

LA NUTRITION MINÉRALE ET LA FERTILISATION DU CAFÉIER SUR SOL SCHISTEUX EN CÔTE D'IVOIRE (*)

G. VERLIÈRE

Maître de recherches, Centre ORSTOM — Nouméa
Ancien Chef de la division d'agronomie de l'IFCC en Côte d'Ivoire

II. — INFLUENCE DE LA FERTILISATION MINÉRALE SUR LES RENDEMENTS

On note pour chaque parcelle et à chaque récolte le poids de cerises mûres ; on détermine ensuite le rendement par hectare en tenant compte du nombre de pieds de caféier par parcelle et de la densité de plantation (1.600 pieds/ha). On divise ensuite ce poids de cerises fraîches par cinq, pour obtenir le rendement en café marchand par hectare.

Les rendements moyens annuels obtenus pour chaque traitement sont indiqués en kg/ha dans le tableau I et en pourcentage du rendement du témoin dans le tableau II (p. 212-213).

L'analyse factorielle des rendements a été effectuée pour chaque récolte prise séparément et pour l'ensemble de la production pendant la période 1963-1968 ; elle est résumée dans le tableau III, les rendements étant exprimés en kg de café marchand par ha, et dans le tableau IV (p. 212), les rendements étant exprimés en pour mille du rendement du témoin, ce qui permet les comparaisons d'une année à l'autre.

Résultats des récoltes

Récolte 1963

Aucun des effets principaux n'est significatif, mais celui du phosphore est de loin le plus important. L'interaction $P \times K$ est positive et significative. La décomposition des effets P et K montre que :

1° l'effet de K est de -104 en l'absence de P et de $+192$ en présence de P , soit par rapport au témoin respectivement une diminution de 10% et une augmentation de 19% ;

2° l'effet de P est de -60 en l'absence de K et de $+236$ en présence de K . L'effet du phosphore qui est presque nul en l'absence de K (-6% du témoin) devient positif et significatif en présence de K ($+23\%$ du témoin).

(*) I. — Étude de la nutrition minérale. *Café Cacao Thé*, vol. XVII, n° 2, 1973, p. 97-124.

L'apport simultané du phosphate et de la potasse est donc bénéfique et provoque un accroissement de récolte de 21% en l'absence d'azote et de 25% en présence d'azote, alors que toutes les autres formules de fumure ont un effet dépressif, en particulier la formule NK (-28%).

Récolte 1964

Les effets de la fumure sont les mêmes que ceux observés l'année précédente, seule l'interaction $P \times K$ est significative. La décomposition des effets P et K montre encore que :

1° l'effet de K est négatif en l'absence de P : -113 , soit 8% du témoin ; et positif en présence de P : $+126$, soit 9% du témoin ;

2° l'effet de P qui est presque nul en l'absence de K : -27 , soit 2% du témoin, devient significatif en présence de K : $+212$, soit 15% du témoin.

26 NOV 1973
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 6434 Bio Pmel

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire
N° : 21842
Cote : B

TABLEAU I

Production en kg/ha

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	Total	Moyenne
N	937	1.127	1.786	966	1.186	1.195	7.199	1.200
P	835	1.051	1.395	1.061	875	968	6.185	1.031
K	804	1.076	1.452	946	874	782	5.934	989
NP	863	1.411	1.577	1.071	1.288	1.021	7.231	1.205
NK	718	1.044	1.402	822	1.265	1.190	6.441	1.074
PK	1.213	1.503	1.995	1.354	1.188	1.131	8.384	1.397
NPK	1.252	1.463	1.938	1.212	1.051	1.110	8.026	1.338
T	1.000	1.443	1.365	984	1.180	891	6.863	1.145
Moyenne	953	1.265	1.616	1.052	1.113	1.035		1.172

TABLEAU III

Analyse des récoltes exprimées en kg de café marchand/ha

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	Période 1963-68
Effets principaux							
N	- 20	- 7	+ 119	- 69	+ 169*	+ 192*	+ 63
P	+ 176	+ 185	+ 220	+ 245*	- 26	+ 46	+ 141*
K	+ 89	+ 14	+ 161	+ 63	- 38	+ 38	+ 54
Interactions de 1 ^{er} ordre							
N × P	+ 54	+ 167	- 57	+ 2	- 30	- 170*	- 6
N × K	- 3	- 29	- 172	- 64	- 42	+ 4	- 50
P × K	+ 295*	+ 239*	+ 315*	+ 154	+ 76	+ 90	+ 196*
Interaction de 2 ^e ordre							
N × P × K	+ 8	+ 171	+ 53	- 11	- 234*	- 43	- 66
Seuil de signification	206	208	280	204	150	163	78
CV	24,6	19,1	19,8	22,1	15,4	18,1	20,6

TABLEAU IV

Analyse des récoltes exprimées en pour mille du témoin

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	Période 1963-68
Effets principaux							
N	- 20	- 5	87	- 70	143*	215*	55
P	176	128	161	249*	- 22	52	123*
K	89	10	118	64	- 32	43	47
Interactions de 1 ^{er} ordre							
N × P	54	116	- 41	2	- 26	- 196*	- 5
N × K	- 3	- 20	- 126	- 65	- 35	5	- 44
P × K	295*	165*	234*	156	64	101	171*
Interaction de 2 ^e ordre							
N × P × K	8	- 119	39	- 11	- 198*	- 48	- 58
Seuil de signification	206	144	205	207	127	183	68

TABLEAU II

Production en pourcentage de celle du témoin

	1963	1964	1965	1966	1967	1968	Moy.
N	94	78	131	98	101	134	105
P	84	73	102	108	74	109	90
K	80	75	106	96	74	88	86
NP	86	98	116	109	109	115	105
NK	72	72	103	84	107	134	94
PK	121	104	146	138	101	127	122
NPK	125	108	142	123	89	125	117
T	100	100	100	100	100	100	100

Mais si, dans l'ensemble, la production est plus importante que celle de l'année précédente, c'est celle du témoin qui augmente le plus et le traitement PK ne produit que 4 % de plus que T. Le traitement NK reste toujours au dernier rang avec un effet dépressif de 28 %.

Récolte 1965

Les résultats sont les mêmes que ceux des années précédentes, mais les effets principaux, surtout celui de P, sont plus importants, quoique non significatifs. L'interaction $P \times K$ est toujours significative. On peut constater que :

1° l'effet de K en l'absence de P est négatif : - 75, soit 5 % du témoin ; il devient positif en présence de P : + 240, soit 18 % du témoin ;

2° l'effet de P, très faible en l'absence de K : - 45, soit 3 % du témoin, est positif et presque significatif en présence de K : + 270, soit 20 % du témoin.

L'effet principal N, qui était auparavant négatif, est positif en 1965 ; cela peut être dû au fait que la récolte est beaucoup plus forte, ce qui entraîne des besoins accrus en azote.

Les récoltes sont plus importantes que celle des années précédentes, sauf en ce qui concerne le témoin. La formule PK donne une augmentation de rendement de 46 %, tandis que les deux fumures les moins bonnes, P et NK, ont des rendements de l'ordre de celui du témoin (+ 2 % et + 3 % respectivement).

Récolte 1966

Seul l'effet principal P est significatif et représente 25 % de la production du témoin. Le meilleur traitement est toujours PK, qui augmente la production de 38 % par rapport au témoin ; NK redevient dépressif et abaisse le rendement de 16 %.

La récolte est beaucoup moins forte que l'année précédente, ce qui se traduit par des besoins d'azote moins importants et l'effet principal azote redevient négatif. C'est après cette récolte, c'est-à-dire en février 1967, que les caféiers ont été recépés.

Récolte 1967

La récolte 1967 a été effectuée sur les tire-sève et elle est en moyenne aussi importante que celle de l'année précédente, alors que les arbres ont été amputés des trois quarts de leur partie aérienne.

Cette forte production ajoutée à la reconstitution de la partie aérienne des arbres a déterminé des besoins élevés en azote, et, en 1967, l'effet principal azote devient positif et significatif ; au contraire, les effets phosphore et potasse sont négatifs et très peu importants, respectivement 2 % et 3 % du témoin.

L'interaction de deuxième ordre $N \times P \times K$ est significative et négative. La décomposition des effets des interactions de premier ordre montre que :

1° l'interaction $N \times P$ a un effet de + 102 en l'absence de K et de - 132 en présence de K ;

2° l'interaction $N \times K$ a un effet de + 96 en l'absence de P et de - 138 en présence de P ;

3° l'interaction $P \times K$ a un effet de + 155 (donc significatif) en l'absence de N et de - 79 en présence de N.

L'ablation des tire-sève a eu lieu dès la fin de la récolte, en février 1968.

Récolte 1968

Il s'agit de la première récolte effectuée sur les nouveaux rameaux après le recépage. L'arbre est encore en pleine croissance et il en résulte des besoins importants en azote.

Tous les effets principaux sont redevenus positifs ; mais seul celui de l'azote est significatif.

Parmi les interactions, $P \times K$ est toujours positive, mais n'est pas significative. Au contraire, $N \times P$, qui est négative, devient significative pour la première fois. On peut calculer que l'effet N est positif et significatif en l'absence de P (+ 178), mais qu'il s'annule en présence de P (+ 9). De même, l'effet P est positif et assez fort en l'absence de N (+ 107), alors que la présence de N le rend négatif (- 62).

La récolte de 1968 est légèrement plus faible que celle de 1967 (- 7 % en moyenne), cette différence étant nettement plus accentuée en ce qui concerne le témoin (- 24 %). Les meilleurs rendements sont obtenus avec les objets N et NK (+ 34 %), alors que l'objet K montre une diminution de 12 % par rapport au témoin.

Période 1963-1968

L'analyse de la variance pour les rendements pendant cette période se résume de la façon indiquée dans le tableau V.

TABLEAU V

Analyse de la variance des rendements entre 1963 et 1968

Origine de la variation	Variance	F			
		calculé	théorique		
			5 %	1 %	1 ‰
Fumure	1.156.863	6,6	2,11	2,86	4,1
Année	4.361.123	25,0	2,32	3,19	4,6
Fumure × année ..	183.060	1,1	1,56		
Bloc	769.902	4,4	1,88	2,40	3,2
Erreur	174.073				

Blocs

La fertilité présente entre les blocs des différences très hautement significatives. Ce manque d'homogénéité du terrain explique la valeur élevée du coefficient de variation, qui est de l'ordre de 20 %.

Années

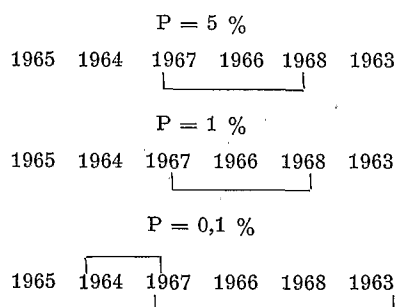
Il existe également des différences très hautement significatives entre les productions des différentes années. Elles sont résumées dans le tableau VI et les graphiques suivants (en kg de café par ha).

TABLEAU VI

Production en kg/ha, de 1963 à 1968

Année	Production
1965	1.616
1964	1.265
1967	1.113
1966	1.052
1968	1.035
1963	953

p. p. d. s. :	
P = 5 %	98
P = 1 %	130
P = 0,1 %	169



Interaction fumure × année

L'interaction fumure × année n'est pas significative. Les conclusions qu'on pourra tirer de l'essai ne dépendront donc pas d'une façon très rigide des conditions climatiques et seront applicables, en particulier, avec des régimes de pluie assez différents les uns des autres.

Fumures

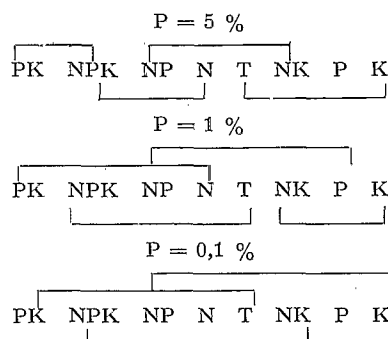
Il existe des différences très hautement significatives entre les différentes fumures qui se classent comme le tableau VII et les graphiques suivants l'indiquent.

TABLEAU VII

Rendements obtenus selon les différents traitements, en kg/ha, de 1963 à 1968

Fumure	Rendement
PK	1.397
NPK	1.338
NP	1.205
N	1.200
T	1.145
NK	1.074
P	1.031
K	989

p. p. d. s. :	
P = 5 %	158
P = 1 %	208
P = 0,1 %	270



Par rapport au témoin, PK et NPK ont un effet bénéfique significatif ; ils augmentent respectivement la production de 22 % et 17 %. Par contre, K a un effet dépressif de 14 %, qui est à la limite du seuil de signification.

L'analyse factorielle des résultats de la période considérée (cf. tableaux III et IV, p. 212) montre que :

1° tous les effets principaux sont positifs, mais seul l'effet P est significatif ; il provoque une augmentation moyenne annuelle des rendements de 141 kg/ha, soit 12 % de la production du témoin ; l'augmentation non significative provoquée par N ou K n'est que de l'ordre de 5 % ;

2° parmi les interactions, $N \times P$ a une valeur presque nulle, $N \times K$ et $N \times P \times K$ sont négatives et non significatives. Par contre $P \times K$ est positive et significative; elle a un effet de 196 kg/ha, soit 17 % du témoin; on peut donc décomposer les effets de P et de K de la façon suivante :

a) en l'absence de K, l'effet de P est négatif (- 28 kg/ha), alors qu'en présence de K il est positif et significatif (+ 168 kg/ha);

b) en l'absence de P, l'effet de K est négatif (- 71 kg/ha), alors qu'en présence de P il est positif et devient significatif (+ 125 kg/ha).

L'interaction entre le phosphate bicalcique et le sulfate de potasse est particulièrement forte, car si la combinaison de ces deux engrais donne les meilleures productions enregistrées, chacun d'eux apporté seul donne au contraire les plus faibles rendements de l'essai.

Rentabilité de la fumure (*)

Pendant toute la durée de l'essai, le prix minimum d'achat du café était fixé à 90 F le kg.

Le prix des engrais était également stable et ne subissait que de faibles variations d'une année à l'autre; en 1965, le prix des trois engrais utilisés était à Abidjan :

sulfate d'ammoniaque ...	19.200 F la tonne
phosphate bicalcique	23.500 F la tonne
sulfate de potasse	22.600 F la tonne

La région d'Abengourou étant située à environ 200 km d'Abidjan, il faut majorer le prix de l'engrais du prix du transport, qui peut être estimé à 3.000 F la tonne.

Par contre, la Caisse de stabilisation du café et du cacao prenait à son compte un tiers du prix de l'engrais; on peut tenir compte de cette ristourne dans les calculs de rentabilité du point de vue du producteur, car elle était financée par les bénéfices réalisés par la caisse, sur les ventes de café et de cacao, et non par une subvention.

Les différents engrais, rendus chez le cultivateur, lui revenaient donc à :

15.800 F la tonne pour le sulfate d'ammoniaque,
18.700 F la tonne pour le phosphate bicalcique,
18.100 F la tonne pour le sulfate de potasse.

Les engrais apportés en 1961 et 1962 — années où il n'y a pas eu de récolte — n'ont servi qu'à améliorer la croissance de l'arbre; on peut donc considérer qu'il s'agit là d'un investissement à long terme qu'on peut alors amortir sur vingt ans de production.

A partir de 1963, première année de production, les doses d'engrais apportées par hectare correspondaient à :

5.690 F pour le sulfate d'ammoniaque,
2.245 F pour le phosphate bicalcique,
4.345 F pour le sulfate de potasse.

Il faut ajouter, au prix de l'engrais, le prix de la

main-d'œuvre nécessaire à l'épandage, soit quatre journées de manœuvres par hectare revenant à 800 F.

Nous avons vu que c'était la formule PK qui donnait les meilleurs résultats; son prix de revient était de 2.245 F + 4.345 F + 800 F, soit 7.390 F.

Calculée sur les mêmes bases, la fumure PK apportée en 1961 et 1962 revenait au total à 10.370 F/ha, ce qui correspondait à un amortissement de 520 F par an.

La dépense totale par hectare était donc de 7.390 F + 520 F, soit 7.910 F. Pour calculer le bénéfice résultant de l'excédent de rendement, il faut tenir compte des frais de récolte et de décor-ticage, qui étaient respectivement de 20 F et de 5 F par kg. Le kilogramme de café supplémentaire ne procurait donc en fait qu'une rentrée de 90 - 25 = 65 F pour le producteur.

Le tableau VIII indique, pour chaque année et pour l'ensemble de la période 1963-1968, les différences de rendement en kg/ha entre la fumure PK et le témoin, la rentrée d'argent supplémentaire et le résultat financier compte tenu du prix de revient de l'engrais (soit 7.910 F).

TABLEAU VIII

Différences de rendement en kg/ha, entre la fumure PK et le témoin

Année	Différence de rendement	Valeur du supplément de récolte (F CFA)	Résultat financier (F CFA)
1963	213	13.845	5.935
1964	60	3.900	- 4.010
1965	630	40.950	33.040
1966	370	24.050	16.140
1967	8	520	- 7.390
1968	240	15.600	7.690
1963-1968...	1.521	98.865	51.405

Un investissement annuel de 7.910 F a donc rapporté en moyenne 51.405/6 = 8.567 F, ce qui correspond à un taux d'intérêt de 108 %.

(*) En F CFA.

Conclusions

L'entretien de la caféière nécessite en moyenne un manœuvre à l'hectare, ce qui représente une dépense annuelle de 60.000 F, à laquelle s'ajoutent les frais de décortilage, soit 5 F/kg. Or, le témoin a produit en moyenne 1.145 kg, représentant une recette de 103.050 F, qui laissent un bénéfice de $103.050 \text{ F} - 60.000 - (5 \times 1.145) = 37.325 \text{ F}$. Celui-ci pourrait d'ailleurs être réduit dans certains cas, par exemple si des traitements insecticides étaient nécessaires.

On constate ainsi que, si le bénéfice apporté par l'engrais peut sembler assez faible en valeur absolue, il représentait cependant 23 % du bénéfice réalisé avec une caféière sans engrais. De plus, il n'a nécessité que quatre journées supplémentaires de manœuvres, ce qui est important dans un pays en voie de développement, où l'élévation du niveau de vie doit logiquement conduire à de fortes augmentations du prix de revient de la main-d'œuvre agricole et sans doute aussi à une raréfaction de celle-ci.

En outre, nous avons vu que le recépage des caféiers se traduisait par de forts besoins en azote et que cette année-là les effets des fumures phosphatée et potassique étaient nuls. La fumure PK doit donc pouvoir être remplacée avantageusement par une fumure N l'année du recépage ; son prix de revient est un peu inférieur (6.490 F au lieu de 7.390 F) et on peut en attendre une amélioration du rendement.

En résumé, on peut donc préconiser la fumure

indiquée dans le tableau IX pour chaque cycle de production.

TABLEAU IX

Fumure préconisée pour chaque cycle de production
(en g d'engrais par arbre)

	Sulfate d'ammoniaque	Phosphate bicalcique	Sulfate de potasse
1 ^{re} année ..		75	150
2 ^e année ...		75	150
3 ^e année ...		75	150
4 ^e année (recépage) ...	225		

Ainsi, sur une caféière produisant en moyenne 1 t/ha, un investissement relativement faible, 7.900 F/ha/an, a un taux de rentabilité de plus de 100 % et augmente le bénéfice de l'exploitation de 23 %, sans augmentation de la main-d'œuvre. Cela revient à dire que 4 ha de caféiers avec engrais rapportent autant que 5 ha sans engrais, l'apport d'engrais permettant donc de libérer un cinquième de la surface cultivée et de réduire la main-d'œuvre d'un cinquième également.

Enfin, notons qu'il s'agit là des premières années de production des caféiers et qu'au cours des années suivantes l'écart entre les parcelles fumées et les parcelles non fumées pourrait bien augmenter par suite de l'épuisement progressif du sol de ces dernières, ce qui aurait pour conséquence d'améliorer encore la rentabilité des apports d'engrais.

III. — RELATION ENTRE LES RENDEMENTS ET LA COMPOSITION MINÉRALE DES FEUILLES

Nous avons vu précédemment que la fumure minérale influe à la fois sur la composition minérale des feuilles et sur la productivité de l'arbre. Nous avons recherché s'il existait des corrélations linéaires entre les rendements des différentes parcelles et les teneurs des feuilles en éléments nutritifs. Nous avons alors calculé pour chaque prélèvement le

coefficient de corrélation entre les rendements et les teneurs des feuilles en chacun des différents éléments analysés, puis, comme dans l'étude des corrélations entre les teneurs des éléments nutritifs, nous en avons déduit un coefficient moyen annuel ; ces différentes valeurs sont indiquées dans les tableaux X et XI (p. 217 et 218).

Corrélation entre le rendement et la teneur des feuilles en éléments nutritifs

Rappelons que pour chacun des prélèvements les valeurs limites de r sont de :

0,400	au seuil de probabilité	0,05
0,512	—	0,01
0,625	—	0,001

Par ailleurs, les valeurs limites du coefficient de corrélation moyen annuel dépendent du nombre de prélèvements effectués dans l'année ; elles sont données dans le tableau XII (p. 218).

TABLEAU X
Valeurs du coefficient de corrélation

Dates	R × N	R × P	R × K	R × Ca	R × Mg	R × Fe	R × Mn	R × Zn	R × Cu	R × N/P	R × N/K	R × K/Ca	R × K/Mg	R × Ca/Mg
<i>1963</i>														
21/1	-0,090	0,351	-0,368	0,165	0,063					-0,377	0,245	-0,319	-0,302	0,109
4/3	-0,124	0,435*	-0,249	0,557*	0,385					-0,370	0,101	-0,502*	-0,431*	0,218
16/4	0,195	0,280	-0,371	0,382	0,559*					-0,174	0,445*	-0,522*	-0,607*	0,201
27/5	0,011	0,105	-0,468*	0,529*	0,263					-0,158	0,360	-0,658*	-0,403*	0,416*
8/7	-0,020	0,131	-0,318	0,029	0,569*					-0,164	0,172	-0,108	-0,522*	-0,266
19/8	-0,254	0,098	-0,505*	0,554*	0,177					-0,222	0,328	-0,620*	-0,424*	0,527*
7/10	0,311	0,054	-0,482*	0,657*	0,508*					-0,028	0,577*	-0,726*	-0,643*	0,407*
11/11	0,118	0,186	0,050	0,682*	0,582*					-0,179	0,037	-0,445*	-0,313	0,502*
16/12	0,113	0,298	0,291	0,615*	0,687*					-0,267	-0,240	-0,438*	-0,327	0,401*
<i>1964</i>														
5/2	-0,188	0	0,041	0,764*	0,648*					-0,107	0,134	-0,622*	-0,404*	0,548*
16/3	-0,539*	-0,219	-0,282	0,644*	0,637*					-0,164	-0,051	-0,591*	-0,614*	0,239
27/4	-0,320	0,573*	-0,349	-0,157	-0,125					-0,678*	0,224	-0,154	-0,257	-0,127
8/6	-0,071	0,175	-0,414*	0,160	0,105					-0,223	0,322	-0,341	-0,315	0,123
20/7	-0,016	0,150	0,084	0,499*	0,300					-0,150	-0,102	-0,385	-0,176	0,252
31/8	-0,307	0,131	0,231	0,615*	0,362					-0,249	-0,363	-0,423*	-0,102	0,531*
13/10	-0,094	0,242	0,376	0,540*	0,584*					-0,285	-0,437*	-0,312	-0,188	0,172
23/11	-0,057	0,048	-0,267	0,589	0,324					-0,114	0,166	-0,531*	-0,348	0,490
<i>1965</i>														
5/1	-0,011	0,254	0,208	0,544*	0,111					-0,216	-0,277	-0,359	0,127	0,544*
16/2	0,067	0,097	0,203	0,398*	-0,051					-0,056	-0,200	-0,204	0,193	0,446*
26/3	-0,038	0,288	0,155	0,583*	0,199					-0,268	-0,423*	0,004	0,200	0,235
10/5	-0,239	0,162	0,392	0,616*	0,369					-0,217	-0,424*	-0,422*	-0,117	0,477*
22/6	0,100	0,165	0,405*	0,410*	0,131					-0,131	-0,199	-0,204	0,187	0,376
3/8	0,148	0,014	0,143	0,420*	-0,087					0,004	0,006	-0,285	0,129	0,397
15/9	-0,038	0,086	0,118	0,478*	0,054					-0,145	-0,141	-0,383	-0,016	0,457*
27/10	-0,027	0,130	0,243	0,607*	0,062					-0,127	-0,200	-0,415*	0,049	0,578*
7/12	0,040	0,048	0,169	0,597*	0,096					-0,098	-0,135	-0,363	0,028	0,530*
<i>1966</i>														
14/2	-0,150	0,298	0,111	0,523*	0,454*	0,391	-0,245	0,381	-0,016	-0,340	-0,207	-0,368	-0,186	0,200
16/5	-0,328	0,211	0,046	-0,006	0,321	0,110	-0,094	-0,417*	-0,372	-0,295	-0,289	-0,037	-0,226	-0,246
16/8	-0,270	0,056	-0,315	0,083	0,204	0,049	-0,246	0,133	-0,119	-0,150	0,021	-0,236	-0,284	-0,128
3/10	-0,280	0,132	-0,012	0,136	0,316	-0,007	-0,247	0,029	-0,058	-0,232	-0,203	-0,173	-0,251	-0,163
<i>1967</i>														
13/2	0,280	-0,118	0,085	0,159	0,327	-0,066	0,392	0,191	-0,069	0,212	0,084	-0,065	-0,090	-0,063
16/5	-0,081	0,030	-0,543*	-0,156	-0,160	-0,020	0,332	0,269	0,191	-0,101	0,473*	-0,264	-0,240	0,038
16/8	0,157	-0,110	-0,136	-0,128	0,015	-0,114	0,341	0,011	0,145	0,139	0,289	0,027	-0,114	-0,180
13/11	0,317	-0,093	-0,310	0,001	0,271	0,290	0,350	0,318	0,071	0,232	0,533	-0,217	-0,426*	-0,321
<i>1968</i>														
12/2	0,266	0,053	0,277	0,375	0,155	0,132	0,302	-0,054	0,092	0,143	-0,152	-0,161	0,072	0,429*
27/5	-0,195	-0,020	-0,180	0,139	0,226	-0,270	0,121	-0,070	0,200	-0,032	0,082	-0,181	-0,293	0,020
19/8	0,043	0,019	0,056	0,251	0,262	-0,478*	0,181	-0,004	-0,066	-0,009	-0,033	-0,171	-0,168	0,074
11/11	0,102	-0,002	0,061	0,264	0,219	0,249	0,168	0,106	-0,086	0,054	-0,001	-0,154	-0,138	0,040

TABLEAU XI

Valeurs du coefficient de corrélation moyen annuel

Année	R × N	R × P	R × K	R × Ca	R × Mg	R × Fe	R × Mn	R × Zn	R × Cu	R × N/P	R × N/K	R × K/Ca	R × K/Mg	R × Ca/Mg
1963	0,030	0,220*	-0,282*	0,486*	0,441*					-0,213*	0,236*	-0,500*	-0,454*	0,291*
1964	-0,207*	0,147*	-0,077	0,492*	0,341*					-0,261*	-0,051	-0,431*	-0,310*	0,292*
1965	0	0,140*	0,296*	0,522*	0,100					-0,140*	-0,226*	-0,385*	0,088	0,454*
1966	-0,258*	0,176	-0,043	0,197	0,327*	0,140	-0,208*	-0,104	-0,145	-0,256*	-0,171	-0,189	-0,237*	-0,085
1967	0,171	-0,073	-0,240*	-0,031	0,117	0,024	0,354*	0,200*	0,085	0,121	0,356*	-0,131	-0,223*	-0,134
1968	0,055	0,012	0,055	0,259*	0,216*	-0,102	0,194	-0,005	-0,010	0,039	-0,026	-0,167	-0,134	0,147

TABLEAU XII

Valeurs limites du coefficient de corrélation moyen annuel

Années	Seuil de probabilité		
	0,05	0,01	0,001
1963 et 1965	0,133	0,175	0,224
1964	0,141	0,185	0,237
1966-1967-1968 ...	0,200	0,262	0,336

Corrélation rendement × teneur en azote

Le seul prélèvement ayant montré une corrélation significative est celui de mars 1964 ; la teneur en azote est alors comprise entre 2,632 et 3,136 %.

Si on considère le coefficient de corrélation moyen annuel, on constate qu'il n'est significatif qu'en 1964 et 1966 ; il est alors négatif. Il est nul en 1963, 1965 et 1968. Par contre, en 1967, après le recépage des caféiers, il devient positif, ce qui confirme le besoin d'azote à ce moment-là.

En résumé, la liaison entre les teneurs en azote et les rendements est peu marquée ; quand elle est significative, elle est négative. Par contre, elle confirme le rôle bénéfique de l'azote lorsqu'on procède au recépage des caféiers.

Corrélation rendement × teneur en phosphore

Deux prélèvements seulement ont un coefficient de corrélation significatif ; ils correspondent à des teneurs en phosphore comprises respectivement entre 0,098-0,126 % et 0,130-0,190 %.

Pour chaque prélèvement, le coefficient de corrélation est positif sauf après le recépage ; ceci confirme que la fumure phosphatée peut être supprimée à ce moment-là.

Le coefficient moyen annuel est positif et significatif les trois premières années, mais sa valeur va en diminuant ; il est légèrement négatif l'année du recépage et nul l'année suivante.

La liaison entre le rendement et la teneur en phosphore est un peu plus marquée qu'avec la teneur en azote ; ces deux corrélations sont dans l'ensemble de sens inverse.

Corrélation rendement × teneur en potassium

Six prélèvements ont un coefficient de corrélation significatif ; celui-ci est négatif cinq fois ; ces valeurs

significatives se trouvent principalement au cours de la grande saison des pluies quand les teneurs en potassium sont à leur valeur maximale. Les teneurs les plus faibles au moment des corrélations négatives se trouvent en mai 1963 avec $1,24 < K < 1,57$ et les plus fortes en mai 1967 avec $2,33 < K < 2,92$.

Le coefficient moyen annuel est très variable ; il est significatif trois fois : en 1963, 1965 et 1967 ; il est alors deux fois négatif et une fois positif ; les trois autres années, il est à peu près nul. Sauf en 1965 où tous les prélèvements ont montré une corrélation rendement \times potassium positive, les liaisons les plus fortes correspondent à des valeurs négatives. Cela peut s'expliquer par le fait que les meilleurs rendements sont enregistrés avec les fumures PK et NPK ; or nous avons vu que P a un rôle dépressif sur les teneurs en K ; ces fortes productions ne correspondent pas aux plus fortes teneurs en K qui sont au contraire enregistrées avec les traitements K et NK qui ne fournissent que de faibles rendements.

Corrélation rendement \times teneur en calcium

C'est la liaison la plus marquée que nous avons enregistrée ; en effet, sur trente-huit prélèvements, le coefficient de corrélation est significatif six fois, hautement significatif onze fois et très hautement significatif quatre fois. Cette corrélation est positive et il ne semble pas qu'elle soit plus prononcée à certaines périodes du cycle végétatif.

Le coefficient moyen annuel est significatif quatre années sur six ; de plus, en 1966, il est très près du seuil de signification ; il est nul l'année du recépage des caféiers.

Les intervalles de variation sont de 0,47-0,71 au moment des plus faibles teneurs en calcium en mai 1963 et de 1,07-1,59 en octobre et décembre 1965 où l'on enregistre les plus fortes teneurs en calcium.

Corrélation rendement \times teneur en magnésium

Neuf prélèvements ont donné un coefficient de corrélation significatif qui est toujours positif ; les teneurs en magnésium variant de 0,30 à 0,48 %. Il semble que cette liaison soit plus marquée au moment de la grande saison sèche.

Le coefficient moyen annuel est toujours positif, et est significatif quatre années sur six. Il ne semble pas être influencé par le recépage des caféiers.

Corrélation rendement \times teneur en oligo-éléments

Un seul prélèvement sur les douze ayant donné lieu au dosage des oligo-éléments a montré un coefficient de corrélation significatif ; il s'agit de celui d'août 1968, concernant le fer, dont les teneurs étaient alors comprises entre 67 et 102 ppm.

Le coefficient moyen annuel est :

pour le fer : positif en 1966, nul en 1967 et négatif en 1968, mais jamais significatif ;

pour le manganèse : négatif et significatif en 1966, positif et significatif en 1967, positif et très près du seuil de signification en 1968 ;

pour le zinc : positif en 1966, positif et significatif en 1967, nul en 1968 ;

pour le cuivre : négatif en 1966, nul en 1967 et 1968.

Les liaisons sont peu marquées entre les rendements et les teneurs en oligo-éléments ; celles-ci doivent donc être normales et ne pas donner lieu à des phénomènes de déficience ou de toxicité prononcée. Les teneurs en manganèse semblent davantage reliées aux rendements ; mais il ne faut pas oublier qu'elles sont très fortement influencées par les fumures azotées, la corrélation rendement \times teneur en manganèse évoluant comme la corrélation rendement \times teneur en azote.

Relation entre le rendement et les rapports entre les teneurs en éléments nutritifs

Corrélation rendement \times rapport N/P

Nous avons vu que la corrélation entre le rendement et la teneur des feuilles en azote ou en phosphore est faible ; de plus, elle est généralement négative pour l'azote et positive pour le phosphore,

sauf au moment du recépage. La corrélation rendement \times rapport N/P est donc négative jusqu'au recépage ; elle est également faible, puisqu'un seul prélèvement montre un coefficient de corrélation significatif.

Le coefficient de corrélation moyen annuel est

négatif et significatif pendant les quatre premières années. Il est positif l'année du recépage et nul l'année suivante.

Corrélation rendement \times rapport K/Ca

La corrélation est ici beaucoup plus marquée ; elle est négative et significative pour treize prélèvements qui se trouvent tous dans les trois premières années.

Le coefficient moyen annuel est très hautement significatif pendant les trois premières années et significatif l'année suivante. Par contre, il n'est plus significatif après le recépage des caféiers, mais se rapproche à nouveau du seuil de signification en 1968. Ceci confirme l'importance de l'azote après le recépage et le rôle moins important joué alors par le potassium et le calcium.

Corrélation rendement \times rapport K/Mg

Sept prélèvements ont donné une corrélation significative et négative, à savoir cinq au cours

de la première année de l'essai et deux au cours de la seconde.

Le coefficient moyen annuel est négatif, sauf en 1965 où il est positif, mais très faible ; il est très hautement significatif les deux premières années, significatif en 1966 et 1967. Le recépage ne semble pas influencer la liaison entre le rendement et la valeur du rapport K/Mg, à l'inverse de ce qui se passe avec le rapport K/Ca.

Corrélation rendement \times rapport Ca/Mg

Cette corrélation est significative quatorze fois ; elle est plus marquée pendant les trois premières années de l'essai et est généralement positive. Le coefficient moyen annuel est positif et hautement significatif de 1963 à 1965. Il est négatif, mais très faible en 1966, et négatif en 1967 après le recépage des caféiers. Il redevient positif en 1968. Il n'est pas significatif pendant ces trois années.

Conclusions

Il convient de séparer des autres années celle où l'on effectue le recépage ; en effet, celui-ci influe sur les liaisons entre le rendement et, d'une part, les teneurs en N, P et Ca, d'autre part, les rapports faisant intervenir au moins un de ces éléments ; l'élément essentiel pour le caféier est alors l'azote. Les autres années on peut noter que :

1° Le rendement a une corrélation plus marquée avec les teneurs des feuilles en cations qu'avec les teneurs des feuilles en anions.

2° Parmi les anions, la corrélation est un peu plus forte avec le phosphore qu'avec l'azote ; ces deux corrélations sont généralement de sens contraire. La liaison du rendement avec le rapport N/P est du même ordre de grandeur et négative.

3° Parmi les cations, la corrélation est la plus forte avec le calcium, puis, dans l'ordre, avec le magnésium et avec le potassium ; elle est positive avec les deux premiers et négative avec le potassium. La corrélation entre le rendement et le rapport Ca/Mg est positive, elle est négative avec les rapports K/Ca et K/Mg, tout en étant plus marquée avec K/Ca.

L'amélioration de la production devra donc se faire en intervenant principalement sur la nutrition cationique. Nous avons vu précédemment qu'une

fumure PK permettait d'avoir des teneurs correctes en P et K dans les feuilles. Or il convient d'augmenter le rapport Ca/Mg et de diminuer K/Ca et K/Mg. Le taux de K étant normal, il faudra donc élever Ca et Mg. Ceci pourrait être réalisé par l'apport de dolomie, qui contient 40-45 % de CaO et 30-35 % de MgO, en plus de la fumure PK. La dolomie pourrait être apportée comme amendement l'année suivant le recépage, à raison de 200 g par caféier au moment de l'épandage d'engrais du mois d'avril.

Ainsi, à partir d'un essai d'engrais NPK 2³, le diagnostic foliaire a d'abord permis d'expliquer l'effet bénéfique de la fumure PK qui s'était manifesté, et a ensuite conduit à préconiser une nouvelle formule de fumure où :

1° la fumure phospho-potassique est remplacée par une fumure azotée l'année où l'on recépe les caféiers ;

2° on apporte en plus un amendement calcomagnésien l'année suivant celle du recépage.

Il conviendra alors de mettre à l'essai cette nouvelle formule du point de vue économique, afin de vérifier si les dépenses supplémentaires dues à l'apport de dolomie entraîneront bien un accroissement des bénéfices de l'exploitation.

VERLIÈRE (G.). — **La nutrition minérale et la fertilisation du caféier sur sol schisteux en Côte d'Ivoire.**

II. Influence de la fertilisation minérale sur les rendements. III. Relation entre les rendements et la composition minérale des feuilles. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 3, juil.-sept. 1973, p. 211-222, tabl.

Pendant la période 1963-1968, l'action d'une fumure de type NPK²³ sur les rendements en café marchand par hectare est étudiée.

L'analyse factorielle des rendements permet de préciser l'action des effets principaux, des interactions de premier ordre et de l'interaction de deuxième ordre sur les rendements par hectare et les rendements exprimés en pour mille du témoin.

L'auteur préconise pour chaque cycle de production la fumure suivante : phosphate bicalcique (75) et sulfate de potasse (150) les trois premières années après le recépage ; sulfate d'ammoniaque (225) la quatrième année après le recépage.

Il établit qu'en tenant compte des frais de main-d'œuvre et du prix des engrais appliqués le bénéfice apporté par la fumure représente 23 % du bénéfice réalisé avec une caféière sans engrais.

Au cours de cet essai d'engrais, on a étudié les corrélations entre les rendements des parcelles et les teneurs des feuilles de caféier en éléments nutritifs.

Le diagnostic foliaire a permis d'établir que : le rendement a une corrélation plus marquée avec les teneurs des feuilles en cations qu'avec les teneurs des feuilles en anions ; la fumure phosphopotassique initiale doit être remplacée par une fumure azotée l'année où l'on recépe les caféiers ; un amendement supplémentaire calco-magnésien (dolomie) peut être apporté, l'année suivant celle du recépage, au moment de l'épandage d'engrais du mois d'avril. La rentabilité de cette nouvelle formule reste à vérifier.

VERLIÈRE (G.). — **Die Mineralernährung und die Düngung des Kaffeebaums auf Schieferböden in der Elfenbeinküste. II. Einfluss der Mineraldüngung auf die Erträge. III. Beziehung zwischen den Erträgen und der mineralischen Zusammensetzung der Blätter.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 3, juil.-sept. 1973, p. 211-222, tabl.

Während der Periode 1963-1968 wurde die Wirkung einer Düngung vom Typ NPK²³ auf die Erträge des handelsüblichen Kaffees pro Hektar untersucht.

Die faktorielle Analyse der Erträge erlaubt die Wirkung der hauptsächlichsten Nachwirkungen, der Wechselwirkungen erster Ordnung und der Wechselwirkung zweiter Ordnung auf die pro mille des Blindversuchs ausgedrückten Erträge genau festzulegen.

Der Autor befürwortet für jeden Produktionszyklus folgende Düngung : Dicalciumphosphat (75) und Kaliumsulfat (150) während der drei ersten Jahre nach dem Zurück-

VERLIÈRE (G.). — **Mineral nutrition and fertilization of the coffee tree on shaly soil in the Ivory Coast. II. Influence of mineral fertilization on yields. III. Relation between yields and mineral composition of the leaves.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 3, juil.-sept. 1973, p. 211-222, tabl.

A study was carried out during the period 1963-1968 on the influence of manuring of type NPK²³ on yields of commercial coffee per hectare.

Factorial yield analysis makes it possible to specify the influence of the main effects, of first order and second order interactions on yields per hectare and the yields, expressed per thousand parts of the control.

For each production cycle, the author advocates the following manuring : dicalcium phosphate (75) and potassium sulfate (150) for the first three years after cutting back and ammonium sulfate (225) the fourth year after cutting back.

He shows that by taking into account labor and applied fertilizer costs, the profit resulting from manuring represents 23 % of the profit obtained from a coffee plantation without any fertilizer.

During this fertilizer trial, correlations between plot yields and the nutritive component contents of coffee tree leaves were studied.

The foliar diagnosis led to the conclusion that the yield is more closely correlated with the cation content than with the anion content of the leaves ; the initial phosphopotassium manuring must be replaced by nitrogen manuring during the year in which the coffee trees are cut back ; an additional calcium-magnesium improvement (dolomite) can be applied, during the year following that of the cutting back, at fertilizer spreading time during the month of April. The profitability of this new procedure remains to be verified.

VERLIÈRE (G.). — **La nutrición mineral y la fertilización del café en suelos esquistosos en la Costa de Marfil. II. Influencia de la fertilización mineral sobre los rendimientos. III. Relación entre los rendimientos y la composición mineral de las hojas.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 3, juil.-sept. 1973, p. 211-222, tabl.

Se estudió durante el período 1963-1968 la acción de un abonado de tipo NPK²³ sobre los rendimientos por hectárea de café beneficiado.

Gracias al análisis factorial de los rendimientos se ha podido precisar la acción de los efectos principales, de las interacciones de primera importancia y de la interacción de segunda importancia sobre los rendimientos por hectárea y los rendimientos expresados en por mil del testigo.

El autor sugiere el abonado siguiente para cada ciclo de producción : fosfato bicálcico (75) y sulfato de potasa (150) durante los primeros tres años siguientes al remozado y

schneiden und Ammonsulfat (225) im vierten Jahre nach dem Zurückschneiden.

Er stellt fest dass unter Berücksichtigung der Arbeitskosten und des Preises des aufgetragenen Düngers der von der Düngung abgeworfene Gewinn 23 % des mit einer Kaffeepflanzung ohne Dünger erhaltenen Gewinns darstellt.

Während dieses Düngerversuchs wurden die Korrelationen zwischen den Erträgen der Parzellen und dem Gehalt an Nährstoffen der Blätter des Kaffeebaums untersucht.

Die Blattanalyse führte zur Feststellung dass der Ertrag eine ausgeprägtere Korrelation mit dem Gehalt der Blätter an Kationen als mit dem Gehalt an Anionen zeigt ; die ursprüngliche phosphorhaltige Düngung muss im Jahre da die Kaffeebäume zurückgeschnitten werden durch eine stickstoffhaltige Düngung ersetzt werden. Eine zusätzliche kalkhaltige Magnesium (Dolomit) Bodenverbesserung kann im dem Jahre des Zurückschneidens folgenden Jahre im Augenblick des Düngerausstreuens im April vorgenommen werden. Die Rentabilität dieser neuen Formel bleibt noch zu prüfen.

sulfato amónico (225) durante el cuarto año siguiente al remozado.

Calculó que, teniendo en cuenta los costes de la mano de obra y de los fertilizantes aplicados, el provecho que se saca del abonado representa el 23 por ciento del útil que se obtiene con un cafetal sin abonar.

Durante este ensayo de abonos fueron estudiadas las correlaciones entre los rendimientos de las parcelas y los contenidos de nutrientes de las hojas de café.

Gracias al diagnóstico foliar se determinó lo siguiente : el rendimiento tiene una correlación más marcada con los contenidos de cationes de las hojas comparados con sus contenidos de aniones ; el abonado fosfopotásico inicial debe reemplazarse con un abonado nitrogenado aplicado el año en que se remozan los cafés ; una fertilización suplementaria de cal y magnesio (dolomía) puede hacerse el año siguiente al remozado, en el momento del abonado que se efectua en abril. Ha de comprobarse la rentabilidad de esta nueva formula.