

Composition chimique élémentaire des tissus foliaires des espèces végétales colonisatrices des anciennes mines de nickel en Nouvelle Calédonie

Tanguy JAFFRÉ

Botaniste ORSTOM, BP A 5, Nouméa Cedex, Nouvelle
Calédonie

RÉSUMÉ

On a déterminé la composition chimique des sols et la composition minérale élémentaire des feuilles des principales espèces végétales qui leur sont associées dans quinze stations situées sur d'anciennes mines de nickel. Les faibles teneurs des feuilles en N, P, K, et Ca, les teneurs relativement élevées en Mg et les teneurs généralement supérieures à la normale en Ni et Co sont le reflet du déséquilibre minéral des sols (pauvreté en N, P, K, Ca; excès de Mg) et de leur haut degré de toxicité lié à leur richesse en Ni et parfois en Co.

Plusieurs espèces, grâce à leur pouvoir d'absorption sélective très puissant vis à vis de N, P, K ou Ca parviennent à acquérir des teneurs normales en l'un ou plusieurs de ces éléments. L'absorption sélective s'exerce plus activement à l'égard du calcium que de l'azote; elle se révèle moins efficace à l'égard du potassium et du phosphore. Les Cypéracées se caractérisent par la faiblesse des teneurs de leurs feuilles en tous éléments majeurs. La pénétration du magnésium dans les tissus est relativement limitée sauf pour *Geniostoma aff. rupestre* qui en fait une consommation de luxe. La résistance à la toxicité du milieu peut-être liée à la lenteur de la pénétration du Ni ou du Co; elle tient aussi pour plusieurs espèces à la forte tolérance à la présence de l'élément toxique dans leurs tissus, dans le cas notamment de celles qui accumulent le nickel à des concentrations supérieures à 1000 ppm (*Phyllanthus aff. serpentinus*) *Argophyllum grunowii*, *Argophyllum laxum*, *Peripterygia marginata*, ou le cobalt à des concentrations supérieures à 200 ppm (*Phyllanthus aff. serpentinus*, *Phyllanthus aeneus*, *Tristania glauca*).

MOTS-CLÉS : Phytogéochimie — Déblais miniers — Flore spontanée — macro-éléments — Nickel — Cobalt — Nouvelle Calédonie.

ABSTRACT

Soils were analysed and the elementary mineral composition determined in leaf tissues of the main plant species growing in 15 sites on former nickel mines. Mineral imbalance in the soils (poverty in N, P, K, Ca; excess of Mg) and their toxicity due to high levels of Ni and some

times Co are reflected in values low in N, P, K, Ca, relatively high in Mg and generally above average in Ni and Co.

Several species capable of highly selective absorption of N, P, K, or Ca attain normal levels of one or more of these elements. Selective absorption, more active for Ca than for N, is less effective for K and P. The leaves of Cyperaceae have notably low contents of all major elements. Absorption of Mg is relatively limited except for its luxury consumption by *Geniostoma aff. rupestre*. Resistance to toxicity is perhaps associated with slow penetration of Ni or Co; several species also show marked tolerance of these toxic elements in their tissues, particularly those where accumulation gives Ni levels above 1000 ppm (*Phyllanthus aff. serpentinus*, *Argophyllum grunowii*, *Argophyllum laxum*, *Peripterygia marginata* on Co levels above 200 ppm (*Phyllanthus aff. serpentinus*, *Phyllanthus aeneus*, *Tristania glauca*).

KEY WORDS : Phytogeochemistry — Mine wastes — Wild flora — Macro-elements — Nickel — Cobalt — New Caledonia.

INTRODUCTION

La présente étude a pour objet de préciser la composition minérale et le comportement nutritionnel des espèces qui colonisent naturellement les anciennes mines de nickel. Cette étude a été menée sur des sites miniers abandonnés depuis plus de vingt ans dans le massif du Koniambo et dans la région de Thio.

Les conditions de milieu et la végétation occupant ces anciennes mines ont été décrites dans deux notes précédentes (Jaffré 1974, Jaffré *et al.* 1977). Il s'agit de milieux secs, chimiquement déséquilibrés, qui du point de vue édaphique, sont classés dans la catégorie « matériaux magnésiens » (Jaffré *et al.* 1977).

La végétation s'installe difficilement et la croissance des plantes étant excessivement lente, elle demeure très longtemps clairsemée. La flore est constituée d'un petit nombre d'espèces représentées généralement dans les groupements végétaux ligno-harbacés voisins sur sols ferrallitiques remaniés; les Cypéracées prédominent.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Nous avons déterminé la composition minérale du sol et des feuilles des principales espèces végétales dans 15 stations comprises à l'intérieur de périmètres d'anciennes mines (excavations et déblais).

L'échantillon de sol est constitué pour chaque station de plusieurs prélèvements effectués au niveau des systèmes racinaires des plantes. Les échantillons foliaires sont formés de feuilles adultes, ne présentant aucun signe de vieillissement, recueillies sur plusieurs plants de la même espèce présents dans la station. Ces prélèvements ont été effectués en saison fraîche, entre juin et août. Les feuilles analysées ont été soigneusement lavées à l'eau déminéralisée.

Les analyses de sols ont porté sur la fraction de terre fine passée au tamis de 2 mm. L'analyse des éléments totaux (Fe, Mn, Ni, Co, Cr) a été effectuée sur une prise de 1 g. de terre broyée, soumise à une attaque nitroperchlorique. Les éléments échangeables ont été obtenus par extraction à l'acétate d'ammonium normal à PH 7. L'attaque des poudres végétales a été réalisée par calcination et les cendres ont été reprises à l'acide chlorhydrique. K, Ca, Mg, Ni, Co, Cr, Mn ont été dosés au spectrophotomètre à absorption atomique (Varian AA 120), le phosphore a été dosé par la méthode colométrique au vanadomolybdate d'ammonium, et l'azote par la méthode au bleu d'indophénol dans les poudres et par la méthode Kjeldhals dans les sols.

La majorité des analyses chimiques a été effectuée au Centre ORSTOM de Nouméa sous la direction de M. J. Chanut. Les analyses de l'azote dans les poudres végétales ont été effectuées aux laboratoires centraux de l'ORSTOM à Bondy par Madame Cas.

RÉSULTATS DISCUSSION

Le tableau I donne la composition minérale du sol et des espèces par station. Sur la figure 1 apparaissent les diagrammes des teneurs moyennes des différents éléments minéraux dans les feuilles des 33 espèces analysées.

COMPOSITION MINÉRALE DES SOLS

Les teneurs en azote, en phosphore, en potassium et calcium échangeables sont basses dans toutes les stations. Elles sont le plus souvent, comme nous l'avons déjà montré (Jaffré *et al.* 1978), inférieures aux teneurs généralement observées dans les horizons supérieurs des sols en place sous maquis.

Les teneurs en magnésium échangeable sont élevées; elles sont supérieures à celles des sols ferrallitiques remaniés (teneurs moyennes 2me/100 g) mais sont cependant inférieures à celles des sols bruns hypermagnésiens (teneurs moyennes 30 me/100 g.).

Les teneurs en nickel total, très élevées, sont nettement supérieures à celles le plus couramment observées dans les sols en place sur roches ultrabasiqes. Les quantités de nickel extraites par l'acétate d'ammonium neutre à PH 7 (analyses effectuées pour les sols des stations 3, 4, 7, 8 et 15) sont toutes comprises entre 57 ppm et 507 ppm. Crook (1956) ayant montré qu'un sol contenant 39 ppm de nickel extraits par la même méthode était toxique pour une culture d'avoine, les teneurs observées attestent le très haut degré de toxicité des sols analysés.

Les teneurs en cobalt sont généralement fortes; elles dépassent celles que l'on observe le plus couramment dans les sols en place sur roches ultrabasiqes (0,05 %, Jaffré) (1976). Certains sols ont des teneurs supérieures à 0,1 % et se rapprochent donc de ceux des sites cobaltifères décrits par Duvigneaud (1959) au Katanga.

Les teneurs en chrome, bien que nettement supérieures à celles des sols normaux, n'apparaissent pas très élevées par rapport aux teneurs moyennes des sols issus de roches ultrabasiqes en Nouvelle Calédonie.

Les teneurs en manganèse sont élevées mais non excessives, et le PH des sols analysés étant toujours supérieur à 6, la disponibilité de cet élément doit être limitée.

COMPOSITION MINÉRALE DES PLANTES

Les teneurs en Azote

Elles sont basses pour la majorité des espèces. Plus de la moitié d'entre elles ont en effet des teneurs inférieures à 0,8 %; c'est notamment le cas des Cypéracées qui constituent la majeure partie de la biomasse végétale des sites d'anciennes mines. Six espèces seulement (deux Orchidées, *Eriaxis rigida* et *Earina deplanchei*, deux Fougères, *Sphenomeris deltoidea* et *Asplenium novae-caledoniae*, *Geniostoma aff rupestre*

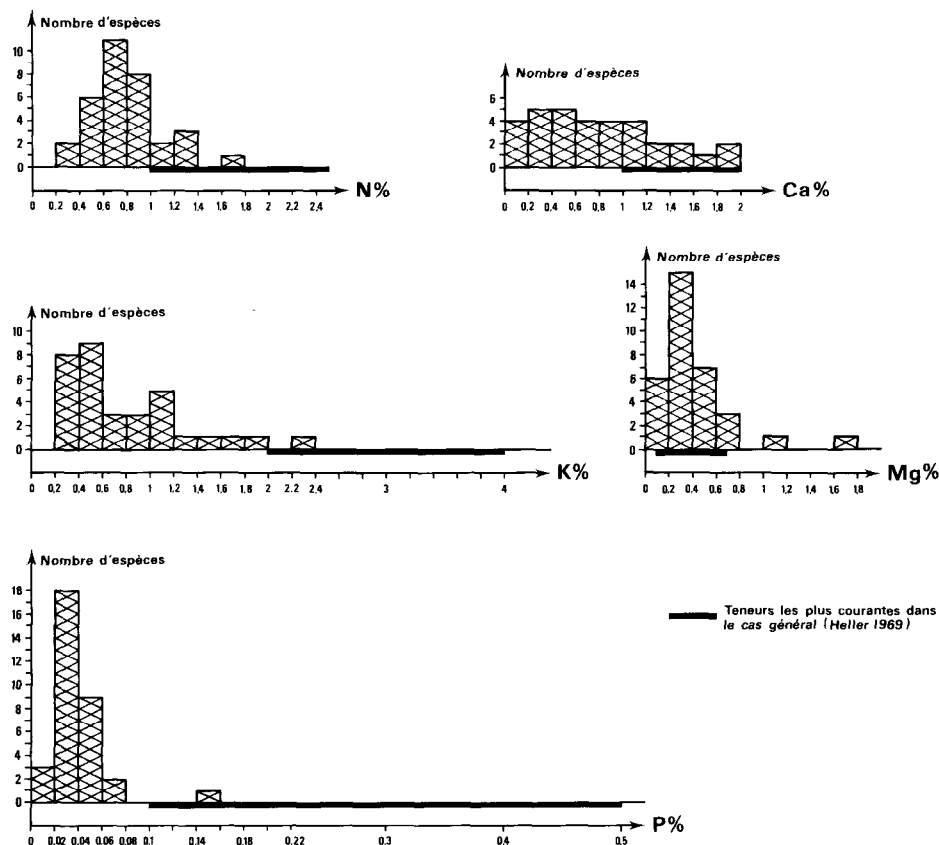


Fig. 1. — Diagramme des fréquences des teneurs moyennes en azote, calcium, potassium, magnésium et phosphore dans les feuilles des 33 espèces des anciens sites et déblais miniers.

(Loganiacées) et *Phyllanthus aff buxoides* (Euphorbiacées)) ont un taux moyen d'azote foliaire supérieur à 1. Les teneurs les plus élevées (supérieures à 1,5 %) ont été observées chez *Sphenomeris deltoidea* et *Asplenium novae-caledoniae*, qui se trouvent en abondance associées à des Mousses et parfois à *Normandia neo-caledonica* dans les microstations que constituent les anfractuosités, les excavations profondes et les zones ombragées au pied de certains fronts de taille. Ces microstations qui bénéficient de conditions moins arides que les zones exposées, sont plus favorables peut-être à la fixation de l'azote.

Les teneurs en Phosphore

Le taux du phosphore foliaire est excessivement bas pour toutes les espèces, exception faite d'*Asplenium novae-caledoniae* pour lequel il est en moyenne de 0,15 %, donc relativement élevé compte tenu des quantités de phosphore contenues dans le sol. Les teneurs les plus élevées sont ensuite celles de *Sphenomeris deltoidea* (0,066 %) et *Earina deplanchei* (0,065 %).

Les taux les plus bas, inférieurs à 0,025 %, ont été principalement trouvés chez des Cypéracées.

La frugalité des espèces apparaît plus accentuée et plus générale à l'égard du phosphore qu'à l'égard de l'azote. On constate cependant un certain parallélisme entre les distributions de ces deux éléments minéraux. La pauvreté en azote et en phosphore étant souvent associée à un développement des tissus scléreux dans le parenchyme foliaire, ces espèces seraient, comme l'a souligné Schmid (1968) pour les maquis miniers en général, préadaptées à la fois à l'oligotrophie et aux conditions d'aridité du sol. A cet égard il est significatif de constater que les teneurs les plus fortes en azote et en phosphore ont été relevées chez deux espèces sciaphiles : *Asplenium novae-caledoniae* et *Sphenomeris deltoidea*.

Les teneurs en Potassium

Le taux du potassium foliaire est très bas pour la plupart des espèces, généralement compris entre 0,5 % et 1,25 %. Seul *Asplenium novae-caledoniae* a une

TABLEAU I

COMPOSITION MINÉRALE DES SOLS ET DES ÉCHANTILLONS FOLIAIRES PAR STATION

Dans les sols N, P, Ni, Co, Cr et Mn sont exprimés en pour cent; K, Ca, Mg, échangeables en me/100 g. Ni extrait à l'acétate d'ammonium (Ni*) en ppm. Dans les feuilles les résultats sont exprimés par rapport à la matière sèche à 105° : N, P, K, Ca, Mg en pour cent, Ni, Co, Cr, Mn en ppm.

(Aral. : Araliacées, Bal. : Balanopsidiacées, Cela. : Celastracées, Cun. : Cunoniacées, Cyp. : Cyperacées, Dill. : Dilléniacées, Epa. : Epacridacées, Euph. : Euphorbiacées, Good. : Goodéniacées, Log. : Loganiacées, Myrt. : Myrtacées Orch. : Orchidées, Prot. : Protéacées, Pter. : Pteridophytes, Rub. : Rubiacées, Sax. : Saxifragacées)

Station 1	N	P	K	Ca	Mg	Ni	Co	Cr	Mn
Sol	0,015	<0,01	0,02	1,03	7,11	3,03	0,067	0,71	0,42
(Pter.) <i>Asplenium novae-caledoniae</i>	1,86	0,145	2,30	0,76	0,60	200	< 2,5	20,0	30
(Prot.) <i>Grevillea exul</i>	1,16	0,038	0,54	0,55	0,30	170	2,5	<2,5	2 400
(Cyp.) <i>Schoenus neo-caledonicus</i>	0,16	0,023	0,63	0,15	0,20	200	< 2,5	5,0	90
Station 2									
Sol	0,011	0,015	0,01	0,51	2,47	2,46	0,040	0,42	0,27
(Cyp.) <i>Lepidosperma perteres</i>	0,47	0,017	0,92	0,22	0,10	620	4,0	<2,5	220
(Cyp.) <i>Schoenus neo-caledonicus</i>	0,41	0,017	0,86	0,11	0,30	440	<2,5	8,0	73
Station 3									
Sol	0,013	0,01	0,01	0,51	4,92	2,00	0,087	0,57	0,36
(Pter.) <i>Pteridium aquilinum</i>	0,64	0,035	0,75	0,19	0,25	57* 65	3,0	3,0	40
Station 4									
Sol	0,021	0,02	0,01	0,51	2,89	1,91	0,16	1,20	0,50
(Saxi.) <i>Argophyllum laxum</i>	0,66	0,035	0,85	0,53	0,55	72* 1 000	18,0	<2,5	170
(Cyp.) <i>Baumea deplanchei</i>	0,82	0,020	0,36	0,20	0,20	100	2,5	6,0	210
(Cun.) <i>Codia montana</i>	0,70	0,025	0,35	0,40	0,40	200	150,0	18,0	260
(Log.) <i>Geniostoma aff. rupestre</i>	1,26	0,033	0,32	1,28	1,50	104	1,5	4,0	260
(Prot.) <i>Grevillea exul</i>	1,11	0,055	0,58	0,40	0,25	80	< 2,5	< 2,5	2 500
(Dill.) <i>Hibbertia trachyphylla</i>	0,68	0,025	0,42	1,02	0,25	450	< 2,5	8,0	50
(Euph.) <i>Phyllanthus aff. serpentinus</i>	0,93	0,042	1,12	0,82	0,50	27 000	145,0	5,0	410
(Cyp.) <i>Schoenus neo-caledonicus</i>	0,71	0,020	0,58	0,13	0,20	250	3,0	9,0	90
(Pter.) <i>Sphenomeris deltoidea</i>	1,72	0,070	1,40	0,42	0,15	34	< 2,5	10,0	20
Station 5									
Sol	0,032	<0,01	0,05	1,69	18,1	1,37	0,039	0,20	0,21
(Prot.) <i>Grevillea exul</i>	1,03	0,045	0,50	0,36	0,30	160	4,0	<2,5	1 400
(Good.) <i>Scaevola aff. erosa</i>	0,77	0,038	2,06	1,04	0,50	100	2,0	<2,5	200
(Pter.) <i>Sphenomeris deltoidea</i>	1,22	0,055	1,28	0,36	0,20	59	4,5	3,0	150
Station 6									
Sol	0,043	0,02	0,02	0,40	1,13	1,90	0,14	0,91	0,63
(Cun.) <i>Codia montana</i>	0,72	0,029	0,34	0,73	0,38	740	73,0	3,3	900
(Myrt.) <i>Tristania guillainii</i>	0,67	0,029	0,45	0,81	0,29	226	16,0	3,0	790
Station 7									
Sol	0,034	<0,01	0,04	0,90	10,9	580	0,090	1,80	0,28
(Rub.) <i>Normandia neo-caledonica</i>	1,00	0,026	1,10	1,56	1,30	507* 330	3,0	3,0	135
(Euph.) <i>Phyllanthus aff. serpentinus</i>	0,96	0,038	1,23	1,20	0,52	34 000	230,0	6,0	225

	N	P	K	Ca	Mg	Ni	Co	Cr	Mn
Station 8									
Sol	0,210	0,015	0,19	1,50	11,29	4,31	0,025	0,34	0,30
(Orch.) <i>Earina deplanchei</i>	1,06	0,061	1,10	0,58	0,58	390*	2,8	10,0	40
(Log.) <i>Geniostoma aff rupestre</i>	1,10	0,040	0,33	0,79	1,72	720	<2,5	<2,5	110
(Dill.) <i>Hibbertia trachyphylla</i>	0,81	0,034	0,38	1,10	0,65	590	<2,5	<2,5	30
(Myrt.) <i>Myrtus emarginatus</i>	0,69	0,027	0,32	0,62	0,76	350	<2,5	<2,5	93
(Rub.) <i>Normandia neo-caledonica</i>	0,96	0,030	1,39	2,50	1,05	660	3,4	<2,5	50
(Pter.) <i>Pteridium aquilinum</i>	0,66	0,058	1,09	0,24	0,25	130	<2,5	<2,5	20
(Pter.) <i>Sphenomeris deltoidea</i>	1,07	0,075	2,10	0,38	0,18	140	<2,5	3,0	20
Station 9									
Sol	0,048	0,01	0,03	0,90	2,60	5,10	0,10	1,15	0,40
(Dill.) <i>Hibbertia trachyphylla</i>	0,97	0,030	0,48	1,02	0,40	250	6,0	6,0	95
(Euph.) <i>Phyllanthus aff buxoides</i>	1,28	0,049	0,81	0,88	0,57	10 000	90,0	<2,5	700
(Cyp.) <i>Schoenus neo-caledonicus</i>	0,50	0,013	0,60	0,14	0,30	130	2,0	11,0	75
(Aral.) <i>Tieghemopanax sp</i>	0,61	0,047	1,04	1,88	0,35	210	3,6	<2,5	305
Station 10									
Sol	0,11	0,002	0,07	1,20	6,0	5,46	0,09	0,28	0,26
(Epa.) <i>Dracophyllum ramosum</i>	0,60	0,034	0,19	0,89	0,36	640	4,0	<2,5	200
(Orch.) <i>Earina deplanchei</i>	1,06	0,069	1,21	0,74	0,50	860	2,8	4,0	30
(Myrt.) <i>Metrosideros demonstrans</i>	0,44	0,029	0,24	1,50	0,39	130	<2,5	<2,5	100
(Myrt.) <i>Myrtus emarginatus</i>	0,54	0,026	0,49	0,52	0,61	700	2,8	<2,5	70
(Epa.) <i>Styphelia floribunda</i>	0,57	0,042	0,50	1,50	0,20	260	<2,5	<2,5	40
Station 11									
Sol	0,032	0,01	0,04	0,70	5,50	3,06	0,076	0,34	0,25
(Cyp.) <i>Costularia comosa</i>	0,55	0,024	0,61	0,14	0,13	190	<2,5	7,0	60
(Dill.) <i>Hibbertia trachyphylla</i>	0,97	0,024	0,55	0,91	0,55	570	7,4	5,0	35
(Rub.) <i>Normandia neo-caledonica</i>	0,96	0,034	1,05	1,54	1,10	400	3,0	3,0	100
(Good.) <i>Scaevola afferosa</i>	0,77	0,055	1,38	0,72	0,97	550	4,4	<2,5	78
(Epa.) <i>Styphelia cymbulae</i>	0,56	0,025	0,24	0,65	0,20	340	3,4	<2,5	65
Station 12									
Sol	0,026	0,02	0,06	0,40	5,41	2,94	0,12	0,78	0,55
(Sax.) <i>Argophyllum laxum</i>	0,71	0,036	0,92	0,43	0,33	1 900	26,0	4,0	75
(Pter.) <i>Asplenium novae caledoniae</i>	1,36	0,18	2,10	0,92	0,96	760	2,4	21,0	25
(Cyp.) <i>Costularia comosa</i>	0,74	0,018	0,53	0,16	0,14	140	<2,5	8,5	50
(Cyp.) <i>Schoenus neo-caledonicus</i>	0,65	0,021	0,68	0,22	0,60	108	<2,5	12,5	23
Station 13									
Sol	0,10	0,01	0,01	0,63	13,8	1,84	0,055	0,40	0,26
(Sax.) <i>Argophyllum laxum</i>	0,72	0,030	0,91	0,50	0,49	1 000	12,5	<2,5	55
(Pter.) <i>Asplenium novae caledoniae</i>	1,78	0,125	2,20	0,62	0,50	150	5,5	10,0	20
(Bal.) <i>Balanops pancheri</i>	0,68	0,028	1,15	1,94	0,33	135	3,2	3,4	110
(Prot.) <i>Crevicea exul</i>	0,65	0,035	0,76	0,50	0,50	94	6,5	5,0	1 800
Station 14									
Sol	0,12	<0,01	0,01	0,59	6,9	3,85	0,10	0,95	0,20
(Cyp.) <i>Costularia nervosa</i>	0,32	0,020	0,44	0,05	0,11	165	3,0	2,5	360
(Epa.) <i>Dracophyllum ramosum</i>	0,41	0,023	0,25	0,70	0,11	312	4,0	4,0	57
(Orch.) <i>Eriaxis rigida</i>	1,24	0,040	0,67	0,50	0,22	390	<2,5	2,5	180
(Cela.) <i>Peripterygia marginata</i>	0,93	0,025	0,63	1,61	0,51	1 215	3,0	2,5	31
(Cyp.) <i>Schoenus juvenis</i>	0,21	0,021	0,29	0,05	0,13	310	<2,5	9,0	55
Station 15									
Sol	0,05	0,01	0,01	0,39	4,20	3,92	0,35	0,83	0,26
(Sax.) <i>Argophyllum grunowii</i>	0,68	0,020	0,59	0,36	0,17	1 375	5,5	<2,5	40
(Euph.) <i>Phyllanthus aeneus</i>	0,92	0,030	1,21	1,23	0,51	915	275,0	<2,5	100
(Euph.) <i>Phyllanthus sp</i>	0,95	0,042	1,95	1,00	0,20	760	135,0	<2,5	150
(Cyp.) <i>Schoenus juvenis</i>	0,52	0,18	0,38	0,12	0,10	225	3,0	5,0	350
(Myrt.) <i>Tristania glauca</i>	0,67	0,030	0,32	0,80	0,20	240	200,0	<2,5	170

teneur moyenne qui dépasse 2 %. Les teneurs les plus élevées s'observent ensuite dans *Phyllanthus* sp. (1,95 %), *Scaevola erosa* (1,72 %), et *Sphenomeris deltoidea* (1,59 %). Les quatre Myrtacées analysées et la plupart des Cypéracées ont des teneurs inférieures à 0,5 %. Malgré ses faibles teneurs le potassium reste, dans les Cypéracées, l'élément le mieux représenté. Ceci concorde avec les observations faites par Duvigneaud en Haute Belgique (1962). Des teneurs inférieures à 0,25 % ont été observées chez deux Epacridacées (*Dracophyllum ramosum* et *Styphelia cymbulae*) et chez une Myrtacée (*Metrosideros demonstrans*). Une frugalité parfois très accentuée à l'égard de cet élément apparaît donc de règle pour la plupart des espèces.

Les teneurs en calcium

Elles sont faibles pour la majorité des espèces mais atteignent toutefois des valeurs normales, supérieures à 1 % pour plus du tiers des espèces analysées. Les teneurs moyennes les plus fortes ont été trouvées chez *Balanops pancheri* (1,94 %), puis chez *Normandia neo-caledonica* (1,86 %), l'espèce ligneuse la plus commune sur les sites d'anciennes mines. Des teneurs moyennes relativement élevées sont également observées chez *Peripterygia marginata* (1,64 %), *Metrosideros demonstrans* (1,50 %), *Styphelia floribunda* (1,50 %), *Tieghemopanax* sp. (1,28 %), *Phyllanthus aeneus* (1,27 %). Compte tenu des faibles quantités de calcium échangeable du sol et de l'action antagoniste probable du magnésium en excès sur l'absorption du calcium, ces résultats illustrent la thèse soutenue par plusieurs auteurs, notamment Kruckeberg (1954), Walker (1954) et Krause (1958), selon laquelle la principale caractéristique des espèces liées aux sols sur roches ultrabasiques serait leur capacité de croître en puisant suffisamment de calcium dans des sols qui n'en contiennent que de faibles quantités.

Des teneurs très basses, ne dépassant guère 0,2 %, sont observées chez les Cypéracées et chez *Pteridium aquilinum*. Pour ces espèces comme pour toutes celles dont les teneurs en calcium n'excèdent pas 0,6 %, le bas niveau des besoins en cet élément est le caractère spécifique principal qui leur permet de se développer sur des sols peu propices à l'alimentation calcique.

Les teneurs en Magnésium

Elles sont, pour la majorité des espèces, voisines des teneurs les plus couramment observées chez les végétaux. En dépit de l'excès de magnésium dans le sol, peu d'espèces en font une consommation anormalement élevée. Les teneurs les plus basses, de l'ordre de 0,15 %, ont été trouvées chez des Cypé-

racées (*Costularia comosa*, *Lepidosperma perteres*, *Schoenus juvenis*) et chez une Fougère (*Sphenomeris deltoidea*). Si des teneurs assez fortes (supérieures à 0,65 %) ont été relevées chez plusieurs espèces (*Scaevola aff. erosa*, *Asplenium novae-caledoniae*, *Myrtus emarginatus*) des teneurs supérieures à 1 % se rencontrent seulement chez *Normandia neo-caledonica* (1,15 % en moyenne) et *Geniostoma aff. rupestre* (1,61 %). Chez *Geniostoma* le magnésium devient même le cation le mieux représenté.

Bien que le taux de magnésium ne soit généralement pas très élevé, on note chez beaucoup d'espèces une prédominance du magnésium sur le potassium ou du magnésium sur le calcium. Il apparaît donc que, malgré une limitation relative de l'absorption du magnésium, la balance des éléments majeurs dans les feuilles reste dans une certaine mesure le reflet du déséquilibre minéral du sol.

Les teneurs en Nickel

Les teneurs des feuilles des espèces analysées sont toutes supérieures à 30 ppm, soit largement supérieures aux teneurs couramment rencontrées dans les plantes croissant sur sols normaux (0,1 ppm à 5 ppm d'après Vanselow 1966).

Les teneurs en nickel des différentes espèces varient d'une station à l'autre, mais pour une station donnée les teneurs les plus faibles s'observent généralement chez les Cypéracées, chez *Pteridium aquilinum*, *Sphenomeris deltoidea* et *Grevillea exul*. La majorité des espèces ont des teneurs comprises entre 100 ppm et 800 ppm, donc nettement supérieures à celles de la majorité des espèces sur sols bruns et sols ferrallitiques désaturés issus de roches ultrabasiques (Jaffré 1976). Certaines espèces accumulent le nickel à des taux supérieurs à 1 000 ppm sans présenter le moindre signe d'empoisonnement : c'est le cas de deux Saxifragacées (*Argophyllum laxum* et *Argophyllum grunowii*), d'une Célastracée (*Peripterygia marginata*) et de deux Euphorbiacées (*Phyllanthus aff.* et *Phyllanthus aff. serpentinus*), *Phyllanthus aff. serpentinus* accumulant le nickel à teneurs pouvant dépasser 3 %, comparables aux teneurs foliaires les plus élevées déjà signalées chez plusieurs espèces néo-calédoniennes (Jaffré et Schmid 1974) (Brooks *et al.* 1977). Il est à noter toutefois que les biomasses de ces espèces accumulatrices sont faibles par rapport à celles des Cypéracées, de *Grevillea exul* et de *Sphenomeris deltoidea*, espèces qui absorbent peu de nickel.

Les teneurs en Cobalt

Les teneurs en Cobalt sont pour beaucoup d'espèces inférieures à 2,5 ppm; seuil de sensibilité de la métho-

de d'analyse utilisée. La majorité des espèces ont cependant des teneurs supérieures à celles habituellement rencontrées dans les végétaux sur sols normaux (moins de 1 ppm, Vanselow 1966). Les valeurs observées dépassent aussi d'une manière générale assez largement celles des plantes sur sols miniers en place sous maquis arbustif (Jaffré 1976). Plusieurs espèces ont des teneurs très élevées. C'est le cas de *Codia montana* (111 ppm en moyenne), *Tristania glauca* (200 ppm) et de plusieurs espèces s'étant aussi signalées par des taux élevés en nickel, *Phyllanthus aff. serpentinus* (187 ppm en moyenne), *Phyllanthus aeneus* (275 ppm), *Argophyllum laxum* (19 ppm en moyenne). N'y aurait-il pas une liaison entre l'absorption du nickel et celle du cobalt ?

Les teneurs en Chrome

Elles sont inférieures à 10 ppm pour la plupart des espèces et dans plus de la moitié des cas elles ne dépassent pas 2,5 ppm (seuil de sensibilité de la méthode d'analyse). Les teneurs les plus élevées ont été observées chez des Cypéracées (teneurs comprises entre 5 et 12,5 ppm), chez *Codia montana* (une teneur de 18 ppm) et chez *Asplenium novae-caledoniae* (10 ppm, 20 ppm et 21 ppm). Des analyses de racines ont été effectuées sur *Grevillea exul*, *Peripterygia marginata* et *Costularia comosa*; elles n'ont pas permis de déceler de phénomène d'accumulation du chrome à ce niveau. Il semblerait donc que dans ces sols le chrome se trouve sous une forme peu soluble et qu'il intervienne peu dans la nutrition des plantes.

Les teneurs en Manganèse

Bien qu'assez variables d'une espèce à l'autre les valeurs observées restent moyennes, comprises entre 40 ppm et 350 ppm pour la plus grande partie des espèces. Seul *Grevillea exul*, dont les teneurs dépassent 2 000 ppm, accumule cet élément. Ce phénomène est d'autant plus remarquable que le manganèse soluble n'est apparemment pas en excès dans les sols considérés.

CONCLUSION

La présente étude montre que la composition minérale des feuilles des espèces établies sur les anciens sites de mines de nickel est influencée par la composition chimique du sol mais est aussi largement sous la dépendance des caractères physiologiques des espèces.

A l'image des sols; les plantes ont en moyenne des teneurs normales en Mn, faibles en N, P, K, Ca et fortes en Mg, Ni et Co.

En dépit de la très forte carence du sol en N, P, K, Ca, les feuilles dans le cas de plusieurs espèces présentent des teneurs normales ou proches de la normale en ces éléments, ce qui traduit l'existence d'une absorption minérale sélective particulièrement efficace, s'exerçant différemment toutefois suivant les éléments minéraux et suivant les espèces considérés. Le calcium, dont les taux sont normaux dans 1/3 des espèces étudiées, apparaît de ce point de vue privilégié par rapport à l'azote, au phosphore et au potassium. Certains taxons se caractérisent par une absorption sélective très poussée vis-à-vis de plusieurs éléments (*Asplenium novae-caledoniae* pour N, P et K, *Sphenomeris deltoidea* pour N et K); chez d'autres le phénomène se limite à un seul élément (*Styphelia floribunda*, *Metrosideros demonstrans*, *Normandia neo-caledonica*, *Phyllanthus aeneus*, *Peripterygia marginata*, *Tieghemopanax sp.*, *Balanops pancheri* pour le calcium, *Phyllanthus aff. buxoides*, *Geniostoma aff. rupestre*, *Earina deplanchei*, *Eriaxis rigida* pour l'azote et *Phyllanthus sp.*, *Scaevola aff. erosa* pour le potassium); d'autres enfin, comme les Cypéracées, plusieurs Myrtacées (*Myrtus emarginatus*, *Tristania glauca*, *Tristania guillainii*, et certaines Epacridacées (*Dracophyllum ramosum*, *Styphelia cymbulae*) se distinguent par la faiblesse des teneurs de leurs feuilles en éléments majeurs. L'adaptation des espèces des anciens sites miniers à la pauvreté du sol en N, P, K, Ca tient donc à la fois au renforcement de la capacité d'absorption sélective, particulièrement en ce qui concerne le calcium, et à une réduction des besoins plus spécialement en phosphore et en potassium. Il faut également tenir compte de la particularité qu'ont toutes ces espèces de croître très lentement, ce qui leur permet de fixer à la longue les quantités d'éléments minéraux indispensables à leurs développements normal.

Les éléments en excès (Mg, Ni, Co) caractérisent aussi très nettement la composition minérale des plantes colonisatrices des anciennes mines. Les teneurs en magnésium des feuilles, sans apparaître excessives, sauf pour *Geniostoma aff. rupestre* sont relativement élevées en comparaison de celles relatives aux autres éléments majeurs. Toutes les espèces ont des concentrations anormalement élevées en nickel, et plusieurs d'entre elles, dont certaines n'avaient pas encore été signalées comme accumulatrices de cet élément, se sont révélées présenter dans leurs feuilles des teneurs supérieures à 1 000 ppm.

Des taux anormalement élevés en cobalt ont été enregistrés chez plusieurs espèces; certaines comme *Phyllanthus aff. serpentinus*, *Phyllanthus aenus* et *Tristania glauca* peuvent être considérées comme des accumulatrices de cobalt.

Le comportement nutritionnel à l'égard de ces éléments en excès se manifeste de façons variées suivant

les espèces. En ce qui concerne le magnésium tout se passe comme si la plante freinait à un degré plus ou moins important selon les espèces la pénétration de l'élément dans ses tissus. Le comportement nutritionnel à l'égard du nickel est plus complexe : chez plusieurs espèces les teneurs sont nettement supérieures à celles généralement considérées comme susceptibles d'entraîner l'empoisonnement des plantes. Dans le cas des espèces accumulatrices, la résistance (1) au nickel réside principalement dans l'existence d'un seuil de tolérance (limite au-dessus de laquelle la plante est intoxiquée) élevé. Dans le cas des espèces qui n'absorbent que des quantités relativement faibles de nickel, la résistance à la toxicité est principalement sous la dépendance d'un mécanisme limitant l'absorption de cet élément par la plante. L'adaptation aux sols riches en Co met en jeu des mécanismes analogues à ceux qui interviennent dans le cas du nickel.

Les caractéristiques phytochimiques des anciennes mines de nickel se rapprochent de celles réalisées au sein d'autres biotopes sur roches ultrabasiques, mais le Ni et le Co jouent ici un rôle particulièrement important, les plantes ayant à faire preuve d'une plus grande résistance vis-à-vis de ces deux éléments.

Manuscrit reçu au service des Publications de l'ORSTOM le 28 février 1978.

BIBLIOGRAPHIE

- BROOKS (R.R.), LEE (J.), REEVES (R.D.), JAFFRÉ (T.), 1977. — Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geochemical exploration*, 7 : 49-57.
- CROOK (W.M.), 1956. — Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. *Soil Sci.*, 81 : 269-276.
- DUVIGNEAUD (P.), 1959. — Plantes cobaltophytes dans le Haut Katanga. *Bull. Soc. Roy. Belg.* 91 : 111-134.
- DUVIGNEAUD (P.) et DENAYER De SMET, 1962. — Distribution de certains éléments minéraux (K, Ca et N) dans les tapis végétaux naturels. *Bull. de la Soc. Fr. de physio. veg.* 8 (3) : 96-104.
- DUVIGNEAUD (P.) et DENAYER De SMET, 1973. — Considération sur l'écologie de la nutrition minérale des tapis végétaux. *Oecol. Plant.* 8 (3) : 219-246.
- HELLER (R.), 1969. — Biologie végétale, II, Nutrition et métabolisme. Masson and Cie Editeurs, 578 p.
- JAFFRÉ (T.), 1974. — La végétation et la Flore d'un massif de roches ultrabasiques de Nouvelle Calédonie : Le Koniambo. *Candollea*, 29 : 427-456.
- JAFFRÉ (T.) et SCHMID (M.), 1974. — Accumulation du nickel par une rubiacée de Nouvelle Calédonie : *Psychotria douarrei* (G. Beauvisage) Daniker. *C.R. acad. Sci.*, Paris, t. 278, ser. D : 1727-1730.
- JAFFRÉ (T.), 1976. — Composition chimique et conditions de l'alimentation minérale des plantes sur roches ultrabasiques — Nouvelle Calédonie. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XI, n° 1 : 53-63.
- JAFFRÉ (T.), LATHAM (M.) et SCHMID (M.), 1978. — Aspects de l'influence de l'extraction du minerai de nickel sur la végétation et les sols en Nouvelle Calédonie. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XII, n° 4 :
- KRAUSE (W.), 1958. — Andere bedenspezialisten handbuch der pflanzenphysiologie : B IV, 755-806.
- KRUCKEBERG (A.R.), 1954. — The ecology of serpentine soils III Plant species in relation to serpentine soils. *Ecology* 35 : 267-274.
- SCHMID (M.), 1968. — La végétation et les conditions édaphiques dans : Pédologie et Développement, *multigr.*, ORSTOM, Nouméa : 139-172.
- VANSELOW (A.P.), 1966. — In Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. Chapman H D Union of California Div Agri. Sciences cobalt : 142-156.
- WALKER (R.B.), 1954. — The ecology of serpentine soils II, factors affecting plant growth on serpentine soils. *Ecology* 35 : 259-266.

(1) Nous utiliserons ce terme dans le sens qui lui a été donné par Duvigneaud et S. Denaeyer de Smet (1973) : « Nous avons décidé de considérer d'une part la résistance d'une plante à un milieu de composition chimique anormale sans présumer des mécanismes assurant cette résistance, et d'autre part la tolérance que manifeste une plante à l'égard de quantités anormalement élevées de un ou plusieurs éléments à l'intérieur de ses tissus ».