in November 1998) (table 7). The effect of ammonium sulphate on N contents was still significant after three consecutive years, but was fading. The overall improvement in nitrogen nutrition should result in a slackening of the effect of nitrogen applications on production, with a certain delay.

Triple super phosphate and potassium sulphate applications had no effect on leaf contents of these elements. In 1999, the mean contents for P (0.142%) and K (1.057%)

confirmed the soil's high capacity to supply plants with these elements.

Chlorine applications had a marked effect on leaf chlorine contents: the difference seen in 1999 between 0.083% for treatment C10 and 0.384% for C11 was similar to that observed in 1998. In this trial, there was selective uptake—a lot of chlorine and little sodium—as shown by the limited effect of NaCl on sodium contents, which ranged from 0.05% for NaCl0 to 0.07% for NaCl1, despite the high sodium chloride rate of 2 kg per palm applied in May 1999 in treatment NaCl1. Contrary to what is seen elsewhere, where NaCl applications swung the K:Na balance in favour of sodium, the palms in trial PNCC01 filtered the sodium. The leaf K:Na ratio was thus relatively unaffected by NaCl applications.

The very low boron level in 1998 (8.1 ppm), which resulted in deficiency symptoms such as leaves with the leaflets joined together on many palms scattered throughout the trial, increased significantly in 1999 (12.6 ppm) as a result of the 30 g of borax applied in July 1999.

#### Coconut palm setup and fertilizer application costs

The technico-economic data for the period 1995-1999 were calculated per hectare planted. Setup and upkeep costs per hectare of hybrid coconut palms at the station over a five-year period were US\$ 1 175, over half of which corresponded to labour costs: US\$ 575 (table 8). Setup costs were concentrated over the first two years (80% of investment).

The income generated by copra sales in the first two years of production, depending on the treatments, varied from US\$ 866 to 1 070 for N0 and N1 respectively and from US\$ 902 to 1 113 for C10 and C11 (table 9). The negligible difference in cumulated production between N1 and N2 clearly shows that a single rate should be recommended.

It was also clear that at the Stewart station, where there is no marked dry season, chlorine applications are not cost-effective under local economic conditions. The increase in production was too small to cover the specific cost of chlorine fertilization. Given the specific cost of fertilizer applications for five years, chlorine fertilization would only be cost-effective up to a maximum price of US\$ 117/t of NaCl, which is far from the current figure (US\$ 265/t). However, it is interesting to note that the lowest processing cost per tonne of copra was that for C11: US\$ 82 compared to US\$ 92 for C10 (table 9).

The specific costs (purchase, transport and spreading) linked to nitrogen fertilizer (rate N1 with urea) over the five-year period totalled US\$ 183.

The nett margin per hectare (excluding setup costs) by the end of the sixth year (two years of production) was US\$ 617 for N0, US\$ 586 for N1 (urea) and US\$ 460 for N2. It is clear that the cost-effectiveness of inorganic nitrogen fertilizers is poor in this case if they are applied throughout the five years (negative N1-N0 margin differential). Nitrogen applications would be viable providing the cost per tonne of urea did not exceed US\$ 220, whereas it is currently US\$ 294.

Nut processing costs are closely linked to coconut palm density and the number of nuts required to obtain a tonne of copra. Nut harvesting and processing involve various operations: nut collection and pooling in the field, husked split nut transport from the field to the oven, loading the oven, turning the split nuts, shelling and bagging. The nuts are husked once they have been gathered together in the field, and workers are paid per kilo of husked, split nuts. The cost is thus not related to the number of nuts, and varies a little depending on copra content per nut.

The rate of conversion between dry copra weight and the weight of husked nuts minus water was 30%, measured over seven harvests in 1999 and 2000. The average processing costs, from nut collection to bagging, per tonne of copra, was US\$ 86 (table 10).

### Discussion

#### Technical recommendations

The preliminary results of the trial show that the soil and climatic conditions at the Stewart station are highly suitable for coconut, and that good crop production practices and rational nitrogen and chlorine applications can significantly increase yields.

However, the situation observed on the station cannot be extrapolated to the country as a whole. A nutrition survey revealed significant disparities between the different regions of Papua New Guinea (Ollivier *et al.*, 1999).

Whereas leaf nitrogen contents were generally high in the trial, and closely correlated to the production levels observed, the same cannot be said for the other sites observed in Papua New Guinea (map). For instance, in 34 analyses at 23 sites in 11 provinces of Papua New Guinea, nitrogen levels were low (in 80% of cases), if not very low (sometimes 1.2% of dry matter) (Ollivier *et al.*, 1999).

Analyses of the topsoils of areas suitable for coconut and cocoa in Papua New Guinea (Hanson *et al.*, 1998) revealed significant variability of N contents (0.17 to 0.95%) and C/N values (8 to 14).

Planting a legume cover crop and applying nitrogen are strongly recommended and warranted at many sites, given the low nitrogen

contents observed. Depending on the site, the low contents were linked to: low rainfall, unfavourable soil conditions, organic matter mineralization (coral soils, leached sands or zones liable to waterlogging), or to insufficient upkeep favouring the development of grasses such as *Imperata cylindrica*, which consume large amounts of nitrogen.

The result showing that phosphorus applications do not affect production can be extrapolated to many sites in Papua New Guinea, as confirmed by the nutrition survey, which showed that contents of this element were apparently generally satisfactory (Ollivier *et al.*, 1999).

Potassium sulphate applications did not affect growth, precocity or the first yields, whereas sodium chloride applications proved beneficial.

The K-Cl interaction was significant, and probably linked to K-Na antagonism. This has also been observed at Gunung Batin in Indonesia. Chlorine was the dominant element and potassium had only a secondary effect (Bonneau *et al.*, 1997).

The leaf potassium contents observed throughout the country varied according to the site from 0.24% to 1.58% of dry matter, which is very high (Ollivier *et al.*, 1999).

The conditions observed at the station thus cannot be extrapolated, given that potassium distribution in the soil is linked to the type of parent rock. Potassium availability also depends on the relations with other cations. Over-high calcium or magnesium contents can depress the available K source. The exchangeable potassium rates recorded in the main coconut palm plantation soils in Papua New Guinea vary from 0.05 meq in Milne Bay province to 9.73 meq in Morobe province. Potassium deficiencies in coconut were observed by Baseden and Southern (1959) on coral soils on the east coast of New Ireland. This was confirmed by leaf analyses at the Kisela site, where one of the lowest potassium contents was recorded (0.360% of DM). Those authors also put the threshold for K in the soil below which coconut palms do not have the necessary reserves to maintain production without fertilizer applications at 0.6 meq/100 g. Coastal sands, coral soils and lateritic soils often have K contents below 0.15 meq/100 g, and this is the case with most of the soils in New Ireland and Milne Bay. Only soils formed from volcanic ash, with their high exchangeable K contents, are favourable. This is the case in east and west New Britain and at the Stewart research station with the volcanic ash from Karkar. Coconut palm leaf K contents are often close to the critical level and do not require much, if any, correction.

In Central province, near Cape Rodney, high soil magnesium contents combined with very low potassium contents cause severe deficiencies in coconut palms (Sumbak, 1976). These results were confirmed by leaf analyses in the Manabo seed garden, where the lowest contents were observed (0.238% in Tall palms and 0.306% in Dwarfs) (Ollivier *et al.*, 1999). Deficiency symptoms on the leaves and palms with very small nut loads were clearly seen. Similar results were observed in the provinces of Milne Bay and Gulf. Fertilizer trials in Central province revealed good responses to potassium applications (Sumbak, 1976).

Production is closely correlated to leaf potassium contents (Manciot *et al.*, 1980). This correlation was seen at the Mushu and Hawaiian sites in East Sepik province. These plots had very varied leaf contents. Mushu, which is on a coral island, had a very low figure: 0.647% compared to 1.49% at the Hawaiian site on the mainland. In 1998, yields were 41.6 nuts/palm/year and 7.7 kg copra/palm/year at Mushu, while at Hawaiian for hybrid MRD x RLT, they were 74.1 nuts/palm/year and 12.8 kg copra/palm/year (Ovasuru, 1999).

The results of the trial at the Stewart research station show every year that applying sodium chloride very significantly increases leaf Cl contents. This confirms an already widely quoted phenomenon: coconut palms take up chlorine very effectively (Bonneau *et al.*, 1997).

The contrast seen for potassium was also seen for chlorine contents, with values of between 0.009% at a site far from the coast in Enga province and 0.96% on the south coast of the mainland, which is battered by strong southeasterly winds (Central and Gulf provinces).

The effect of chlorine in the trial is surprising. As the palms were planted around 100 m from the sea, it could have been assumed that they would draw enough chlorine from the atmosphere. The positive response to salt applications in terms of leaf Cl contents, growth and precocity proved the contrary.

The severe chlorine deficiency can be put down to the very limited supply from the atmosphere. However, under the conditions in Madang province, the productivity gain following salt applications was significant, but still limited. This slight response can be ascribed to the fact that there was no water deficit over the period in question.

Chlorine is an essential factor in water stress resistance, as described in Indonesia (Bonneau *et al.*, 1997) and the Philippines (Magat, 1998). Most soils contain very little chlorine. The supplies drawn exclusively from the atmosphere are linked to the distance from the coast and to

dominant wind speed and direction (Delmas and Djouka, 1983).

In Papua New Guinea, the climate is primarily influenced by the seasonal latitudinal movement of two masses of air (MacAlpine *et al.*, 1983). The northwesterly winds from December to April are associated with high rainfall, and the southeasterly trade winds between May and October with a drier season. Wind frequency and speed are important factors affecting salt transfer in the atmosphere and its deposition in dry or wet form. The conditions differ greatly between the South and North of the mainland and the islands.

No attempt was made to assess atmospheric salt supplies in Papua New Guinea, but in all probability, they are likely to be high on the south coast of the mainland during the trade wind period. The high leaf chlorine contents of palms at sites in Gulf, Central and Milne Bay provinces confirm these hypotheses.

It is quite another story on the north coast of the mainland, where the dominant winds are more commonly west-northwesterly during the monsoon season, while the southeasterly winds are halted by the relief. Moreover, at the Stewart station, we noted that wind speeds were low and the waves gentle. Chlorine supplies from sea winds are thus limited, even at short distances from the shore.

Lastly, boron also proved to be deficient in the trial. Visible symptoms were observed and mapped in the seed gardens near the trial, revealing a high proportion of trees suffering from a deficiency (Beaudoin, pers. comm., 1995).

#### Partial economic recommendations

Although nitrogen and chlorine fertilizers significantly increased yields at the Stewart station, their cost-effectiveness is questionable.

The first economic evaluations show that it is not cost-effective to apply nitrogen fertilizers for five years, since growth and precocity observations showed that their effects were short-lived. An analysis of leaf contents prompted a recommendation of only applying nitrogen fertilizers—in the form of urea or an N-rich organic fertilizer—as a starter rate, from years 1 to 3 after planting.

The cost of ammonium sulphate (21% N), around US\$ 241, also proved very high compared to that of urea (46% N), which cost US\$ 294, due to the cost of transporting imported fertilizers. Replacing ammonium sulphate with urea could significantly reduce fertilizer costs. As a starter rate for the first three years—ie 180 kg of urea in all—the cost of nitrogen fertilizer would be US\$ 62/ha. Assuming that the starter rate applied would have the same effect on yields,

the N1-N0 differential would be positive and would result in profits of US\$ 55/ha in year 5.

Treatment N0 in the trial, like all the others, included crop practices: drainage, regular upkeep, manual and chemical weed control in the interrows and maintenance of a cover crop from year 1 on. This crop management sequence was optimum, and its effects on leaf nitrogen contents demonstrated the efficacy of the cover crop. These very favourable conditions are somewhat different from those generally seen on smallholdings or even estates.

Sodium chloride applications had a very significant effect on production, and leaf Cl contents suggest that the effects should be maintained in the long term. Unfortunately, the cost of imported salt from Indonesia or Malaysia is also prohibitive (US\$ 265/t) and it is not currently cost-effective. However, here too, the conditions could change, and a plan to produce sea salt on the south coast of the mainland could make salt more easily affordable. Moreover, if the weather conditions change in the event of more frequent El Niño type effects, it is likely that the effect of chlorine will increase and that the resulting production gain will significantly modify the economic results.

The harvests recorded in the past four years in Papua New Guinea illustrate these hypotheses. In 1998, after the 1997 drought, copra production was 124 000 t, around 15% less than in 1996, 1997 and 1999 (149 000 t, 140 000 t and 151 000 t respectively).

#### Conclusion

The preliminary results of the nutrition trial conducted at the Stewart station reveal excellent hybrid precocity due to the very favourable climatic conditions, good drainage and good soil fertility. Only nitrogen and chlorine applications had any effect on growth and production precocity. However, the effect of nitrogen on production very quickly faded, and it would apparently be wise to limit nitrogen applications to the first few years of growth.

Replacing urea with an N-rich organic fertilizer (battery chicken manure) available locally at an affordable price could be a way of improving cost-effectiveness.

The effect of chlorine, which is longer-lasting, is nevertheless limited due to the high rainfall. Under local economic conditions, sodium chloride applications are not cost-effective.

The trial conducted at the Stewart station is still too recent to draw any final conclusions, but the observations made at other sites and the agro-economic results are a very useful source of information. They can be used to recommend fertilizer schedules for coconut, propose priority development operations and lay the foundations



for setting up participatory research trials concerning coconut nutrition, to benefit producers.

If planted under good agroecological conditions, the new hybrids developed by the PNG-CCRI perform well. Continued observations of production in the trial will make it possible to

pinpoint the return on the investment more accurately.

The first results back up the fact that the extension services should be promoting the use of cover crops to improve nitrogen nutrition, which is currently deficient at most of the sites observed in the nutrition survey. ■

#### Acknowledgements

We would like to thank the PNG Cocoa & Coconut Research Institute for facilitating this study, particularly Kurengen Sik, Pius Pulo and Harold Levillain for collecting the trial data.