

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER

CENTRE DE NOUMEA

Etude de la croissance et de la nutrition minérale

du Chêne Gomme
(*Arillastrum Gummiferum*)

sur quelques sols néo-calédoniens

G. VERLIERE

Phytophysiologiste

Novembre 1971

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 32.135 ep1
Cote : B

ETUDE DE LA CROISSANCE ET DE LA NUTRITION MINERALE

DU CHENE GOMME
(Arillastrum Gummiferum)

sur QUELQUES SOLS NEO-CALEDONIENS

Dans le cadre de l'étude concernant la nutrition minérale et la croissance du chêne-gomme, un essai a été mis en place à Nouméa pour analyser le comportement de cette espèce sur différents types de sols.

Le chêne gomme ne se rencontre que dans la moitié centrale de la Nouvelle-Calédonie sur des sols ferrugineux ou serpentiniteux dérivés de roches ultrabasiques et il était intéressant, en vue de reforestations ultérieures, de savoir s'il était susceptible de se développer normalement sur d'autres types de sol. D'autre part, la mise en exploitation des latérites nickelifères de la Plaine des Lacs doit amener en surface un type de sol qui se trouve naturellement en profondeur ("stérile") et sur lequel il est prévu d'établir une nouvelle végétation en vue de la fixer : le chêne-gomme a été retenu parmi les espèces susceptibles d'être utilisées.

1. Méthode employée

Neuf types de sol ont été mis en essais sous abri au Centre ORSTOM de Nouméa. Ils concernent :

- un sol fersiallitique lessivé sur sericitoschistes en provenance de la station forestière du col d'Amien (AMI)
- un sol peu évolué sur alluvions d'origine schistogresseuse mais renfermant des éléments péridotitiques, en provenance du Centre de Recherches Agronomiques de Nessadiou (NES)
- un sol brun eutrophe sur serpentine du Col de Plum (PLU)
- différents niveaux de la couverture aluviale ferrallitique sur roches ultrabasiques de la Plaine des Lacs :
 - cuirasse de surface (CUI)
 - stérile ou latérite de profondeur (STE)
 - minéral de nickel (MIN)
- un sol ferrallitique sur roche ultrabasique enrichi en phosphore d'origine marine en provenance de l'Ile des Pins (PIN)
- des décharges minières de la vallée de la Tontouta (TON)
- un sol rendziniforme sur sables calcaires coralliens (IFO).

.../...

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL

		AMI	NES	PLU	CUI	STE	MIN	PIK	TON		
Horizon		9								HRZ	
Groupe		13								GR	
Sous-groupe		17								SG	
(Famille)		21								FM	
(Série)		25								SR	
(Région)		29								RG	
Numéro du sac		33								SAC	
Profondeur minimale en cm		37								PMI	
Profondeur maximale		41								PMA	
Granulométrie en 10 ⁻²		45								REF	
Refus		49								CDC	
Carbonate de calcium		53								ARG	
Argile		57								LMF	
Limon fin 2 à 20 µ		61								LMG	
Limon grossier 20 à 50 µ		65								SBF	
Sable fin 50 à 200 µ		69								SBG	
Sable grossier		73	1	1	1	1	1	1	1	CARTE	
Matières organiques en 10 ⁻³		13	14.7	16.0	14.8	13.9	3.90	0.	4.08	3.52	C
Azote		17	2.39	1.94	1.35	1.51	0.15	0.02	0.34	0.28	N
Acides humiques		21									AH
Acides humiques bruns		25									AHB
Acides humiques gris		29									AHG
Acides fulviques		33									AF
Acidité		37	4.4	7.4	6.8	4.6	5.1	5.1	5.8	6.3	PHE
pH eau 1/2,5		41									PHK
pH chlorure de potassium		45	3.70	11.3	0.70	0.70	0.29	0.01	1.32	4.35	CAE
Cations échangeables en mé		49	1.20	5.20	38.8	0.37	0.09	0.03	0.20	3.40	MGE
Calcium Ca++		53	0.18	0.66	0.06	0.01	0.01	0.01	0.14	0.11	KE
Magnésium Mg++		57	0.07	0.26	0.17	0.01	0.01	0.01	0.17	0.22	NAE
Potassium K+		61	17.8	15.1	30.3	0.90			0.90	0.90	T
Sodium Na+		65	0.03	0.26	0.02	0.03	0.03	0.02	0.24		PT
Capacité d'échange		69									PAT
Acide phosphorique en 10 ⁻³		73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
Phosphore total		13									PAO
Phosphore assim. Olsen		17									PAC
Phosphore ass. citrique		21	11.3	7.67	14.0	14.5	14.7	14.3	14.0	11.7	PRT
Éléments totaux (triacide) en 10 ⁻²		25	31.4	59.1	21.9	0.96	1.62	0.39	3.24	10.6	RSD
Perte au feu		29	32.3	16.0	32.3	1.02	2.31	2.49	1.97	7.97	SI
Résidu		33	13.7	3.99	3.80	5.51	5.32	4.47	8.36	6.28	AL
Silice Si O ₂		37	9.78	4.82	14.0	79.4	71.0	74.3	67.6	59.6	FE
Alumine Al ₂ O ₃		41	0.59	0.43	0.06	0.21	0.17	0.13	0.23	0.11	TI
Fer Fe ₂ O ₃		45	0.09	0.12	0.41	0.13	0.36	1.20	1.30	0.79	MN
Titane Ti O ₂		49									FEL
Manganèse Mn O ₂		53	4.48	82.5	5.29	0.01	0.01	0.00	0.01	2.65	CA
Fer libre Fe ₂ O ₃		57	31.2	181.	522.	14.8	56.7	13.2	24.7	126.	MG
en mé		61	9.70	6.89	0.37	0.20	0.18	0.15	0.20	0.10	K
Calcium Ca++		65	0.26	1.24	0.85	0.07	0.07	0.07	0.15	0.04	NA
Magnésium Mg++		69	0.29	0.61	4.00	2.16	11.0	9.91	4.00	15.9	
Potassium K+		73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
Sodium Na+		13	0.51	4.23	9.05	38.1	32.1	26.6	49.9	27.7	
Nickel Ni O ₂		17	0.04	0.08	0.45	0.12	0.35	1.09	0.34	1.23	
Structure et caractéristiques hydriques		21									
PF 2,5		25									
PF 3		29									
PF 4,2		33									
Instabilité structurale		37									
Perméabilité		41									
Données combinées		45									
Matière organique 10 ⁻³		49									
C/N		53									
Ac Fulv/Ac. humique		57									
S. bases ech. mé.		61									
Toux de saturation o/o		65									
S. bases Totales mé		69									
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE
Si O ₂ /R ₂ O ₃											

Ces sols, dont l'analyse figure dans le tableau 1, ont été mis dans des demi-fûts de 200 litres. Il y a 4 vases de végétation par sol, chacun contenant 5 arbres qui nous ont été fournis par le Centre Technique Forestier Tropical.

Les arbres ont été plantés entre le 18 et le 20 avril 1972, après un apport uniforme de fumure NPK composée de 50 g de sulfate d'ammoniaque, 100 g de superphosphate et 50 g de sulfate de potasse par bac de 150 kg de terre. Une fertilisation azotée complémentaire a été apportée le 17 janvier 1973 sous forme de 30 g de nitrate d'ammoniaque par bac. La reprise des jeunes plants a été bonne dans l'ensemble, sauf avec le sol fersiallitique (AMI) où il a fallu de nombreux remplacements.

Les rameaux secondaires étaient éliminés par pincement dès leur apparition.

Les feuilles sont comptées sur chaque arbre toutes les deux semaines. Quatre arrachages à raison d'un arbre par bac, sont effectués en 1973, les 4 avril, 9 juillet, 3 septembre et 2 novembre.

Chaque arbre est analysé séparément : on détermine la hauteur, le diamètre à la base, le poids frais et le poids sec des différents segments du tronc correspondant aux parties aoûtées, en cours d'aoûtement et non aoûtées. Chaque paire de feuilles est pesée à l'état frais et après séchage à l'étuve à 105° : les feuilles apparues simultanément sont réunies pour former un seul échantillon.

Sur chaque échantillon, on dose :

- l'azote total par la méthode de Kjeldahl
- les autres éléments sur la solution chlorhydrique des cendres après calcination à 450° pendant deux heures :

 - le phosphore par colorimétrie au vanadomolybdate d'ammonium
 - 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.

Les résultats sont exprimés par rapport à la matière sèche, en grammes pour 100 grammes pour les éléments majeurs et en ppm pour les oligo-éléments.

2. Résultats

Les arbres plantés sur le sol calcaire (IFO) ont très rapidement dépéri en montrant, avec un arrêt de la croissance un jaunissement des feuilles suivi d'un dessèchement et d'une défoliation totale. Le tronc se desséchait ensuite et il en est résulté la mort de la quasi totalité des arbres, ce qui a empêché toute comparaison significative avec l'influence des autres sols.

C'est sur le sol d'origine schistogreaseuse (NES) que les arbres se sont le mieux développés au début de l'essai mais il est ensuite apparu sur environ 75 % des arbres des nécroses sur le tronc vers la hauteur de la 5ème à la 7ème feuille : ces nécroses se sont ensuite développées jusqu'à l'extrémité apicale provoquant l'éclatement de l'écorce, la chute des feuilles et le dessèchement du tronc. Un rameau secondaire apparaissait ensuite juste

sous la nécrose du tronc et présentait un développement normal. Les résultats de ce type de sol concernent un nombre d'arbres inférieur aux 20 arbres théoriques.

Un certain dessèchement des feuilles, suivi d'une défoliation partielle a également été noté dans les derniers mois de l'essai sur les arbres implantés sur le sol brun (PLU).

2.1. Croissance

2.1.1. Tronc

Le tableau 2 résume les accroissements de hauteur, de diamètre et de poids sec du tronc entre le 4 avril et le 2 novembre 1973. Il montre que deux sols donnent des résultats très nettement supérieurs aux autres : il s'agit des sols AMI et NES, mais il convient de rappeler que ce dernier a provoqué des troubles physiologiques graves et que la reprise des jeunes plants a été difficile sur le premier. Il s'agit de deux types de sol sur lesquels le chêne-gomme ne se développe pas spontanément.

Tableau 2

	Date	AMI	NES	PLU	CUI	STE	MIN	PIN	TON	IFO
Hauteur mm.	4/4	456	369	265	296	293	253	240	154	
	9/7	648		260	358	505	380	450	208	230
	3/9	893	680	583	410	595	455	475	203	
	2/11	1393	1230	703	645	988	833	928	339	235
Diamètre mm.	4/4	9,3	9,3	6,5	6,0	6,3	5,5	6,3	3,5	
	9/7	12,5		6,0	8,3	10,0	9,3	11,8	5,8	6,3
	3/9	16,3	16,5	13,7	9,3	11,8	9,8	11,6	7,0	
	2/11	26,3	24,0	15,5	16,0	18,8	17,0	17,0	11,0	8,0
Poids g.	4/4	6,3	8,6	1,6	2,7	2,7	1,8	2,3	0,7	
	9/7	13,6		2,9	4,9	10,4	5,4	9,3	2,1	2,8
	3/9	31,5	20,5	13,1	7,6	13,4	8,8	11,3	2,1	
	2/11	105,0	82,7	29,7	24,5	55,6	40,0	40,6	8,5	3,5

En prenant le poids, puisqu'il est à la fois fonction de la hauteur et du diamètre, comme critère d'appréciation, on trouve par ordre décroissant les sols

- AMI
- NES
- STE
- MIN et PIN
- PLU et CUI
- TON
- IFO

Les deux sols sur lesquels croissent naturellement les chênes-gommes (PLU et CUI) ont donc une fertilité identique à l'égard de cette espèce. Les latérites de profondeur (STE) qui doivent se retrouver en surface après l'exploitation du minerai de nickel permettent de doubler la production de matière sèche. L'utilisation du chêne gomme ne devrait donc pas poser de problème pour la remise en état des zones exploitées, d'autant plus que le minerai (MIN) donne également des résultats supérieurs à ceux des sols portant naturellement les chênes-gommes. Le mélange éventuel d'une certaine quantité de minerai aux latérites de profondeur ne serait donc pas un inconvénient majeur.

On trouve enfin deux sols sur lesquels la croissance est très faible (sur les décharges minières TON) et même nulle avec la mort de presque tous les arbres (sol calcaire IFO).

Sans tenir compte du sol IFO, la production de matière sèche dans le tronc varie dans le rapport de 1 à 12.

2.1.2. Feuilles

Le graphique 1 indique le nombre et la date d'apparition des feuilles produites entre le 29/11/72 et le 31/10/73. D'autre part, le nombre total de feuilles produites ainsi que leur poids sec et le poids moyen d'une feuille figurent dans le tableau 3.

Tableau 3

	Nombre de feuilles	Poids sec total	Poids sec d'une feuille
AMI	27,2	86	3,16
NES	14,6	45	3,07
PLU	22,8	24	1,05
CUI	15,6	36	2,31
STE	22,6	51	2,26
MIN	20,4	53	2,60
PIN	19,2	50	2,60
TON	10,6	10	0,94

La production de feuilles sur le sol MES a été en réalité plus importante que celle indiquée sur le tableau 3, le dessèchement du tronc ayant entraîné la perte d'un nombre important de feuilles. Il n'est donc pas possible de la comparer avec celles enregistrées sur les autres sols. En se basant sur le poids total, on trouve par ordre décroissant :

- AMI
- STE, MIN et PIN
- CUI
- PLU
- TON

On peut constater quelques variations par rapport au classement opéré à partir du poids du tronc :

- les latérites de profondeur (STE) ne sont plus supérieures au minéral (MIN) et au sol de l'Ile des Pins
- le sol brun (PLU) donne un rendement inférieur à celui des cuirasses (CUI).

Les écarts de production sont moins importants que pour le tronc : le poids de matière sèche produite dans les feuilles varie dans le rapport de 1 à 8,6 au lieu de 1 à 12 dans le tronc.

Le poids total de feuilles dépend de deux facteurs : le nombre de feuilles et le poids unitaire d'une feuille. Le classement établi d'après le nombre de feuilles est le suivant :

- AMI
- STE et PLU
- MIN et PIN
- CUI
- TON

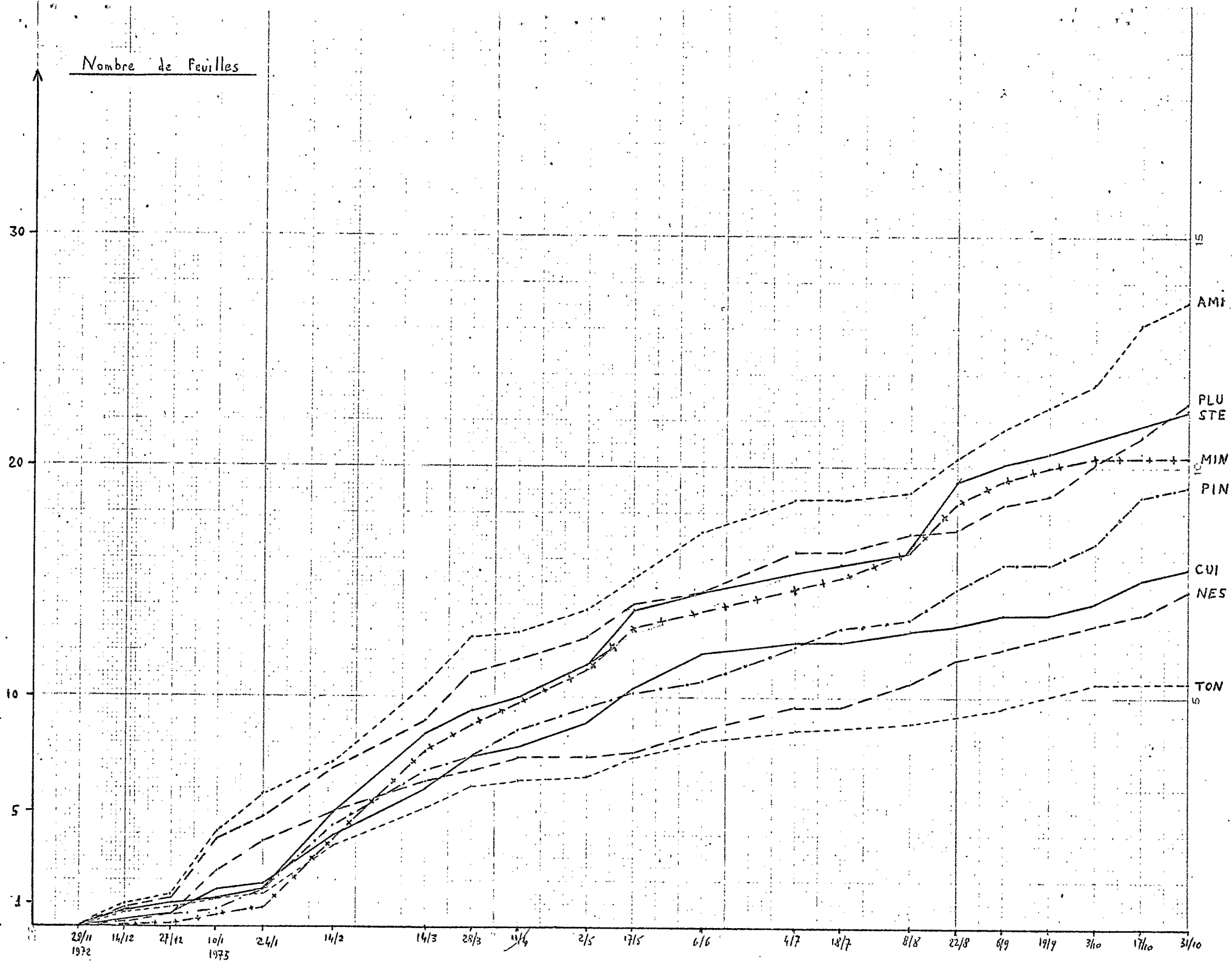
Si le sol brun (PLU) ne se classe qu'au 6ème rang pour le poids total de feuilles, il figure par contre au 2ème rang pour le nombre de feuilles. Il existe donc dans les sols étudiés deux facteurs agissant sur la production des feuilles : l'un influe le nombre de feuilles, l'autre la taille des feuilles. On peut noter également que le nombre de feuilles ne dépend pas de la hauteur du tronc. Le nombre de feuilles varie dans le rapport de 1 à 2,6.

En considérant maintenant le poids unitaire d'une feuille, on obtient le classement suivant :

- AMI
- MIN et PIN
- CUI et STE
- PLU
- TON

Si le sol PLU provoque la formation d'un nombre abondant de feuilles, celles-ci sont de petite taille ; par contre, sur le sol AMI, les feuilles sont abondantes et de grande taille. On ne constate pas de relation entre le nombre de feuilles et la taille des feuilles ; cependant, le plus grand nombre de feuilles est associé aux plus grandes feuilles (sol AMI) et le plus petit nombre aux plus petites feuilles (sol TON). Le poids unitaire des feuilles varie dans le rapport de 1 à 3,4.

Nombre de Feuilles



Le graphique 1 met en évidence certaines différences dans le rythme d'apparition des feuilles. Sur certains sols AMI, PLU, NES la production de feuilles a été abondante dès le 27/12/73 ; sur les autres, il a fallu attendre un mois de plus. Les courbes concernant les sols AMI et PLU sont assez semblables leur pente est forte jusqu'au 28/3/73 puis diminue et reste sensiblement constante jusqu'à la fin de l'essai. Pour les sols MIN et STE, la croissance est forte du 24/1 au 17/5/73, plus faible ensuite ; à la fin de l'essai, la croissance diminue constamment sur le minerai. Sur le sol CUI, le point d'inflexion de la courbe se trouve au 6/6/73, sur le sol PIN au 14/3/73 et sur le sol TON au 28/3/73 avec pour ce dernier un ralentissement marqué à la fin de l'essai.

2.2. Nutrition minérale

Nous étudierons d'abord la composition minérale des feuilles avec la teneur en éléments minéraux et leur accumulation en fonction du temps ainsi que les rapports existants entre les quantités d'éléments minéraux accumulés à la fin de l'essai, puis, plus rapidement, la composition minérale du tronc à la fin de l'essai.

2.2.1. Composition minérale des feuilles

2.2.1.1. Variations des teneurs en fonction du temps

Azote

On constate dans les échantillons prélevés le 4 avril que les teneurs en azote sont d'autant plus fortes que les feuilles sont plus jeunes ; l'engrais azoté apporté le 17 janvier a donc été rapidement assimilé. Deux objets font cependant exception : les sols CUI et PIN où les teneurs en azoté vont en diminuant dans les feuilles apparues respectivement après le 27 décembre et le 14 décembre 1972 ; il s'agit de deux sols très gravillonnaires où le lessivage du nitrate d'ammoniaque apporté comme engrais a pu être important.

Les teneurs en azote enregistrées dans les feuilles des prélèvements ultérieurs sont plus faibles sauf avec le sol NES où elles restent de l'ordre de 2% dans les plus jeunes feuilles. Les diminutions les plus fortes sont enregistrées avec les sols CUI, PIN et TON où les teneurs sont d'environ 0,80 %.

Phosphore

Les différences entre les teneurs en phosphore sont beaucoup plus marquées que celles entre les teneurs en azote. Les courbes représentatives sont assez irrégulières. On peut noter cependant une tendance à la diminution des taux de phosphore en allant des feuilles les plus âgées vers les feuilles plus jeunes, puis dans les feuilles de moins de six semaines une augmentation du phosphore d'autant plus forte que la feuille est plus jeune.

Les teneurs en phosphore sont beaucoup plus fortes avec les deux sols NES et PLU où elles atteignent respectivement 0,4 et 0,5 %, surtout au cours du prélèvement du mois de septembre. Elles sont beaucoup moins importantes au mois de novembre dans ce dernier cas, on ne note plus d'augmentation dans les plus jeunes feuilles pour l'objet PLU, ce qui semblerait indiquer qu'avec ce type de sol il se produirait alors un manque de phosphore assimilable, lequel pourrait être imputé à une rétrogradation du superphosphate apporté comme engrais.

Avec les sols MIN, PIN et TON, les taux de phosphore sont les plus bas (environ 0,05 %) et ils présentent en outre une constance que l'on ne retrouve pas avec les autres sols : on enregistre de plus sur le sol TON une diminution du phosphore dans les plus jeunes feuilles, ce qui indique un manque accentué de phosphore assimilable à la fin de l'essai.

Potassium

Les teneurs en potassium sont d'autant plus fortes que les feuilles sont plus jeunes. Elles sont plus importantes avec les sols AMI, PLU et surtout NES où elles peuvent dépasser 2 %. Par contre, elles sont très faibles avec les sols AMI et CUI (de 0,2 à 0,3 %) et à un degré un peu moindre avec le sol TON (0,5 à 0,6 %).

Sodium

Les teneurs des feuilles en sodium évoluent différemment suivant la nature du sol :

- elles diminuent dans les jeunes feuilles avec NES et surtout AMI
- elles demeurent sensiblement constantes avec STE, PLU et TON ;
- elles augmentent dans les jeunes feuilles avec CUI, MIN et PIN.

Ces teneurs sont de l'ordre de 0,1 % pour PLU, 0,2 % pour TON, 0,1-0,2 % pour AMI et NES, 0,2-0,4 % pour PIN, 0,4 pour STE et 0,1-0,7 % pour MIN et CUI. Il faut noter que les teneurs maximales sont atteintes avec les sols les plus pauvres en sodium ; il y a là sans doute une assimilation plus forte du sodium pour compenser la déficience marquée en potassium, ainsi que cela se produit chez le cocotier.

Calcium

Les teneurs en calcium sont d'autant plus faibles que les feuilles sont plus jeunes, sauf avec le sol de décharges minières (TON) où elles restent constantes.

Les teneurs dans les feuilles les plus âgées sont de l'ordre de 2,8 % avec les sols NES et PIN, 2 % avec les sols AMI, CUI, STE et MIN, 1 % avec le sol PLU et seulement 0,5 % avec le sol TON. Ces deux derniers sols sont très riches en magnésium et l'absorption du calcium doit y être freinée par un antagonisme Ca-Mg.

Magnésium

Les teneurs en magnésium évoluent peu avec l'âge des feuilles quoiqu'elles soient généralement un peu plus fortes dans la feuille âgée. Le sol PLU fait exception avec un taux de magnésium dépassant 1 % dans les feuilles âgées et s'abaissant à 0,3 % dans les feuilles les plus jeunes. Avec les autres sols, on trouve des teneurs de 0,4 % pour NES, MIN et TON et de 0,2 % pour AMI, CUI, STE et PIN.

Fer

Les teneurs en fer sont les plus faibles dans les plus jeunes feuilles où elles sont de l'ordre de 30 ppm quelque soit le type de sol. Par contre, l'accumulation dans les feuilles âgées dépend du sol : les teneurs sont alors de 100 ppm avec les sols AMI, NES, PLU et PIN, 200 ppm avec CUI, STE et MIN et 400 ppm avec TON.

Le sol PIN, qui est aussi riche en fer que ceux de la Plaine des Lacs, donne des teneurs en fer dans les feuilles nettement plus faibles, son pH plus élevé rend sans doute l'assimilation du fer plus difficile.

Manganèse

Les teneurs en manganèse sont plus élevées dans les feuilles âgées, sauf avec les sol NES et TON où elles sont pratiquement constantes (respectivement 250 et 20 ppm). Elles varient :

- de 800 à 50 ppm avec le sol AMI ;
- de 400 à 100 ppm avec le sol MIN ;
- de 200 à 50 ppm avec les sols CUI, STE et PIN ;
- de 100 à 20 ppm avec le sol PLU.

L'absorption du manganèse dépend et de la quantité de manganèse présente dans le sol et de l'acidité de ce sol : les sols MIN et PIN sont les plus riches en manganèse mais l'absorption est plus importante dans celui qui est le plus acide. De même, les arbres plantés sur le sol AMI qui est le plus pauvre en manganèse assimilent facilement ce dernier car le sol est très acide.

Zinc

La répartition du zinc dans les feuilles varie avec les différents sols : elle est pratiquement constante avec les sols AMI (10 ppm), MIN (8 ppm) et PLU (6 ppm) ; les teneurs sont plus fortes dans les feuilles âgées pour CUI, STE, PIN et TON (environ 30 ppm) mais on trouve également une certaine accumulation de zinc dans les feuilles très jeunes. Enfin, le sol NES induit de faibles teneurs en zinc dans les feuilles âgées (environ 8 ppm) mais une très forte accumulation dans les jeunes feuilles (jusqu'à 80 ppm).

Cuivre

Avec les sols PLU et TON, les teneurs en cuivre dans les feuilles sont beaucoup plus élevées lors des deux premiers prélèvements (2-3 ppm) : dans les deux autres prélèvements, elles sont sensiblement constantes et de l'ordre de 0,5 ppm.

Avec les sols NES et PIN, elles sont sensiblement constantes (respectivement 0,7 et 1,2 ppm) sauf dans les très jeunes feuilles où elles sont plus élevées. Elles sont plus fortes avec le sol AMI et augmentent alors régulièrement en allant des feuilles âgées aux feuilles les plus jeunes (de 1,8 à 3 ppm).

Enfin, avec les sols de la Plaine des Lacs, les feuilles sont d'autant plus pauvres en cuivre que les arbres sont cultivés sur des horizons situés plus profondément : environ 2,5 ppm pour CUI, 1,5 ppm pour STE et 1 ppm pour MIN.

Nickel

On ne trouve jamais de teneurs très élevées en nickel, le chêne-gomme possédant une résistance marquée à la pénétration de cet élément. En règle générale, le nickel s'accumule dans les feuilles âgées, mais on peut observer parfois une remontée du taux de nickel dans les très jeunes feuilles (sols TON, CUI et STE). Les teneurs les plus fortes ont été enregistrées avec les sols :

- TON 125 ppm
- PIN 80 ppm
- PLU, CUI et MIN 40 ppm

et les teneurs les plus basses avec les sols : - NES 7 ppm
- AMI 5 ppm.

Chrome

Les teneurs en chrome sont plus élevées dans les vieilles feuilles que dans les jeunes : elles atteignent :

- 40 ppm avec le sol TON
- 13 ppm avec les sols MIN et PIN
- 10 ppm avec le sol CUI
- 8 ppm avec les sols STE et PLU
- 3 ppm avec les sols AMI et NES.

L'ordre est peu différent de celui que l'on obtient avec les teneurs en nickel.

Cobalt

Les teneurs en cobalt sont moins sous la dépendance de l'âge des feuilles que celles en nickel et en chrome : on peut cependant noter une tendance à augmenter légèrement avec l'âge, surtout lorsque le sol a permis une assimilation importante.

On observe des teneurs de :

- 6 ppm avec le sol PLU
- 4 ppm avec le sol TON
- 3 ppm avec les sols PIN et CUI
- 2 ppm avec le sol MIN
- 1,5 ppm avec les sols STE et NES
- 1 ppm avec le sol AMI.

S'il y a une bonne concordance entre les teneurs en nickel et en chrome, il n'est plus de même avec les teneurs en cobalt.

2.2.1.2. Accumulation des éléments minéraux

Nous considèrerons les quantités d'éléments minéraux accumulés dans les feuilles au moment où les décomptes de feuilles ont commencé (29/11/72) et au moment des 4 arrachages (4/4/73, 9/7/73, 3/9/73 et 2/11/73). Ces différents stades sont numérotés de 1 à 5 et les résultats cumulés correspondants figurent dans le tableau 4 : ces résultats sont facteurs du poids de feuilles et de la richesse de la feuille dans l'élément considéré. Pour faciliter les comparaisons, nous étudierons l'absorption exprimée en pourcentage de la quantité finale accumulée.

Azote

C'est l'élément qui se classe toujours au premier rang pour la quantité présente dans les feuilles. Cette quantité est directement proportionnelle au temps dans les objets présentant le meilleur développement. Pour les autres, on trouve un fléchissement de l'accumulation de l'azote avec le temps.

En valeur absolue, les quantités d'azote varient entre 125 et 1130 mg, soit dans le rapport de 1 à 9.

Phosphore

Comme pour l'azote, la quantité de phosphore présente dans les feuilles avec le sol AMI est directement proportionnelle au temps. Avec les autres sols, les courbes sont aplaties à leur extrémité. On obtient une courbe en S avec le minerai.

Potassium

Les courbes d'absorption du potassium avec le temps ont généralement les mêmes formes que celles de l'azote mais elles se trouvent en-dessous, l'accumulation du potassium étant proportionnellement plus faible que celle de l'azote au début de l'essai.

Les quantités de potassium présentes dans les feuilles à la fin de l'essai sont comprises entre 60 et 930 mg (rapport de 1 à 16) elles varient davantage que celles d'azote et de phosphore.

En classant les éléments minéraux d'après leurs quantités dans les feuilles, le potassium se classe au 2ème rang avec les sols AMI, NES, PLU et TON et au 3ème ou 4ème rang avec les autres où il est précédé par le calcium et parfois aussi par le sodium (CUI et MIN).

Sodium

Dans l'ensemble, l'accumulation relative du sodium est plus importante que celle du potassium au début de l'essai : seuls font exception les objets MIN et à un degré moindre CUI, mais ce sont les deux seuls sols ayant provoqué une accumulation de sodium dans les feuilles supérieure à celle du potassium. Il semble donc exister une possibilité de remplacement du potassium par le sodium avec modification réciproque des métabolismes de ces deux éléments.

Les quantités de sodium varient de 16 à 215 mg à la fin de l'essai (rapport de 1 à 8).

Calcium

Le calcium se place au 2ème rang, après l'azote, au point de vue de la quantité accumulée sauf avec les sols AMI, NES, TON et PLU où il est également dépassé par le potassium.

Les courbes d'accumulation relative du calcium se situent généralement au-dessus de celles des autres éléments, le calcium étant stocké dans les feuilles les plus âgées.

Les valeurs absolues du calcium varient de 49 à 749 mg (rapport de 1 à 15).

Magnésium

Le magnésium est l'élément dont les quantités varient le moins : de 43 à 178 mg à la fin de l'essai, soit dans un rapport de 1 à 4. Les quantités finales de magnésium sont toujours inférieures à celles du potassium et du calcium, mais l'accumulation du magnésium peut être supérieure à celle du potassium dans les feuilles les plus âgées. Il y a davantage de magnésium que de sodium avec les sols AMI, NES, PLU et TON : c'est le contraire qui se produit avec les autres.

Fer et Manganèse

A la fin de l'essai, les quantités de fer dans les feuilles varient entre 1,54 et 4,62 mg (rapport de 1 à 3) et celles du manganèse entre 0,71 et 19,4 (rapport de 1 à 27). Du point de vue quantité, le fer se classe généralement au second rang des oligo-éléments après le manganèse, sauf avec les sols NES, PLU et TON qui donnent des quantités de fer supérieures à celles du manganèse. Il s'agit des trois sols dont le pH est le plus élevé et supérieur à 6. Le pH joue ici un rôle important dans l'absorption du fer et du manganèse car les sols NES et PLU figurent parmi les plus pauvres en fer, tandis que d'autre part, les sols PLU et TON sont riches en manganèse : on trouve 27 fois moins de manganèse dans les feuilles de l'objet TON que dans celles de l'objet AMI alors que le sol TON contient 9 fois plus de manganèse que l'autre.

Zinc et Cuivre

Ces deux éléments n'ont été dosés que dans les feuilles et non dans les sols. Les quantités de zinc dans les feuilles varient de 0,121 à 1,125 mg (rapport de 1 à 9), celles de cuivre de 0,035 mg à 0,228 mg (rapport de 1 à 6) ; elles sont plus fortes avec le sol le plus acide.

Nickel, Chrome et Cobalt

Les quantités totales de nickel, chrome et cobalt varient assez peu :

- de 0,275 à 0,538 mg pour le nickel (rapport de 1 à 2) ;
- de 0,053 à 0,177 mg pour le chrome (rapport de 1 à 3) ;
- de 0,040 à 0,111 mg pour le cobalt (rapport de 1 à 3) .

.../...

Tableau 4.

Sci	Stade	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
AMI	1	96	5,7	52	18,2	105	17,5	0,88	3,17	0,105	0,0154	0,049	0,0161	0,0112
	2	512	31,3	312	73,6	336	65,2	2,74	9,66	0,465	0,0727	0,230	0,0559	0,0403
	3	861	52,0	587	118	582	125	3,92	16,37	0,822	0,143	0,433	0,0933	0,0729
	4	995	62,1	738	129	667	149	4,18	18,00	0,960	0,181	0,480	0,110	0,0917
	5	1130	76,0	930	140	749	178	4,62	19,40	1,125	0,228	0,538	0,132	0,1110
NES	1	122	27,2	60	17,5	155	45,4	1,02	0,61	0,096	0,0061	0,061	0,0201	0,0113
	2	341	81,1	191	46,6	311	101	1,91	1,42	0,212	0,0167	0,150	0,0420	0,0301
	3	464	108	305	66,7	387	133	2,49	2,01	0,444	0,0245	0,207	0,0515	0,0466
	4	544	120	423	73,9	430	158	2,76	2,19	0,522	0,0309	0,246	0,0641	0,0558
	5	605	129	514	81,9	475	175	2,97	2,47	0,694	0,0426	0,275	0,0734	0,0646
PLU	1	47	8,0	22	6,8	35	29,9	0,39	0,27	0,005	0,0038	0,110	0,0117	0,0072
	2	217	30,5	142	28,2	100	79,3	1,21	0,87	0,095	0,0197	0,302	0,0386	0,0240
	3	315	42,3	243	38,3	141	106	1,60	1,06	0,160	0,0332	0,393	0,0493	0,0363
	4	329	44,1	256	40,0	145	110	1,65	1,09	0,169	0,0344	0,407	0,0510	0,0386
	5	345	45,8	272	40,8	151	115	1,68	1,12	0,176	0,0353	0,419	0,0530	0,0404
CUI	1	22	1,7	4,8	5,2	28	5,6	0,35	0,41	0,040	0,0050	0,026	0,0102	0,0054
	2	209	12,4	54,2	50,3	153	33,2	1,55	2,22	0,190	0,0313	0,145	0,0378	0,0246
	3	356	23,4	95,3	111	309	69,0	2,32	3,68	0,338	0,0641	0,269	0,0549	0,0430
	4	385	27,2	120	127	339	74,3	2,45	3,86	0,404	0,0696	0,283	0,0587	0,0478
	5	393	27,9	125	134	348	78,3	2,47	3,91	0,413	0,0713	0,289	0,0600	0,0485
STE	1	54	3,9	20	14,3	75	14,3	1,10	0,82	0,081	0,0086	0,067	0,0239	0,0091
	2	337	19,6	123	80,7	250	45,3	3,08	2,96	0,354	0,0448	0,238	0,0662	0,0368
	3	597	36,0	249	154	419	77,0	3,74	4,01	0,565	0,0689	0,381	0,0804	0,0573
	4	734	45,1	344	198	513	103	4,07	4,66	0,700	0,0811	0,426	0,0905	0,0725
	5	758	47,0	362	202	526	108	4,09	4,73	0,734	0,0852	0,431	0,0923	0,0750
MIN	1	27	0,9	4,6	3,3	33	8,5	0,36	0,60	0,022	0,0022	0,0200	0,0194	0,0041
	2	196	7,9	43,4	34,6	183	45,5	2,11	3,50	0,180	0,0169	0,155	0,0779	0,0219
	3	408	19,0	114	97,8	404	109	3,01	6,83	0,356	0,0397	0,252	0,123	0,0493
	4	613	31,7	197	202	565	170	3,97	10,01	0,510	0,0657	0,347	0,152	0,0753
	5	632	33,3	206	215	576	175	3,99	10,22	0,528	0,0678	0,360	0,154	0,0775
PIN	1	33	1,9	11,6	10,8	59	12,7	0,44	0,67	0,065	0,0062	0,035	0,0381	0,0069
	2	222	10,9	78,0	53,3	209	44,0	1,45	2,97	0,262	0,0263	0,235	0,0987	0,0280
	3	398	21,0	160	110	373	78,9	2,17	5,33	0,417	0,0487	0,307	0,137	0,0475
	4	490	27,9	229	150	448	98,2	2,40	6,21	0,498	0,0788	0,344	0,148	0,0588
	5	542	31,1	268	172	488	117	2,55	6,49	0,542	0,0939	0,362	0,154	0,0649
TON	1	21	0,85	7,9	4,1	8,7	5,5	0,42	0,124	0,041	0,0023	0,087	0,0613	0,0041
	2	73	2,85	27,6	11,9	25,5	24,2	1,14	0,382	0,078	0,0072	0,163	0,132	0,0100
	3	113	5,07	51,3	23,0	43,5	38,7	1,53	0,650	0,108	0,0110	0,252	0,169	0,0477
	4	125	5,77	60,3	25,7	49,3	43,0	1,54	0,707	0,121	0,0122	0,278	0,177	0,0552
	5	125	5,77	60,3	25,7	49,3	43,0	1,54	0,707	0,121	0,0122	0,278	0,177	0,0552

Quantités d'éléments minéraux (en mg) dans les feuilles.

Parmi ces trois éléments, le nickel est de loin celui qui présente les quantités les plus importantes. Vient ensuite le chrome, mais celui-ci diffère peu du cobalt sauf avec les sols PIN et MIN où il est deux fois plus important et surtout avec le sol TON où les quantités de chrome sont le triple de celles du cobalt.

2.2.1.3. Rapports entre éléments minéraux

Nous séparerons d'une part les éléments majeurs et d'autre part les oligo-éléments. Pour chaque groupe, nous avons calculé à la fin de l'essai la somme totale et le pourcentage de cette somme que représente chaque élément. Afin de tenir compte des différences de croissance entre les différents objets, nous avons calculé la quantité d'éléments minéraux par gramme de matière sèche. Ces résultats figurent dans le tableau 5 pour les éléments majeurs et dans le tableau 6 pour les oligo éléments.

Rapport entre éléments majeurs

Les arbres ayant eu le meilleur développement présentent un taux de minéralisation élevé dans les feuilles, tandis que les arbres s'étant mal développés ont les taux de minéralisation les plus faibles. Seul l'objet PLU fait exception : sa croissance a été faible mais le taux de minéralisation de ses feuilles est parmi les plus élevés.

Tableau 5

	Somme (mg)		% de S					
	Totale S	par g.M.S.	N	P	K	Na	Ca	Mg
AMI	3203	37	36	2	29	4	23	6
NES	1980	44	31	6	26	4	24	9
PLU	970	40	35	5	28	4	16	12
CUI	1106	31	36	3	11	12	31	7
STE	2003	39	38	2	18	10	27	5
MIN	1837	35	34	2	11	12	31	10
PIN	1612	32	33	2	17	11	30	7
TON	309	31	41	2	19	8	16	14

La quantité d'azote exprimée en pourcentage de la somme des macro-éléments est la plus forte avec le sol TON qui a induit la production de feuilles la plus faible. Il doit donc avoir eu dilution de l'azote dans les plants les plus développés qui auraient alors pu tirer profit d'une fumure azotée plus importante.

Le phosphore ne représente que 2 % de S, sauf avec les sols PLU et NES où il est trois fois plus important. Ces deux derniers sols -surtout NES- correspondent à des quantités d'azote faibles. Il en résulte que le rapport N/P varie de façon sensible : il est en effet de 20,5 avec le sol TON mais s'abaisse à 5 avec le sol NES.

Les proportions de potassium par rapport à S permettent de distinguer trois groupes :

CUI et MIN	où K représente 11 % de S.
STE, PIN et TON	où K représente environ 18 % de S.
AMI, NES et PLU	où K représente environ 28 % de S.

Les proportions de sodium varient en sens inverse de celles du potassium. Il semble y avoir compensation d'une partie de la déficience en potassium par une absorption accrue du sodium. La somme K + Na représente environ 28-30 % de S, sauf avec les sols CUI et MIN où elle n'atteint que 23 %. Dans ce dernier cas, la déficience en potassium est trop forte pour pouvoir être comblée par le sodium qui n'existe alors lui-même dans le sol qu'en très faibles quantités. Comme pour le potassium, on peut distinguer trois groupes :

AMI, NES et PLU	où Na représente 4 % de S
TON	où Na représente 8 % de S
CUI, MIN, STE et PIN	où Na représente 10-12 % de S.

On trouve également trois groupes en se basant sur les proportions de calcium par rapport à S :

PLU et TON	où Ca représente 16 % de S
AMI et NES	où Ca représente 23 % de S
CUI, MIN, STE et PIN	où Ca représente 30 % de S.

Les faibles proportions de calcium sont associées aux fortes proportions de magnésium, avec une proportion de potassium forte (PLU) ou moyenne (TON). Les plus fortes proportions de calcium se trouvent avec les plus faibles teneurs en potassium et des teneurs en magnésium faibles ou moyennes.

Les proportions de magnésium dans S permettent de classer les arbres en trois groupes :

AMI, STE, CUI et PIN	où Mg représente environ 6 % de S
NES et MIN	où Mg représente environ 10 % de S
PLU et TON	où Mg représente environ 13 % de S.

Ce classement est l'inverse de celui que l'on a obtenu en se basant sur les proportions de calcium dans S. Par contre, il n'est pas possible de le rattacher à celui résultant des proportions de potassium. Le principal antagonisme serait donc ici un antagonisme $Ca^{++} - Mg^{++}$ et non un antagonisme $K - Mg$.

.../...

Les rapports entre cations varient entre :

0,2 et 7,3 pour K/Na
0,4 et 1,8 pour K/Ca
1,1 et 4,8 pour K/Mg
0,2 et 0,5 pour Na/Ca
0,4 et 2,0 pour Na/Mg
1,1 et 5,4 pour Ca/Mg
0,6 et 1,1 pour K+Na/Ca+Mg.

Sur le sol fersiallitique (AMI), où la croissance a été la meilleure, on aboutit aux équilibres suivants :

$$N/P = 18$$

$$K/Na/Ca/Mg = 7/1/6/1,5$$

avec un taux de minéralisation dans les feuilles de 0,037 g par g de matière sèche.

Rapports entre oligo éléments

Tableau 6

	Somme en Mg		% de S'						
	Totale S'	par g de M.S.	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
AMI	26,15	0,304	17,6	74,2	4,3	0,9	2,1	0,5	0,4
NES	6,59	0,146	45,1	37,4	10,5	0,7	4,2	1,1	1,0
PLU	3,15	0,131	53,4	35,6	5,6	1,1	13,3	1,7	1,3
CUI	7,26	0,202	34,0	53,8	5,7	1,0	4,0	0,8	0,7
STE	10,24	0,201	40,0	46,2	7,2	0,8	4,2	0,9	0,7
MIN	15,40	0,291	25,9	66,5	3,4	0,4	2,3	1,0	0,5
PIV	10,26	0,205	24,9	63,3	5,3	0,9	3,5	1,5	0,6
TON	2,39	0,289	53,3	24,5	4,2	0,4	9,6	6,1	1,9

Le manganèse et le fer sont de loin les oligo-éléments dont les proportions par rapport à la somme S' sont les plus importantes : la somme Fe + Mn représente environ 80 % de S'. Les proportions de fer et de manganèse varient en sens inverse, les arbres ayant les plus fortes proportions de fer présentant les plus faibles proportions de manganèse et réciproquement. Il résulte de cet antagonisme que le rapport Fe/Mn présente de fortes variations : il n'est que de 0,23 pour le sol AMI, mais atteint 2,17 avec le sol TON, soit près de 10 fois plus.

La proportion de zinc varie de 3,4 à 10,5 %, soit dans le rapport de 1 à 3. Elle est élevée avec le sol NES, or, ces arbres ont présenté des troubles de la croissance avec éclatement de l'écorce du tronc. Il y aurait peut être là un effet de cette forte proportion en zinc, en rapport avec le rôle que pourrait avoir cet élément dans la synthèse de l'auxine.

Les proportions de cuivre varient dans le même rapport que celles du zinc (1 à 3) mais il ne semble pas exister de corrélation entre ces deux éléments et le rapport Zn/Cu varie de 5 (PLU) à 15 (NES).

Les proportions de nickel par rapport à S' varient dans le rapport de 1 à 6 et permettent de classer les différents objets en quatre groupes :

AMI et MIN où Ni représente 2 % de S'
 NES, CUI, STE et PIN où Ni représente 4 % de S'
 TON où Ni représente 10 % de S'
 PLU où Ni représente 13 % de S'

Les classements basés sur les proportions de chrome et de cobalt sont peu différents de ceux obtenus à partir du nickel. Ils donnent respectivement :

AMI où Cr représente 0,5 % de S'
 NES, CUI, STE et MIN où Cr représente 1,0 % de S'
 PIN et PLU où Cr représente 1,6 % de S'
 TON où Cr représente 6,1 % de S'

et

AMI, CUI, STE, MIN et PIN où Co représente 0,5-0,6 % de S'
 NES et PLU où Co représente 1,2 % de S'
 TON où Co représente 1,9 % de S'.

Deux objets se détachent, où les proportions cumulées du nickel, chrome et cobalt sont très importantes : 17,6 % pour TON et 16,3 % pour PLU mais les rapports entre ces trois éléments sont alors très différents :

Ni/Cr/Co = 10-1,3-1 pour PLU
 Ni/Cr/Co = 5 3,2-1 pour TON.

Si les arbres cultivés sur le sol PLU ont présenté un développement moyen, ceux cultivés sur le sol TON ont eu la plus faible croissance. Le chrome pourrait donc avoir un effet plus toxique que celui du nickel pour le chêne-gomme.

2.2.2. Composition minérale du tronc

Le tableau 7 donne les quantités d'éléments minéraux (en mg) présents dans le tronc à la fin de l'essai.

Tableau 7

	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
AMI	540	239	566	67,0	525	122	1,978	8,153	1,005	0,3880	0,538	0,0986	0,0793
NES	332	301	476	52,1	333	109	2,277	1,176	0,544	0,0628	0,117	0,0943	0,0708
PLU	195	79,7	133	35,8	113	62,6	0,729	0,944	0,253	0,0187	0,195	0,0115	0,0194
CUI	61	38,8	41,4	66,8	197	45,9	0,479	1,426	0,205	0,0451	0,075	0,0189	0,0357
STE	352	96,5	224	78,9	396	66,6	1,742	3,275	0,515	0,1958	0,239	0,0389	0,0425
MIN	182	38,9	64,4	101	323	93,0	1,120	5,000	0,475	0,0648	0,180	0,0310	0,0453
PIN	102	35,7	84,0	101	295	56,7	0,788	2,933	0,334	0,0866	0,094	0,0206	0,0309
TON	56	7,4	26,2	12,2	40	31,4	0,409	0,654	0,073	0,0074	0,130	0,0524	0,0278

Les quantités d'éléments minéraux sont plus faibles dans le tronc que dans les feuilles, à l'exception du phosphore et parfois du cuivre.

Comme pour les feuilles nous avons indiqué dans le tableau 8 la somme S des éléments majeurs et le pourcentage de cette somme que représente chaque ion dosé. Le tableau 9 donne les mêmes indications pour les oligo-éléments.

2.2.2.1. Eléments majeurs

Tableau 8

	Somme en mg		% de S					
	Totale	S par g M.S.	N	P	K	Na	Ca	Mg
AMI	2059	19,6	26	12	28	3	25	6
NES	1604	19,4	21	19	29	3	21	7
PLU	619	20,8	32	13	21	6	18	10
CUI	451	18,4	14	8	9	15	44	10
STE	1214	21,8	29	8	18	7	33	5
MIN	803	20,1	22	5	8	13	40	12
PIN	674	16,6	15	5	12	15	45	8
TON	173	20,4	33	4	15	7	23	18

Le taux de minéralisation dans le tronc est à peu près la moitié de celui des feuilles, ses variations sont un peu plus faibles dans le tronc que dans les feuilles (rapport de variation de 1 à 1,3 au lieu de 1 à 1,4).

On constate par rapport aux pourcentages enregistrés dans les feuilles une forte diminution du pourcentage d'azote, une forte augmentation du pourcentage de phosphore et une augmentation du pourcentage de calcium.

Le rapport N/P est donc plus faible dans le tronc où il est compris entre 1,1 et 8,3. En ce qui concerne les rapports entre cations, on enregistre les variations suivantes :

- de 0,6 à 9,7 pour K/Na
- de 0,2 à 1,4 pour K/Ca
- de 0,7 à 4,7 pour K/Mg
- de 0,1 à 0,3 pour Na/Ca
- de 0,4 à 1,9 pour Na/Mg
- de 1,3 à 5,6 pour Ca/Mg
- de 0,4 à 1,1 pour K+Na/Ca+Mg

En se référant à l'objet ayant eu la meilleure croissance (AMI), on constate les équilibres suivants :

$$N/P = 2,2$$

$$K/Na/Ca/Mg = 9,1-8-2$$

Si le rapport N/P est beaucoup plus faible que dans les feuilles, l'équilibre entre les cations est très proche de celui que l'on a trouvé dans les feuilles : il y a un peu moins de sodium mais l'équilibre K/Ca/Mg est le même (4,7 4,1).

2.2.2.2. Oligo-éléments

Tableau 9

	Somme en mg		de S'						
	Totale S'	par g ¹⁰⁰ S.	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
AMI	12,24		16,2	66,6	8,2	3,2	4,4	0,3	0,6
NES	4,34		52,4	27,1	12,5	1,5	2,7	2,2	1,6
PLU	2,17		33,6	43,4	11,7	0,9	9,0	0,5	0,9
CUI	2,29		20,9	62,3	9,0	2,0	3,3	0,8	1,7
STE	6,05		28,3	54,2	8,5	3,2	4,0	0,6	0,7
MIN	6,92		16,2	72,3	6,9	0,9	2,6	0,4	0,7
PIN	4,29		18,4	68,4	7,8	2,0	2,2	0,5	0,7
TON	1,35		30,2	48,3	5,4	0,5	9,6	3,9	2,1

Dans le tronc, la somme S' des oligo éléments est toujours inférieure à ce qu'elle est dans les feuilles et la quantité d'oligo éléments par gramme de matière sèche est environ la moitié de celle que l'on trouve dans les feuilles. Les différences dans les proportions des oligo-éléments entre les feuilles et le tronc sont plus importantes que celles des éléments majeurs : la proportion de chrome et surtout de fer est plus faible dans le tronc - au contraire, celles de zinc, de cuivre et de manganèse sont généralement plus fortes.

Comme dans les feuilles, les objets PLU et TON ont une proportion cumulée de nickel, chrome et cobalt beaucoup plus importante que celle que l'on enregistre avec les autres - mais la proportion relative du chrome par rapport au nickel et au cobalt est beaucoup plus faible dans le tronc alors que le rapport Ni/Co reste sensiblement le même :

avec le sol PLU Ni/Cr/Co = 10-0,5 1 au lieu de 10-1,3 1 dans les feuilles
et

avec le sol TON Ni/Cr/Co = 4,6-1,9-1 au lieu de 5-3,2-1 dans les feuilles

3. Conclusions

Nous avons pu mettre en évidence que sur les neuf types de sol étudiés, c'est le sol fersiallitique qui permet le meilleur développement du chêne gomme, mais que la reprise des jeunes plants y est difficile et s'accompagne de nombreux cas de mortalité. Cette difficulté dans l'implantation peut expliquer l'absence à l'état naturel de cette espèce sur ce type de sol où l'absence des ions toxiques présents par ailleurs dans les

.../...

sols miniers (Ni, Cr, Co) ne limite pas la croissance des autres espèces qui sont alors plus compétitives. Elle est peut-être due à des conditions défavorables pour le développement des mycorhizes, lesquelles sont peut-être indispensables pour pourvoir à l'alimentation azotée dans ce type de sol où la nitrification doit être faible étant donné sa forte acidité.

Le sol calcaire s'est révélé impropre à la culture du chêne-gomme. Les quelques analyses foliaires qui ont pu être effectuées ont montré une très forte carence en manganèse, les valeurs trouvées pour les autres éléments se rangeant dans la gamme correspondant à celles des autres sols. Cette carence est imputable à la fois à la pauvreté du sol en manganèse (0,03 % de MnO_2) et à son pH élevé (pH = 8) qui bloque l'assimilation du manganèse.

Les sols sur lesquels croît spontanément le chêne-gomme (cuirasses latéritiques et sols bruns) ont donné des arbres ayant un développement identique : celui-ci est un des plus faibles qui aient été obtenus. Seul le sol formé de décharges minières a montré une fertilité inférieure : or, il s'agit là d'un sol sur lequel ne se développe spontanément aucune espèce végétale.

Par contre, le type de sol sur lequel pourrait être implanté le chêne-gomme, sur de grandes surfaces en vue de reconstituer une végétation après l'exploitation du nickel dans le sud de la Nouvelle-Calédonie, s'est montré très satisfaisant avec la fumure employée, bien que celle-ci soit apparue un peu faible en azote. Ces latérites de profondeur ne présentent donc pas de déficiences incorrigibles ni de phénomènes de toxicité trop importants. Par contre, il faudra peut-être surveiller l'alimentation hydrique car ce type de sol, composé en quasi totalité d'éléments très fins, s'engorge facilement et forme des croûtes en surface : il a de plus une mauvaise résistance à l'érosion. L'idéal serait de pouvoir mettre en place une couverture temporaire, par exemple graminéenne, jusqu'à ce que le développement du chêne-gomme soit assez important pour lui permettre de jouer à son tour un rôle antiérosif.

L'étude de la nutrition minérale a mis en évidence des différences marquées dans l'absorption de certains éléments en fonction du type de sol. Ces variations sont particulièrement importantes avec le phosphore, le calcium, le fer et le manganèse.

La déficience en potassium peut-être comblée en partie par une absorption plus intense du sodium, même lorsque celui-ci n'est présent qu'en faibles quantités dans le sol.

Parmi les antagonismes, les deux plus marqués sont celui entre le calcium et le magnésium et celui entre le fer et le manganèse.

La forte proportion de zinc dans les jeunes feuilles des arbres cultivés sur le sol d'alluvions schisto gréseux avec des éléments péridotiques pourrait être la cause des troubles physiologiques qu'ont montrés ces plants, mais il conviendrait de la vérifier en mettant en place une expérimentation avec apport de zinc à des sujets cultivés sur solution nutritive.

Le taux d'éléments minéraux dans le tronc est environ la moitié de celui que l'on trouve dans les feuilles. Le tronc est beaucoup moins riche en azote, fer et chrome mais il renferme davantage de phosphore et parfois de cuivre. De plus, les rapports entre éléments minéraux présentent dans le tronc un intervalle de variations plus étendu que dans les feuilles.

Parmi les métaux lourds considérés comme toxiques dans les terrains miniers, le nickel est celui que l'on trouve en plus grande abondance dans les feuilles suivi du chrome et du cobalt. Mais le chrome semble être le plus néfaste dans l'intervalle des concentrations étudié dans cet essai : la majeure partie du chrome est concentré dans les feuilles, ce qui est peut-être la cause de sa plus grande toxicité.

Si l'on compare les arbres ayant eu le plus fort développement (sur sol fersiallitique) et ceux ayant eu la croissance la plus faible (sur décharges minières), on trouve pour chacun d'eux les valeurs suivantes :

		sol fersiallitique	décharges minières
mg d'éléments minéraux par g de M.S.	feuilles	37	31
	tronc	20	20
N/P	feuilles	18	20,5
	tronc	2,2	8,2
K/Ca/Mg	feuilles	48 40 10	14-11-10
	tronc	47 40 10	8-13 10

Le taux de minéralisation est peu différent dans les deux objets, bien qu'un peu plus faible dans les feuilles des arbres des décharges minières.

Le rapport N/P est plus élevé dans les arbres s'étant mal développés ; surtout dans le tronc, cette augmentation est due à une diminution des teneurs en phosphore et il faudra tenir compte dans les fertilisations sur ce type de sol de la possibilité d'une rapide rétrogradation des engrais phosphatés les rendant inassimilables par les plantes.

Le rapport K/Ca/Mg est très différent entre les deux types d'arbres. Les arbres sur décharges minières ont accumulé beaucoup moins de potassium et de calcium par rapport au magnésium que ceux sur séricitoschistes : cette diminution est du même ordre pour le potassium et le calcium dans les feuilles mais elle est plus accentuée pour le potassium dans le tronc et, si les arbres ayant eu la meilleure croissance présentent le même équilibre K/Ca/Mg dans les feuilles et dans le tronc, les autres ont une proportion de potassium plus faible dans le tronc que dans les feuilles.

En conclusion, l'implantation du chêne-gomme semble possible sur plusieurs types de sols de Nouvelle-Calédonie, à condition toutefois d'apporter une fumure NPK suffisante. Seul le sol calcaire s'est révélé entièrement impropre à cette culture. Sur les décharges minières magnésiennes il faudra augmenter la fumure phospho-potassique sous forme d'apports fractionnés et vérifier que les teneurs en chrome assimilable ne sont pas trop élevées. L'apport d'une fumure calcique devrait également pouvoir donner de bons résultats.