

Composition chimique et conditions de l'alimentation minérale des plantes sur roches ultrabasiqes (Nouvelle-Calédonie)

Tanguy JAFFRE

Botaniste de l'ORSTOM

Centre de Nouméa,

B.P. A5, Nouméa-Cedex, Nouvelle-Calédonie

RÉSUMÉ

On a déterminé les compositions chimiques élémentaires des feuilles de 14 espèces de plantes croissant indifféremment sur sols bruns hypermagnésiens et sur sols ferrallitiques désaturés en zone ultrabasiqes.

Les résultats obtenus en ce qui concerne N, P, K, S et Ca témoignent des mauvaises conditions d'alimentation en ces éléments, pour l'un et l'autre type de sol.

Les teneurs en calcium sont basses dans la plupart des cas, mais plus faibles pour les plantes croissant sur sols bruns, que pour celles croissant sur sols ferrallitiques. Les teneurs en Magnésium, sans jamais être excessives, sont plus élevées dans le cas des plantes croissant sur sols bruns où les conditions d'alimentation calcique apparaissent très défavorables moins à cause de la pauvreté en calcium que de la richesse en Magnésium du complexe d'échange. L'originalité de la flore des sols bruns s'expliquerait principalement de ce fait.

Les teneurs relativement élevées en Nickel des sols bruns et des feuilles des plantes qui leur sont associées, montrent que cet élément pourrait dans ce cas se révéler toxique. Il en est de même pour le Manganèse en ce qui concerne les plantes associées aux sols ferrallitiques. L'éventualité d'une action toxique du Chrome ou du Cobalt, tous deux présents à des taux élevés dans les sols analysés, n'a pas été mise en évidence.

L'exceptionnelle pauvreté en Silice des sols ferrallitiques pourrait gêner le développement de certaines espèces qui en absorbent normalement beaucoup.

ABSTRACT

The elementary chemical composition of the leaves of 14 species of plants has been determined, whether from plants living on hypermagnesian brown soils, or from those on desaturated ferallitic soils of the ultrabasic regions.

Results have been obtained, which show that, for N, P, K, S, and Ca there is a deficiency in these elements for both types of soil.

Calcium content is low in almost every case, but lower for plants growing on the brown soils than for those on ferallitic soils. Magnesium content, never excessive, is higher in plants growing on brown soils, where the conditions of calcic nutrition seem to be highly unfavourable less because the calcium is present in low quantities than because the exchange complex is relatively saturated in magnesium. The original characteristics of the flora found on brown soils may be largely explained by this.

The relatively high Nickel content of the brown soils and plants associated with them show that nickel is present at almost toxic levels. The same goes for Manganese, in the leaves of plants associated with ferallitic soils. The possibility of toxicity resulting from excesses of Chrome or Cobalt, both present in high quantities in the soils analyzed, has not been proven.

The exceptionally low Silica content of the ferallitic soils could hinder the growth of some plant species which would otherwise absorb greater amounts.

INTRODUCTION

Les affleurements de roches ultrabasiqes occupent 1/3 de la surface de la Nouvelle-Calédonie, soit environ 5 500 km². Ils sont caractérisés par l'infertilité des sols qu'ils engendrent (Jaffré, 1969, Quantin, 1969, Latham, 1972) et le particularisme de leur végétation (Virot, 1956, Schmid, 1974, Jaffré, 1974). Le tapis végétal est constitué de forêts denses et de formations basses plus ou moins ouvertes appelées localement « Maquis des terrains miniers ».

Les études pédo-botaniques (Jaffré *et al.*, 1971, Jaffré et Latham, 1974) ont montré que les maquis pouvaient être rattachés à deux unités phyto-édaphiques majeures :

— groupements végétaux serpentiphiles et magnésicoles sur les sols à forte capacité d'échange, très riches en magnésium (sols bruns eutrophes),

— groupements végétaux oligotrophes sur les sols plus ou moins désaturés à très faible capacité d'échange (sols ferrallitiques).

Sols bruns eutrophes hypermagnésiens et sols ferrallitiques moyennement à fortement désaturés se situent aux deux pôles de l'évolution pédologique sur roches ultrabasiqes, au cours de laquelle, comme l'ont montré Trescases (1969) et Latham (1975), la balance des éléments chimiques se trouve profondément modifiée. La présente étude, basée sur l'examen des variations de la composition de feuilles d'espèces communes, aux deux groupes de maquis, vise à préciser l'influence des propriétés chimiques de ces sols sur la végétation naturelle, étant admis que les teneurs des feuilles en éléments minéraux sont fonction à la fois de la spécificité de la plante et de la disponibilité des éléments dans le sol.

MATÉRIEL ET MÉTHODES.

Dans 18 stations sur sols ferrallitiques moyennement à fortement désaturés, et 19 stations sur sols bruns hypermagnésiens, nous avons étudié la composition chimiques des feuilles de 14 espèces croissant naturellement sur les deux types de substrats, chaque espèce faisant l'objet d'une analyse dans chaque station où elle était représentée.

Ces espèces comprennent neuf Dicotylédones arbustives *Acacia spirorbis* Labill. (Légumineuses), *Alphitonia neo caledonica* Guill. (Rhamnacées), *Cordia montana* Forst. (Cunoniacées), *Halfordia kendack* Guill. (Rutacées), *Longetia buxoides* Baill. (Euphorbiacées), *Montrouziera sphaeroidea* Panch. (Guttifères), *Osmanthus austro-caledonicus* Vieill. Knobl. (Oléacées), *Scaevola beckii* Zahl. (Goodeniacées), *Wickstroemia viridiflora* Meissn. (Thyméléacées), une Monocotylédone arbustive *Lomandra insularis* Schlecht. (Xanthorrhoeacées), deux Cypéracées *Costularia comosa* (C.B. Clarke) Kük et *Lepidosperma perteres* Clarke, deux Fougères *Pteridium aquilinum* (L.) Kühn et *Schizaea laevigata* Mett.

Les analyses ont été effectuées sur des feuilles recueillies sur 3 à 5 plants répartis au hasard dans la station. Les prélèvements ont eu lieu en saison fraîche, de juin à août. Dans tous les cas, il s'agissait de feuilles adultes ne présentant aucun signe de vieillissement. Des échantillons de terre constitués de plusieurs prélèvements effectués au niveau des systèmes racinaires des plantes

ayant fait l'objet d'un prélèvement de feuilles ont également été analysés (1).

Les chiffres apparaissant dans les différents tableaux sont les moyennes de 3 à 12 analyses suivant les cas, les intervalles de confiance de ces moyennes étant calculés au seuil de 5 pour cent.

La comparaison statistique des moyennes des teneurs en un élément donné dans les plantes obtenues pour chaque type de biotope, a été effectuée par la méthode des couples (cas de petits échantillons, Schwartz, 1963).

LES STATIONS.

Elles sont réparties pour chacune des unités phytodaphiques considérées sur l'ensemble du domaine

Dosage de K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Cr, Co.

Dans les poudres végétales : analyses effectuées sur une prise de 2 g calcinée à 450° pendant deux heures. Reprise des cendres par l'acide chlorhydrique.

Dans les terres (terres passées au tamis de 2 mm), analyse des éléments totaux sur une prise de 1 g de terre broyée soumise à une attaque nitro-perchlorique.

— Bases échangeables obtenues par extraction à l'acétate d'ammonium normal à pH 7.

Les dosages de K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Ni, Cr, Co ont été effectués au spectrophotomètre Varian AA 120.

Dosage du phosphore

Dans les poudres végétales par la méthode au vanadomolybdate d'ammonium sur le filtrat chlorhydrique.

Dans les terres sur une prise de 1 g de terre broyée soumise à une attaque nitrique. En raison des fortes teneurs en chrome des sols, le dosage par colorimétrie de cet élément est réalisé après extraction du complexe phospho-vanadomolybdique par l'alcool isoamylique.

Dosage de l'azote

Dans les feuilles par la méthode au bleu d'indophénol, dans les terres par la méthode Kjeldahls.

Dosage de la silice

Dans les feuilles par pesée, après calcination à 900°, du résidu de la filtration de la solution chlorhydrique.

Dans les terres la silice dosée correspond à la perte de poids après reprise par la soude à 2 % du résidu de l'attaque perchlorique.

Dosage du soufre (dans les feuilles)

Sur une prise de 250 mg, attaque nitrique en présence de nitrate de magnésium puis calcination à 500°, pendant 3/4 d'heure et reprise chlorhydrique. Dosage par turbidimétrie au sulfate de baryum (analyseur technique).

La majorité des analyses chimiques a été réalisée au centre ORSTOM de Nouméa sous la direction de M. J.O. Job puis de M. J. Chanut. Les analyses du soufre et de l'azote ont été réalisées aux laboratoires centraux de l'ORSTOM à Bondy sous la direction de Mme J. Didier de St Amand puis de M.H. Rabéchault.

ultrabasique. Ces unités phyto-édaphiques ont fait l'objet d'études floristiques détaillées dans le grand massif du sud (Viro, 1956, Jaffré, 1970), dans le massif du Koniambo (Jaffré, 1974) et celui du Boulinda (Jaffré, 1973).

Les stations sur sols bruns ont été choisies dans des maquis arbustifs peu denses, à flore spécialisée caractérisée par la présence de nombreuses espèces exclusives *Stenocarpus milnei* Hook, *Grevillea meisneri* Montr., *Fimbristylis neo caledonica* C.B. CL, *Gahnia aspera* R. Br, *Albigardia ovata* (Burm.) J. Rayn., *Geniostoma celastrineum* Baill., *Alstonia deplanchei* Huerck et Muell., *Hibbertia lucida* (Guill.) Schlecht., *Phyllanthus peltatus* Guill., *Phyllanthus montrouzieri* (Guill.), *Gymnostoma chamaecyparis* (Pois.) L. John, *Xanthostemon macrophyllum* Pampan., *Psychotria calorhamnus* Guill.

Les stations sur sols ferrallitiques désaturés ont été choisies dans des maquis arbustifs ouverts à strate herbacée réduite, caractérisés par la présence de *Chomelia leiloba* Guill., *Gardenia aubrii* Vieill., *Alyxia rubricaulis* (H. Br.) Guill. *Alyxia caletoides* Baill., *Rapanea diminuta* Mez, *Tristania guillainii* Vieill., *Caryophyllum kriegei* Guill., *Styphelia macrocarpa* (Schtr.) Sleum.

La similitude entre les deux types de stations, en dehors de la présence d'un certain nombre d'espèces de tendance ubiquiste qui font l'objet de cette étude, réside dans la quasi absence de Thérophytes, de Graminées et d'espèces pantropicales. Il est à noter également que la croissance des plantes y est extrêmement lente et l'évolution vers des formations plus puissantes peu perceptible à l'échelle humaine.

En se référant aux études de sols effectuées sur le grand massif du sud (Jaffré *et al.*, 1971), sur le massif du Koniambo (Latham, 1972), et sur le massif du Boulinda (Latham, 1975), les sols du premier groupe de stations peuvent être rattachés aux sols brunifiés des pays tropicaux (sols bruns eutrophes peu évolués sur serpentinites, sols bruns eutrophes vertiques sur colluvions et alluvions anciennes). Les sols du second groupe de stations sont des sols ferrallitiques de plateaux, moyennement à fortement désaturés, riches en gravillons ferrugineux, ou en blocs de cuirasse.

RÉSULTATS - DISCUSSION.

Teneurs en azote, phosphore, soufre, potassium et sodium.

Dans les sols (tabl. I), les teneurs en azote, phosphore, potassium et sodium sont peu élevées ; elles sont en moyenne plus fortes dans les sols bruns que dans les sols ferrallitiques.

Dans les plantes (tabl. II), les teneurs en azote sont d'une façon générale relativement basses ; elles varient selon les espèces, mais sont pour une même espèce sensiblement identiques sur les deux types de substrats. Les teneurs en phosphore sont excessivement basses et ne montrent pas de différences significatives. Les teneurs en sodium sont très variables d'une espèce à l'autre, le plus souvent moyennes à faibles (sauf pour *Scaevola beckii* qui accumule cet élément), et du même ordre de grandeur pour une même espèce, quel que soit le type de substrat. Les teneurs en soufre sont peu élevées et sensiblement les mêmes sur sol bruns et sur sols ferrallitiques. Les teneurs en potassium sont variables d'une espèce à l'autre. Elles sont d'une façon générale assez faibles, ne dépassant 1 % que pour trois espèces (*Halfordia kendack*, *Scaevola beckii*, *Wickstroemia viridiflora*). Les teneurs en potassium sont, pour la plupart des espèces, plus élevées sur sols ferrallitiques que sur sols bruns ; elles se révèlent à l'analyse statistique différer significativement au risque de 5 %.

La frugalité à l'égard de ces éléments majeurs semble bien être de règle pour la plupart des espèces dans les deux catégories de milieux considérées. La faible disponibilité est sans doute la cause majeure de l'infertilité générale des sols sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Verlière (1974) a d'ailleurs constaté que leur apport à une culture d'*Arillastrum gummiferum*

TABLEAU I
TENEURS EN AZOTE, PHOSPHORE, ET EN SODIUM ET POTASSIUM ECHANGEABLES DES SOLS
DES STATIONS SUR SOLS BRUNS ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURES

	Sols bruns				Sols Ferrallitiques			
	N ‰	P ‰	Na en mé/100 g	K en mé/100 g	N ‰	P ‰	Na en mé/100 g	K en mé/100 g
Valeurs moyennes	2,04	< 0,02	0,38	0,21	0,65	< 0,02	0,06	0,04
Valeurs extrêmes enregistrées	1,36 2,95	— —	0,18 0,89	0,06 0,47	0,40 1,28	— —	< 0,01 0,15	< 0,01 0,13

TABLEAU II
TENEURS MOYENNES EN AZOTE, PHOSPHORE, SOUFRE, SODIUM ET POTASSIUM DES FEUILLES DE 14 ESPECES
DES STATIONS SUR SOLS BRUNS ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATUREES

	Sols bruns					Sols ferrallitiques				
	N	P	S	Na	K	N	P	S	Na	K
	en % matière sèche									
<i>Acacia spirorbis</i>	1,50 (± 0,23)	0,048 (± 0,008)	0,14 (± 0,01)	0,20 (± 0,05)	0,47 (± 0,05)	1,65 (± 0,25)	0,046 (± 0,014)	0,11 (± 0,005)	0,25 (± 0,22)	0,53 (± 0,27)
<i>Alphitonia neo-caledonica</i>	1,00 (± 0,10)	0,032 (± 0,002)	0,08 (± 0,009)	0,05 (± 0,01)	0,52 (± 0,09)	1,02 (± 0,02)	0,027 (± 0,002)	0,08 (± 0,010)	0,08 (± 0,02)	0,56 (± 0,07)
<i>Codia montana</i>	0,77 (± 0,03)	0,025 (± 0,003)	0,15 (± 0,03)	0,20 (± 0,03)	0,42 (± 0,06)	0,72 (± 0,04)	0,023 (± 0,002)	0,14 (± 0,017)	0,11 (± 0,02)	0,37 (± 0,02)
<i>Halfordia kendack</i>	1,22 (± 0,24)	0,039 (± 0,003)	0,13 (± 0,06)	0,19 (± 0,08)	0,91 (± 0,22)	1,09 (± 0,17)	0,037 (± 0,008)	0,11 (± 0,020)	0,23 (± 0,06)	1,30 (± 0,11)
<i>Lomandra insularis</i>	0,81 (± 0,10)	0,023 (± 0,002)	0,12 (± 0,03)	0,18 (± 0,06)	0,42 (± 0,06)	0,97 (± 0,14)	0,030 (± 0,006)	0,14 (± 0,030)	0,10 (± 0,06)	0,70 (± 0,22)
<i>Longetia buxoides</i>	0,68 (± 0,11)	0,020 (± 0,003)	0,18 (± 0,03)	0,15 (± 0,08)	0,68 (± 0,19)	0,79 (± 0,10)	0,019 (± 0,03)	0,18 (± 0,06)	0,14 (± 0,08)	0,70 (± 0,13)
<i>Montrouziera sphaeroidea</i>	0,82 (± 0,06)	0,019 (± 0,002)	0,21 (± 0,03)	0,13 (± 0,08)	0,45 (± 0,047)	0,77 (± 0,04)	0,020 (± 0,002)	0,25 (± 0,03)	0,15 (± 0,04)	0,60 (± 0,023)
<i>Osmanthus austro-caledonicus</i>	0,77 (± 0,16)	0,027 (± 0,003)	0,22 (± 0,05)	0,09 (± 0,03)	0,41 (± 0,12)	0,61 (± 0,19)	0,018 (± 0,003)	0,23 (± 0,06)	0,06 (± 0,00)	0,70 (± 0,19)
<i>Scaevola beckii</i>	0,65 (± 0,19)	0,017 (± 0,003)	0,16 (± 0,03)	0,83 (± 0,38)	1,15 (± 0,80)	0,78 (± 0,07)	0,019 (± 0,02)	0,16 (± 0,05)	0,77 (± 0,07)	1,18 (± 0,30)
<i>Wickstroemia viridiflora</i>	1,26 (± 0,07)	0,056 (± 0,021)	0,16 (± 0,02)	0,17 (± 0,03)	1,29 (± 0,26)	1,17 (± 0,11)	0,038 (± 0,005)	0,18 (± 0,03)	0,44 (± 0,14)	1,10 (± 0,28)
<i>Costularia comosa</i>	0,53 (± 0,11)	0,024 (± 0,003)	0,10 (± 0,01)	0,10 (± 0,11)	0,43 (± 0,11)	0,83 (± 0,14)	0,024 (± 0,003)	0,08 (± 0,03)	0,07 (± 0,03)	0,55 (± 0,08)
<i>Lepidosperma perteres</i>	0,34 (± 0,06)	0,016 (± 0,006)	0,09 (± 0,03)	0,16 (± 0,14)	0,42 (± 0,17)	0,62 (± 0,18)	0,013 (± 0,003)	0,10 (± 0,03)	0,20 (± 0,13)	0,70 (± 0,21)
<i>Pteridium aquilinum</i>	0,75 (± 0,17)	0,037 (± 0,016)	0,09 (± 0,008)	0,11 (± 0,03)	0,86 (± 0,31)	1,07 (± 0,07)	0,050 (± 0,005)	0,07 (± 0,02)	0,15 (± 0,02)	1,00 (± 0,12)
<i>Schizaea laevigata</i>	0,66 (± 0,10)	0,025 (± 0,009)	0,09 (± 0,009)	0,20 (± 0,16)	0,78 (± 0,22)	0,75 (± 0,10)	0,023 (± 0,003)	0,09 (± 0,009)	0,46 (± 0,06)	0,77 (± 0,35)

(espèce endémique des secteurs ultrabasiqes), entraî-
nait un accroissement de leurs teneurs dans les tissus.

Toutefois, la pauvreté en ces éléments minéraux n'est
pas l'apanage des sols issus de roches ultrabasiqes et
ne peut donc en Nouvelle-Calédonie, être tenu pour
seul facteur responsable des particularités de la flore
associée à ce type de terrains.

Teneurs en calcium et magnésium.

Les teneurs en calcium échangeable (tabl. III) sont
très basses dans les deux types de substrats ; elles sont
toutefois dans l'ensemble légèrement plus élevées dans
les sols bruns que dans les sols ferrallitiques.

TABLEAU III
TENEURS EN CALCIUM
ET EN MAGNESIUM ECHANGEABLES
DES SOLS DES STATIONS SUR SOLS BRUNS
ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATUREES

	Sols bruns		Sols Ferrallitiques	
	Ca	Mg	Ca	Mg
	en mé pour 100 g			
Valeurs moyennes	1,57	36,89	0,64	0,40
Valeurs extrêmes enregistrées	0,16	18,00	< 0,01	< 0,01
	2,37	55,16	1,12	2,0

Les teneurs en magnésium échangeable (tabl. IV) sont excessivement fortes dans les sols bruns où elles dépassent couramment 50 mé/100 g. Elles sont par contre peu élevées dans les sols ferrallitiques désaturés où elles n'excèdent que rarement 1 mé/100 g. Dans les sols bruns le rapport Ca/Mg est extrêmement faible. Dans les sols ferrallitiques ce rapport est généralement supérieur à 1.

Dans les plantes (tabl. IV), les teneurs en Ca sont relativement basses, excepté pour *Halfordia kendack* qui accumule cet élément. Elles sont plus élevées (différence significative au risque de 1 %) dans les plantes récoltées sur sols ferrallitiques que dans celles

TABLEAU IV
TENEURS MOYENNES
EN CALCIUM ET EN MAGNESIUM
DES FEUILLES DE 14 ESPECES
DES STATIONS SUR SOLS BRUNS
ET SUR SOLS FERRALLITQUES DESATURES

	Sols bruns		Sols ferrallitiques	
	Ca	Mg	Ca	Mg
	en % de la mat. sèche			
<i>Acacia spirorbis</i>	0,57 (± 0,09)	0,41 (± 0,09)	0,97 (± 0,27)	0,15 (± 0,08)
<i>Alphitonia neo-caledonica</i>	0,60 (± 0,11)	0,38 (± 0,09)	0,96 (± 0,16)	0,16 (± 0,02)
<i>Codia montana</i>	0,54 (± 0,03)	0,41 (± 0,06)	0,68 (± 0,07)	0,30 (± 0,04)
<i>Halfordia kendack</i>	2,16 (± 0,74)	0,58 (± 0,17)	2,74 (± 0,50)	0,17 (± 0,06)
<i>Lomandra insularis</i>	0,52 (± 0,13)	0,15 (± 0,06)	0,56 (± 0,14)	0,08 (± 0,03)
<i>Longetia buxoides</i>	0,88 (± 0,14)	0,32 (± 0,14)	1,36 (± 0,21)	0,23 (± 0,05)
<i>Montrouziera sphaeroidea</i>	1,27 (± 0,10)	0,65 (± 0,06)	1,48 (± 0,13)	0,30 (± 0,05)
<i>Osmanthus austro-caledonicus</i>	1,05 (± 0,21)	0,52 (± 0,14)	1,30 (± 0,16)	0,14 (± 0,06)
<i>Scaevola beckii</i>	0,59 (± 0,13)	0,71 (± 0,12)	0,79 (± 0,09)	0,14 (± 0,02)
<i>Wickstroemia viridiflora</i>	0,74 (± 0,17)	0,71 (± 0,22)	0,90 (± 0,14)	0,60 (± 0,17)
<i>Costularia comosa</i>	0,07 (± 0,03)	0,13 (± 0,03)	0,08 (± 0,03)	0,12 (± 0,03)
<i>Lepidosperma perteres</i>	0,14 (± 0,03)	0,24 (± 0,06)	0,19 (± 0,05)	0,07 (± 0,03)
<i>Pteridium aquilinum</i>	0,20 (± 0,11)	0,28 (± 0,17)	0,20 (± 0,02)	0,16 (± 0,02)
<i>Schizaea laevigata</i>	0,16 (± 0,03)	0,15 (± 0,13)	0,16 (± 0,03)	0,12 (± 0,03)

récoltées sur sols bruns. Il apparaît ainsi qu'en dépit d'un meilleur approvisionnement des sols bruns en calcium, les conditions d'alimentation calcique y sont plus défavorables que sur sols ferrallitiques. Des essais en vase de végétation (Jaffré, 1969) ont d'ailleurs montré que l'addition de carbonate de calcium à des cultures d'avoine ou de tomate entraînait une amélioration de la croissance sur sols bruns alors que cet apport était sans effets sur sols ferrallitiques désaturés.

Les mauvaises conditions d'alimentation calcique sont considérées comme le facteur limitant principal de la croissance des plantes sur roches ultrabasiques par divers auteurs (Krukeberg, 1954, Walker, 1954). Toutefois, étant donné que l'alimentation calcique des plantes s'effectue dans de meilleures conditions sur sols ferrallitiques encore plus pauvres en calcium, on ne peut considérer le faible niveau de cet élément dans le sol comme la seule cause des mauvaises conditions d'alimentation calcique des plantes sur sols bruns.

Les teneurs en magnésium des plantes sont peu élevées pour les plantes récoltées sur sols ferrallitiques. Elles sont nettement plus élevées (différence significative au risque de 0,1 %) sur sols bruns, sans atteindre toutefois des valeurs excessives suggérant la possibilité d'une intoxication. Pour chaque plante analysée, l'augmentation de la teneur en magnésium sur sols bruns s'accompagne d'une diminution de la teneur en calcium. Cela indiquerait qu'en Nouvelle-Calédonie, sur sols bruns hypermagnésiens, sur roches ultrabasiques, comme dans d'autres régions du monde (Walker *et al.*, 1955, Lyon *et al.*, 1971, Proctor, 1971, Wild, 1965, Duvigneaud, 1966, Lee *et al.*, 1975), les plantes sont soumises à de mauvaises conditions d'alimentation calcique du fait de la forte prédominance du magnésium sur le calcium. Sur substrat ferrallitique désaturé, généralement pauvre en Mg, les conditions d'alimentation calcique des plantes ne constituent pas le facteur limitant prépondérant.

Teneurs en nickel, chrome et cobalt.

Comparées aux teneurs moyennes des sols normaux (Ni 40 ppm, Co 10 ppm, Cr 200 ppm, d'après Brooks (1972), les teneurs en ces 3 éléments des sols des stations étudiées (tabl. V) sont très élevées (1). Les teneurs en nickel sont assez variables d'une station à l'autre mais sont en moyenne moins élevées dans les sols ferrallitiques désaturés que dans les sols bruns. Les teneurs en cobalt sont du même ordre de grandeur dans les deux types de sols. Les teneurs en chrome sont moins élevées dans les sols bruns que dans les sols ferrallitiques où elles dépassent parfois 12 %.

(1) Il s'agit ici de teneurs en éléments totaux.

TABLEAU V
TENEURS EN NICKEL, CHROME ET COBALT DES SOLS DES STATIONS SUR SOLS BRUNS
ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURES

	Sols bruns			Sols ferrallitiques				
	Ni Eléments totaux en %	Cr Eléments totaux en %	Co Eléments totaux en %	Ni (ppm) extrait par NH ₄ CH ₃ COO Normal à PH7	Ni Eléments totaux en %	Cr Eléments totaux en %	Co Eléments totaux en %	Ni (ppm) extrait par NH ₄ CH ₃ COO Normal à PH7
Valeurs moyennes	0,50	1,04	0,05	43,85	0,27	5,16	0,05	2,39
Valeurs extrêmes enregistrées	0,29 0,88	0,05 2,55	0,03 0,10	18,00 104,00	0,08 0,52	2,15 12,48	0,01 0,09	0 9,5

TABLEAU VI
TENEURS MOYENNES EN NICKEL, CHROME ET COBALT DES FEUILLES DE 14 ESPECES DES STATIONS SUR
SOLS BRUNS ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURES

	Sols bruns			Sols ferrallitiques		
	Ni en ppm de la mat. sèche	Cr en ppm de la mat. sèche	Co en ppm de la mat. sèche	Ni en ppm de la mat. sèche	Cr en ppm de la mat. sèche	Co en ppm de la mat. sèche
<i>Acacia spirorbis</i>	32 (± 16)	< 2	< 2	11 (± 8)	4,5 (± 9,1)	3,0 (± 2,4)
<i>Alphitonia neo-caledonica</i>	36 (± 10)	3,1 (± 2,6)	< 2	27 (± 9)	3,8 (± 2,6)	< 2
<i>Codia montana</i>	90 (± 56)	5,1 (± 6,3)	7,6 (± 2,6)	95 (± 41)	6,8 (± 3,5)	27,0 (± 12)
<i>Halfordia kendack</i>	17 (± 8)	< 2	2,5 (± 0,2)	13 (± 8)	< 2	4,1 (± 3,7)
<i>Lomandra insularis</i>	15 (± 11)	< 2	< 2	11 (± 10)	< 2	< 2
<i>Longetia buxoides</i>	20 (± 12)	< 2	< 2	8 (± 3)	< 2	2,1 (± 1,4)
<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>	40 (± 37)	< 2	< 2	17 (± 12)	< 2	< 2
<i>Osmanthus austro-caledonicus</i>	20 (± 11)	< 2	< 2	7 (± 1)	3,0 (± 3,0)	< 2
<i>Scaevola beckii</i>	54 (± 73)	< 2	< 2	27 (± 16)	< 2	< 2
<i>Wickstroemia viridiflora</i>	23 (± 8)	< 2	< 2	13 (± 4)	2,0 (± 2,0)	2,7 (± 3,7)
<i>Costularia comosa</i>	28 (± 50)	5,55 (± 1,45)	< 2	9 (± 4)	< 2	< 2
<i>Lepidosperma perteres</i>	14 (± 9)	3,05 (± 2,11)	< 2	14 (± 12)	< 2	< 2
<i>Pteridium aquilinum</i>	8 (± 6)	< 2	< 2	6 (± 5)	< 2	< 2
<i>Schizaea laevigata</i>	112 (± 60)	< 2	< 2	4 (± 3)	2,3 (± 1,0)	< 2

Dans les plantes (tableau VI), les teneurs en nickel des espèces analysées sont nettement supérieures aux teneurs habituelles (0,1 à 5 ppm, Vansselow, 1966), mais elles sont cependant très inférieures aux teneurs (> 1 %) signalées chez certaines espèces néo-calédoniennes, (Brooks *et al.*, 1974, Jaffré-Schmid 1974, Jaffré *et al.*, 1976). Pour la presque totalité des espèces, les teneurs en nickel sont plus élevées dans les stations sur sols bruns que dans les stations sur sols ferrallitiques désaturés, la comparaison statistique des moyennes donnant une différence significative au risque de 5 %.

La comparaison des quantités de nickel extraites par l'acétate d'ammonium normal à pH 7 du sol de quelques-unes des stations (tabl. V) avec les quantités extraites par la même méthode dans des sols s'étant révélés toxiques pour des cultures d'avoine (16 ppm, Anderson *et al.*, 1974, 39 ppm, Crook, 1956), indique que des risques de toxicité existent dans certaines stations sur sols bruns, mais semblent exclus sur sols ferrallitiques désaturés.

Les teneurs en cobalt sont peu élevées (inférieures à 5 ppm), excepté chez *Codia montana* (27 ppm sur sols ferrallitiques) qui accumule cet élément. D'une façon générale, pour les teneurs supérieures à 2 ppm, les teneurs observées chez une espèce sont légèrement plus élevées sur sols ferrallitiques désaturés que sur sols bruns. Ainsi le cobalt serait plus disponible pour les plantes dans le cas des sols ferrallitiques.

Les teneurs en chrome sont pour plusieurs espèces légèrement supérieures aux teneurs généralement observées dans les plantes poussant sur sols normaux (2 ppm, d'après Pratt, 1966) ; mais elles ne sont pas comparables aux teneurs énormes signalées chez certaines espèces croissant sur roches ultrabasiques en Rhodésie (48 000 ppm rapporté au poids de cendres dans *Sutera fodina* (Wild, 1974).

Les teneurs en cobalt et en chrome des plantes étudiées ici ne permettent donc pas de mettre en évidence l'existence de risques de toxicité dans les biotopes étudiés. Toutefois, concernant le chrome élément peu mobile dans la plante, il conviendrait d'étudier les teneurs des tissus racinaires.

Teneurs en Fer et en Manganèse.

Le fer se trouve en quantités importantes dans les deux types de substrats (tabl. VII). Dans les sols ferrallitiques, où il dépasse souvent 50 %, c'est toujours l'élément le mieux représenté. Les teneurs en manganèse (tabl. VII) sont très variables d'une station à l'autre. Les valeurs moyennes sont sensiblement identiques dans les deux types de substrats. Ces valeurs sont d'une façon générale supérieures aux teneurs moyennes des sols normaux (0,08 % d'après Brooks, 1972.)

TABLEAU VII

TENEURS EN FER ET EN MANGANESE
DES SOLS DES STATIONS SUR SOLS BRUNS
ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURÉS

	Sols bruns		Sols ferrallitiques	
	Fe en %	Mn en %	Fe en %	Mn en %
Valeurs moyennes	14,69	0,36	46,88	0,33
Valeurs extrêmes enregistrées	6,2 25,0	0,13 0,92	34,00 56,00	0,13 0,64

Dans les plantes (tabl. VIII), le fer se trouve à des teneurs normales et ne diffère pas significativement d'un biotope à l'autre.

Toutes les espèces analysées ont des teneurs en manganèse plus élevées sur sols ferrallitiques que sur sols bruns. Ces teneurs sont normales pour les plantes récoltées sur sols bruns ; elles sont relativement élevées pour les plantes récoltées sur sols ferrallitiques. Ces résultats témoignent d'une plus grande disponibilité du manganèse dans les sols ferrallitiques désaturés, qui peuvent ainsi se révéler toxiques pour les espèces sensibles à cet élément. Les teneurs en manganèse des deux types de substrats étant du même ordre de grandeur, ce fait est lié vraisemblablement à l'acidité des sols ferrallitiques désaturés. Le manque de SiO₂ dans ces mêmes sols (tabl. IX) serait aussi un facteur favorable à l'intoxication des plantes par le manganèse. Vlamis, (1966), a en effet montré que la toxicité du manganèse pouvait augmenter pour certaines espèces en absence de SiO₂.

Teneurs en silice.

Les teneurs en silice (tabl. IX) sont relativement élevées dans les sols bruns. Dans les sols ferrallitiques désaturés elles sont très basses, d'autant plus basses d'ailleurs que le sol est plus désaturé, étant inférieures à 1 % pour la majorité des stations étudiées.

Dans les plantes (tabl. X), les teneurs en SiO₂ varient beaucoup suivant les espèces ; mais elles sont pour une même espèce plus élevées dans le cas des plantes croissant sur sols bruns que dans celui des plantes croissant sur sols ferrallitiques.

Bien que la silice ne soit pas considérée comme un élément indispensable à la vie de la majorité des espèces végétales, on peut se demander si le manque de SiO₂ dans les sols ferrallitiques les plus désaturés ne gêne pas le développement de certaines espèces dont les tissus sont normalement riches en cet élément.

TABLEAU VIII

TENEURS MOYENNES EN FER ET EN MANGANESE DES FEUILLES DES 14 ESPECES DES STATIONS SUR SOLS BRUNS ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURES

	Sols bruns		Sols ferrallitiques	
	Fe en ppm de la mat. sèche	Mn en ppm de la mat. sèche	Fe en ppm de la mat. sèche	Mn en ppm de la mat. sèche
<i>Acacia spirorbis</i>	73 (± 21)	57 (± 21)	139 (± 73)	310 (± 240)
<i>Alphitonia neo-caledonica</i>	199 (± 77)	130 (± 33)	240 (± 170)	330 (± 114)
<i>Codia montana</i>	56 (± 9)	40 (± 15)	75 (± 37)	1 312 (± 583)
<i>Halfordia kendack</i>	74 (± 27)	32 (± 10)	46 (± 40)	77 (± 39)
<i>Lomandra insularis</i>	60 (± 24)	86 (± 28)	76 (± 54)	317 (± 334)
<i>Longetia buxoides</i>	56 (± 44)	85 (± 55)	84 (± 80)	2 870 (± 745)
<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>	76 (± 24)	21 (± 12)	46 (± 24)	96 (± 26)
<i>Osmanthus austro-caledonicus</i>	98 (± 38)	27 (± 7)	106 (± 137)	50 (± 31)
<i>Scaevola beckii</i>	65 (± 41)	20 (± 17)	36 (± 21)	589 (± 178)
<i>Wickstroemia viridiflora</i>	87 (± 31)	109 (± 52)	93 (± 47)	1 730 (± 417)
<i>Costularia comosa</i>	125 (± 27)	33 (± 7)	78 (± 21)	80 (± 36)
<i>Lepidosperma perteres</i>	77 (± 23)	137 (± 39)	36 (± 15)	1 034 (± 558)
<i>Pteridium aquilinum</i>	47 (± 25)	24 (± 11)	58 (± 2,3)	364 (± 127)
<i>Schizaea laevigata</i>	63 (± 19)	9 (± 2)	97 (± 76)	43 (± 29)

TABLEAU IX

TENEURS MOYENNES EN SILICE ET PH MOYEN DES SOLS DES STATIONS SUR SOLS BRUNS ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURES

	Sols bruns		Sols Ferrallitiques	
	SiO ₂ en %	PH	SiO ₂ en %	PH
Valeurs moyennes	33,25	6,75	0,91	4,91
Valeurs extrêmes enregistrées	12,8 46,59	6,40 7,00	0,50 2,12	4,4 5,8

Ainsi pourrait s'expliquer l'absence de Cypéracées dans certaines stations dont les sols sont pratiquement dépourvus de SiO₂.

CONCLUSION.

L'analyse du sol et des plantes d'une station sur sols ferrallitiques de la région de Népoui avait amené Birrell et Wright (1945), d'une part, à mettre en évidence une carence en phosphore sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie, d'autre part, à attribuer

TABLEAU X
TENEURS MOYENNES EN SILICE
DES FEUILLES DE 14 ESPECES
DES STATIONS SUR SOLS BRUNS
ET SUR SOLS FERRALLITIQUES DESATURES

	Sols bruns	Sols ferrallitiques
	SiO ₂ en %	SiO ₂ en %
<i>Acacia spirorbis</i>	0,20 (± 0,10)	< 0,1
<i>Alphitonia neo-caledonica</i>	0,24 (± 0,11)	< 0,1
<i>Codia montana</i>	6,04 (± 1,14)	0,39 (± 0,14)
<i>Halfordia kendack</i>	0,35 (± 0,11)	< 0,1
<i>Lomandra insularis</i>	< 0,1	< 0,1
<i>Longetia buxoides</i>	0,27 (± 0,05)	< 0,1
<i>Montrouziera sphaeroidea</i>	0,31 (± 0,04)	< 0,1
<i>Osmanthus austro-caledonicus</i>	0,21 (± 0,07)	< 0,1
<i>Scaevola beckii</i>	0,20 (± 0,18)	< 0,1
<i>Wickstroemia viridiflora</i>	0,15 (± 0,05)	< 0,1
<i>Costularia comosa</i>	6,35 (± 1,86)	< 0,1
<i>Lepidosperma perteres</i>	6,44 (± 1,17)	0,76 (± 1,30)
<i>Pteridium aquilinum</i>	7,69 (± 4,28)	1,49 (± 0,74)
<i>Schizaea laevigata</i>	6,89 (± 1,18)	1,76 (± 0,99)

aux fortes teneurs en nickel et en chrome du milieu la différenciation de la végétation particulière à ces zones. La présente étude qui porte sur la composition minérale de plantes récoltées dans un grand nombre de stations sur sols ferrallitiques désaturés et sur sols bruns hypermagnésiens, réparties sur l'ensemble du domaine ultrabasiques néocalédonien, confirme pour les deux types de milieux considérés les mauvaises conditions d'alimentation en phosphore des plantes. Elle fait ressortir également les mauvaises conditions d'alimentation en azote, en soufre et en potassium.

Bien que le nickel et le chrome soient à des teneurs anormalement élevées dans les sols et à des teneurs supérieures aux teneurs les plus courantes dans les

plantes, nos résultats ne nous permettent pas d'attribuer à ces deux éléments un rôle général dans l'infertilité des sols et dans la différenciation d'une flore particulière sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. En effet, si le rôle limitant du nickel peut être considéré comme probable dans la majorité des stations sur sols bruns, il ne peut l'être pour les stations sur sols ferrallitiques désaturés. Observons que les très fortes teneurs en nickel des sols et de diverses espèces végétales relevées parfois, mènent à penser que le nickel joue un rôle sélectif important dans des sites particuliers. C'est le cas de stations sur sols érodés (Jaffré, 1969), sur anciens travaux miniers (Jaffré, 1974), sur sols alluviaux riches en matière organique (Jaffré *et al.*, 1976) où le nickel se trouve, soit à de très fortes concentrations soit à des taux élevés sous forme assimilable pour la plante.

Les teneurs en cobalt des sols et celles des plantes ne sont pas suffisamment élevées pour qu'on puisse préjuger de risques d'effets toxiques liés à la présence de cet élément.

Quant au chrome, en l'absence d'analyses de tissus racinaires, les résultats que nous possédons ne nous permettent pas de conclure à son rôle sur la végétation.

Il ressort aussi de cette étude que sur les sols bruns hypermagnésiens, les plantes ont à faire face à des conditions d'alimentation calcique très défavorables, dues à la conjonction de teneurs excessives en magnésium et de teneurs très basses en calcium. Sur sols ferrallitiques, malgré les faibles teneurs en calcium, l'alimentation calcique s'effectue dans de meilleures conditions, les teneurs en Mg étant généralement très basses. Du point de vue phyto-édaphique, les sols bruns apparaissent donc comme des milieux dystrophes et les sols ferrallitiques désaturés comme des milieux oligotrophes.

Sur sols ferrallitiques désaturés il existe aussi un risque de toxicité en manganèse dû conjointement à de faibles teneurs en silice et à la relative acidité du milieu.

La pauvreté en silice des sols ferrallitiques peut aussi gêner le développement des espèces qui normalement en absorbent beaucoup.

Il apparaît donc, comme l'ont montré différents auteurs pour d'autres régions du monde. (Krauss, 1958, Lyon *et al.* 1971, Duvigneaud, 1966), que la vie végétale sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie est affectée par un ensemble de facteurs défavorables à la nutrition minérale des plantes. Ceux-ci sont plus spécifiques et davantage liés au substrat ultrabasique sur sols bruns que sur sols ferrallitiques désaturés où les conditions de nutrition minérale rappellent le cas assez général des sols très lessivés en milieux tropicaux. Ainsi s'expliquerait que la flore des sols bruns soit plus étroitement spécialisée que celle des sols ferrallitiques.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM, le 28 avril 1976.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON (A.J.), MEYER (D.R.), MAYER (F.K.), 1973. — Heavy metal toxicity. Levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. *Austr. J. Agric. Res.*, 24 : 557-571.
- BIRRELL (K.S.) and WRIGHT (A.C.S.), 1954. — A serpentine soil in New Caledonia. *New Zealand J. Sci. and Technol.*, 271 : 72-76.
- BROOKS (R.R.), 1972. — Geobotany and Biogeochemistry in mineral exploration Harper and Row - New York, 190 p.
- BROOKS (R.R.), LEE (J.), JAFFRÉ (T.), 1974. — Some New Zealand and New Caledonian plant accumulators of nickel. *J. Ecol.*, 62 : 493-499.
- CROOK (W.M.), 1956. — Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. *Soil. Sci.*, 81 : 269-276.
- DUVIGNEAUD (P.), 1966. — Notes sur la biogéochimie des serpentines du Sud-Ouest de la France. *Bull. Soc. Roy. Belg.*, 99 : 239-271.
- JAFFRÉ (T.), 1969. — Recherches sur la végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. ORSTOM/Nouméa, 30 p. multigr.
- JAFFRÉ (T.), LATHAM (M.), QUANTIN (P.), 1971. — Les sols des massifs miniers de Nouvelle-Calédonie et leur relation avec la végétation. ORSTOM/Nouméa, 26 p. multigr.
- JAFFRÉ (T.), 1970. — Les groupements végétaux des sols miniers de basse altitude du sud de la Nouvelle-Calédonie. ORSTOM/Nouméa, 21 p. multigr.
- JAFFRÉ (T.), 1973. — Variations de la compositions floristique et de la structure de la végétation du massif du Boulinda en fonction du substrat édaphique et de l'altitude. Note présentée au Colloque d'écologie de la Pacific Science Association, Guam, mai 1972, 9 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.), LATHAM (M.), 1974. — Contribution à l'étude des relations sol-végétation sur un massif de roches ultrabasiques de la côte Ouest, de la Nouvelle-Calédonie : Le Boulinda. *Adansonia*, sér. 2, vol. 14, n° 3 : 311-336.
- JAFFRÉ (T.), SCHMID (M.), 1974). — Accumulation du nickel par un rubiacée de Nouvelle-Calédonie. *Psychotria douarrei* (G. Beauvisage) Daniker. *C. R. acad. Sc., Paris*, t. 278, Sér. D 1727-1730.
- JAFFRÉ (T.), BROOKS (R.R.), LEE (J.), REEVES (R.D.), 1976. — *Sebertia acuminata* a Hyperaccumulator of nickel from New Caledonia. *Science*, vol. 193, n° 4253 : 579-580.
- KRAUSE (W), 1958. — *Andere Bodenspezialister 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.
- LATHAM (M.), 1972. — Etude préliminaire du potentiel Agropédologique de la région de Koné-Voh-Témala, ORSTOM/Nouméa, 12 p. multigr.
- LATHAM (M.), 1975. — Les sols d'un massif de roches ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie. Le Boulinda. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIII, n° 1 : 27-40, n° 2 : 159-172.
- LEE (J.), BROOKS (R.R.), REEVES (R.D.), BOSWELL (L.R.), 1975. — Soil factors, controlling a New Zealand serpentine flora. *Plant and Soil*, 1975, 41 (1) : 153-160.
- LYON (G.L.), PETERSON (P.J.), BROOKS (R.R.), BUTLER (G.W.), 1971. — Calcium magnesium and trace elements in a New Zealand Flora. *J. Ecol.*, 59 : 421-429.
- PRATT (P.F.), 1966. — Chromium in Diagnostic criteria for plants and soils (Ed. Chapman, H.D.) ; 136-141. Univ. of California, Div. Agr. Sciences.
- PROCTOR (J.), 1971. — The plant ecology of serpentine. III. The influence of a high Mg/Ca ratio, and high nickel and chromium levels in some British and swedish serpentine soils. *J. Ecol.*, 59 : 827-842.
- QUANTIN (P.), 1969. — Note sur la fertilité de quelques sols de Nouvelle-Calédonie. ORSTOM/Nouméa, 11 p. multigr.
- SCHMID (M.), 1974. — Végétation et Flore de Nouvelle-Calédonie. Dossier du Pacifique (Société des Océanistes). Archives du Centre ORSTOM de Nouméa.
- SCHWARTZ (D.), 1963. — Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Flammarion, Paris, 276 p.
- TRESCASES (J.J.), 1969. — Premières observations sur l'altération des Péridotites en Nouvelle-Calédonie. Pédologie, Géochimie, Géomorphologie. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. 1, n° 1 : 27-57.
- VANSELOW (A.P.), 1966. — Nickel in Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. Chapman, H.D. 302-309. Univ. of California. Div. Agr. Sciences.
- VERLIÈRE (G.), 1974. — Etude de la croissance et de la nutrition minérale du chêne gomme (*Arillastrum gummiferum*) sur quelques sols calédoniens. *ORSTOM/Nouméa*, 18 p. multigr.

- VIROT (R.), 1956. — La végétation canaque. *Mém. Mus. Hist. Nat., sér. Botanique*, t. VIII, 388 p.
- VLAMIS (J.), EMERTON (W.), 1967. — Manganese and Silicon interaction in the gramineae. *Plant and Soil*, XXVII, n° 1 : 131-139.
- WALKER (R.B.), WALKER (H.M.), ASHWORTH (P.R.), 1955. — Calcium magnesium nutrition with special reference to serpentine soils. *Pl. Physiol.*, Lancaster 30 : 214-221.
- WALKER (R.B.), 1954. — The ecology of serpentine soils. III. Factors affecting plant growth in serpentine soils. *Ecology*, 35 : 359-266.
- WILD (H.), 1965. — The flora of the Great Dyke of southern Rhodesia with special reference to the serpentine soils. *Kirkia*, 5 : 49-86.
- WILD (H.), 1974. — Indigenous plants and chromium in Rhodesia. *Kirkia*, 9 : 233-241.