

La revégétalisation des exploitations minières : l'exemple de la Nouvelle- Calédonie

Jean-Michel SARRAILH
Cirad-forêt
Station de Mon Caprice
7, chemin de l'IRAT
Ligne paradis
97410 Saint-Pierre-Réunion

Depuis quelques années, les sociétés minières mettent en place des programmes de revégétalisation, dont l'objectif est triple : le contrôle de l'érosion, par des méthodes d'exploitation soucieuses de l'environnement, la reconstitution des paysages par l'emploi d'espèces endémiques ou introduites, enfin le rétablissement de la biodiversité d'origine.



Dégâts causés par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie.
Damage caused by mining in New Caledonia.
Photo J.-M. Sarrailh.

RÉSUMÉ

LA REVÉGÉTALISATION DES EXPLOITATIONS MINIÈRES : L'EXEMPLE DE LA NOUVELLE- CALÉDONIE

En Nouvelle-Calédonie, troisième producteur mondial de nickel, les sols miniers couvrent un tiers de la superficie de l'île principale. Cette île est caractérisée par un niveau d'endémisme exceptionnel (1 137 espèces endémiques à la Nouvelle-Calédonie et aux terrains miniers). Une telle variété concentrée sur un espace aussi restreint entraîne une grande vulnérabilité, d'autant plus que l'activité minière a sur cette flore un impact considérable. Pendant longtemps, la dégradation du milieu n'a pas vraiment préoccupé les populations, et la destruction de la végétation était considérée comme inhérente à l'activité minière, indispensable au développement. Les méthodes d'exploitation soucieuses de l'environnement sont d'application récente et, sur les sols dégradés et ultrabasiques, la restauration de la végétation est difficile et très coûteuse. Les sociétés minières ont développé différentes stratégies pour répondre aux trois objectifs principaux de la revégétalisation : le contrôle de l'érosion, la reconstitution du paysage et la restauration écologique. Ainsi, la société Le Nickel utilise presque exclusivement des espèces endémiques malgré leur coût élevé. La Société minière du Sud Pacifique utilise plus largement des espèces introduites ou à croissance rapide, pour recouvrir des superficies plus importantes. Le but des recherches menées en Nouvelle-Calédonie sur la revégétalisation est de trouver des itinéraires techniques permettant de mettre en place la succession écologique à des prix réalistes.

Mots-clés : reconstitution forestière, espèce endémique, sol ultrabasique, nickel, Nouvelle-Calédonie.

ABSTRACT

THE REPLANTATION OF MINING SITES: THE NEW CALEDONIAN EXAMPLE

In new Caledonia, the world's third largest nickel producer, mining land covers one third of the main island. This island is characterized by having an outstanding number of endemic species (1 137 species endemic to New Caledonia and its mining areas). This degree of variety concentrated in such a small area goes hand in hand with great vulnerability, and all the greater because mining activities have a considerable impact on this flora. For many years local people have not been unduly concerned about this environmental degradation, and the destruction of vegetation was regarded as part and parcel of mining activities, so vital to development. Environment-friendly mining methods have only recently been applied and, in degraded and ultrabasic soils, the restoration of plantlife is both tricky and extremely costly. Mining companies have developed varying strategies to comply with the three main targets of replantation: erosion control, landscape rehabilitation, and ecological restoration. So the Le Nickel company uses endemic species almost exclusively, despite their high cost. The Sud Pacifique mining company makes a broader use of introduced and fast-growing species, to cover larger areas. The goal of research carried out in New Caledonia on replantation is to find technical avenues making it possible to introduce the ecological follow-on at realistic prices.

Keywords: forest re-creation, endemic species, ultrabasic soil, nickel, New Caledonia.

RESUMEN

LA REVEGETACIÓN DE EXPLOTA- CIONES MINERAS: EL EJEMPLO DE NUEVA CALEDONIA

En Nueva Caledonia, tercer productor mundial de níquel, los suelos mineros cubren un tercio de la superficie de la isla principal. Esta isla se caracteriza por un nivel de endemismo excepcional (1 137 especies endémicas de Nueva Caledonia y de las tierras mineras). Una variedad tan grande concentrada en un espacio tan reducido acarrea una gran vulnerabilidad, acrecentada por el considerable impacto de la actividad minera sobre la esta flora. Durante mucho tiempo, la degradación del medio no preocupó verdaderamente a la población. La destrucción de la vegetación se consideraba inherente a la actividad minera que, a su vez, era indispensable para el desarrollo. Los métodos de explotación que tienen en cuenta el medio ambiente son de aplicación reciente y, en suelos degradados y ultrabásicos, la restauración de la vegetación es difícil y muy costosa. Las empresas de minería han desarrollado diferentes estrategias para dar respuesta a los tres objetivos principales de la revegetación: el control de la erosión, la reconstitución del paisaje y la restauración ecológica. Por ello, la sociedad Le Nickel emplea casi exclusivamente especies endémicas a pesar de su alto coste. La Société minière du Sud Pacifique emplea, de forma más abundante, especies introducidas o de crecimiento rápido, para cubrir áreas más importantes. El objetivo de las investigaciones conducidas en Nueva Caledonia sobre la revegetación es encontrar itinerarios técnicos que permitan aplicar una sucesión ecológica con precios realistas.

Palabras clave: reconstitución forestal, especie endémica, suelo ultrabásico, níquel, Nueva Caledonia.

Introduction

La Nouvelle-Calédonie est un archipel d'environ 19 000 km², constitué d'une île principale, la Grande Terre, de l'archipel des îles Loyauté et d'îles éparses (les îles Bélep, l'île des Pins...). La Grande Terre est une bande de terre étroite de 16 890 km², allongée sur 400 km de longueur, et dont la largeur ne dépasse pas 50 km. Il y a plus de 80 millions d'années, elle était rattachée au continent australien mais le glissement de la plaque Pacifique a provoqué son détachement et son éloignement. Entraînée par un phénomène d'obduction (passage d'une plaque océanique sur un continent), une partie du socle continental calédonien a été recouverte par une nappe de roches éruptives, essentiellement des péridotites. Ces roches, dont l'altération produit le minerai de nickel, s'étendent sur un tiers de la superficie de la Grande Terre, faisant de la Nouvelle-Calédonie le troisième producteur mondial de nickel.

Avant la Seconde Guerre mondiale, les premières exploitations minières disposaient de moyens limités. Le travail à la pioche le long des filons de roches riches en nickel (garniérites) avait un impact très faible sur l'environnement. À partir de 1950, la mécanisation permet d'augmenter considérablement l'activité minière. Les gisements sous recouvrement de latérites sont devenus accessibles et la production de stériles devient importante. L'usage généralisé du feu lors de la prospection appauvrit considérablement le couvert végétal, favorisant l'érosion des sols. Faut de réglementation contraignante, jusqu'au milieu des années 1970, les entreprises qui exploitaient le minerai déversaient systématiquement les stériles sur les pentes.

Pendant longtemps, les habitants de la Nouvelle-Calédonie n'ont pas pris conscience des dégâts écologiques générés par les exploitations minières. La destruction des biotopes et les atteintes graves à l'environnement apparaissaient liées inéluctablement au développement économique et aux emplois créés. Dans ce territoire, où l'essentiel des richesses pro-

vient de l'extraction des minéraux, toute restriction de la productivité ou toute contrainte semblaient contraires à l'intérêt général. Il est vrai que, dans l'intérieur des terres où la population est faible, le cadre de vie des villages ou des tribus n'est guère affecté par les activités minières. Les sols dérivés de roches ultrabasiques, où se trouve le nickel, ont une faible fertilité et sont peu favorables à l'agriculture traditionnelle. Bien sûr, l'aggravation des dégradations du cadre de vie a commencé à inquiéter les populations, la pollution finissant par combler les rivières, appauvrir ou même engloutir les terrains agricoles en aval des mines, et même polluer le lagon. Les atteintes aux paysages et aux infrastructures routières, l'évolution des mentalités, l'arrivée du tourisme, tous ces phénomènes ont conduit à établir des règles de l'art et, désormais, aucune société minière ne peut, par exemple, ouvrir de route au bulldozer

(utilisation obligatoire d'une pelle hydraulique). Mais si, aujourd'hui, toutes les personnes concernées clament la nécessité du respect de l'environnement, derrière les revendications exprimées, il s'agit souvent de maintenir l'emploi par la création d'activités environnementales.

Depuis quelques années, les méthodes minières utilisées sont plus respectueuses de la nature. Les nouvelles techniques mises au point pour les ouvertures de chantier et le stockage des stériles protègent les sites contre l'érosion. Des programmes de revégétalisation sont menés par les principales sociétés, sans que des contraintes légales leur soient imposées. On assiste ainsi à différentes stratégies de réhabilitation des sols, pour reconquérir une meilleure image environnementale et pour éviter des conflits avec les communautés là où les sociétés exercent leurs activités.

Espèce rare menacée par l'exploitation minière : *Parasitaxus ustus* (parasite de *Falcatifolium taxoides*).
Rare species threatened by mining operations: *Parasitaxus ustus* (parasite of *Falcatifolium taxoides*).
Photo J.-M. Sarrailh.





Peuplement d'*Araucaria rulei* en cours de destruction par l'exploitation minière.

Stand of Araucaria rulei being destroyed by mining.

Photo O. Voisin.

Impact de la mine sur la végétation

On observe en Nouvelle-Calédonie une flore riche de plus de 3 000 espèces de végétaux à fleurs. Le niveau d'endémisme est exceptionnel puisque les deux tiers des espèces n'existent que sur cet archipel. Cinq familles sont propres à la Nouvelle-Calédonie. La richesse en gymnospermes est inhabituelle ; ainsi, on recense quinze genres, dont trois endémiques, et quarante-trois espèces (JAFFRÉ, 1995). Par exemple, treize espèces d'*araucaria* sur les dix-neuf que compte la planète sont néocalédoniennes. C'est en Nouvelle-Calédonie que se trouve la seule gymnosperme parasite au monde, *Parasitaxus ustus*, qui vit au détriment d'une autre espèce de la même famille des podocarpacees, *Falcatifolium taxoides*. Une telle variété concentrée sur un petit espace entraîne une grande vulnérabilité.

Des espèces disparaissent avant d'être recensées, ou même étudiées. En tout, 1 137 espèces sont à la fois endémiques du territoire et des terrains miniers.

Sur les sols formés à partir de roches ultrabasiques (péridotites et serpentinites), se développe une formation végétale arbustive appelée localement « maquis minier ». Elle s'est formée aux dépens de la forêt humide détruite en partie par l'exploitation forestière et surtout par les feux. Aussi, d'après l'Union mondiale pour la nature (UICN), 32,4 % des espèces de la flore du maquis présentent un risque plus ou moins fort d'extinction. Même s'il existe quelques réserves de faune et de flore, la gestion d'un tel patrimoine dépend donc essentiellement des mesures de protection que les centres miniers prendront à l'égard de cette végétation.

La reconstitution de la flore détruite est difficile car elle s'effectue sur des sols qui ont une faible fertilité (carence générale en phosphore, potassium et azote) et une grande sensibilité à l'érosion. De plus, les teneurs en fer, chrome et cobalt sont élevées. La richesse de ces sols en nickel et manganèse les rend toxiques pour les plantes. Le déséqui-

libre calcium-magnésium aggrave les contraintes chimiques. Le processus naturel de recolonisation des espaces dégradés est excessivement lent et peut même être inexistant. Malgré la présence aux alentours de nombreuses espèces pionnières, la reconquête végétale est compromise par les conditions de stress – vent, ensoleillement, pluies cycloniques mais aussi sécheresse prolongée – qui prédominent, et surtout par le manque de matière organique. *A fortiori*, les graines d'espèces forestières, placées dans ces conditions, n'ont aucune chance de survie.

Aussi, au-delà d'un simple reverdissement pour assurer une couverture végétale et protéger les sols contre l'érosion, paraît-il nécessaire de demander aux sociétés minières d'œuvrer à la restauration écologique durable des terrains dégradés par leurs activités.

La recherche

Les premiers essais ont commencé il y a une trentaine d'années, dans le sud de la Nouvelle-Calédonie, avec le soutien financier des sociétés minières. Le CTFT a travaillé dans un premier temps sur les espèces introduites car, en termes financiers, les techniques faisant intervenir des semences d'espèces commerciales, ligneuses ou herbacées, sont les moins coûteuses. Mais les essais menés avec ces plantes n'ont pas donné les résultats escomptés. En ce qui concerne les essences ligneuses, ni les acacias australiens, ni les eucalyptus n'ont pu s'adapter aux conditions de pauvreté chimique et à la toxicité des sols (nickel et magnésium). Seuls les pins ont relativement bien survécu, mais il leur est reproché un port trop éloigné des essences locales (pollution visuelle), une tendance à l'envahissement et une litière défavorable à la régénération naturelle. Trois espèces de pins tropicaux ont été testées (*Pinus caribaea*, *P. oocarpa*, *P. elliottii*), ainsi que de nombreuses légumineuses de la

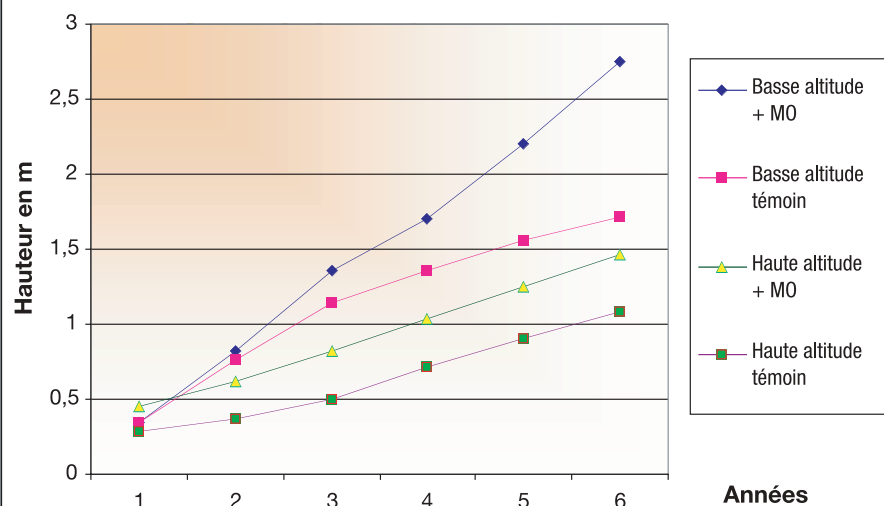
Acacia spirorbis (gaïac)

Figure 1.
Croissance du gaïac en fonction de l'altitude et de l'apport de matière organique (MO).
Growth of gaïac based on altitude and organic matter input (MO).

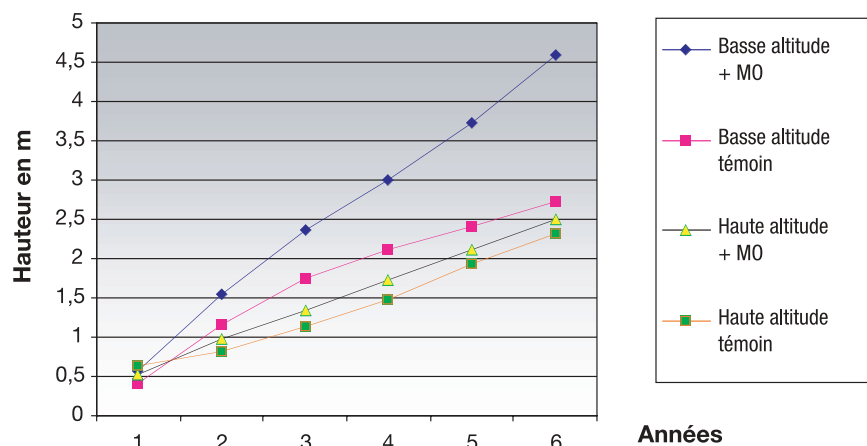
Casuarina collina (bois de fer)

Figure 2.
Croissance du bois de fer en fonction de l'altitude et de l'apport de matière organique (MO).
Growth of ironwood based on altitude and organic matter input (MO).

famille des Mimosaceae (*Acacia auriculiformis*, *A. dealbata*, *A. mearnsii*, *Albizia lebbek*, *Paraserianthes falcataria*). Pour les espèces herbacées, il n'existe aucune graminée native sur ce type de milieu (excepté un genre de bambou : *Greslania*), et les graminées introduites finissent généralement par disparaître en quelques années.

Ces expérimentations ont été longtemps menées sans avoir amélioré de façon satisfaisante la fertilité des sols. Faute d'apport suffisant d'éléments nutritifs, ces espèces dépérissent rapidement. Récemment, il a été constaté que, après un apport de matière organique et d'engrais minéraux, certaines espèces de légumineuses mieux adaptées (*Acacia*

ampliceps, *Calliandra calothyrsus*) et des graminées peu exigeantes (*Brachiaria decumbens*, *Melinis minutiflora*...) pouvaient se maintenir et favoriser la régénération naturelle.

Des recherches ont également été conduites sur l'utilisation de différentes espèces endémiques en plantation (*Gymnostoma deplancheanum*, *Arillastrum gummiferum*, *Alphitonia neocaledonica*). Elles ont essentiellement porté sur deux espèces autochtones amélioratrices des sols, le gaïac¹ (*Acacia spirorbis*) et le bois de fer (*Casuarina collina*), qui ont une croissance très satisfaisante sur pratiquement tous les types de substrat. Les nombreux essais réalisés sur ces deux dernières espèces permettent aujourd'hui de se faire une assez bonne idée des vitesses de croissance suivant l'altitude et le type d'amélioration apporté au substrat, pour une densité moyenne de 2 500 tiges à l'hectare (figures 1 et 2).

À basse altitude et avec un apport de matière organique, on observe une croissance quasi linéaire pendant les premières années. *Casuarina collina* atteint 5 m de hauteur en cinq ans et *Acacia spirorbis* 3 m en cinq ans. On peut donc planter à des densités faibles (2 500 à 1 100 tiges à l'hectare). À basse altitude et avec une seule fertilisation minérale, *Casuarina collina* atteint 2,75 m de hauteur et *Acacia spirorbis* 1,75 m. À haute altitude, ces deux espèces voient leurs performances chuter car, même avec une fertilisation organique, *Casuarina collina* plafonne à 1,75 m et *Acacia spirorbis* à 1,75 m.

Au regard de la biodiversité du maquis minier, ces plantations avec une ou deux espèces ne peuvent être satisfaisantes. Les essais effectués avec des essences forestières comme *Araucaria* sp. pl., *Agathis lanceolata*... révèlent une croissance très lente de ces arbres et une forte mortalité. Les études menées en collaboration avec l'IRD (Institut de recherche pour le développement) ont donc ensuite porté, très logiquement, sur les nombreuses plantes pionnières endémiques du maquis minier. Les espèces étudiées se réimplantent spontanément.

¹ Gaïac : dénomination locale d'un acacia. Le véritable gaïac est d'origine américaine (genre *Guaicum*).

ment sur ce substrat et peuvent être récoltées assez facilement sous forme de graines, ou sont faciles à multiplier par boutures. Les espèces amélioratrices du sol ont été particulièrement recherchées ainsi que les espèces hyper-accumulatrices de nickel.

Ces végétaux amorcent la succession écologique, pour une restauration du milieu initial. Un essai a été mis en place en altitude (730-770 m), à Thio, dans trois sites différents représentant les zones d'extraction du minerai et les décharges (tableau I).

Grâce aux résultats de ces essais, il a été possible de proposer aux sociétés minières et aux services provinciaux des espèces et des techniques suffisamment fiables pour entreprendre des programmes de reboisement à grande échelle. Mais on se heurte encore aux coûts trop élevés de la revégétalisation pour envisager la restauration de l'ensemble des terrains dégradés par l'activité minière. Aussi a-t-il été décidé récemment de mettre en place des expérimentations pour réduire au minimum les intrants nécessaires à la réussite de ces opérations. Elles portent sur les modalités d'incorporation des engrais minéraux, les quantités de matière organique (compost, fumier, litière), l'incorporation d'hydrorétenteur au trou de plantation (diminution du stress hydrique, meilleure absorption de l'engrais), l'apport de chaux ou d'acides humiques. Ces essais ont été mis en place, presque simultanément, près de Nouméa (mine de Rouvray), sur la côte ouest (mine de Tomo) et sur la côte est (mine Monastir).

Analyse des techniques de revégétalisation

Après 1975, les dégradations de la couverture végétale, l'érosion des versants et la pollution des rivières sont devenues catastrophiques, et les plaintes des habitants ont commencé à affluer. De plus, l'émergence d'un souci écologique a commencé à porter ses fruits. La mise au point de nouvelles techniques modernes par la Société Le Nickel (SLN) a permis la construction de routes sans usage de bulldozers, le stockage stable des matériaux pauvres en nickel et l'édification de barrages faisant office de décanteurs. Depuis, ces méthodes sont devenues la règle et ont été adoptées par toutes les compagnies, y compris les plus petites.

Ce n'est, cependant, que depuis le milieu des années 1990 que quelques grandes sociétés minières ont commencé les travaux de revégétalisation à grande échelle. Il s'agit essentiellement de la SLN, à partir de 1993, et de la SMSP (Société minière du Sud Pacifique), en 1997. Faute de cadre légal, chacune développe, selon ses propres critères, sa stratégie. Les moyens financiers mis en jeu pour la protection de l'environnement sont affectés essentiellement au stockage des produits stériles et à la mise en place d'ouvrages de protection. Selon les données publiées par la SLN (réunion Nappec 1997), les montants engagés sont les suivants :

- création des versets et modelage, 19 millions de francs (3 millions d'euros) par an ;
- ouverture propre des routes, 5,5 millions de francs (800 000 euros) par an ;
- barrages filtrants, contrôle des eaux, 2,8 millions de francs (430 000 euros) par an ;
- revégétalisation, 2,8 millions de francs (430 000 euros) par an.

La revégétalisation proprement dite ne représente donc qu'environ 10 % des travaux liés au maintien de l'environnement de la mine.

Reverdissement par des espèces introduites

Pour réduire l'érosion que les eaux de ruissellement provoquent sur les talus, les sociétés de revégétalisation utilisent des végétaux allochtones comme des acacias ou des graminées pour réaliser rapidement, et à bon prix, un reverdissement rapide qui permet d'enrayer sans tarder l'érosion. Cela nécessite, au préalable, l'apport d'engrais minéral et surtout organique. Dans ces conditions, l'utilisation d'herbacées telles que le « Rhodes grass » (*Chloris gayana*) ou le vétiver (*Vetivera*), expérimentées en 1996, à Poya, s'est avérée intéressante pour stabiliser les talus. Mais il est difficile d'empêcher les espèces introduites de concurrencer les espèces endémiques, qui assurent pourtant le reverdissement à plus long terme.

Tableau I.
Hauteur moyenne (en cm) des différentes espèces par site après huit ans (1992-2000). Essai 508 à Thio.

Espèces	Moyenne	Décharge Crépuscule	Décharge Haut-Crépuscule	Mine Ninga
<i>Casuarina collina</i>	342	395	208	422
<i>Gymnostoma webbianum</i>	148	109	128	208
<i>Gymnostoma poissonianum</i>	148	135	159	149
<i>Acacia spirorbis</i>	125	155	108	113
<i>Grevillea exul exul</i>	74	96	83	43 (cyclone)
<i>Grevillea exul rubiginosa</i>	72	84	84	47 (cyclone)
<i>Carpolepis laurifolia</i>	65	52	84	57
<i>Gymnostoma chamaecyparis</i>	63	55	54	81

La technique qui consiste à recouvrir les versées par des matériaux plus propices à la croissance des espèces végétales, en transportant des sols alluvionnaires de la vallée vers la mine, coûte cher ; elle ne peut donc s'appliquer qu'à des surfaces limitées, et pour des résultats contradictoires. En effet, on assiste parfois à une invasion de plantes adventices qui nuisent à l'installation de la flore locale, puis qui disparaissent. Des résultats positifs ont été cependant constatés à Kouaoua (SLN). De meilleures performances sont obtenues avec l'utilisation, sur des versées, de la couche superficielle du sol à l'ouverture de la mine. Cette technique a été employée par la SLN, à Kongouhaou, mais le décapage et la récupération de la couche humifère sont souvent rendus difficiles par la minceur de cette couche et la présence fréquente d'une cuirasse de fer superficielle. Pour être efficace, cette méthode ne doit pas nécessiter un long stockage avant l'épandage, sous peine de perdre la plus grande partie de l'intérêt de cet apport.

Revégétalisation par des espèces endémiques

Il est cependant possible d'envisager la revégétalisation par des plantations de végétaux endémiques adaptés au substrat. Les essences à croissance rapide, comme *Acacia spirorbis* et *Casuarina collina*, sont des espèces fixatrices d'azote et donc amélioratrices des conditions de milieu. Autres avantages, elles sont très répandues, produisent de grandes quantités de graines et elles sont faciles à élever en pépinière. Ce sont donc les plantes locales qui sont les moins onéreuses à produire. Par contre, en plantation dense, ces essences empêchent, au moins dans un premier temps, la régénération des espèces pionnières du maquis minier. C'est le cas de la plantation réalisée par la province Sud près de Nouméa (mine « De Rouvray »), où 8 ha ont été revégétalisés avec ces deux espèces. Cinq ans après, l'im-

portante litière produite par ces plantes se transforme en humus, mais les plantules observées sont encore essentiellement de l'*Acacia spirorbis*. Tant que ces espèces couvrent totalement le sol, le développement d'autres végétaux semble impossible. En revanche, dans les essais datant de plus de vingt ans, le dépérissement progressif de ces deux ligneux permet la régénération d'espèces locales variées.

On peut aussi planter la plus grande gamme possible d'espèces endémiques, de façon à reconstituer dès l'origine une végétation proche de la diversité de la flore du maquis. On sait aujourd'hui assurer la multiplication d'environ trente espèces et, si nécessaire, la multiplication d'espèces emblématiques d'une région donnée. La plupart des espèces ainsi mises en place ont une croissance lente (parfois quelques millimètres de hauteur par an)

Essai sur la croissance du bois de fer et des espèces endémiques à la mine de Tomo.
Test on growth of ironwood and species endemic to the Tomo mine.
Photo J.-M. Sarrailh.





Plantation d'*Acacia spirorbis* (gaïac)
à la mine de Rouvray.
Plantation of Acacia spirorbis (gaiac)
at the Rouvray mine.
Photo J.-M. Sarrailh.

et, pour assurer une couverture suffisante du sol, il convient de maintenir des densités élevées (10 000 pieds à l'hectare). Heureusement, certains arbustes se développent suffisamment vite pour permettre des plantations à des densités raisonnables. C'est le cas d'espèces de la famille des protéacées (*Grevillea exul*, *G. gillivrayi*...) et de celle des myrtacées (*Carpolepis laurifolia*, *Arillastrum gummiferum*...). Plusieurs espèces de la famille des casuarinacées (*Gymnostoma deplancheanum*, *G. chamaecypris*) et de celle des mimosacées (*Serianthes calycina*) donnent aussi de bons résultats.

Sur les talus, des techniques d'ensemencement hydraulique sont utilisées avec des mélanges de graminées à reprise immédiate et de cypéracées endémiques dont la germination est souvent lente (*Costularia comosa*, *Schoenus juvenis*...). Cette technique est encore d'un coût élevé (275 à 1 100 FF le kilo) car la récolte des graines de cypéracées fertiles nécessite une main-d'œuvre abondante. Ce coût peut encore augmenter avec l'utilisation de nattes végétales importées pour le maintien des graines et la stabilisation du talus. À titre d'exemple, la SLN annonce des montants de l'ordre de 550 000 FF l'hectare (84 000 euros). Cette technique se heurte pour l'instant à un problème d'approvisionnement en graines (5 000 graines par mètre carré), mais la mise en place de champs semenciers débute et devrait permettre, dans le futur, de disposer des stocks de semences nécessaires et d'abaisser ces prix.

Politique des sociétés minières

Chaque société applique ses propres méthodes pour réaliser ces travaux. La SLN travaille directement avec une société spécialisée dans la revégétalisation : la Société internationale de réhabilitation et d'aménagement des sites du Pacifique (Siras-Pacifique). À partir d'un programme défini par la compagnie minière, cette société réalise elle-même les différentes étapes nécessaires à cette revégétalisation, depuis la récolte des graines et l'élevage des plants en pépinière jusqu'à la plantation ou l'ensemencement hydraulique (*hydroseeding*). Elle peut ainsi planter presque exclusivement des plantes endémiques (92 %), ce qui accroît le coût de la réhabilitation. Le budget de la SLN pour la revégétalisation étant actuellement limité, les surfaces concernées sont donc réduites. Mais cela permet à cette société d'afficher une politique volontariste de sauvegarde des espèces. Dans le cas de la mine de Tiebaghi, au nord de l'île, elle a mis en place un programme de plantation d'espèces rares menacées (*Araucaria rulei*, *Macadamia angustifolia*...). Au total, ce sont plus de 300 000 plants qui ont été mis en place depuis 1993 par cette société.

La SMSP, qui possède son propre service de l'environnement, travaille avec de petites entreprises qui s'occupent principalement de la mise en place des plants. À charge pour la

SMSP ou les entreprises de récupérer les plants chez les pépiniéristes. Pour revégétaliser des superficies importantes avec un budget un peu plus limité que la SLN, cette société a privilégié, dans un premier temps, l'utilisation d'espèces exotiques ou locales à croissance rapide (*Acacia spirorbis*, *Casuarina collina*). Ainsi, à Poya, le semis de graminées associé à la plantation de vétiver et de *Calliandra calothyrsus* ou d'*Acacia ampliceps* a permis d'obtenir, dans un délai court, un couvert végétal qui stabilise les sols. Cela nécessite au préalable une amélioration du sol, par une fertilisation minérale, l'apport de matière organique et l'utilisation d'hydrorétenteur. Des plantes endémiques sont aussi plantées (*Xanthostemon aurantiacum*...). Depuis 1997, la SMSP a réalisé la plantation de près de 50 000 plants sur ses sites miniers.

Goro-Nickel, qui a inauguré fin octobre 1999 l'installation d'une usine pilote dans le sud de la Nouvelle-Calédonie, a mis elle-même en place une pépinière d'espèces endémiques avant le début de l'exploitation minière. C'est ainsi que cette société a mis en avant le concept de « revégétalisation anticipée », puisque 30 000 plants d'espèces endémiques (dont les espèces rares de gymnospermes *Retrophyllum minor* et *Araucaria muelleri*) ont été élevés en pépinière et un début de plantation a été réalisé autour de la base-vie, sur d'anciens stocks de latérites et des versants dégradés.

On peut ajouter à cette liste, les travaux de la Société minière Georges Montagnat (SMGM) à Tontouta, à partir de 1999, et ceux de Falconbridge, commencés en 2000 sur le massif du Koniambo (près de Pouembout).

Politique des collectivités

La Nouvelle-Calédonie est désormais un pays d'outre-mer. Elle doit respecter les conventions internationales signées par la France (convention sur le commerce des espèces, par exemple), mais, selon son statut, les lois nationales sur l'eau, la protection de la nature et du littoral n'y sont pas applicables. Dans le cas de la réhabilitation des vieilles mines abandonnées, fermées avant 1976, la plupart des entreprises qui œuvraient alors n'existent plus. Comme la compétence environnementale dépend, en Nouvelle-Calédonie, des provinces, elles sont amenées à réaliser des travaux de revégétalisation. Ainsi, en 1993, la province Sud a réhabilité la mine « De Rouvray », située à quelques kilomètres de Nouméa. Couvrant 8 ha, ces travaux ont été réalisés avec du gaïac et du bois de fer, en plantations pures, à la densité de 2 500 tiges à l'hectare. L'utilisation, dans le trou de plantation, de 1,6 litre de fumier de poule et, en surface, de 2 litres de litière à base d'écorce de pin a favorisé le développement des arbres et la réussite de cette plantation est spectaculaire. Une deuxième tranche de travaux a été réalisée en 1999, sur 13 ha, avec une évolution des techniques, puisque les deux espèces déjà utilisées n'ont été plantées qu'en bordure de talus, tandis que les pentes et les replats étaient plantés en espèces endémiques (*Grevillea exul*, *Carpolepis laurifolia*...) ou indigènes (*Dodonea viscosa*). Les communes, ou la Nouvelle-Calédonie, peuvent également réhabiliter des sites miniers. La commune de Thio a pu ainsi réaliser entre 1991 et 1994 la plantation d'environ 27 000 gaïacs et bois de fer sur les mines du plateau de Thio. La Nouvelle-Calédonie, grâce au Fonds de concours pour le soutien conjoncturel du secteur minier (FCSCM), a entrepris, fin 1999 à Canala, des travaux de plantation sur la mine Monastir et sur des versants

dans la vallée de la baie Ouango. Plus de 7 000 plants d'espèces du maquis minier et près de 10 000 gaïacs et bois de fer ont été plantés sur 3,3 ha.



Plantation d'*Acacia spirorbis* et de *Carpolepis laurifolia* réalisée par le Siras-Pacifique à la mine de Thio. À gauche, on aperçoit également *Alphitonia neocaledonia*.
Plantation of Acacia spirorbis and Carpolepis laurifolia established by the Siras-Pacifique company at the Thio mine. On the left we can also see Alphitonia neocaledonia.
 Photo Guinaudeau.

Ensemencement hydraulique d'espèces endémiques sur le massif du Koniambo.
 Projet Koniambo Falconbridge-SMSP.
Hydraulic seeding of endemic species in the Koniambo range. Koniambo Falconbridge-SMSP project.
 Photo J.-M. Sarrailh.



Conclusion

Pendant longtemps, les techniques d'extraction minière ont défiguré certaines régions de la Nouvelle-Calédonie sans véritable réaction des populations. La Nouvelle-Calédonie a désormais un nouveau statut (accords de Nouméa du 5 mai 1998), permettant la mise en place d'une nouvelle réglementation minière. Le réaménagement des sites miniers deviendra probablement obligatoire. Cette revégétalisation devra concilier des moyens budgétaires limités avec un minimum de restauration écologique et des surfaces à traiter importantes. Déjà la réhabilitation des sites commence à tenir compte de la diversité des espèces du milieu original et de la conservation d'espèces rares localisées autour de la mine.

Face à la diversité de la flore du maquis minier, les techniques utilisées tentent d'amorcer à faible coût la succession écologique normale pour que le milieu puisse s'enrichir naturellement en termes de biodiversité, afin d'aboutir à une restauration progressive de la flore et de la faune.

La plantation du gaïac et du bois de fer permet des résultats rapides, mais désormais le service des mines préconise de ne plus les utiliser en plantation pure et à trop forte densité.

Aussi, aujourd'hui, ces espèces sont-elles principalement utilisées en bordure de talus, dans un but paysager.

Sur les plates-formes, les plantations sont le plus souvent assurées avec des espèces du maquis minier, à croissance moins rapide, comme *Grevillea exul*, *Carpolepis laurifolia*, *Dodonea viscosa*, *Arillastrum gummi-ferum*, *Alphitonia neocaledonica*. Le prix de ces plants est désormais à peine supérieur à celui du gaïac (*Acacia spirorbis*) et du bois de fer (*Casuarina collina*). On a ainsi un bon compromis pour réaliser la reconstitution relativement rapide de la végétation originelle.

Malgré la baisse régulière du prix des plants, la plantation reste une technique onéreuse. Le semis direct par ensemencement hydraulique semble la seule voie qui permette d'abaisser véritablement le coût de la revégétalisation. Pour l'instant, on se heurte encore à la difficulté de fourniture en quantité suffisante de graines d'espèces locales. La mise en place de vergers à graines et l'amélioration des techniques de récolte devraient permettre de résoudre ce problème assez rapidement.

Références bibliographiques

JAFFRÉ T., RIGAUT F., SARRAILH J.-M., 1994. La végétalisation des anciens sites miniers. Bois et Forêts des Tropiques, 242 (4) : 45-55.

JAFFRÉ T., 1995. Distribution and Ecology of the Conifers of New Caledonia. In : Ecology of the southern conifers. Enright Neal J., Robert S. (éd.). Hill, Australie, Melbourne University Press, 171-196.

MERCKY S., 1998. Rhizobactéries natives de Nouvelle-Calédonie, promotrices de la croissance des plantes. Thèse de doctorat, Université française du Pacifique, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 122 p.

SARRAILH J.-M., 1997. Native or exotic plants for mining sites. Experiments in New Caledonia. In : Forage production and rehabilitation of mine sites, NAPPEC Regional workshop. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Commission Pacifique Sud, 41-44.



Revégétalisation d'une verse sur une mine de la SMSP, à Poya.
Replantation of a tip on the SMSP mine, at Poya.
Photo J.-M. Sarraïlh.

Synopsis

THE REPLANTATION OF MINING SITES: THE NEW CALEDONIAN EXAMPLE

Jean-Michel SARRAILH

The impact of mining on vegetation

New Caledonia is an archipelago of 19 000 km² covered by a significant layer of ultrabasic rocks on one third of the area of the main island, making it the world's number three producer of nickel. The island is characterized by having an outstanding number of endemic species, with 1 137 species endemic to New Caledonia and its mining land. The large number of gymnosperms (softwood) is unusual, with 43 species (including 13 species of araucaria) recorded. One third of the species in the scrubland where mining is carried out risk becoming more or less extinct. For lack of any restrictive regulations, up until the mid-1970s, companies mining for nickel systematically dumped rocks and sterile laterites in valleys. This resulted in the destruction of vegetation downstream, degradation of watercourses, and pollution of the lagoon. Over the past few years, in addition to modern methods used to reduce the impact of mining on erosion, replantation programmes are being introduced by the major mining companies.

Research

Projects have involved the study of factors favourable to the establishment and development of plant species: selection of suitable species and ecophysiological description of these species; speeding up propagation processes (germination, cuttings...); seed conservation; environmental improvements (fertilizers, organic matter, reduction of hydric pressures, introduction of bacteria and mycorrhizae).



Résultat de la revégétalisation 15 ans après.
Result of a replantation programme, 15 years later.
Photo J.-M. Sarrailh.

Research work is still being conducted today on micro-organisms in the soil and environmental improvements. A project will shortly be embarked upon to model the growth of scrubland plants in relation to the environment.

Analysis of replantation techniques

Techniques involving seeds of introduced commercial species, ligneous and herbaceous alike, are the least costly, but tests carried out on these species have very frequently ended in failure. However, leguminous species like *Calliandra calothyrsus* and *Acacia ampliceps* are being used with some success.

Two local nitrogen-fixing species, *Casuarina collina* and *Acacia spirorbis*, are fast-growing. But in pure plantations they do not encourage natural regeneration. Some species found in mining scrubland grow sufficiently fast to be used at reasonable densities. This is the case with species belonging to the family Proteaceae (*Grevillea exul*, *Grevillea gillivrayi*...) and the family Myrtaceae (*Carpolepsis laurifolia*, *Arillastrum gummiferum*...). Good results are also being obtained with several species belonging to the family Casuarinaceae (*Gymnostoma deplanchea-*

num, *Gymnostoma chamaecyparis*) and the family Mimosaceae (*Serianthes calycina*). On slopes and embankments, hydraulic seeding techniques are being used with mixtures of grasses with instant take-up and endemic Cyperaceae, whose germination is often slow (*Costularia comosa*, *Schoenus juvenis*...). This method is still expensive because the harvesting of fertile seeds of Cyperaceae calls for a lot of labour.

Mining companies have developed different strategies for complying with the three main targets of replantation: erosion control, landscape rehabilitation, and ecological restoration.

So the Le Nickel company uses endemic species almost exclusively, despite their high cost. The Sud Pacifique mining company makes a broader use of introduced and fast-growing species, to cover larger areas.