

LA VÉGÉTALISATION DES ANCIENS SITES MINIERS

Tanguy JAFFRÉ
Frédéric RIGAULT
ORSTOM (Nouvelle-Calédonie)
Jean-Michel SARRAILH
CIRAD-Forêt (Nouvelle-Calédonie)

Essai sur décharge stabilisée — site de Kongouhaou, 650 m (*Acacia spirorbis*, *Casuarina collina*...). Au 1^{er} plan, avec apport de terre graveillonnaire et au 2^e plan, sans apport de terre.

Revegetation trial of stabilised mine waste — Kongouhaou site, 650 m altitude (Acacia spirorbis, Casuarina collina...). Foreground, with addition of gravelly soil. Background, without addition of soil.



La restauration des paysages et la fixation des zones dénudées en Nouvelle-Calédonie passent par le repeuplement végétal des anciens sites miniers.

Cet article présente les essais et les résultats obtenus depuis une vingtaine d'années en utilisant des espèces de la flore locale.

SITUATION ET CONDITIONS DU MILIEU

LES EXPLOITATIONS MINIÈRES ET LES OBJECTIFS DE LA VÉGÉTALISATION

La production minière du nickel de Nouvelle-Calédonie, de 3 à 4 millions de tonnes de minerai par an, se situe au 3^e rang mondial après l'ex-U.R.S.S. et le Canada, à côté de l'Australie et de l'Indonésie.

L'exploitation du minerai, qui s'effectue à ciel ouvert, a débuté dès 1870. Elle implique le décapage de centaines d'hectares et l'ouverture de nombreuses pistes d'accès aux zones de prospection et d'exploitation.

Les effets néfastes de l'exploitation minière sur l'environnement en Nouvelle-Calédonie ont été signalés par DUGAIN (1953), VIROT (1956) et analysés par JAFFRÉ et LATHAM (1977), DUPON (1983), BIRD, DUBOIS et ILTIS (1984).

L'évolution des moyens mécaniques permettant des décapages et des déplacements de matériaux aux quantités de plus en plus importantes a amené les sociétés minières à rechercher et à mettre en œuvre des méthodes d'exploitation moins destructrices, limitant considérablement les risques de pollution : mise en décharge stable des matériaux de décapage, édification de barrages faisant office de décanteurs, ouverture de pistes à la pelle mécanique permettant de conserver un merlon naturel, etc. (PELLETIER, 1990 a et b).

Il demeure toutefois que l'ouverture des pistes d'accès et l'exploitation minière elle-même, qui nécessite le décapage des horizons supérieurs ou « stériles » ainsi que le stockage en décharges contrôlées dans des sites initialement couverts d'une végétation, ont eu deux corollaires :

d'une part, l'accroissement des surfaces dénudées, inesthétiques, sensibles à l'érosion et source de pollution lors des fortes pluies et, d'autre part, un risque de disparition de certains écosystèmes qui contribuent à la richesse et à la diversité exceptionnelles de la Nouvelle-Calédonie. En effet, pour la seule flore des phanérogames, les terrains miniers comptent plus de 1 800 espèces dont 1 150 leur sont strictement liées (JAFFRÉ *et al.*, 1987).

La restauration des paysages et la fixation en surface des zones dénudées passent obligatoirement, une fois réalisés les travaux de génie civil nécessaires à la fixation en masse des matériaux et à l'écoulement contrôlé des eaux, par le repeuplement végétal (ou « végétalisation ») des anciens sites miniers.

Cette opération a pour but de réguler les débits hydriques, de limiter le ravinement du sol et l'entraînement de matériaux terreux par les eaux de ruissellement, de réhabiliter de manière durable les paysages et les écosystèmes dans leurs fonctions et leurs qualités, et de restaurer à plus ou moins long terme la diversité biologique.

L'obtention de résultats rapides, la disponibilité des semences, du matériel végétal en pépinière et la nature des sites ont fortement pesé sur les travaux de végétalisation qui ont été menés jusqu'à ce jour. Les essais entrepris et les résultats obtenus sont également fonction des conditions édaphiques extrêmement variables.

LES CONDITIONS ÉDAPHIQUES

Le minerai de nickel de Nouvelle-Calédonie est lié à l'altération de péridotites et se situe à la base du manteau d'altération. Lorsque les péridotites sont partiellement altérées, elles forment des saprolites. Localement très enrichies en nickel, elles constituent le minerai exploité en Nouvelle-Calédonie.

Les « latérites » (sols ferralitiques ferriques : LATHAM, 1976) correspondent à une altération plus avancée des péridotites ; elles se trouvent au-dessus des saprolites et sont parfois recouvertes d'une cuirasse ferralitique représentant alors le terme ultime de l'altération qui se traduit par le départ de la magnésie et un enrichissement résiduel en fer.

Selon la nature des matériaux mis à nu, les caractéristiques chimiques sont très différentes (tableau I).

Les saprolites ainsi que les latérites jaunes, qui se trouvent dans le profil pédologique immédiatement au-dessus des saprolites, sont anormalement riches en magnésium et en nickel. Les latérites rouges qui les recouvrent sont moins riches en magnésium et ont un pH nettement acide.

Les différentes catégories de matériaux rencontrés, décrits et classés selon leur nature et leur situation par JAFFRÉ et LATHAM (1976) et JAFFRÉ et RIGAUT (1991), ont toutefois en commun des teneurs très faibles en phosphore (< 50 ppm), en potassium (< 0,03 %) et en calcium (< 0,30 %). Les conditions de nutrition calcique sont de surcroît, comme ce fut le cas pour d'autres substrats, issus de roches ultramafiques en Nouvelle-Calédonie (JAFFRÉ, 1976), particulièrement défavorables lorsque les teneurs en magnésium sont excessives. En

outre, ces différents matériaux dénudés sont très pauvres en matière organique et en azote. Ceux-ci sont en effet cantonnés dans les horizons supérieurs des sols en place qui ne représentent qu'une faible proportion du profil pédologique dont l'épaisseur, avant décapage et remaniement, dépasse souvent 3 à 4 m et peut atteindre jusqu'à 30 m.

CONDITIONS CLIMATIQUES

La Nouvelle-Calédonie bénéficie d'un climat tropical atténué par l'influence océanique (PÉGUY, 1970). La température moyenne annuelle est de 23,5 °C à Nouméa. Les minima journaliers en saison fraîche, de juin à août, sont de l'ordre de 15 °C et les maxima en saison chaude (décembre à mars) dépassent 32 °C.

La pluviosité annuelle moyenne est de 1 700 mm, mais les précipitations varient considérablement d'un secteur à l'autre. Aussi, les sites d'exploitation minière répartis sur l'ensemble de la Grande Terre, de 200 à plus de 1 000 m d'altitude, sont-ils soumis à des précipitations qui n'atteignent pas 1 300 mm par an pour certains secteurs de la côte ouest tandis qu'elles dépassent 3 000 mm dans le sud de l'île et au voisinage de certains sommets exposés aux alizés.

La pluviosité, qui est très largement fonction des pluies cycloniques af-

fectant généralement la Nouvelle-Calédonie de décembre à mars, est très variable suivant les années. Aussi lorsque la zone de basses pressions équatoriales, source des précipitations cycloniques, n'atteint pas la Nouvelle-Calédonie, l'été, extrêmement sec, prolonge la période sèche ordinaire, entraînant plus de six mois consécutifs de sécheresse. Ces conditions extrêmes et irrégulières (fortes précipitations cycloniques et épisodes excessivement secs) sont une caractéristique majeure du climat dont il faut tenir compte pour l'exécution des travaux de végétalisation.

LE PROCESSUS NATUREL DE LA VÉGÉTALISATION

Le processus naturel de la végétalisation des zones étudiées est excessivement lent et demeure incomplet après plusieurs dizaines d'années si l'horizon humifère n'a pas été partiellement préservé. La reconquête végétale des zones touchées par l'activité minière est toujours plus importante sur les latérites que sur les saprolites. Dans le second cas, le peuplement végétal, souvent absent, a un taux de recouvrement qui n'excède pas 20 % même lorsqu'il s'agit de mines, comme celles du Koniambo, exploitées au début du siècle (JAFFRÉ, 1974).

Les espèces pionnières, qui s'installent sur les zones dénudées, généralement dans des microsites protégés du vent et d'un trop fort ensoleillement, appartiennent à la flore des groupements ligno-herbacés des sols érodés de crêtes ou de pentes sur péridotites ou serpentinites. Ce sont, pour la plupart, des espèces à croissance lente hormis quelques espèces ligneuses à comportement souvent grégaire (*Casuarina collina*, *Alphitonia neocaledonica*, *Dodonaea viscosa*, *Acacia spirorbis*, *Carpolepis laurifolia*).

TABLEAU I
COMPOSITION MINÉRALE D'UNE PÉRIDOTITE
ET DE SES DIFFÉRENTS FACIÈS D'ALTÉRATION
D'APRÈS PELLETIER, 1990

	SiO ₂ %	Mg %	FeO %	Fe ₂ O ₃ %	Ni %
Péridotites (Harzburgites)	41	43	7		0,3
Saprolites	35-45	15-35		10-25	0,1-5
Latérites	1-5	1-3		68-72	0,8-1,5
Cuirasse	1-2	0,5-1,5		75-77	0,5

ESSAIS DE VÉGÉTALISATION

La végétalisation des anciens sites miniers a fait l'objet de recherches en laboratoire et d'expérimentations sur sites par le C.T.F.T. (CIRAD-Forêt) et par l'ORSTOM avec le soutien financier des sociétés minières (S.L.N. *, INCO, AMAX) et plus récemment de la Province Sud dans le cadre d'un contrat de développement Etat-Province Sud. En outre des réalisations à plus grande échelle, consistant généralement à recouvrir les substrats dénudés par une terre fertile, ont été réalisées sur

plusieurs sites miniers par la S.L.N. (PELLETIER, 1992) et par la CIDER Nord (PAPINEAU, 1993) ; la localisation des essais est donnée sur la carte ci-dessous.

Si de nombreux travaux de végétalisation de sites miniers ont été réalisés en zone tempérée (WILLIAMSON, JOHNSON, BRADSHAW, 1982 ; SENDLEIN, YAZICIGIL, CARLSON, 1983 ; BRADSHAW, 1984 a, b ; JORDAN, GELPIN, ABER, 1987 ; CAIRNS, 1988 ; RAVERA, 1989 ; MAMAN, OBERLINKELS, NIEL, 1989), ils demeurent encore très rares et souvent confidentiels en zone tropicale.

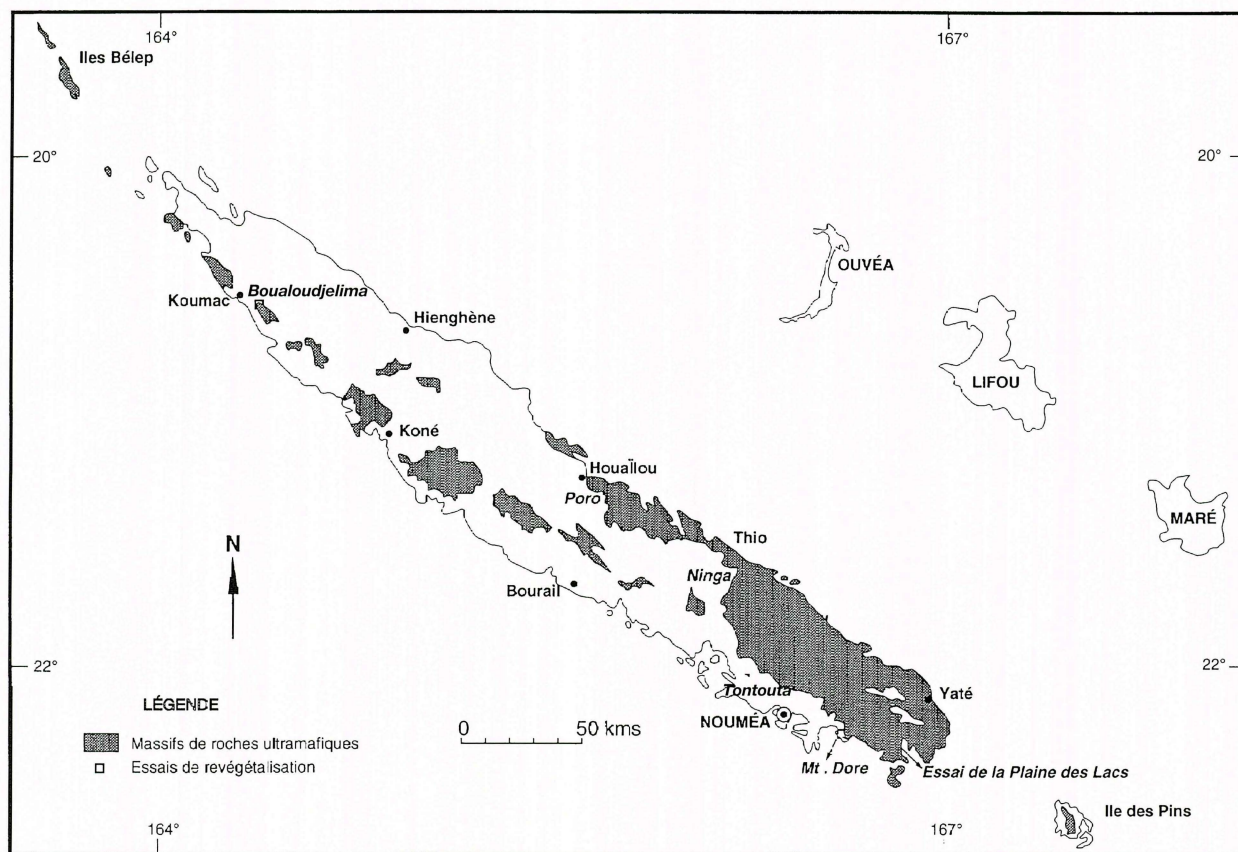
Les différents essais réalisés en Nouvelle-Calédonie seront exposés par catégorie de techniques employées et par type de substrats. Les travaux

basés sur un apport de terres d'alluvions seront traités brièvement tandis que les méthodes s'appuyant sur le choix d'un matériel végétal adapté aux conditions du milieu seront davantage développées.

SUR DES SURFACES RECOUVERTES DE TERRE HUMIFÈRE

Cette technique est couramment utilisée pour végétaliser des substrats très toxiques, fortement acides ou basiques s'opposant à toute vie végétale. Elle a été employée en Nouvelle-Calédonie pour obtenir un reverdissement rapide de zones sensibles. Elle ne peut toutefois s'appliquer qu'à des périmètres limités compte tenu des coûts élevés.

* Société Le Nickel.



Localisation des sites d'essai.

Distribution of ultramafic massifs and revegetation trial sites.

Sur le site de SMMO 43 (région de La Tontouta à 380 m d'altitude), l'utilisation de cette technique par la S.L.N. a permis l'implantation naturelle, à partir du seul potentiel séminal du sol d'alluvions, de nombreux pieds de *Dodonaea viscosa* (Sapindacée), d'*Acacia spirorbis* (Légumineuse), de *Scaevola montana* (Goodeniaceae) et de plusieurs graminées. Elle a également favorisé la croissance de *Casuarina collina* (Casuarinacée) planté en bordure.

Le même phénomène s'observe sur le site de Boualoudjélina, à une altitude de 200 m, où l'on assiste également au bon développement de *Casuarina collina* et à l'implantation de nombreuses adventices (*Stachytarpheta urticaefolia*, *Mimosa invisa*...). Un bon développement d'*Acacia spirorbis* est également observé à Poro dans les mêmes conditions (C.T.F.T., 1978).

L'utilisation de cette technique améliore la performance des espèces locales pionnières mais ne permet pas la progression de la végétation au-delà des zones amendées, ni une véritable fixation du sol car les racines ne s'étendent pas au substrat minier sous la couche de terre rapportée.

Le recouvrement de déblais miniers par de la terre humifère, provenant du décapage effectué à l'ouverture de la mine, a été réalisé sur plusieurs sites par la S.L.N. Cette opération, si elle favorise l'implantation des espèces, doit être accompagnée de

plantations ou d'ensemencements pour assurer efficacement la végétalisation du site. En outre, le décapage de la seule couche humifère et son épandage, sans stockage préalable toujours néfaste, demandent des conditions qui ne sont pas dans tous les cas réalisables sur mine. Elle ne peut en outre concerner que des surfaces limitées.

Le meilleur résultat obtenu par cette technique s'observe pour un essai du C.T.F.T. (CIRAD-Forêt) et de la S.L.N. réalisé en 1979 à 650 m d'altitude sur un massif du Kongouhaou, où des plantations d'*Acacia spirorbis* et d'*Araucaria spp.* donnent de bons résultats sur une décharge minière recouverte de 50 cm de sol gravillonnaire de surface.

RÉALISÉS DIRECTEMENT SUR DÉBLAIS MINIER

On traitera d'abord des essais de plantations, puis d'ensemencements qui seront présentés par grandes catégories de substrats.

Essais de plantations

On abordera successivement les essais sur substrats ferralitiques ferritiques désaturés (latérites rouges et sols gravillonnaires), puis les essais sur matériaux à dominante de latérites jaunes peu désaturées et enfin ceux réalisés sur saprolites corres-

pondant à des matériaux peu altérés.

La plupart des essais ont été réalisés sur des substrats plus ou moins compactés qu'il a donc été nécessaire d'ameubler, avant la plantation, par passage croisé du ripper sur environ 40 cm de profondeur suivant une maille de 1 m.

Sur substrats ferralitiques désaturés

Les essais ont été réalisés par le C.T.F.T. (CIRAD-Forêt) pour le compte des sociétés minières INCO et AMAX dès 1971, dans la région de la Plaine des Lacs, sur les sites des tests d'exploitation de minerais à faibles teneurs (CTFT, 1971 ; BAVARD, 1985 ; CHERRIER, 1990).

Ceux ci sont situés vers 150 m d'altitude dans une zone qui reçoit en moyenne 2 500 mm de pluie par an.

La composition chimique du sol de deux de ces sites est donnée dans le tableau II. On notera le pH acide, les teneurs élevées en fer et moyennement élevées en nickel et en magnésium.

Les essais ont porté sur un grand nombre d'espèces exotiques et quelques espèces locales.

Au moment des plantations, un apport d'engrais complet N, P, K a été réalisé et des apports complémentaires ont été effectués selon les cas, 2 à 6 ans après le début de l'essai.

TABLEAU II
COMPOSITION CHIMIQUE DU SUBSTRAT DE 2 ESSAIS
SUR MATÉRIAU FERRALITIQUE DÉSATURÉ

Site des essais	pH	Fe %	SiO ₂ %	Mg %	Ca %	K %	Ni %	Mn %	Cr %	Co %
1	4,2	52,9	0,01	0,31	< 0,01	< 0,01	0,31	0,09	4,21	0,02
2	4,5	52,4	0,01	0,38	< 0,01	< 0,01	0,57	0,23	3,52	0,04



Essai sur parcelle d'érosion, sur substrat ferralitique désaturé à la Plaine des Lacs (150 m) — Massif du Sud. *Arillastrum gummiiferum* Pancher ex Baillon (Myrtacée), *Gymnostoma deplancheanum* (Miq.) L. Johnson (Casuarinacée), *Pinus caribaea* Morelet (Pinacée), *Alphitonia neocaledonica* (Schltr.) Guillaumin (Rhamnacée).

Revegetation trial on eroded site on ferralitic desaturated substrate at Plaine des Lacs (150 m altitude) — Southern Massif. *Arillastrum gummiiferum* Pancher ex Baillon (Myrtaceae), *Gymnostoma deplancheanum* (Miq.) L. Johnson (Casuarinaceae), *Pinus caribaea* Morelet (Pinaceae), *Alphitonia neocaledonica* (Schltr.) Guillaumin (Rhamnaceae).

□ Résultats

Les meilleurs résultats ont été obtenus pour *Pinus caribaea* et *Pinus sp.* comme espèces exotiques et pour *Casuarina collina* et *Gymnostoma deplancheanum* (Casuarinacées), ainsi que pour *Acacia spirorbis* (Légumineuse) comme espèces locales. Les deux premières dépassent 10 m de hauteur au bout de 15 ans et *Acacia spirorbis* forme des buissons denses de 2 m de haut.

Plusieurs légumineuses exotiques telles que *Acacia auriculiformis*, *Acacia dealbata*, *Paraserianthes falcataria* se sont bien développées

au départ mais ont dépéri au bout de 2 à 5 ans.

Si peu d'espèces se sont implantées sous le couvert de *Pinus caribaea*, *Casuarina collina* et *Acacia spirorbis* en raison de l'accumulation au sol de litière mal décomposée, de nombreuses espèces rudérales (Composées, Graminées, Cypéracées, Fougères) se sont développées au voisinage de l'essai au bénéfice de l'apport d'engrais, attestant du peu de sélectivité du substrat amendé.

Les espèces forestières locales testées comprenant plusieurs *Araucaria*, *Agathis lanceolata* (*Araucaria-*

cées) et *Arillastrum gummiiferum* (Myrtacée) se sont maintenues mais ont eu une croissance lente et ont montré des chloroses attribuables à des carences minérales ou à une mauvaise adaptation aux conditions d'éclairement.

Peu d'espèces arbustives des terrains miniers ont été essayées ; cependant le développement spontané de plusieurs d'entre elles : *Baeckea leratii* (Myrtacée), *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnacée), à proximité de l'essai, laisse penser qu'elles pourraient être utilisées en association avec des espèces exotiques à croissance rapide et à courte durée de vie, jouant le rôle d'espèces relais. Ceci aurait pour but de contribuer à la création d'un milieu humifère et de conditions mésophiles, propices au développement, dans un second temps, d'espèces forestières des terrains miniers telles *Araucaria spp.*, *Agathis lanceolata*, *Arillastrum gummiiferum*, *Neoguillauminia cleopatra*.

Sur substrats à dominante de latérite jaune

Les essais principaux sur ce type de substrat ont été réalisés, dans le cadre de conventions avec la S.L.N., d'une part par l'ORSTOM à Poro (JAFFRÉ ; LATHAM, 1976), d'autre part sur le Kongouhaou par le C.T.F.T. (CHERRIER, 1990).

La composition chimique des substrats est donnée dans le tableau III. On notera par rapport aux substrats précédents des teneurs plus élevées en nickel et en magnésium.

TABLEAU III

COMPOSITION CHIMIQUE DU SUBSTRAT DE 2 ESSAIS
SUR MATÉRIAU À DOMINANTE DE LATÉRITE JAUNE

Site des essais	pH	Fe %	SiO ₂ %	Mg %	Ca %	K %	Ni %	Mn %	Cr %	Co %
Poro-Néaki	6,7	50,42	11,7	0,36	0,01	0,01	1,24	0,36	3,03	0,05
Kongouhaou	6,8	49,25	2,28	3,20	0,01	0,01	1,19	0,62	3,17	0,10

Le site de Poro (décharge de Néaki) est situé à 200 m d'altitude dans un secteur recevant en moyenne 1 800 mm de pluie par an, tandis que celui du Kongouhaou se trouve à 650 m d'altitude et reçoit des précipitations annuelles de l'ordre de 2 000 mm.

Dans les deux cas, un apport d'engrais complet (N, P, K) a été réalisé à la plantation et un second apport a eu lieu au Kongouhaou deux ans plus tard.

A Poro, des parcelles sans engrais avaient été aménagées à titre de témoins.

□ Résultats

- Site de Poro : seul *Acacia spirorbis*, qui se développe naturellement sur sols variés de basse altitude, a eu une bonne reprise et un bon développement mais uniquement sur les parcelles fumées.

Toutes les autres espèces testées : *Pinus caribaea* et 19 espèces locales des terrains miniers comprenant notamment *Casuarina collina*, *Gymnostoma chamaecyparis*, *G. deplancheanum* (Casuarinacées), *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnaceae), *Dodonaea viscosa* (Sapindacée), *Soulamea pancheri* (Simaroubacée), *Carpolepis laurifolia* et *Cloezia artensis* (Myrtacées) ont eu des taux de reprise très faibles (< 10 %) et ont péri au cours de la 2^e année.

Si les conditions d'aridité sont en partie responsables du manque de

réussite de plusieurs espèces *a priori* adaptées à ces conditions de substrat, l'échec est aussi dû probablement, comme en témoigne le faible taux de reprise, au manque de robustesse des plants qui avaient été maintenus trop longtemps en pépinière avant la plantation.

- Site du Kongouhaou : seuls *Acacia spirorbis* et *Casuarina collina* ont manifesté un bon développement. Cette dernière espèce dépasse 8 m de haut au bout de 15 ans et produit une abondante litière. En outre, son efficacité pour maintenir le sol est accrue par la production de nombreux drageons. *Acacia spirorbis* a un développement irrégulier et, si certains pieds dépassent 2 m de haut, ils demeurent tous moins fournis que dans leurs conditions naturelles à basse altitude.

Les espèces exotiques (*Albizia granulosa*, *Cedrela odorata*, *Paraserianthes falcataria*, *Samanea saman*, *Mangifera indica*...) ne se sont pas développées ; seul *Acacia dealbata* a eu une bonne croissance les trois premières années mais a périclité ensuite.

Les différentes espèces d'*Araucaria* provenant des terrains miniers de Nouvelle-Calédonie ont eu un développement très médiocre et ont péri progressivement.

Ces résultats ainsi que l'absence même temporaire d'espèces rudérales montrent que les substrats à dominante de latérite jaune restent très

sélectifs, même dans le cas d'un apport d'engrais.

Les conditions d'humidité plus satisfaisantes réalisées sur le Kongouhaou expliquent sans doute la réussite de *Casuarina collina* qui n'a pas survécu à Poro.

Le développement spontané d'importantes touffes de Cypéracées, dans les espaces nus du site d'expérimentation du Kongouhaou, et l'absence de toute implantation spontanée sur le site de Poro vont dans le sens de cette hypothèse.

Différentes stratégies de végétalisation, tenant compte des conditions climatiques et altitudinales qui nécessitent dans certains cas l'utilisation d'espèces altimontaines insuffisamment testées, sont à rechercher pour ce type de substrat ; celui-ci ne se prête qu'à l'installation d'espèces adaptées à des conditions de milieu relativement sévères.

Sur saprolites

Des essais ont été réalisés, d'une part, par l'ORSTOM avec l'aide de la S.L.N. sur le Mont Dore proche de Nouméa (JAFFRÉ, RIGAUT, DAGOSTINI sous presse), d'autre part par le CIRAD-Forêt et l'ORSTOM avec l'aide de la S.L.N. sur le Ningua (région de Thio) dans le cadre d'une convention avec la Province Sud (JAFFRÉ, RIGAUT, SARRAILH, 1993).

La composition chimique des substrats est donnée dans le tableau IV.

TABLEAU IV
COMPOSITION CHIMIQUE DU SUBSTRAT
DE 2 ESSAIS IMPLANTÉS SUR SAPROLITES

Site des essais	pH	Fe %	SiO ₂ %	Mg %	Ca %	K %	Ni %	Mn %	Cr %	Co %
Mont Dore	7,5	11,36	43,9	13,8	0,05	0,01	2,08	0,16	0,62	0,05
Thio-Ningua	7,5	17,87	40,7	9,48	0,01	0,01	2,00	0,63	1,85	0,14



Essai sur saprolites, sur un ancien niveau d'exploitation - site de Plum, 300 m : *Oxera neriifolia* (Montr.) Beauvis. (Verbenacée), *Peripterygia marginata* (Baillon) Loes. (Celastracée).

Revegetation trial on saprolites in an old mine-quarry site at 300 m altitude: *Oxera neriifolia* (Montr.) Beauvis. (Verbenaceae), *Peripterygia marginata* (Baillon) Loes. (Celastraceae).

Outre les faibles teneurs en éléments majeurs, ces substrats se caractérisent par des concentrations très élevées en magnésium et en nickel. Ils sont peu profonds, riches en éléments fins et en blocs rocheux.

Le site du Mont Dore, à 300 m d'altitude, et celui du Ningua, à 730 m, reçoivent en moyenne, respectivement, 1 500 mm et 2 000 mm de pluie par an.

Les espèces testées appartiennent toutes à la flore locale des terrains miniers dont une quarantaine ont été essayées depuis deux ans. Elles comprennent des espèces ayant donné des résultats positifs lors des essais antérieurs sur des substrats différents (*Acacia spirorbis*, *Casuarina collina*, *Gymnostoma deplancheanum*, *Arillastrum gummiferum*, *Alphitonia neocaledonica*) ; elles comprennent aussi une variété d'espèces des maquis miniers ayant donné de bons résultats au cours d'essais en vase de végétation et dont la multiplication par semences ou par boutures est aujourd'hui partiellement ou totalement maîtrisée (PETINOT, 1991 ; JAFFRÉ et RIGAUT, 1991 ; JAFFRÉ, PELLETIER, 1992).

Un amendement d'engrais complet a été effectué à la plantation dans les deux cas et à Ningua les parcelles ont été recouvertes d'un paillage.

□ Résultats

Après deux ans pour l'essai du Mont Dore et un an pour celui de Ningua, les meilleurs résultats (taux de reprise, croissance ou développement en volume) sont obtenus dans les

deux cas pour *Costularia comosa*, *Schoenus juvenis* et *S. neocaledonicus* (Cypéracées), *Grevillea exul* (Protéacée), *Longetia buxoides*, *Phyllanthus aeneus* et *P. buxoides* (Euphorbiacées), *Carpolepis laurifolia* (Myrtacée), *Oxera neriifolia* (Verbenacée), *Scaevola montana* (Goodeniaceae), *Peripterygia marginata* (Celastracée), *Gymnostoma leucodon* et *G. poissonianum* (Casuarinacées), *Geissois pruinosa* (Cunoniaceae).

A Ningua, des résultats satisfaisants sont également obtenus pour *Acacia spirorbis*, *Casuarina collina*, *Dodonaea viscosa*, *Baumea deplanchei* et *Lepidosperma perteres* (Cypéracées) et au Mont Dore pour *Normandia neocaledonica* (Rubiaceae), *Gymnostoma webbianum* (Casuarinacée), *Baeckea leratii* (Myrtacée), *Cordyline neocaledonica* (Agavacée), *Storckiaella comptonii* et *Serianthes calycina* (Légumineuses). Le paillage a eu un effet très bénéfique sur la reprise et la croissance de la plupart des espèces, ce qui confirme les résultats déjà obtenus (CHERRIER, 1990) pour des substrats moins toxiques.

Ces deux essais ont privilégié l'utilisation d'espèces locales des terrains



Production de *Schoenus neocaledonicus* C.B. Clarke (Cypéracée) à partir de semences.

Production of *Schoenus neocaledonicus* C.B. Clarke (Cyperaceae) from seed.

miniers. Ces espèces comprennent : d'une part, des arbustives héliophiles, peu exigeantes en éléments majeurs et plus ou moins toxicorésistantes, incluant plusieurs Casuarinacées associées à des bactéries fixatrices d'azote du genre *Frankia* (JAFFRÉ *et al.*) et quelques Légumineuses vivant en symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote du genre *Rhizobium*, d'autre part des herbacées appartenant exclusivement à la famille des Cypéracées.

En dépit des conditions de milieu très sévères, les résultats positifs obtenus laissent penser que des voies de recherches analogues restent encore à explorer en ce qui concerne les milieux moins toxiques et moins arides pour lesquels on ne dispose pas encore d'un nombre suffisant d'espèces pour reconstituer des milieux équilibrés.

Ces espèces locales ont pour la plupart des croissances lentes, ce qui implique des plantations suffisamment serrées associant Cypéracées à système racinaire diffus et espèces arbustives pour recouvrir rapidement le sol.

Pour améliorer la reprise et la croissance des jeunes plants, il est recommandé de procéder à un travail du sol (sous-solage croisé, ameublissement), puis à un paillage et à un apport d'engrais complet à la plantation.

Essais d'ensemencement

Des essais d'ensemencement ont été réalisés à la Plaine des Lacs sur latérite rouge (BAVARD, 1985), à Poro sur substrat à dominante de latérite jaune (JAFFRÉ, LATHAM, 1976), au Mont Dore (JAFFRÉ, RIGAULT, DAGOSTINI, 1994) et à Ningua (JAFFRÉ, RIGAULT, SARRAILH, 1993) sur saprolites.

Dans les deux premiers sites, les essais ont porté principalement sur des Graminées du commerce : *Cynodon dactylon* et *Pennisetum clandestinum* auxquelles ont été ajoutés à Poro *Sorghum soudanense*, *Paspalum paniculatum*, *Agrostis sp.*, ainsi que deux Légumineuses *Cajanus indicus* et *Leucaena leucocephala*.

Sur parcelles arrosées mais non fumées, les différentes espèces ont germé mais ne se sont pas développées au-delà du stade d'apparition des premières feuilles.

Sur parcelles arrosées et fumées, les deux Légumineuses ainsi que *Sorghum soudanense*, *Paspalum paniculatum* et *Agrostis sp.* ont bien levé mais ont présenté rapidement un brunissement des feuilles suivi du dépérissement de la totalité des jeunes plants.

Cynodon dactylon et *Pennisetum clandestinum* se sont mieux comportées. Elles se sont maintenues plusieurs années sans toutefois progresser en dehors de la parcelle d'essai.

Elles ont persisté plus longtemps à la Plaine des Lacs qu'à Poro, notamment sur les parcelles qui avaient reçu un paillage. Ainsi quelques touffes éparses de *Pennisetum* ont-elles été encore observées sur le site d'essai de la Plaine des Lacs au bout de 8 ans.

Les essais sur saprolites sont plus récents et portent essentiellement sur des espèces locales des terrains miniers.

Au Mont Dore, les ensemencements ont été réalisés en partie par épandage d'un mélange eau, cellulose (pâte à papier), semences et en partie par épandage de graines à la volée en période pluvieuse.

A Ningua, l'ensemencement a consisté à épandre un mélange eau, colle organique (Terravest 30 g/m²), engrais (100 g de Marin Granulé et 50 g de Bio-engrais/m²) et semences (25-30 g/m²).

Au total, 25 espèces ont été testées comprenant : 5 Cypéracées, 7 Myr-

tacées, 5 Casuarinacées, 2 Protéacées et 6 espèces de familles variées.

Les germinations sont apparues au cours des périodes pluvieuses, 2 à 3 semaines, puis 6 mois après les ensemencements.

Les observations qui portent sur moins d'un an concordent pour les deux stations.

Au total une dizaine d'espèces ont germé mais les taux de germination restent faibles et les jeunes plants périssent en période sèche.

Les meilleurs résultats sont obtenus pour les Cypéracées *Costularia comosa* et *Schoenus spp.*, qui ont en outre l'avantage de conserver leur pouvoir germinatif dans le sol tout au long de la période sèche, et pour *Grevillea exul* dont les semences sont un peu plus fragiles mais qui a la meilleure croissance. *Dodonaea viscosa* a le plus fort taux de germination mais son développement est médiocre.



Grevillea exul var. *rubiginosa* (Brongn. & Gris) Virot (Protéacée).
Grevillea exul var. *rubiginosa* (Brongn. & Gris) Virot (Proteaceae).

Des résultats positifs ont également été obtenus pour *Joinvillea plicata* (Flagellariacée) à Plum, pour *Alphitonia neocaledonica*, *Casuarina collina*, *Gymnostoma spp.*, *Geissois pruinosa* et plusieurs Myrtacées à Ningua. Les semences des espèces des trois dernières familles citées, sensibles au dessèchement, perdent rapidement leur pouvoir germinatif dans le sol.

Il est encore prématuré de tirer des conclusions définitives sur ces derniers essais d'ensemencement réalisés sur les milieux les plus difficiles. Les premiers résultats sont néanmoins encourageants. Ils permettent de penser que les espèces locales seraient susceptibles de donner des résultats plus satisfaisants que les Graminées et les Légumineuses exotiques pour l'ensemencement des

substrats ferralitiques désaturés ou à latérite jaune dominante.

Dans ce domaine, les efforts devront porter sur la production de semences des espèces les mieux adaptées et sur l'amélioration du procédé d'ensemencement par l'utilisation de substances permettant de maîtriser la germination et surtout la phase critique post-germinative.

Applications des résultats

Ces recherches ont déjà permis de mettre en place des réalisations d'une certaine ampleur.

Pour l'instant, l'essentiel des plantations (Plateau de Thio : 15 ha, Col de Plum : 8 ha) est effectué à partir de *Casuarina collina* et *Acacia spirorbis*.

Les études en cours devraient permettre d'utiliser des espèces plus va-

riées, permettant à terme la reconstitution d'un couvert végétal diversifié et durable et, dans l'immédiat, une meilleure couverture du sol notamment par l'utilisation de Cypéracées.

L'emploi de techniques d'ensemencements hydrauliques soulève encore de nombreux problèmes mais ouvre déjà de nouvelles perspectives pour la végétalisation des surfaces pentues qui demeurent les plus vastes et les plus sensibles à l'érosion. □

► Tanguy JAFFRÉ
Frédéric RIGAUT
ORSTOM
B.P. A 5

NOUMÉA (Nouvelle-Calédonie)

► Jean-Michel SARRAILH
CIRAD-Forêt
B.P. 1001
NOUMÉA (Nouvelle-Calédonie)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAVARD (D.), 1985.

Revégétalisation de terrain minier après exploitation à Prony. Essais d'engazonnement et de plantations réalisés en 1975, 77 et 78. Rapports internes C.T.F.T.

BIRD (C. C.), DUBOIS (J.-P.), ILTIS (J. A.), 1984.

The impacts of opencast mining on the rivers and coasts of New Caledonia. The United Nations University, Tokyo, 53 p.

BRADSHAW (A. D.), 1984 (a).

Ecological principles and land reclamation practice. Landscape Planning. 11 : 35-48.

BRADSHAW (A. D.), 1984 (b).

Land restoration : now and in the future. Proc. R. Soc. Lond. B 223 : 1-23.

CAIRNS (J.), 1988.

Rehabilitating Damaged Ecosystems. Volume 1 et 2. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida (Vol. 1 : 192 p. ; Vol. 2 : 222 p.).

CHERRIER (J.-F.), 1990.

Reverdissement des terrains miniers en Nouvelle-Calédonie. Bois et Forêts des Tropiques n° 225 (3) : 5-23.

C.T.F.T., 1971.

Fixation et reforestation des terrains miniers à la Plaine des Lacs. Multigr. C.T.F.T./Nouméa, Dossier 60, 9 p.

C.T.F.T., 1978.

Premier essai de revégétalisation de terrains miniers à Poro. Multigr. C.T.F.T./Nouméa, essai 218. 20 p. + annexes.

DUGAIN (G. G.), 1953.

Dégradation et protection des sols en Nouvelle-Calédonie. Etude Mélanésienne n° 7, pp. 69-86.

DUPON (J.-F.), 1986.

Les effets de l'exploitation minière sur l'environnement des îles hautes : le cas de l'extraction du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie. Environnement : étude de cas PROE-CPS-PNVE.

JACQUES (A.), 1976.

Bilan de 2 années et demie d'observations sur les parcelles d'érosion de Prony. Multigr. C.T.F.T./Nouméa, 25 p.

JAFFRÉ (T.), 1974.

La végétation et la flore du massif de roches ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie : le Koniambo, Candollea 29 : 427-456.

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, pp. 53-63.

JAFFRÉ (T.), LATHAM (M.), 1976.

Recherche sur les possibilités d'implantation végétale sur déblais miniers. Rapport multig. ORSTOM/S.L.N., Nouméa, 14 p.

JAFFRÉ (T.), LATHAM (M.), SCHMID (M.), 1977.

Aspect 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 : 307-321.

JAFFRÉ (T.), MORAT (Ph.), VEILLON (J.-M.), MACKEE (H. S.), 1987.

Changements dans la végétation de la Nouvelle-Calédonie au cours du Tertiaire : la végétation et la flore des roches ultrabasiques. Bull. Mus. natl. Hist. nat., Paris, 4^e sér. (9), section Adansonia n° 4 : 365-391.

JAFFRÉ (T.), RIGAULT (F.), 1991.

Recherches sur les possibilités d'implantation végétale sur sites miniers. Convention ORSTOM/S.L.N. Sci. Vie, Bota., 81 p.

JAFFRÉ (T.), RIGAULT (F.), SARRAILH (J.-M.), 1993.

Essais de revégétalisation par des espèces locales d'anciens sites miniers de la région de Thio. Convention ORSTOM/CIRAD-Forêt/Province Sud. Sci. Vie., Bota., 31 p.

JAFFRÉ (T.), PELLETIER (B.), RIGAULT (F.), DAGOSTINI (G.), 1992.

Plantes de Nouvelle-Calédonie permettant de revégétaliser des sites miniers. Edition S.L.N., Nouméa, 114 p.

JORDAN (R. W.), GILPIN (M. E.), ABER (J. D.), 1987.

Restoration Ecology. A synthese approach to ecological research. Cambridge University Press, Cambridge, 342 p.

LATHAM (M.), 1976.

Les sols d'un massif de roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie : le Boulinda. Les sols à accumulation ferrugineuse. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. XIII, 2 : pp. 159-172.

MAMAN (L.), OBERLINKELS (M.), NIEL (J. F.), 1989.

Le procédé SERAVERTE : une méthode scientifique de végétalisation des terrains remaniés après travaux. Notice du procédé SERAVERTE, 31 p.

PAPINEAU (C.), 1993.

Note relative à la revégétalisation de la décharge contrôlée de la mine S.L.N. de Boualoudjelima. Dossier n° 615-93. Antenne Province Nord. Note de la D.D.R. de Koumac.

PEGUY (F. P.), 1970.

Précis de climatologie. Masson, Paris. 468 p.

PELLETIER (B.), 1990 a.

De la prospection à la mine. Edition S.L.N., Nouméa, 45 p.

PELLETIER (B.), 1990 b.

Techniques minières permettant de préserver l'environnement autour des gisements de nickel néocalédoniens. International Society for Reef Studies. U.F.P., Nouméa, pp. 27-34.

PELLETIER (B.), 1992.

Réhabilitation des anciennes mines. Les travaux réalisés depuis 20 ans. S.L.N.-G.S., 37-92, Nouméa, 33 p.

PETINOT (M.), 1991.

Valorisation de la flore de Nouvelle-Calédonie. Etude du potentiel horticole de quelques espèces des terrains miniers. Rapp. de stage, Sci. Vie, Bota., ORSTOM, 182 p.

REVERA (O.), 1989.

Ecological assessment of environmental degradation pollution and recovery. Elsevier, 369 p.

SENDLEIN (L. V. A.), YAZICIGIL (H.), CARLSON (C. L.), 1983.

Surface mining, Environmental monitoring and reclamation handbook, Elsevier, 750 p.

VIROT (R.), 1956.

La végétation canaque. Mém. Mus. Natn. Hist. Nat., série B, Bot. 8 : 388 p.

WILLIAMSON (N. A.), JOHNSON (M. J.), BRADSHAW (A. D.), 1982.

Mine wastes reclamation. The establishment of vegetation on metal mine wastes. Mining Journal Books, London.

R É S U M É

VÉGÉTALISATION DES ANCIENS SITES MINIERS EN NOUVELLE-CALÉDONIE

L'exploitation du minerai de nickel qui s'effectue à ciel ouvert implique le décapage de centaines d'hectares. Les différents substrats dénudés sont excessivement pauvres en N, P, K et Ca. Ils se distinguent toutefois par leurs pH et leurs teneurs en Mg et Ni parfois très élevées.

Sur substrats ferralitiques désaturés les moins riches en nickel, des apports d'engrais permettent l'installation d'espèces exotiques : *Pinus caribaea*, *Acacia dealbata*, *Pennisetum clandestinum*. Deux espèces locales associées à des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote, *Acacia spirorbis* et *Casuarina collina*, ont donné les meilleurs résultats.

Sur substrats à dominante de latérite jaune, les espèces exotiques ont toutes donné des résultats très médiocres. Parmi les espèces locales testées, *Casuarina collina* et *Acacia spirorbis* ont été les plus performantes.

Sur saprolites, des résultats très encourageants ont été obtenus pour une vingtaine d'espèces, notamment des Cypéracées (*Baumea*, *Costularia*, *Schoenus*), des Casuarinacées (*Casuarina* et *Gymnostoma*), des Myrtacées (*Baeckea*, *Carpolepis*, *Myrtastrum*...), des Protéacées du genre *Grevillea*, des Euphorbiacées (*Phyllanthus*, *Longetia*...) et une dizaine d'espèces de familles variées.

Les résultats significatifs obtenus sur différents substrats avec de nombreuses espèces de la flore des roches ultramafiques montrent l'intérêt des espèces de la flore locale pour revégétaliser les anciens sites miniers.

Mots-clés : Reconstitution forestière. Espèce endémique. Sol minéral. Nouvelle-Calédonie.

A B S T R A C T

REVEGETATION OF OLD MINING SITES IN NEW CALEDONIA

The extraction of nickel ore from open cut mines requires the removal of several hundred hectares of surface substrate. The different types of exposed substrate that exist on mine sites lack essential plant nutrients such as N, P, K and Ca. They are distinguished by their pH and by Ni and Mg concentrations which are often high.

On desaturated ferrallitic soil, low in nickel, an application of fertiliser permits exotic species to establish : *Pinus caribaea*, *Acacia dealbata*, *Pennisetum clandestinum*. Two local nitrogen fixing species, *Acacia spirorbis* and *Casuarina collina*, have given the best results.

On substrates dominated by yellow laterite, all exotic species tested have given mediocre results. Among the local species tested *Casuarina collina* and *Acacia spirorbis* have shown significant development.

On saprolitic substrates, encouraging results have been obtained for approximately 20 species, notably in the families Cyperaceae (*Baumea*, *Costularia* and *Schoenus*), Casuarinaceae (*Gymnostoma* and *Casuarina*), Myrtaceae (*Carpolepis*, *Myrtastrum*, ...), Proteaceae (*Grevillea*) and Euphorbiaceae (*Phyllanthus*, *Longetia*, ...). Promising results have also been acquired for approximately 10 species originating from various families.

The overall results obtained for numerous endemic ultramafic plant species grown on a variety of sites with different edaphic conditions reveal the potential importance of local species in the revegetation of old mine sites.

Key words : Reforestation. Endemic species. Mineral soils. New Caledonia.

R E S U M E N

VEGETALIZACION DE ANTIGUOS EMPLAZAMIENTOS MINEROS EN NUEVA CALEDONIA

La explotación del mineral de níquel que se efectúa a cielo abierto presupone la explanación y decapado del terreno de varios cientos de hectáreas. Los distintos substratos puestos al descubierto son excesivamente pobres en N, P, K y Ca pero, por otra parte, se destacan por sus concentraciones en Mg y Ni.

En los substratos ferríticos desaturados y menos ricos en níquel, las aportaciones de fertilizantes permiten la instalación de especies exóticas : *Pinus caribaea*, *Acacia dealbata*, *Pennisetum clandestinum*. Dos especies locales asociadas a bacterias simbióticas que permiten fijar el nitrógeno : *Acacia spirorbis* y *Casuarina collina* han permitido conseguir los mejores resultados.

Las especies exóticas han dado resultados sumamente mediocres en los substratos con dominancia de laterita amarilla. Entre las especies locales ensayadas, *Casuarina collina* y *Acacia spirorbis* son aquellas que han permitido obtener los mejores resultados.

Se han conseguido resultados sumamente alentadores en unas veinte especies de saprolitas, y, fundamentalmente, las Cuperáceas (*Baumea*, *Costularia*, *Schoenus*), las Casuarináceas (*Casuarina* y *Gymnostoma*), las Mirtáceas (*Baeckea*, *Carpolepis*, *Myrtastrum*, etc.), las Proteáceas del género *Grevillea*, las Euforbiáceas (*Phyllanthus*, *Longetia*, etc.) y una decena de especies de familias de diversa índole.

Se han obtenido resultados significativos en diversos substratos, con numerosas especies de la flora de las rocas ultramáficas, que vienen a demostrar el interés de las especies de la flora local para la revegetalización de los antiguos emplazamientos mineros.

Palabras clave : Reforestación. Especie endémica. Suelo mineral. Nueva Caledonia.

SYNOPSIS

REVEGETATION OF OLD MINING SITES IN NEW CALEDONIA

TANGUY JAFFRÉ, FRÉDÉRIC RIGAUT, JEAN-MICHEL SARRAILH

Open cut nickel mining requires the removal of several hundred hectares of surface material and the creation of access roads to areas of prospecting and mining.

The aim of revegetating these denuded areas is to regulate hydraulic activity in catchment areas, to reduce gully erosion and removal of surface material by runoff, to re-establish in a durable manner the function and nature of the previous ecosystem and to restore the landscape and original biological diversity.

SITE CONDITIONS

The chemical nature of exposed substrates is extremely variable. Saprolites and overlying yellow laterite are rich in Mg and Ni. Surface red laterite contains notably less Mg and possesses an acid pH. Bare soils, whether they be derived in majority from saprolites or yellow laterite are more or less basic and contain variable levels of Mg and Ni. Furthermore, they possess low levels of P, K, Ca, organic matter and N.

Nickel mines are widespread on the main island of New Caledonia at altitudes between 200 m and 1,000 m. These sites are subject to extreme annual climatic variations (ranging from periodic draught to high rainfall during the cyclone season). The intensity of these extreme climatic events varies on a yearly basis.

TRIALS ON MINE TERRACES COVERED WITH FERTILE SOIL

The utilisation of this technique enhances the establishment and development of exotic pioneer species. Colonisation from these fertile substrates to neighbouring ultramafic soils is limited. Furthermore, the root systems of plants rarely penetrate below the improved horizons into the ultramafic soil. In contrast to sites where addition of alluvial soil has favoured exotic species, substrates originating from material removed from the mine surface favour the establishment of better adapted endemic ultramafic plant species. This kind of operation must however be accompanied by subsequent plantations or broadcast seeding so that the site is revegetated in its entirety.

TRIALS ON DESATURATED RED LATERITE

On this substrate which is less rich in nickel, applications of fertiliser enable the establish-

ment of exotic species. Notable results were obtained for *Pinus caribaea* and to a lesser extent for *Acacia dealbata* (Leguminosae) and *Pennisetum clandestinum* (Gramineae). Two local nitrogen fixing species *Acacia spirorbis* (Leguminosae) and *Casuarina collina* (Casuarinaceae) have given the best results.

A limited number of ultramafic shrub species have been tested. Natural colonisation by *Baeckea leratii* (Myrtaceae) and *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnaceae) in close proximity to trial plots highlights the potential of pioneer shrub species. Utilisation of these endemic shrub species with fast growing short lived exotic pioneer species (which produce large amounts of biomass) may facilitate the development of a humus and mesophile conditions. The improvement of site conditions would allow for future planting of tree species such as *Araucaria spp.*, *Agathis lanceolata*, *Arillastrum gummiferum* and *Neoguillauminia cleopatra*.

TRIALS ON SUBSTRATES DOMINATED BY YELLOW LATERITE

To date, very few trials have been conducted on yellow laterite. Exotic species have given mediocre results suggesting that they are probably not suited to the Ca/Mg imbalance and high nickel content of this substrate.

Among the local species tested, *Casuarina collina* and *Acacia spirorbis* have given the best results. However, *Casuarina collina* has shown difficulty in growing on exposed sites at low altitude and growth rates of *Acacia spirorbis* are mediocre above 650 m altitude. These results and the apparent lack of even a temporary establishment by ruderal exotic species suggest that this edaphic type remains selective even with applications of fertiliser. Different revegetation strategies using altimontane ultramafic species so far not tested need to be studied.

TRIALS ON SUBSTRATES DOMINATED BY SAPROLITES

Revegetation trials on saprolites which contain the highest levels of nickel and magnesium have essentially focussed on using local ultramafic species and were conducted less than two years ago. Whilst revegetation studies on saprolites are still in their infancy,

results are encouraging for approximately 20 ultramafic species tested. Promising results have been obtained for species in the following families: Cyperaceae (*Baumea deplanchei*, *Costularia spp.*, *Schoenus spp.*), Casuarinaceae (*Casuarina collina*, *Gymnostoma spp.*), Myrtaceae (*Baeckea leratii*, *Carpolepis laurifolia*, *Myrtastrum rufopunctatum...*), Proteaceae (*Stenocarpus spp.*, *Grevillea spp.*), Euphorbiaceae (*Phyllanthus spp.*, *Longetia buxoides...*), Goodeniaceae (*Scaevola montana*), Verbenaceae (*Oxera neriifolia*), Celastraceae (*Peripterygia marginata*) and Rubiaceae (*Normandia neocaledonica*).

Most of these species have slow growth rates. In order to establish a homogenous vegetation cover of ultramafic species, an essential strategy would be to densely interplant Cyperaceae, which have shallow spreading root systems, with ultramafic shrubs. Increasing the survival and growth rate of seedlings may require mechanical pre-treatment of the substrate (ripping and tilling), applications of organic litter (mulch) and fertiliser during the planting stage.

Hydraulic seeding trials have given positive results for a limited number of species including the Cyperaceae already mentioned and *Grevillea exul* (Proteaceae).



The significant results obtained with *Acacia spirorbis* and *Casuarina collina* on a variety of sites with different edaphic conditions and the equally promising results with different endemic ultramafic shrub species on saprolite sites reveal the potential importance of local species in the revegetation of old mine sites.

Production of plants suited to particular site conditions and improvement of nursery production techniques require further research before the establishment of large scale revegetation projects. The use of hydraulic seeding techniques would require large quantities of seeds of local species and the creation of a procedure to protect germinations during drought periods.