

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE NOUMEA

Note sur la nutrition minérale et la fertilisation
du Chêne-Gomme
(*Arillastrum Gummiferum*)

G.VERLIERE

Phytophysiologiste

Septembre 1974

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 32.134 ex 1

Cote : B

NOTE SUR LA NUTRITION MINERALE ET LA FERTILISATION
DU CHENE-GOMME

Le chêne-gomme (*Arillastrum gummiferum*) est une myrtacée se rencontrant entre 50 et 350 m d'altitude sur les sols ferrugineux du sud de la Nouvelle-Calédonie (Sarlin 1954). Il était à la base des anciennes forêts néo-calédonniennes australes ; il est actuellement en régression par suite d'une exploitation trop intense d'une part et par son manque de résistance aux feux de brousse d'autre part. Il fournit un bois de qualité, très lourd, dur et presque imputrescible.

Il est actuellement envisagé de l'utiliser pour la régénération des sols miniers dont l'exploitation provoquera la destruction totale de la couverture végétale naturelle et amènera en surface une partie du sol actuellement situé en profondeur. C'est pourquoi, un essai de fertilisation a été mis en place en 1972 en collaboration avec le Centre Technique Forestier Tropical.

1. Dispositif expérimental

Les jeunes plants ont été mis en place en février 1972 dans des vases de végétation renfermant chacun 35 kg de terre correspondant au type de sol qui se retrouvera en surface après l'exploitation minière : "latérite de profondeur" ou "stérile" dont l'analyse figure au tableau 1.

L'essai est du type factoriel NPK 2³, divisé en deux sous-essais différant l'un de l'autre par la nature de l'engrais azoté : urée dans le premier et sulfate d'ammoniaque dans le second. Les deux sous-essais sont interprétés indépendamment l'un de l'autre.

Chaque objet comporte 5 vases de végétation avec un arbre chacun ; il y a quatre répétitions.

Les doses d'engrais par arbre sont les suivantes :

Azote	10 g	soit 22 g d'urée (N)
		ou 50 g de sulfate d'ammoniaque (N')
P ₂ O ₅	32 g	soit 100 g de superphosphate
K ₂ O	24 g	soit 50 g de sulfate de potasse.

L'engrais est mélangé à la terre au moment du remplissage des vases de végétation environ un mois avant la plantation et il n'est pas fait d'autre apport d'éléments fertilisants pendant la durée de l'essai.

La hauteur des arbres a été mesurée le 27 septembre 1973, soit 20 mois après la plantation ; en même temps, on a prélevé sur chaque arbre les deux premières feuilles adultes en partant de l'extrémité apicale. Les

feuilles provenant des cinq arbres du même objet sont ensuite réunies ^{reunies} ~~remises~~ en un même échantillon, lavées, séchées, broyées et analysées.

Les analyses sont effectuées sur les poudres calcinées à 450° pendant 2 h. Elles portent sur :

- le phosphore par la méthode au vanadomolybdate d'ammonium (analyseur Technicon)
- le potassium et le sodium par spectrophotométrie de flamme
- le calcium, magnésium, fer, manganèse, zinc, cuivre, nickel, chrome et cobalt par spectrophotométrie d'absorption atomique (spectrophotométrie VARIAN AA 120).

On dose également l'azote total par la méthode Kjeldahl.

Tableau 1

Acidité	pH	5,0
Matière organique	Carbone	9,77 %
	Azote	0,29 %
Acide phosphorique total		0,29 %
	Truog ⁺⁺	0,01 %
Cations échangeables	Ca ⁺⁺	0,17 mc
	Mg ⁺⁺	0,42 mc
	K ⁺	0,01 mc
	Na ⁺	0,14 mc
	Total	0,74 mc
Capacité d'échange		8,82 mc
Taux de saturation		8,39 %
Eléments totaux : perte au feu	Résidu	14,4 %
	SiO ₂	0,11 %
	Al ₂ O ₃	1,33 %
	Fe ₂ O ₃	5,92 %
	TiO ₂	73,7 %
	MnO ₂	0,16 %
	Ca ⁺⁺	0,26 %
	Mg ⁺⁺	0,51 mc
	K ⁺⁺	3,40 mc
	Na ⁺⁺	0,25 mc
	NiO	0,40 mc
	CR ₂ O ₃	8,98 %
	CoO	17,8 %
		0,11 %
Caractéristiques hydriques	Humidité	37,5 %
	pF 3	40,6
	pF 4.2	18,9
Rapport C/N		33,7

.../...

2. Résultats

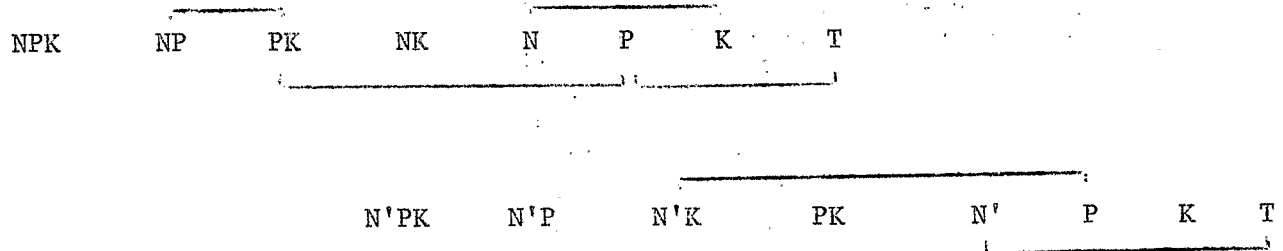
2.1. Développement des arbres

Le paramètre utilisé pour analyser le développement des arbres est la hauteur du tronc à la fin de l'essai. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2 (hauteur exprimée en mm).

Tableau 2.

N	166	N'	151
P	141	P	141
K	109	K	109
NP	239	N'P	278
NK	172	N'K	192
PK	191	PK	191
NPK	359	N'PK	341
T	98	T	98
C.V.	23	CV =	23
ppds	62	ppds =	62

En réunissant par un trait les traitements ne présentant pas de différence significative entre eux, on obtient la représentation graphique suivante :



D'autre part, on peut résumer ainsi les résultats de l'analyse factorielle :

Effets principaux

N	99	N'	106
P	96	P	100
K	47	K	41

Interactions de 1er ordre

NxP	34	N'xP	38
NxK	16	N'xK	11
PxK	38	PxK	16

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	19	N'xPxK	-4
<u>Seuil de signification</u>			
	31		31

Les trois effets principaux sont significatifs dans les deux essais, celui dû au potassium étant inférieur de moitié à ceux de l'azote ou du phosphore. L'interaction azote x phosphore est également significative, que l'azote soit sous forme d'urée ou de sulfate d'ammoniaque ; elle peut être décomposée ainsi :

Effet de N :	en l'absence de P	65	;	en présence de P	133
Effet de P :	en l'absence de N	61	;	en présence de N	130
Effet de N' :	en l'absence de P	68	;	en présence de P	144
Effet de P' :	en l'absence de N'	62	;	en présence de N'	138

L'apport d'azote double donc l'effet du phosphore et réciproquement. Par contre, l'interaction PxK n'est significative que dans l'essai où l'azote est apportée sous forme d'urée ; elle montre que l'effet de la potasse est nul sans apport simultané de phosphore.

Effet de P :	en l'absence de K	58	;	en présence de K	134
Effet de K :	en l'absence de P	9	;	en présence de P	85

2.1. Teneur des feuilles en éléments minéraux

Les teneurs sont exprimées en g pour 100 g de matière sèche pour N,P,K,Na,Ca et Mg et en ppm pour Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr et Co.

2.2. Teneur en azote

L'influence des différentes fumures sur la teneur des feuilles en azote est donnée par le tableau 3.

Tableau 3

N	0,850	N'	0,865
P	0,945	P'	0,945
K	0,675	K'	0,675
NP	0,755	N'P	0,905
NK	0,830	N'K	0,660
PK	0,785	PK	0,785
NPK	0,875	N'PK	0,855
T	0,775	T	0,775
CV =	22	CV =	22
ppds =	N.S.	ppds =	N.S.

Il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements que l'azote soit apporté sous forme d'urée ou de sulfate d'ammoniaque. L'analyse factorielle ne montre également pas d'effet significatif.

Effets principaux

N	0,038	N'	0,026
P	0,063	P	0,128
K	-0,035	K	-0,129

Interactions de 1er ordre

NxP	-0,078	N'xP	-0,011
NxK	0,095	N'xK	0,001
PxK	0,025	PxK	0,024

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	0,055	N'PxK	0,054
-------	-------	-------	-------

Seuil de signification 0,130 0,132

L'apport de phosphore semble être plus bénéfique que l'apport d'azote, surtout lorsque celui-ci est sous forme de sulfate d'ammoniaque. Dans ce dernier cas, l'apport de sulfate de potasse a un effet dépressif marqué, très proche du seuil de signification.

2.2.2. Teneur en phosphore

Les teneurs des feuilles en phosphore en fonction des fumures apportées sont données dans le tableau 4.

Tableau 4

N	0,028	N'	0,024
P	0,524	P	0,524
K	0,056	K	0,056
NP	0,196	N'P	0,172
NK	0,053	N'K	0,036
PK	0,110	PK	0,110
NPK	0,015	N'PK	0,013
T	0,038	T	0,038
CV =	115	CV =	111
ppds =	N.S.	ppds =	0,215

Les différences significatives entre traitements dans le second essai sont résumées dans le schéma suivant :

P N'P N'PK PK K T n'K N'

.../...

D'autre part, l'analyse factorielle donne les résultats ci-dessous.

Effets principaux

N	-0,084	N'	-0,096
P	0,193	P	0,191
K	-0,113	K	-0,111

Interactions de 1er ordre

NxP	-0,078	N'xP	-0,079
NxK	0,085	N'xK	0,087
PxK	-0,135	PxK	-0,126

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	0,081	N'xPxK	0,091
-------	-------	--------	-------

<u>Seuil de signification</u>	0,118	0,110
-------------------------------	-------	-------

Le phosphore a un effet bénéfique significatif dans les deux essais. Au contraire, l'apport de sulfate de potasse a un effet dépressif ; mais celui-ci n'est significatif que dans le deuxième essai. L'interaction PxK est négative et significative dans les deux essais ; elle montre que l'apport de phosphore qui a un rôle bénéfique en absence de potasse, n'a plus d'effet significatif en présence de potasse. Inversement, le rôle dépressif du potassium n'est significatif qu'en présence de phosphore :

Avec N	Effet du phosphore :	en absence de potassium	0,328
		en présence de potassium	0,058
	Effet du potassium :	en absence de phosphore	0,022
		en présence de phosphore	-0,248
Avec N'	Effet du phosphore :	en absence de potassium	0,317
		en présence de potassium	-0,066
	Effet du potassium :	en absence de phosphore	0,015
		en présence de phosphore	-0,237

Cet effet dépressif du sulfate de potassium en présence de superphosphate pourrait être dû à l'apport important d'ions SO_4^{--} et à un antagonisme $SO_4^{--} - PO_4 H_2^-$ d'où une absorption moindre de phosphore par la plante.

2.2.3. Teneur en potassium

Les taux de potassium dans les feuilles en fonction des différentes fumures apportées sont indiqués dans le tableau 5.

.../...

Effet de P :	en absence de N	0,45	; en présence de N	-0,31
	en absence de K	0,36	; en présence de K	-0,22
Effet de K :	en absence de N	0,20	; en présence de N	0,98
	en absence de P	0,88	; en présence de P	0,30

L'effet de l'azote est donc toujours significatif mais il est positif en absence de P ou en présence de K et négatif en présence de P ou en absence de K.

L'effet de P est significatif et positif en absence de N ou de K ; la présence de l'un ou l'autre de ces deux éléments le rend négatif et significatif.

Quant à l'effet de K, il est toujours positif et significatif ; il est beaucoup plus important en présence de N ou en absence de P.

L'influence des interactions est beaucoup moins marquée lorsque l'azote est sous forme de sulfate d'ammoniaque. Seule l'interaction N'xP est alors significative ; elle montre que les effets de N' et de P évoluent comme dans le premier essai mais qu'ils n'atteignent pas toujours le seuil de signification :

Effet de N' :	en absence de P	0,06	; en présence de P	-0,52
Effet de P :	en absence de N'	0,45	; en présence de N'	-0,13

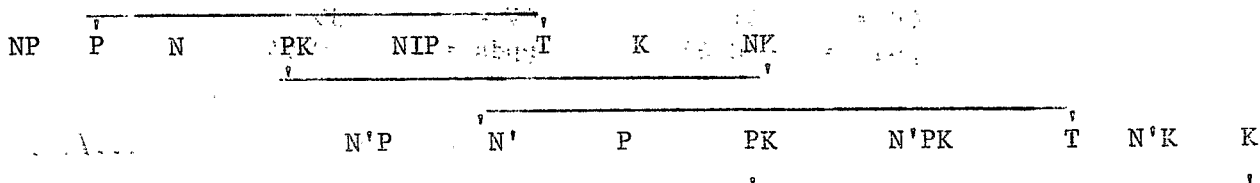
2.2.4. Teneur en sodium

Contrairement aux autres éléments étudiés ci-dessus, le sodium n'a fait l'objet d'aucun apport au cours de l'essai. Les différences que l'on peut trouver dans les taux de sodium dans les feuilles (cf tableau 6) ont donc été induites par l'apport d'autres éléments.

Tableau 6

N	0,35	N'	0,40
P	0,36	P	0,36
K	0,22	K	0,22
NP	0,50	N'P	0,56
NK	0,19	N'K	0,26
PK	0,32	PK	0,32
NPK	0,31	N'PK	0,28
T	0,28	T	0,28
CV =	28	CV =	26
ppds =	0,13	ppds =	0,13

On peut schématiser ainsi les différences significatives entre traitements :



2.2.7. Teneur en Fer

Il n'existe des différences significatives entre les teneurs en fer que si l'azote est apporté sous forme d'urée (cf. tableau 9).

Tableau 9

N	226	N'	278
P	259	P	259
K	401	K	401
NP	171	N'P	164
NK	171	N'K	171
PK	189	PK	189
NPK	166	N'PK	155
T	451	T	451
CV =	41	CV =	43
ppds =	151	ppds =	NS

Ces résultats peuvent se représenter graphiquement ainsi :

T	K	P	N	PK	NP NK	NPK
---	---	---	---	----	-------	-----

Par contre, dans les deux essais, l'analyse factorielle met en évidence l'effet significatif et négatif de l'azote et du phosphore. De plus, dans le premier essai, l'interaction NxP est significative et positive ; sa décomposition indique que l'effet dépressif de N n'est significatif qu'en absence de P, et réciproquement.

Effets principaux

N	-141	N'	-133
P	-116	P	-134
K	-45	K	-59

Interactions de 1er ordre

NxP	86	N'xP	69
NxK	15	N'xK	1
PxK	8	PxK	19

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	18	N'xPxK	29
-------	----	--------	----

Seuil de signification

77 88

Effet de N : en absence de P -227 ; en présence de P -55
 Effet de P : en absence de N -202 ; en présence de N -30

2.2.8. Teneur en manganèse

Le tableau 10 indique qu'aucun des deux essais ne présente de différence significative dans les teneurs en manganèse entre les différents traitements.

Tableau 10

N	61	N'	87
P	83	P	83
K	77	K	77
NP	100	N'P	153
NK	64	N'K	77
PK	70	PK	70
NPK	84	N'PK	101
T	93	T	93
CV =	23	CV =	28
ppds =	NS	ppds =	NS

L'interaction azote x phosphore est significative et positive dans les deux essais. Si l'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammoniaque, on note en plus un effet significatif positif de l'azote et négatif du potassium.

Effets principaux

N	- 3	N'	24
P	11	P	18
K	-10	K	-23

Interactions de 1er ordre

NxP	19	N'xP	27
NxK	4	N'xK	+ 8
PxK	- 4	PxK	-10

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	- 5	N'xPxK	-11
-------	-----	--------	-----

Seuil de signification 14

19

L'étude de l'interaction azote x phosphore montre que dans les deux essais l'effet de P est significatif et positif en présence d'azote. L'effet du sulfate d'ammoniaque n'est également significatif qu'en présence de phosphore, alors que l'effet de l'urée est toujours significatif mais négatif en absence de phosphore et positif en présence de phosphore.

.../...

Effet de N' : en absence de P	-22	en présence de P	16
Effet de P : en absence de N	- 8	en présence de N	30
Effet de N' : en absence de P	- 3	en présence de P	51
Effet de P : en absence de N'	- 9	en présence de N'	45

2.2.9. Teneur en zinc

On ne constate pas de différence significative entre les différentes fumures (cf. tableau 11).

Tableau 11

N	24,5	N'	24,0
P	37,3	P	37,3
K	47,3	K	47,3
NP	24,5	N'P	31,8
NK	27,5	N'K	22,0
PK	37,8	PK	37,8
NPK	27,0	N'PK	19,0
T	29,5	T	29,5
CV =	25	CV =	31
ppds =	NS	ppds =	NS

Dans les deux essais l'effet de l'azote est significatif et négatif. Si l'azote est sous forme de sulfate d'ammoniaque, l'interaction N x K est significative et montre que l'apport d'azote n'a un effet dépressif que s'il est effectué en présence d'apport de potasse, tandis que l'effet du potassium est toujours significatif mais positif en absence d'azote et négatif en présence d'azote.

Effets principaux

N	-12,1	N'	-13,8
P	- 0,6	P	0,8
K	5,9	K	0,9

Interactions de 1er ordre

NxP	0,3	N'xP	1,6
NxK	-3,2	N'xK	-8,3
PxK	-4,4	PxK	-7,0

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	4,2	N'xPxK	1,6
-------	-----	--------	-----

Seuil de signification 6,0 7,1

Effet de N' : en absence de K -5,5 ; en présence de K -22,0
 Effet de K : en absence de N' 9,2 ; en présence de N' -7,4

2.2.10. Teneur en cuivre

Les différents traitements ne présentent pas de différences significatives entre leurs teneurs en cuivre (tableau 12).

Tableau 12

N	2,2	N'	2,7
P	4,3	P	4,3
K	3,4	K	3,4
NP	2,0	N'P	3,5
NK	3,2	N'K	2,9
PK	2,8	PK	2,8
NPK	2,4	N'PK	1,8
T	2,8	T	2,8
CV =	28	CV =	29
ppds =	NS	pp s =	NS

L'analyse factorielle montre que l'azote sous forme d'urée a un effet significatif négatif. D'autre part, l'interaction PxK est significative dans les deux essais : elle met en évidence un effet positif de P en absence de K et un effet positif de K en absence de P ; cet effet devient négatif pour P et K lorsque ces deux éléments sont apportés ensemble.

Effets principaux

N	-0,88	N'	-0,59
P	-0,03	P	0,15
K	0,11	K	-0,60

Interactions de 1er ordre

NxP	-0,46	N'xP	-0,28
NxK	0,58	N'xK	-0,13
PxK	-0,69	PxK	-1,01

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	0,38	N'xPxK	0,06
-------	------	--------	------

Seuil de signification 0,60 0,65

Avec N { Effet de P : en absence de K 0,66 ; en présence de K -0,72
 Effet de K : en absence de P 0,80 ; en présence de P -0,58

.../...

Avec N^r { Effet de P : en absence de K 1,16 ; en présence de K -0,86
 Effet de K : en absence de P 0,41 ; en présence de P -1,61

2.2.11. Teneur en nickel

Le tableau 13 montre qu'il existe des différences significatives dans les teneurs en nickel lorsque l'azote est apporté sous forme d'urée.

Tableau 13

N	8,0	N ^r	11,3
P	8,0	P	8,0
K	15,0	K	15,0
NP	13,5	N ^r P	11,0
NK	10,0	N ^r K	9,5
PK	8,8	PK	8,8
NPK	11,5	N ^r PK	12,5
T	15,8	T	15,8
CV =	25	CV =	27
ppds =	4,2	ppds =	NS

Les différences significatives peuvent être schématisées ainsi :

T	K	NP	NPK	NK	PK	NP
---	---	----	-----	----	----	----

L'analyse factorielle montre que dans les deux essais l'interaction azote x phosphore est significative et positive. De plus, si l'azote est sous forme de sulfate d'ammoniaque, le phosphore a un effet négatif : en fait, la décomposition de l'interaction azote x phosphore met en évidence dans les deux essais un effet significatif négatif du phosphore en absence d'azote et un effet significatif négatif de l'azote en absence de phosphore ; par contre, lorsque ces deux éléments sont apportés ensemble leur effet devient positif mais n'atteint pas toujours le seuil de signification.

Effets principaux

N	-1,1	N ^r	-0,8
P	-1,8	P	-2,8
K	0,0	K	0,1

Interactions de 1er ordre

NxP	5,3	N ^r xP	4,2
NxK	0,0	N ^r xK	-0,1
PxK	-0,6	PxK	1,2

Interaction de 2ème ordre

NxPxK	-1,4	N'xPxK	0,4
<u>Seuil de signification</u>	2,1		2,2

Effet de N : en absence de P	-6,4	en présence de P	4,2
Effet de P : en absence de N	-7,1	en présence de N	3,5
Effet de N' : en absence de P	-5,0	en présence de P	3,4
Effet de P' : en absence de N'	-7,0	en présence de N'	1,4

2.2.12. Teneur en chrome

Comme pour les teneurs en nickel, il n'existe de différences significatives entre les différents traitements que dans l'essai où l'azote est sous forme d'urée (Tableau 14).

Tableau 14

N	4,6	N'	5,6
P	4,1	P	4,1
K	8,2	K	8,2
NP	3,3	N'P	3,2
NK	3,0	N'K	3,8
PK	3,5	PK	3,5
NPK	3,2	N'PK	3,2
T	8,6	T	8,6
CV =	46	CV =	51
ppds =	3,2	ppds =	NS

Toutes les formules de fumures, à l'exception de K, ont, dans le premier essai, un effet dépressif significatif sur les teneurs en Cr par rapport au témoin.

T K N P PK NP NPK NK

L'analyse factorielle met en évidence dans les deux essais un effet dépressif significatif de l'azote et du phosphore. Lorsque l'azote est sous forme d'urée, l'interaction NxP est également significative ; son étude montre que le rôle dépressif de l'azote et du phosphore n'est significatif que si ces deux éléments ne sont pas apportés simultanément.

.../...

Tableau 16

EFFET <i>de</i>	ESSAI AVEC UREE												
	EFFET SUR LES TENEURS EN												
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
N			+si P _o , K _i -si P _i , K _o				-si P _o	-si P _o +si P _i	-	-	-si P _o +si P _i	-si P _o	-si P _o +si P _i
P		+si K _o	+si N _o , K _o -si N _i , K _i	+	+	+si K _o	-si N _o	+si N _i		+si K _o -si K _i	-si N _o +si N _i	-si N _o	+si N _i , K _o
K		-si P _i	+	-	-si P _i					-si P _o			-si P _i
N x P			-				+	+			+	+	+
N x K			+										
P x K		-	-		-	-				-			
N x P x K													

ESSAI AVEC SULFATE D'AMMONIAQUE

EFFET SUR LES TENEURS EN

EFFET de	EFFET SUR LES TENEURS EN												
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cv	Co
N'			-si P _i	+si K _o			-	+si P _i	-si K _i		-si P _o +si P _i	-	
P		+si K _o	+si N' _o	+	+		-	+si N' _i		+si K _o -si K _i	-si N' _o	-	
K		-si P _i	+	-si N' _i	-si P _i				+si N' _o -si N' _i	-si P _i			
N'xP			-					+			+		
N'xK				-					-				
PxK		-			-					-			
N'xPxK													

L'urée a généralement un rôle dépressif sur l'absorption des éléments étudiés, surtout en absence de superphosphate on ne constate des effets positifs que :

- sur l'absorption du potassium en absence de superphosphate ou en présence de sulfate de potasse

- et sur l'absorption du manganèse, du nickel et du cobalt en présence de superphosphate.

Il en est de même pour le sulfate d'ammoniaque dont l'effet n'est positif que sur

- l'absorption du sodium en absence de sulfate de potasse ;

l'absorption du manganèse et du nickel en présence de superphosphate.

Au contraire, l'apport de superphosphate provoque généralement une augmentation des teneurs en éléments minéraux des feuilles, surtout dans l'essai où l'azote est sous forme d'urée. Les effets dépressifs ne se manifestent alors qu'en absence d'apport d'azote et ils ne concernent que le fer, le nickel et le chrome, ou en présence de sulfate de potasse sur le potassium, et le cuivre. Si l'azote est sous forme de sulfate d'ammoniaque, le superphosphate n'a un effet dépressif que sur les teneurs en nickel (en absence d'apport d'azote), en cuivre (en présence de sulfate de potasse), en fer et en chrome : tous les autres effets significatifs sont positifs.

Comme pour l'apport d'azote, l'effet du sulfate de potasse est généralement négatif quand il est significatif : les seules exceptions concernent les teneurs en potassium, les teneurs en cuivre en absence de superphosphate et en zinc en absence de sulfate d'ammoniaque.

Le phosphore ayant sensiblement le même effet que l'azote et un effet double de celui du potassium sur l'accroissement du développement des chênes gommés, l'effet généralement dépressif de l'azote et du potassium sur la teneur de la majorité des éléments étudiés ne peut être imputé au seul phénomène de dilution dans des arbres ayant un développement supérieur à celui des témoins : il doit correspondre également à une modification du métabolisme de l'arbre.

Le tableau 17 donne les valeurs des teneurs en éléments minéraux correspondant d'une part au traitement NPK qui a donné le développement maximal des arbres et d'autre part au témoin T où la croissance des arbres a été minimale.

.../...

Tableau 17

	T	NPK	R
N	0,78	0,90	115
P	0,038	0,115	303
K	0,51	1,06	208
Na	0,28	0,31	111
Ca	0,63	1,18	187
Mg	0,16	0,13	81
Fe	451	166	37
Mn	93	84	90
Zn	29,5	27,0	92
Cu	2,8	2,4	86
Ni	15,8	11,5	73
Cr	8,6	3,2	37
Co	1,4	1,5	129
Σ	1,58	2,60	169
N/P	20,53	7,93	38
N/K	1,53	0,85	56
K/Na	1,82	3,42	190
K/Ca	0,81	0,90	111
K/Mg	3,19	0,38	263
Ca/Mg	3,94	9,03	230
K+Na/ Ca+Mg	1,00	1,05	105

$$\Sigma = K + Na + Ca + Mg \quad \text{et} \quad R = 100 \frac{NPK}{T}$$

On peut constater que c'est de loin la teneur en P qui a le plus augmenté à la suite de l'apport d'engrais : elle est en effet multipliée par 3. On trouve ensuite les teneurs en K et Ca qui ont sensiblement doublé, puis celles en Co, N et Na. Les teneurs des autres éléments ont diminué lorsque les arbres ont reçu une fumure NPK : environ -10% pour Zn, Mn et Cu, -20% pour Mg, -30% pour Ni et -60% pour Fe et Cr. Le magnésium est le seul des éléments majeurs dont la teneur a diminué : par contre, la teneur en Co est la seule des oligo-éléments à avoir augmenté.

Les rapports entre les teneurs de certains éléments sont profondément modifiés : certains, tels K/Mg et Ca/Mg sont multipliés par 2,5, alors que N/P est divisé par 2,5. Au contraire, d'autres sont restés à peu près constants, par exemple K/Ca et surtout K+Na/Ca+Mg bien que la somme Σ ait augmenté de 70%.

Si l'on exprime K, Na, Ca et Mg en % de Σ , on obtient les valeurs suivantes :

	T	NPK
K	32	39
Na	18	12
Ca	40	44
Mg	10	5

.../...

On peut voir que l'augmentation des teneurs en potassium est contre balancée par une diminution égale des teneurs en sodium : il en est de même pour le calcium et le magnésium. Mais si la teneur en magnésium a baissé en valeur absolue dans les arbres fertilisés, celle du sodium a par contre augmenté. On peut donc penser que, lorsqu'il pousse sur des terrains pauvres, le chêne-gomme comble en partie la déficience en calcium par une absorption plus grande de magnésium, mais qu'il ne peut faire de même pour remplacer le potassium par le sodium. Parmi ces quatre cations, deux sont apportés par les engrais utilisés : le potassium par le sulfate de potasse et le calcium par le superphosphate. L'étude des teneurs en éléments minéraux a permis de mettre en évidence un antagonisme entre le potassium et les trois autres cations : au contraire, le superphosphate a un rôle bénéfique sur l'absorption du sodium et du magnésium. Il reste à étudier s'il y a antagonisme ou synergie entre Na^+ et Mg^{++} , ce qui implique un essai avec des apports de sodium et de magnésium.

Les trois oligo-éléments (Ni, Cr et Co) considérés comme toxiques dans les terrains miniers ne réagissent pas de la même façon aux apports d'engrais. La fumure NPK diminue l'absorption du chrome de 63 % et celle du nickel de 27 % mais augmente celle du cobalt de 29 %. C'est l'apport du superphosphate qui modifie le plus leur absorption alors que le sulfate de potasse est pratiquement sans influence.

Nous avons pu remarquer au cours des différentes prospections et analyses que nous avons faites que le chêne-gomme absorbe très peu le nickel, même lorsque celui-ci est en quantités importantes dans le sol : c'est une des formes d'adaptation aux terrains miniers de Nlle Calédonie. Mais d'autres plantes se développent très bien en absorbant des quantités très élevées de nickel : c'est le cas par exemple de *Psychotria donarei*, *Hybanthus caledonicus*, *Hybanthus austrocaledonicus* et *Homalium Kanaliense* (Jaffré et al. 1971 - Jaffré 1973 - Jaffré et Schmid 1974). Il n'est pas certain que pour ces plantes accumulatrices de nickel, l'effet des engrais soit le même que pour celles qui en absorbent très peu.

4. Conclusion

En résumé, on peut constater à la fin des deux essais que :

- 1°) Il y a davantage de résultats significatifs dans l'essai où l'azote est sous forme d'urée, et ce sont alors les effets des interactions qui sont principalement concernés
- 2°) Il n'y a aucun effet sur les teneurs en azote dans les deux essais :
- 3°) Dans l'essai avec urée, l'apport de superphosphate modifie l'assimilation de tous les éléments étudiés à l'exception de l'azote et du zinc : si l'azote est sous forme de sulfate d'ammoniaque il n'y a plus d'effet sur l'absorption du magnésium et du cobalt
- 4°) L'apport d'urée a des effets sur l'assimilation du potassium, du fer, du manganèse, du zinc, du cuivre, du nickel, du chrome et du cobalt : si on remplace l'urée par le sulfate d'ammoniaque, l'assimilation du sodium est également concernée mais il n'y a plus d'effet sur celle du cuivre et du cobalt.

.../...

- 5°) L'apport de sulfate de potasse dans l'essai avec urée agit sur l'absorption des éléments majeurs, mais est sans effet sur celle des oligo-éléments, à l'exception du cuivre et du cobalt : dans l'essai avec sulfate d'ammoniaque, le magnésium et le cobalt ne sont plus concernés, mais il y a une action du sulfate de potasse sur l'absorption du zinc.

- 6°) Les effets des interactions sont plus marqués en présence d'urée que de sulfate d'ammoniaque ; ce sont les interactions de 1er ordre où intervient le superphosphate qui sont les plus importantes. L'interaction azote x phosphore est généralement positive, tandis que l'interaction phosphore x potassium est toujours négative. L'interaction de 2^{ème} ordre azote x phosphore x potassium n'est jamais significative.

La replantation de chênes-gommes, après l'exploitation du minerai nickelifère, dans les latérites de profondeur des terrains miniers nécessitera donc l'apport d'une fumure NPK en utilisant de préférence de l'urée plutôt que du sulfate d'ammoniaque comme source d'azote. Comme l'apport d'azote n'a pas provoqué d'augmentation du taux d'azote dans les feuilles, on peut penser que les quantités de fumure azotée essayées ne sont pas suffisantes pour obtenir la croissance maximale des arbres et qu'il conviendra de les augmenter sensiblement : une dose de 15 g d'azote par arbre ne doit pas être excessive.

Les trois éléments N, P et K ont chacun un effet significatif positif sur la croissance de l'arbre, et, de plus, il y a synergie entre eux. Mais il est prévisible qu'il ne faudra sans doute pas se limiter à une seule fertilisation au moment de la plantation. Des analyses effectuées régulièrement sur des prélèvements foliaires devraient permettre de détecter le moment où la chute de teneur en un élément donné indique un nouveau besoin en fumure correspondante. Il est peut être utile de préciser que, dans les conditions où devraient se faire les plantations, le prix de revient de la fumure même si celle-ci doit être renouvelée plusieurs fois durant les premières années suivant la mise en place des plantes est très faible en regard des frais occasionnés par la remise en état du terrain après l'exploitation minière, la production des plantes en pépinière et la plantation elle-même.