

Aspects de l'influence de l'extraction du minerai de nickel sur la végétation et les sols en Nouvelle Calédonie ⁽¹⁾

Tanguy JAFFRÉ *, Marc LATHAM **,
Maurice SCHMID *

* Botanistes ORSTOM.

** Pédologue ORSTOM.

ORSTOM, B.P. 45, Nouméa Cedex, Nouvelle Calédonie.

RÉSUMÉ

L'exploitation du minerai de nickel à ciel ouvert dans les massifs de roches ultrabasiques de la Nouvelle Calédonie entraîne la destruction de la végétation et le décapage du sol, l'érosion se montrant très active sur les surfaces ainsi dénudées.

La reconstitution de la couverture végétale, quand elle se réalise, est toujours très lente, en raison des mauvaises conditions de nutrition minérale (carences en N, P, K, Ca, déséquilibre Ca/Mg souvent très accentué, présence de métaux toxiques) et de l'aridité du milieu en saison sèche.

Dans les vallées, les apports de matériaux d'érosion entraînent l'appauvrissement des terres et la destruction, au moins partielle, des groupements ripicoles.

Une amélioration des méthodes d'exploitation devrait limiter les dommages. L'implantation sur les surfaces décapées et sur les déblais d'espèces préadaptées aux différentes conditions écologiques artificiellement réalisées (tel *Acacia spirorbis* dans le cas des décharges riches en magnésium) et la mise en œuvre de techniques culturales appropriées (ameublissement superficiel, « mulching », apports de phosphates...) permettraient d'accélérer la reprise de la végétation sur les pentes et, dans les plaines, la restauration de la fertilité des terres.

MOTS-CLÉS : Végétation — Environnement — Nutrition minérale — Sol — Minerai de nickel — Pollution — Nouvelle Calédonie.

SUMMARY

Open-cut nickel mining in the ultrabasic mountains of New-Caledonia destroys the vegetation and removes the surface soil, erosion being very active on the surfaces thus exposed.

The plant cover is replaced very slowly, if at all, owing to poor mineral nutrition (poverty in N, P, K, Ca; often very unfavorable Ca/Mg ratios; presence of toxic metals) and to aridity during the dry season.

Products of erosion reaching the valleys reduce soil fertility and destroy, at least in part, vegetation along the water-courses.

Improved mining methods should reduce this damage. Planting the bared areas and those covered by erosion products with species already adapted to the different ecological conditions thus artificially produced (for instance *Acacia spirorbis* on magnesium rich spoil) and the use of suitable cultural techniques (loosening the surface soil, mulching, addition of phosphates) should allow a more rapid reconstitution of the plant cover on the slopes and, in the plains, the restitution of soil fertility.

KEY WORDS : Vegetation — Environment — Mineral nutrition — Soil — Nickel ore — Pollution — New Caledonia.

L'exploitation à ciel ouvert du minerai de nickel, formé par altération des roches ultrabasiques, a débuté à la fin du siècle dernier. Elle représente actuellement une grave menace pour l'équilibre du milieu naturel.

La recherche et l'exploitation du minerai nécessitent la destruction complète de la végétation sur des surfaces importantes (routes, plates-formes de sondage, excavations d'extraction, aires de stockage des stériles); elles s'accompagnent aussi, bien souvent, de sa destruction, au moins partielle, par des feux allumés volontairement ou accidentellement en bordure des voies d'accès ou aux bords des campements. En outre, les matériaux (« stériles ») qui recouvrent la couche de minerai, décapés et accumulés en tas ou repoussés sur les pentes, sont entraînés par l'érosion. Ils sont

(1) Cette note reprend les principaux éléments d'une communication présentée au 13^e Congrès du Pacifique à Vancouver. (Latham-Jaffré 1975).

la source d'un alluvionnement stérilisant dans les vallées et le lagon. Ainsi, le problème de la dégradation de la couverture végétale et des sols, dont Dugain (1953) et Virot (1956) avaient déjà souligné l'importance en ce qui concerne les massifs miniers proprement dits, se pose-t-il non seulement pour les parties hautes des bassins, où se trouvent les mines, mais également pour les parties basses où se concentrent les activités agropastorales.

L'importance croissante des phénomènes de dégradation et de pollution s'explique par :

— L'utilisation de techniques de prospection et d'exploitation mettant en jeu des moyens mécaniques de plus en plus puissants.

— L'extension des prospections à l'ensemble des terrains ultrabasiques qui occupent le tiers de la superficie de la Grande Terre et se répartissent sur toute la longueur de l'île (fig. 1).

— La dissémination des centres d'extraction sur la plus grande partie de ces terrains.

— L'exploitation de couches de minerai se trouvant à des profondeurs de plus en plus grandes, ce qui nécessite le déplacement et le stockage de quantités de plus en plus volumineuses.

— Le régime cyclonique des précipitations et le relief très accidenté des massifs miniers qui favorisent l'érosion des surfaces nues et l'entraînement des matériaux non stabilisés.

Cette dégradation du milieu naturel est-elle inéluctable, dans la mesure où le développement de l'économie néo-calédonienne apparaît lié à celui de l'industrie minière ? L'adoption de certaines mesures pro-

pres à réduire les effets destructeurs de l'exploitation, diverses interventions pouvant accélérer la reconstitution de la couverture végétale sur les surfaces dénudées ou la restauration de la fertilité des terres d'élevage ou de culture ne sont-elles pas envisageables ?

1. SITUATION SUR LES MASSIFS

1.1. LE MILIEU NATUREL

Située entre le 20° et le 23° degré de latitude Sud, la Nouvelle Calédonie bénéficie d'un climat tropical. Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 900 et 4 000 mm (Moniod 1966). D'une façon générale la pluviométrie augmente avec l'altitude (Latham-Jaffré 1976), les massifs miniers les plus arrosés se trouvant dans le Sud-Est de l'île (Kouakoué...). Des précipitations violentes sous forme de pluies cycloniques s'observent assez souvent de décembre à mars. La période de sécheresse s'étend normalement du mois de septembre au mois de décembre. Elle peut certaines années être très sévère et très longue, ainsi, de juillet 72 à juin 73 la moyenne mensuelle des précipitations à Ouaco, sur la côte Ouest, a été de 19,3 mm. Les températures moyennes mensuelles à basse altitude sont de l'ordre de 18 à 19 degrés au mois de juillet et de 26 à 27 degrés au mois de février.

Les sols touchés par l'exploitation minière sur les massifs de roches ultrabasiques sont principalement des sols ferrallitiques ferritiques (Latham, Quantin, Au-

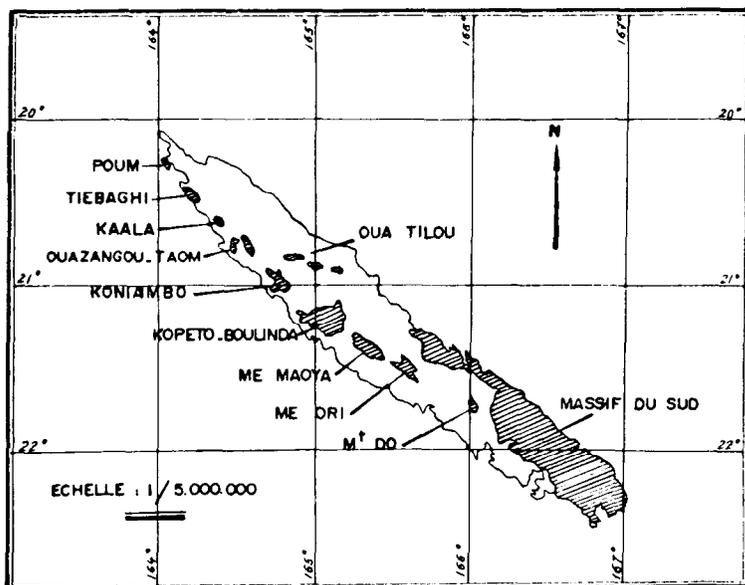


Fig. 1. — Plan de situation.

bert 1972) caractérisés par une individualisation du fer et de l'aluminium à l'état d'oxydes et d'hydroxydes. Ils présentent un équilibre chimique naturel très instable dû à leur faible pouvoir tampon lié à l'absence d'argile minéralogique (Latham, 1975). Les conditions d'alimentation minérale (Jaffré 1976) sont très défavorables en ce qui concerne l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre et le calcium, les teneurs en magnésium étant généralement très supérieures aux teneurs en calcium, au moins dans les horizons pauvres en matière organique et des risques d'intoxication par le nickel ou le manganèse existant localement. Ces sols sont en outre très sensibles à l'érosion. Des figures d'érosion en ravines ou même en lavaka ne sont pas rares dans certains secteurs du Territoire (partie méridionale du massif du Sud, massifs du Nord: Tiebaghi, Poum, Beleps).

La fertilité est concentrée dans l'horizon A humifère. On note dans cet horizon une accumulation des éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes, (tabl. I, fig. 2) et souvent même l'inversion du rapport Ca/Mg échangeable entre les horizons profonds et l'horizon superficiel. La restitution au sol par la litière des éléments minéraux que la végétation absorbe sélectivement explique ce phénomène (tabl. II).

L'horizon B, de moyenne profondeur, est très pauvre en éléments nutritifs. C'est un simple support minéral constitué d'oxydes et d'hydroxydes de fer. Il forme la majeure partie des décharges ferrallitiques appelées localement latérites. L'horizon C, tout en étant très pauvre chimiquement, renferme des éléments défavorables à la vie des plantes (excès de magnésium et de nickel). Cet horizon constitue la base des zones décapées. On peut remarquer sur le tableau I, la forte

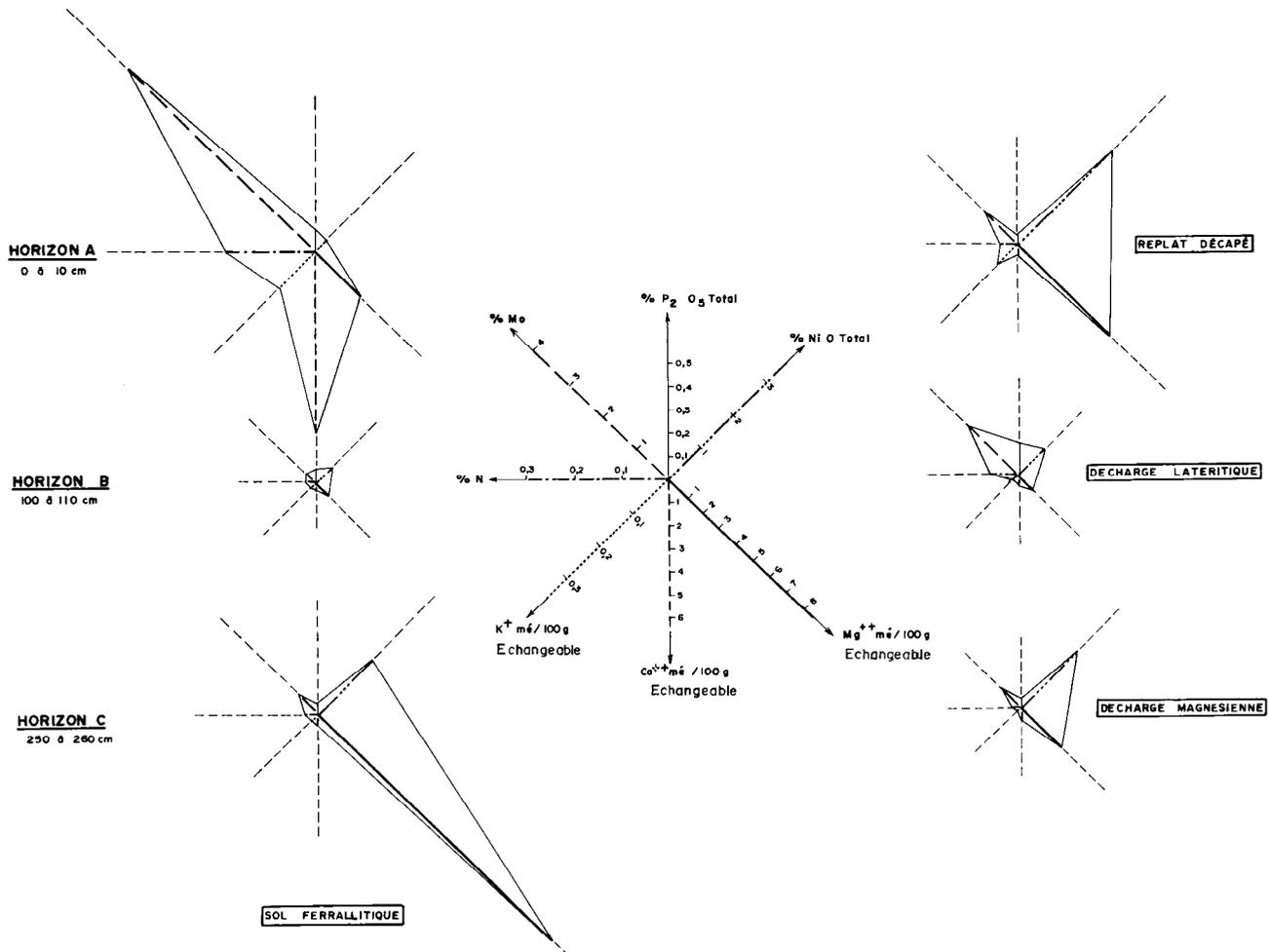


Fig. 2. — Comparaison entre les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique en place sous maquis et de sols nus transformés par activité minière.

TABLEAU I
ANALYSE DES SOLS FERRALLITIQUES DANS LES ZONES MINIERES DE HAUTE ET BASSE ALTITUDES
(MASSIF DU BOULINDA, DOMINANT LA COTE OUEST A 250 km AU NORD DE NOUMEA)

Situation	Sol ferrallitique en altitude Bou 12 (800 m)			Sol ferrallitique à faible altitude Bou 7 (300 m)		
	0-10	50-60	240-250	0-5	20-30	70-80
Profondeur en cm						
Horizon	A 1	B 2	B 3 C	A 1	(B)	C
Structure	particulaire	polyédrique, fine, nette	polyédrique moyenne assez nette	grumeleuse assez nette	polyédrique émoussée nette	polyédrique fine très nette
Granulométrie						
Argile %	2,2	31,6	32,9	17,1	3,1	57,3
Limon fin %	2,1	28,7	40,5	28,8	58,3	14,2
Limon grossier %	1,8	8,8	12,6	11,4	13,9	8,9
Sable fin %	3,2	15,7	7,1	21,1	13,3	2,9
Sable grossier %	91,1*	12,9	5,0	23,6	14,5	10,9
pH	5,7	5,0	5,1	5,7	5,4	5,1
Matière organique						
Carbone en %	15,8	3,8	—	37,3	7,3	7,1
Azote %	0,88	0,2	—	2,51	0,89	0,77
C/N %	17,0	—	—	14,9	8,2	10,2
Eléments échangeables						
Ca ⁺⁺ en mé/100 g	0,16	0,01	0,01	7,7	0,33	0,55
Mg ⁺⁺ "	0,16	0,01	0,32	2,7	0,50	37,5
K ⁺ "	0,02	0,01	0,01	0,36	0,19	0,34
Na ⁺ "	0,03	0,01	0,01	0,18	0,16	1,09
Capacité d'échange en mé/100 g	6,9	0,33	0,01	15,6	2,9	51,9
Taux de saturation en %	5,3	12,5	—	70,0	40,0	75,1
Eléments totaux						
Perte au feu %	10,1	12,5	14,3	13,6	10,8	18,3
Résidu %	0,41	0,34	0,10	3,68	3,25	0,99
SiO ₂ %	0,58	1,18	1,73	8,61	8,11	44,0
Al ₂ O ₃ %	3,94	4,43	2,58	5,03	4,17	1,52
Fe ₂ O ₃ %	76,7	75,1	76,5	54,8	60,5	29,3
MnO ₂ %	0,19	0,45	0,57	2,82	1,36	0,39
CaO %	0,01	0,01	0,01	0,22	0,01	0,02
MgO %	0,34	0,39	1,53	1,02	1,29	2,46
K ₂ O %	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
Na ₂ O %	0,04	0,06	0,03	0,03	0,01	0,03
NiO %	0,12	0,55	1,16	0,37	0,38	1,16
Cr ₂ O ₃ %	6,77	5,35	3,17	9,52	8,63	1,33
CoO %	0,01	0,01	0,02	0,27	0,19	0,06
P ₂ O ₅ %	0,04	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01

* Il s'agit dans cet horizon de sables ferrugineux provenant du démantèlement de cuirasses.

TABLEAU II

COMPARAISON DES TENEURS MOYENNES EN N, P, K, Ca et Mg DES FEUILLES DES ESPECES VEGETALES CROISSANT DANS SIX STATIONS SUR ROCHES ULTRABASIOUES ET DES SOL CORRESPONDANTS.

Eléments totaux	N %	P %	K ⁺⁺ me/100 gr	Ca ⁺⁺ me/100 gr	Mg ⁺⁺ me/100 gr
Feuilles (teneurs moyennes pour l'ensemble des espèces)	0,91	0,024	19,42	47,70	21,73
Sols (Horizon A)	0,14	< 0,02	0,50	1,33	23,66
Sols (Horizon B)	0,04	< 0,01	0,10	0,35	22,68

capacité d'échange et les teneurs élevées en silice totale de l'horizon C dans le cas du profil BOU 7. Ces valeurs, qui contrastent avec les résultats obtenus pour le profil BOU 12, indiquent la présence dans cet horizon de smectites ferrifères que l'on retrouve communément dans les horizons de profondeur des sols ferrallitiques de basse altitude en zone ultrabasique.

La végétation naturelle des massifs de roches ultrabasiques (Virot 1956, Schmid 1972, Jaffré 1970-1974, Jaffré-Latham 1974) comprend des formations basses riches en espèces sclérophylles appelées localement « maquis des terrains miniers » et des formations paraforestières et forestières d'étendue plus restreinte occupant des stations plus humides (bord de rivière, piémont, thalweg). La flore est riche et très spécialisée; les Graminées et les thérophytes en général y sont très peu représentés. La plupart des espèces qui la composent ne se trouvent pas en dehors de la zone ultrabasique, leur croissance relativement lente les rendant peu compétitives. Du point de vue phytotrophique, les plantes des terrains miniers se caractérisent par leurs faibles exigences en tous les éléments nutritifs majeurs (poids du résidu après incinération généralement inférieur à 7 % du poids après dessiccation) et une résistance ou une tolérance plus ou moins accentuée vis-à-vis du nickel et du manganèse (Jaffré 1976).

1.2. LES ZONES EXPLOITÉES

Les zones exploitées constituent des biotopes ouverts, les conditions, qu'elles soient d'ordre microclimatique, édaphique ou biodynamique, rendant très difficile leur recolonisation par la végétation spontanée. Ainsi, certaines aires de mines abandonnées depuis cinquante ans sont encore entièrement nues. Cette lenteur de la reconstitution du tapis végétal sur les terrains miniers après exploitation a déjà été signalées ailleurs dans le monde par divers auteurs (Wild et Wilshire 1971, Howard-Williams 1971, Goodman 1974, Down 1975).

1.2.1. Les conditions microclimatiques

Les conditions d'aridité qui règnent à certaines périodes de l'année, du fait du climat général, se trouvent accentuées sur les surfaces dénudées exposées à un fort ensoleillement et à une intense ventilation. Elles rendent très difficile l'installation et le maintien des germinations qui ont à faire face à de très fortes élévations de température au cours de la journée et à un déficit hydrique accentué pendant la saison sèche.

1.2.2. Les conditions édaphiques

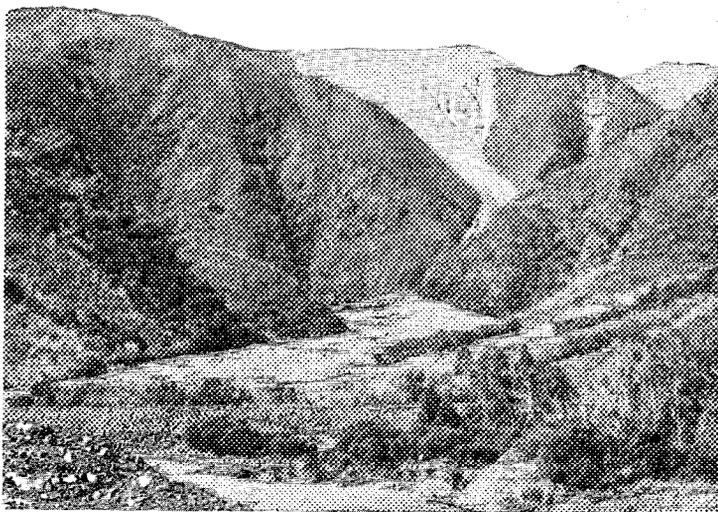
Le substrat édaphique des aires d'exploitation est assez hétérogène; il reste dans tous les cas défavorable à la croissance des plantes.

Les décharges, constituées de matériaux accumulés et plus ou moins tassés, ont de très mauvaises propriétés physiques. Elles sont peu perméables (3 mm/h dans le cas de la décharge de Poro contre 33 mm/h pour un sol ferrallitique voisin) bien que présentant par endroit des fentes de retrait par lesquelles l'eau peut pénétrer en profondeur. En raison de cette faible perméabilité, le ruissellement est intense, le sol ne retenant qu'une faible partie de l'eau de pluie. Ainsi, après une période sèche, on a pu observer sur la décharge de Poro (Jaffré *et al.*, 1976) un déficit hydrique beaucoup plus important en surface de la décharge qu'au voisinage sur les sols en place. En outre, la compaction freine la pénétration des racines en profondeur.

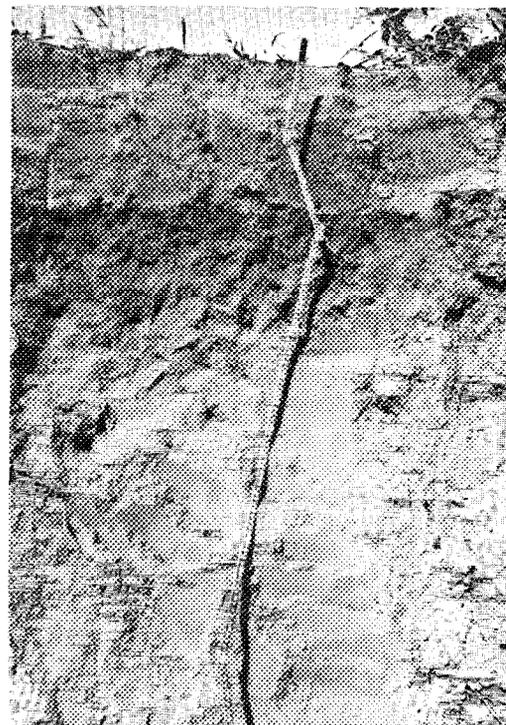
Les caractéristiques chimiques des matériaux mis à nus ou déplacés sont défavorables à la nutrition minérale des plantes (tabl. III, fig. 2). Leurs teneurs en azote, calcium, potassium et phosphore sont faibles bien que parfois supérieures aux teneurs des horizons correspondants des sols en place, du fait d'un mélange inévitable avec les horizons de surface. Ils se diffé-



1



2



3

PLANCHE I

Les effets de l'extraction minière sur le milieu naturel.

PHOTOGRAPHIE 1 : Front de mine à Thio.

PHOTOGRAPHIE 2 : Décharge minière sur forte pente (région de Thio).

PHOTOGRAPHIE 3 : Alluvionnement minier sur un sol de vallée (vallée de la Dothio, profil TH 10).

TABLEAU III
ANALYSE CHIMIQUE DE QUELQUES MATERIAUX DE DECHARGE OU DE ZONE DENUDEE.

Type de matériau	Décharge latéritique acide (Plaine des Lacs)	Décharge latéritique faiblement acide (Poro)	Décharge magnésienne (Moro)	Zone décapée (Koniambo)
<i>Matière organique</i>				
Carbone %	5,7	1,0	1,0	6,1
Azote %	0,29	0,05	0,05	0,26
pH	5,0	6,5	6,7	6,7
<i>Éléments échangeables</i>				
Ca ⁺⁺ mé/100 g	0,17	0,13	0,4	0,40
Mg ⁺⁺ "	0,44	1,6	3,5	5,41
K ⁺ "	0,01	0,01	0,01	0,06
Na ⁺ "	0,14	0,04	0,08	0,08
Capacité d'échange mé/100 g	1,41	7,6	12,8	4,3
Taux de saturation %	52	23,3	31,5	> 100
<i>Éléments totaux</i>				
Perte au feu %	14,4	12,6	12,0	10,3
Résidu %	0,11	3,20	3,9	20,4
SiO ₂ %	1,33	5,20	21,8	22,3
Al ₂ O ₃ %	5,92	2,91	1,90	0,6
Fe ₂ O ₃ %	73,3	65,1	38,5	37,1
MnO ₂ %	0,24	1,72	2,00	0,55
CaO %	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO %	0,07	1,24	8,39	10,9
K ₂ O %	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O %	0,01	0,01	0,02	0,02
NiO %	0,90	1,60	2,32	2,94
Cr ₂ O ₃ %	1,7	2,68	1,60	0,72
CoO %	0,01	0,25	0,12	0,17
P ₂ O ₅ %	0,29			0,01

rençient au niveau de leurs teneurs en silice, fer, magnésium et nickel en trois grands groupes :

- Matériaux ferrallitiques acides, riches en fer et pauvres en silice, magnésium et nickel (décharges des mines situées dans les zones à forte pluviométrie (type plaine des lacs ou zones d'altitude).
- Matériaux ferrallitiques faiblement acides toujours très riches en fer mais contenant une certaine quantité de silice, magnésium et nickel (décharges de Poro et d'une manière générale des mines situées dans les secteurs à faible pluviométrie).
- Matériaux magnésiens riches en smectites ferrifères de réaction neutre, moins riches en fer que les deux précédents mais ayant des teneurs élevées en silice, magnésium et nickel (base de certaines décharges caillouteuses souvent anciennes et substrat des sites de mines exploitées).

Les deux derniers types de matériaux seront qualifiés de magnésiens.

1.2.3. Les conditions floristiques

La lenteur de la reconstitution de la couverture végétale sur les sites de mines tient également au manque d'agressivité et de dynamisme de la végétation des terrains miniers. Il est significatif à cet égard que les espèces qui la composent puissent se développer sur sols normaux en conditions autécologiques (Jaffré 1969, Verlière 1974), alors qu'elles y sont éliminées par le jeu de la compétition interspécifique dans les conditions naturelles, et que certains pins exotiques (*Pinus caribaea* et *Pinus eliottii*) aient sur les sols ferrallitiques de la zone ultrabasique une croissance plus rapide que celles des espèces indigènes.

Elle s'explique enfin par le faible pouvoir édificateur de la végétation pionnière, constituée principalement de Cypéracées ayant des teneurs en cendres (abstraction faite de la silice) de l'ordre de 2 à 3 % de la matière sèche.

Les modalités de la reconstitution de la couverture végétale dans les conditions naturelles différent suivant le type de substrat.

Sur matériaux magnésiens

Ce cas englobe la presque totalité des anciennes mines et la majorité des mines récentes. La reprise de la végétation est extrêmement lente: plus de 20 ans après l'arrêt de l'exploitation comme cela est le cas sur le massif du Koniambo, les anciennes mines et les déblais ne sont occupés que par une maigre végétation qui couvre rarement plus de 20 % de la surface du sol. On est en présence de communautés végétales ouvertes qui se comportent en groupements stationnels spécialisés, l'installation de nouvelles espèces ne se faisant qu'au bénéfice d'années à saison sèche exceptionnellement peu marquée. Les premières espèces à apparaître sont des Cypéracées (*Schoenus juvenis*, *Schoenus neo-caledonicus*, *Costularia comosa*, *Costularia pubescens*, *Lepidosperma perteres*) et une Protéacée (*Grevillea exul*). Dans les zones ombragées, au pied des fronts de taille, s'installe une Fougère (*Sphenomeris deltoidea*) et une Rubiacée *Normandia neo-caledonica*. Dans les anfractuosités rocheuses on observe *Asplenium novae-caledoniae*. A ces espèces qui demeurent longtemps dominantes se joi-

gnent de manière sporadique d'autres Cypéracées (*Baumea deplanchei*, *Scleria neo-caledonica*) et des espèces arbustives (*Hibbertia trachyphylla*, *Scaevola aff. erosa*, *Styphelia floribunda*, *Argophyllum laxum*, *Peripterygia marginata*...). Le nombre des espèces s'installant sur les anciennes mines demeure limité: sur l'ensemble des sites d'anciennes mines du Koniambo 21 espèces seulement ont été dénombrées (Jaffré 1974). Il est à remarquer que la plupart de ces espèces (exception faite de *Asplenium novae-caledoniae* et *Sphenomeris deltoidea* qui sont franchement chasmophytes) sont des espèces communes dans les formations ligno-herbacées sur sols érodés de pentes, qui comptent 130 espèces différentes pour l'ensemble du massif.

L'étude comparative des différentes composantes de la végétation des anciennes mines et du groupement ligno-herbacé des pentes péridotitiques, qui occupait primitivement la plupart des zones soumises à l'exploitation minière, montre donc que, plusieurs décennies après la fermeture de la mine, la flore demeure très appauvrie et le taux de recouvrement très faible. Globalement, il y a une diminution très nette de la masse de matière végétale qui joue moins bien son rôle d'agent régulateur de l'économie en eau et d'agent stabilisateur du sol par limitation du ruissellement (fig. 3).

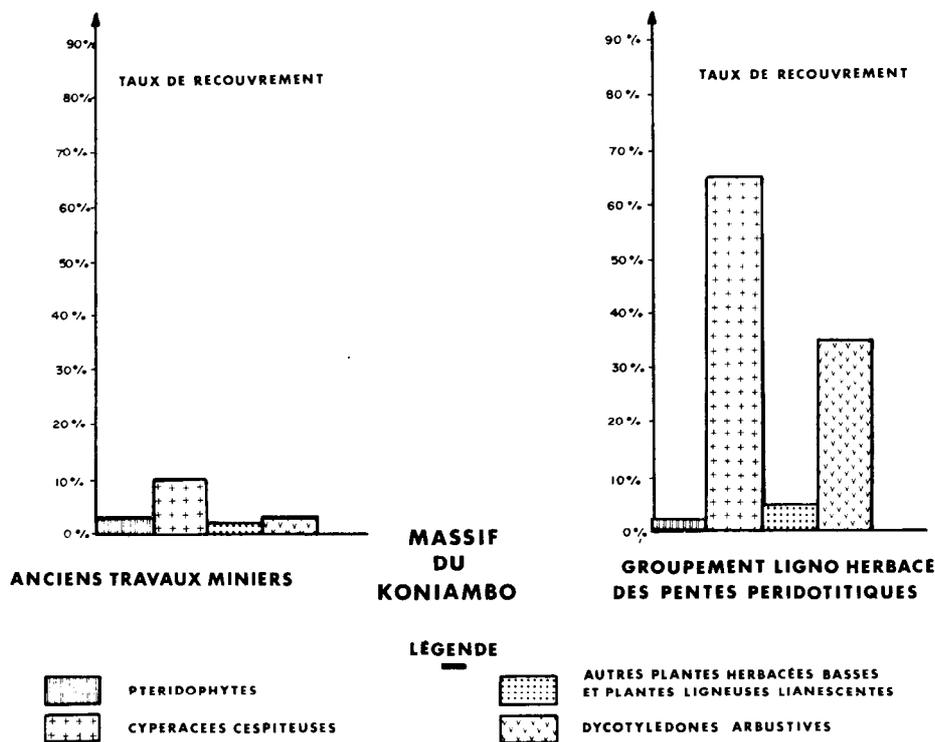


Fig. 3. — Importance des différents constituants de la végétation dans le recouvrement du sol.

On peut se demander à la lumière des travaux sur la flore des anciennes mines en Europe (Jowett 1958, Bradshaw 1970, Smith et Bradshaw 1970) si les espèces colonisatrices des anciennes mines en Nouvelle Calédonie ne comprendraient pas des écotypes spécialisés particulièrement adaptés à la vie dans des milieux très arides et toxiques.

Sur matériaux « ferrallitiques acides »

Ce cas est encore peu représenté, mais, compte tenu des projets d'exploitation de minerai à faible teneur nécessitant des décapages de latérites sur de vastes surfaces et sur une profondeur de 10 m en moyenne, l'extension des surfaces recouvertes par ce type de déblais pourrait s'accroître considérablement au cours des prochaines années.

Des observations peuvent être effectuées actuellement sur des aires d'exploitation abandonnées depuis moins de 10 ans (région de Thio, plateau de Prony), et dans des zones de prospection récente (Plaine des Lacs).

La reprise de la végétation est ici plus rapide que sur les déblais magnésiens. Elle est néanmoins beaucoup trop lente pour assurer une protection convenable du sol dans les 5 à 10 années qui suivent le décapage et la mise en place des déblais. On constate que sa réinstallation s'effectue d'autant mieux que la partie superficielle du déblai est riche en débris de cuirasse ou en éléments gravillonnaires provenant de l'horizon supérieur du sol initial. Ces éléments de surface, par leur granulométrie, favorisent l'aération du sol et sa résistance à l'érosion; par leur richesse en matière organique ils améliorent les conditions d'alimentation minérale des plantes.

Dans les meilleurs cas le taux de recouvrement atteint de 10 à 20 % après 10 ans. La flore comprend des Cypéracées (*Baumea deplanchei*, *Costularia comosa*, *Lepidosperma perteres*, *Schoenus neo-caledonicus*) et des *Dicotyledones* ligneuses qui s'installent en même temps que les Cypéracées sur les surfaces nues. Parmi ces espèces ligneuses on note *Baeckea ericoides* et *Stenocarpus umbelliferus* sur les anciens déblais latéritiques de Thio, *Alphitonia neo-caledonica*, *Gymnostoma deplancheana*, *Hibbertia cf. lucens* sur le plateau de Prony et dans les zones récemment décapées de la Plaine des Lacs. Il semble que dans la Plaine des Lacs et certains secteurs du plateau de Prony, l'évolution de la végétation se fasse vers une formation paraforestière à *Gymnostoma deplancheana* identique à celle qui occupait précédemment la plupart de ces zones.

2. LA SITUATION DANS LES PLAINES ALLUVIALES

Dans les plaines alluviales, les changements dans la nature du sol et dans l'aspect de la végétation sont beaucoup plus progressifs (fig. 4, tabl. IV). En début de travaux, des dépôts millimétriques recouvrent les plaines en contre-bas des massifs. Ces dépôts deviennent centimétrique au cours de l'exploitation et peuvent dans certains cas atteindre le mètre. Il arrive même que des glissements de terrain se produisent sous les décharges.

Les alluvions millimétriques sont riches en magnésium et en nickel. Fréquemment, elles sont également assez bien pourvues en matière organique et en éléments nutritifs (N, K₂O, P₂O₅). Le déséquilibre Ca/Mg apporté au sol entraîne une baisse de fertilité, mais cette baisse est très progressive à ce stade, une couche de deux millimètres ne représentant que le centième de l'épaisseur de terre intensément prospectée par les racines. L'effet de cet alluvionnement sur les plantes se traduit par une diminution de la croissance des espèces pérennes et la destruction de certaines cultures. Les dommages sont cependant davantage liés à une réduction de l'activité photosynthétique et respiratoire des feuilles recouvertes d'une pellicule de limon lors des crues qu'à des troubles de carence ou de toxicité minérale.

Un alluvionnement plus important entraîne la diminution des taux de matière organique et d'éléments nutritifs dans la partie utile du sol, la croissance des plantes est plus nettement affectée. Des signes de malnutrition (rougissement puis nécrose des feuilles) sont observés sur l'une des espèces les plus communes dans ces vallées *Stenotaphrum secundatum* (Buffalo grass). Dans les zones exondées, le « buffalo » est remplacé par *Imperata cylindrica* caractéristique des pâturages dégradés.

Dans les secteurs les plus bas où les dépôts sont particulièrement épais, il y a asphyxie complète de la végétation. Les zones polluées ne sont recolonisées que très lentement, les premières espèces à apparaître étant *Cynodon dactylon* et *Ischaemum muticum*. En l'absence de *Stenotaphrum* ces deux espèces deviennent dominantes.

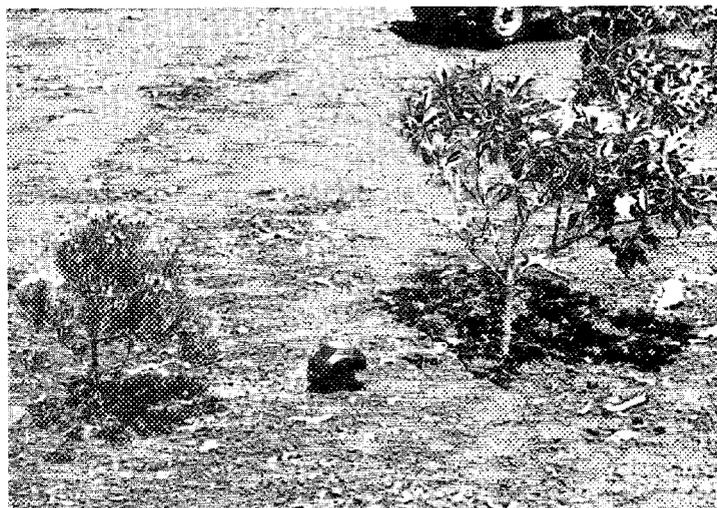
Profitant de l'éclaircissement de la strate herbacée quelques espèces arbustives s'installent, dont plusieurs assez caractéristiques de ces zones d'épandage : *Scaevola montana*, *Pagiantha cerifera*, *Casuarina collina*, *Croton insulare* et *Dodonea viscosa*. On assiste donc à la disparition progressive des plantes les plus productives au profit d'espèces rustiques et ubiquistes, à faible productivité ou n'ayant aucun intérêt agronomique.



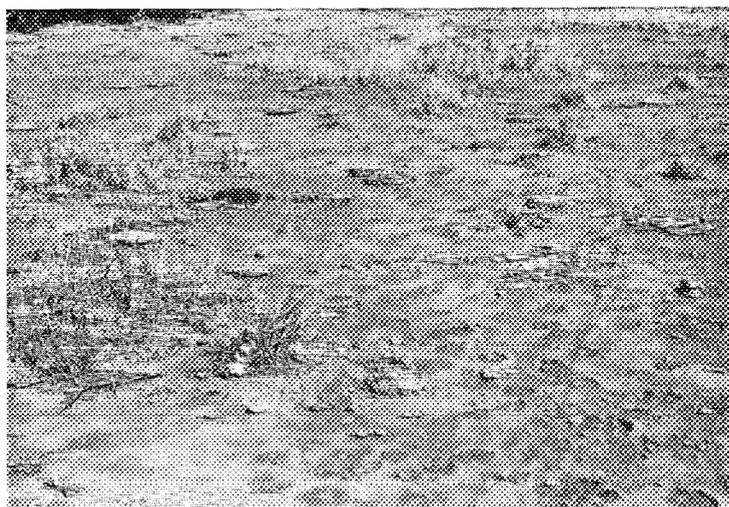
PLANCHE II

Recolonisations végétales naturelles.

PHOTOGRAPHIE 4 : Recolonisation naturelle d'une ancienne excavation de mine par des Cypéracées (région de Thio).



PHOTOGRAPHIE 5 : Recolonisation naturelle d'une zone latéritique décapée (région de Prony).



PHOTOGRAPHIE 6 : Pâturage dégradé par pollution minière, installation d'*Imperata cylindrica*.

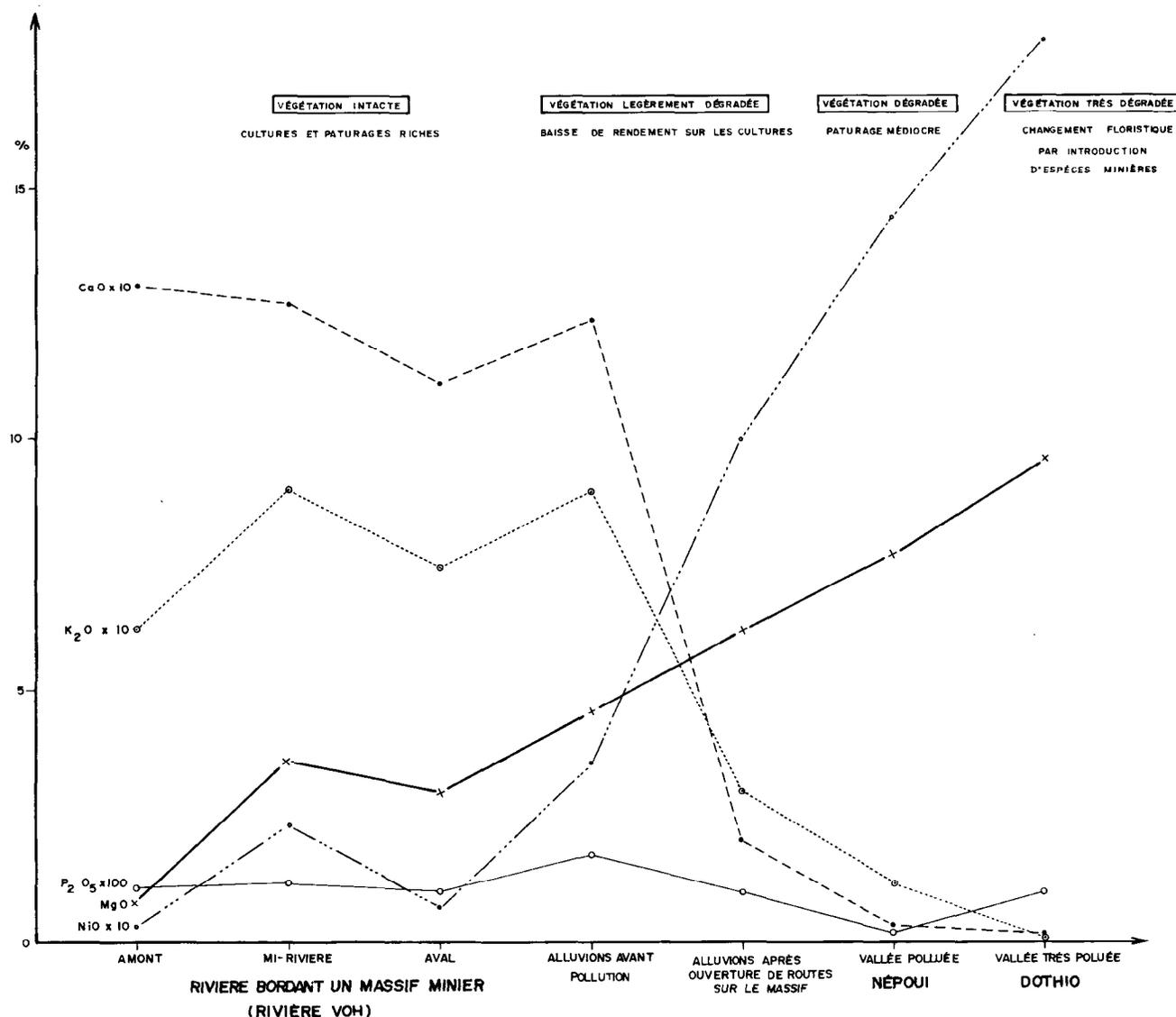


Fig. 4. — Modification de la composition chimique totale des horizons A des sols et de l'aspect de la végétation dans les vallées plus ou moins polluées.

3. LES MOYENS DE LUTTE

Les moyens de lutte sont tout d'abord du ressort du mineur dans le choix du mode de prospection et d'exploitation et dans la sélection des zones de stockage des déblais. Ils sont ensuite du ressort de l'écologiste ou du forestier dans la recherche de méthodes de fixation des déblais par l'installation d'un couvert végétal. Ils seront enfin du ressort de l'agronome lorsque l'alluvionnement dans les vallées ayant cessé,

se posera le problème de leur remise en culture ou en pâturage.

La prospection et l'exploitation minière en Nouvelle Calédonie tendent actuellement à se rationaliser par la mise en œuvre de méthodes moins destructrices et moins polluantes. En 1972 a été créée une commission de prévention des dégâts miniers qui veille à la mise en œuvre, lors de l'ouverture d'une mine, d'un plan d'exploitation minimisant les atteintes au milieu naturel. Ces plans d'exploitation prévoient notamment :

— le tracé des voies d'accès,

TABLEAU IV
ANALYSE D'UN PROFIL DE TERRAIN POLLUE DANS LA REGION DE LA VALLEE DE LA DOTHIO.

N° de l'échantillon	THI 101	THI 102	THI 103	THI 104
Horizon	Apport alluvial récent	Apport alluvial récent	Horizon humifère enterré	Horizon (B) du sol originel
Profondeur en cm	0-6	20-30	33-45	90-100
Structure	En plaquette	En plaquette	Grumeleuse	Polyédrique
Porosité	très faible	Moyenne	Assez importante	Assez importante
<i>Granulométrie</i>				
Argile %	18,0	18,5	19,5	10,0
Limon fin %	30,0	17,5	30,5	19,5
Limon grossier %	16,5	16,5	15,5	13,5
Sable fin %	27,0	36,0	24,5	41,5
Sable grossier %	9,0	12,0	9,5	18,0
<i>Matière organique</i>				
Carbone en %	11,4	8,4	31,1	4,0
Azote	0,7	0,5	1,8	0,2
C/N	16,3	16,8	17,3	15,0
pH	7,2	7,4	7,3	7,4
<i>Eléments échangeables</i>				
Ca ⁺⁺ mé/100 g	0,7	0,4	2,1	0,4
Mg ⁺⁺ "	6,5	7,0	15,0	3,6
K ⁺ "	0,12	0,08	0,25	0,02
Na ⁺ "	0,45	0,04	0,09	0,02
Capacité d'échange "	3,5	2,5	10,2	2,1
Taux saturation %	> 100	> 100	> 100	> 100
<i>Eléments totaux</i>				
Perte au feu	12,9	11,0	14,4	8,9
Résidu	10,3	15,7	8,5	7,5
SiO ₂	14,7	16,4	7,3	4,6
Al ₂ O ₃	2,1	1,9	4,2	4,2
Fe ₂ O ₃	47,0	33,0	61,0	66,0
MnO ₂	1,2	1,04	1,0	1,01
CaO	0,02	0,01	0,04	0,01
MgO	9,62	10,45	2,49	1,99
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,02	0,01	0,01	0,01
NiO	1,80	1,50	1,10	1,18
Cr ₂ O ₃	1,46	1,64	3,21	4,67
CoO	0,20	0,23	0,10	0,11
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,02	0,02

- la stabilisation des déblais miniers (choix d'un site favorable, compactage, barrage de retenue),
- le contrôle de l'écoulement des eaux de ruissellement chargées en limon (canalisation, barrage de décantation).

La reconstitution de la couverture végétale sur les aires d'exploitation vise à restaurer le paysage, à réduire le ruissellement et à freiner l'érosion superficielle. Ses modalités varient suivant les sites concernés qui peuvent être classés en trois catégories : les zones

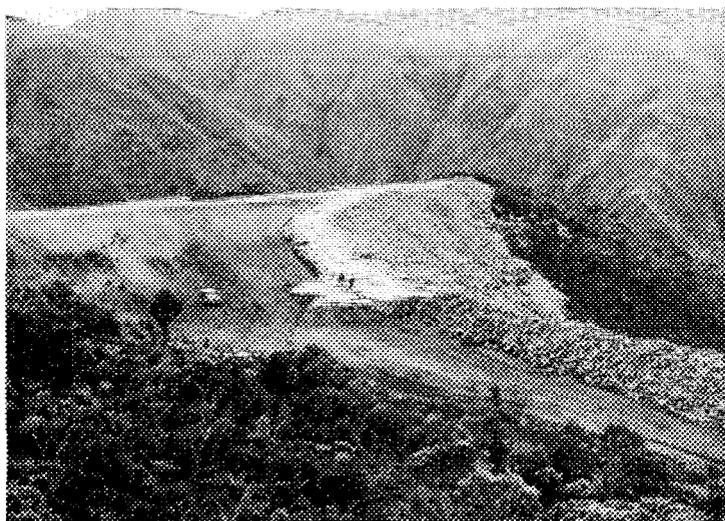
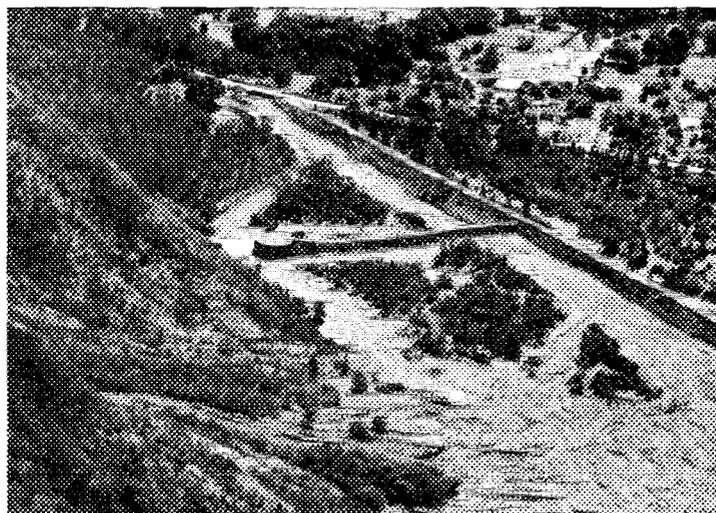


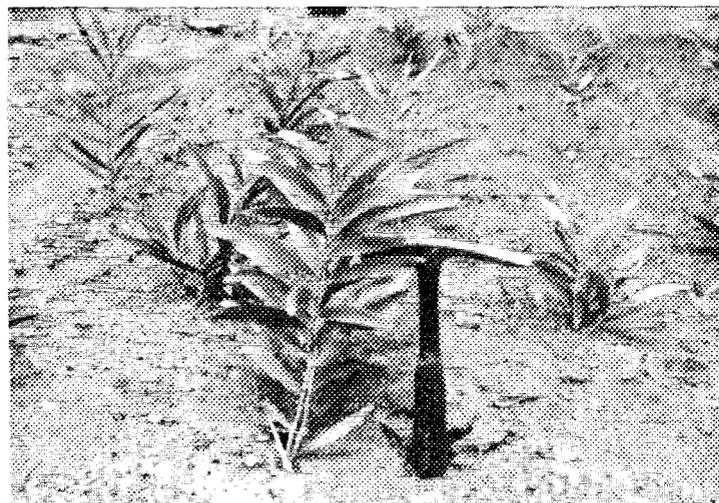
PLANCHE III

Les mesures mises en œuvre pour limiter les effets de la pollution.

PHOTOGRAPHIE 7 : Sur les massifs, stockage de stériles latéritiques par compactage derrière un barrage de retenue (Haute Ouenghi).



PHOTOGRAPHIE 8 : Au pied du massif, barrage de sédimentation sous une décharge (région de Thio).



PHOTOGRAPHIE 9 : Sur décharge magnésienne (Poro) expérimentation destinée à la recherche d'espèces recolonisatrices.

dénudées à la suite de feux répétés, les excavations de mine, les déblais miniers.

Les essais de plantation déjà effectués ou en cours portent sur 2 types de déblais miniers et sur un sol ferrallitique en place dénudé par les feux.

Sur matériau ferrallitique acide, le choix du matériel végétal ne pose pas de problèmes particuliers dans les zones humides de basse altitude. Les essais réalisés sur déblais dans la Plaine des Laes par le Centre Technique Forestier Tropical, pour le compte de la compagnie minière COFIMPAC; avec le concours de l'ORSTOM, ont montré que plusieurs espèces locales, abondantes dans la région (*Alphitonia neo-caledonica*, *Gymnostoma deplancheana*, *Arillastrum gummiferum*) et quelques espèces introduites, *Pinus caribaea*, différentes Graminées (*Cynodon dactylon* et *Pennisetum clandestinum*) répondaient bien aux apports d'engrais, phosphate et azote principalement et présentaient, un bon développement végétatif.

Les plantations réalisées au col de Plum par l'Association pour la Sauvegarde de la Nature avec le concours de la Société Le Nickel ont montré également que, diverses essences indigènes (*Arillastrum gummiferum*, *Gymnostoma deplancheana*, *Acacia spirorbis*, *Araucacia ssp*) ou introduites (*Pinus caribaea*) avaient un bon comportement sur sols ferrallitiques en place ayant reçu une forte fumure organique et minérale.

Les résultats de ces essais ne sont toutefois pas directement transposables aux zones sèches ou d'altitude où les espèces indigènes ainsi testées ne sont pas toujours représentées dans la végétation naturelle.

Sur matériau magnésien le problème est plus complexe: il faut faire appel à des espèces spécialisées, qui doivent dans certains cas, être toxico-résistantes, les teneurs en nickel du milieu étant souvent très élevées.

Des essais ont été entrepris par l'ORSTOM pour le compte de la Société Minière Le Nickel sur ce type de décharge. Sur une quarantaine d'espèces testées, seulement une espèce arborée *Acacia spirorbis* (Gaïac) et trois Graminées *Pennisetum clandestinum*, *Cynodon dactylon* et *Stenotaphrum secundatum* ont donné des résultats intéressants sinon pleinement satisfaisants. La nécessité est apparue d'un apport d'une forte dose d'engrais complet pour accélérer la croissance des plantes, et l'importance des propriétés physiques du sol a été mise en évidence (compaction des remblais réduisant la capacité en eau utile). Ces propriétés physiques pourraient être améliorées par des apports de terres gravillonnaires de surface quand il en existe à proximité, par l'utilisation de conditionneurs de sol ou même, dans certains cas, par l'emploi de filets ou de différentes techniques de

mulching. En outre, il importe de rechercher des espèces toxicorésistantes à développement rapide pour étendre la gamme du matériel végétal utilisable.

En ce qui concerne les terres de vallées ou de plaines polluées par des limons stériles, leur enrichissement en matière organique (culture d'engrais verts ou apport de fumier pour les petites parcelles), associé à de fortes fumures minérales, devrait assurer une restauration au moins partielle de leur productivité. Il est probable toutefois que les investissements nécessaires ne pourraient être rentabilisés dans l'immédiat par les productions agricoles.

CONCLUSIONS

L'ampleur des phénomènes d'érosion consécutifs à l'extraction du minerai de nickel comme l'extrême lenteur de la reprise de la végétation après sa destruction partielle ou totale révèlent l'extrême fragilité du milieu en zone ultrabasique. L'instabilité des masses de matériaux déplacés, le faible dynamisme d'une flore associée à des sols très pauvres et souvent toxiques, l'alternance de périodes d'aridité intense et d'humidité excessive sur les surfaces dénudées sont autant d'obstacles à la reconstitution à l'intérieur des massifs de biotopes stables; mais les secteurs de piémont, où se déposent des limons stériles, ne sont pas moins vulnérables.

Les conséquences des dégradations occasionnées par les exploitations minières se font déjà sentir nettement; elles pourraient dans un proche avenir affecter très sérieusement la vie de la population, et justifient l'adoption de mesures préventives visant à limiter la gravité des atteintes à l'environnement. Il faut aussi s'efforcer d'accélérer la réinstallation de la végétation protectrice là où elle a été détruite; mais dans ce domaine les études n'en sont encore qu'au stade initial, les essais entrepris, en nombre très insuffisant, n'ayant permis de sélectionner que de rares espèces présentant un réel intérêt pour les opérations de reboisement et les résultats obtenus n'étant pas généralisables à l'ensemble des secteurs miniers. Aucune expérimentation n'a encore porté sur les zones alluviales.

Tout en mettant en application, là où les conditions s'y prêtent, les enseignements qu'on peut tirer des travaux déjà effectués, il convient donc de poursuivre les recherches, en les étendant à tous les types de biotopes représentés à l'intérieur de la zone ultrabasique, tant en ce qui concerne la reconstitution de la couverture végétale sur les pentes (interventions tendant à faciliter la réinstallation spontanée des espèces locales ou la reprise des plants mis en place

artificiellement, sélection d'espèces ayant un comportement plus dynamique, étude des phénomènes de solifluxion dans le cas des décharges à découvert ou sous plantation... qu'en ce qui concerne l'aménagement agropastoral des plaines alluviales plus ou moins gravement polluées.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Société Le Nickel et le Centre Technique Forestier Tropical pour la collaboration qu'ils ont apportée à la réalisation de ce travail. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire du Centre de Nouméa.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 8 décembre 1977.

BIBLIOGRAPHIE

- BRADSHAW (A. D.), 1970. — Plants and industrial waste. *Trans. Bot. Soc. Edinburg*, n° 41 : 71-84.
- DOWN (C. G.), 1975. — Soil development on colliery waste tips in relation to age. *J. appl. ecol.*, Vol. 12, n° 2 : 613-622 et 623-635.
- DUGAIN (F.), 1953. — Dégradation et protection des sols en Nouvelle Calédonie. *Etude Mélanésienne*, n° 7 : 69-86.
- GOODMAN (G. T.), 1974. — Ecology and the problems of rehabilitating wastes from mineral extraction. *Proc. R. Soc.*, Lond. A 339 : 373-387.
- HOWARD-WILLIAMS (C.), 1971. — Environmental factors controlling the growth of plants on heavy metal soils. *Kirkia*, Vol. 8 - Part I, 91-102.
- JAFFRÉ (T.), 1969. — Recherches sur la végétation des roches ultrabasiqes en Nouvelle Calédonie. Rapport *multigr.* 27 p., ORSTOM Nouméa.
- JAFFRÉ (T.), 1970. — Les groupements végétaux des sols miniers de basse altitude du Sud de la Nouvelle Calédonie. Rapport *multigr.* 21 p., ORSTOM, Nouméa.
- JAFFRÉ (T.), 1974. — La végétation et la flore d'un massif de roches ultrabasiqes : Le Koniambo. *Candolles* 29 : 427-456.
- JAFFRÉ (T.) et LATHAM (M.), 1974. — Contribution à l'étude des relations sol végétation sur un massif de roches ultrabasiqes de la côte Ouest de la Nouvelle Calédonie : Le Boulinda. *Adansonia*, sér. 2, 14 (3) : 311-336.
- JAFFRÉ (T.), 1976. — Composition chimique et conditions de l'alimentation minérale des plantes sur roches ultrabasiqes (Nouvelle Calédonie). *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, Vol. XI, n° 1 : 53-63.
- JAFFRÉ (T.), LATHAM (M.) et SIMONIN (B.), 1976. — Recherches sur les possibilités d'implantation végétale sur déblais miniers. Rapport *multigr.* 14 p., ORSTOM, SLN, Nouméa.
- JOWETT (D.), 1958. — Population of agrostis spp. tolerant to heavy metals *Nature*, Lond. 182 : 816-817.
- LATHAM (M.), QUANTIN (P.), AUBERT, 1972. — Mise au point sur la classification des sols de Nouvelle Calédonie. ORSTOM, Nouméa, 44 p. *multigr.*
- LATHAM (M.), 1975. — Les sols d'un massif de roches ultrabasiqes de Nouvelle Calédonie : Le Boulinda. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* Vol. XIII, n° 1, 27-40 - n° 2 - 159-172.
- LATHAM (M.), JAFFRÉ (T.), 1975. — Mining effect on botanical and pedological environment in New Caledonia. 13th Pac. sci. cong. Abstracts of papers, Vol. I, p. 201.
- LATHAM (M.), JAFFRÉ (T.), 1976. — Note préliminaire sur la pluviométrie affectant un massif de la côte Ouest de la Nouvelle Calédonie : le Boulinda. Rapport *multigr.* 5 p., ORSTOM, Nouméa.
- MONIOD (F.), 1966. — Notice explicative de la carte des précipitations annuelles de la Nouvelle Calédonie. 11 p. + 1 carte. ORSTOM, Paris.
- SCHMID (M.), 1972. — Carte géologique de la Nouvelle Calédonie notice explicative sur la feuille de Prony : Végétation et flore. BRGM : 10-16.
- SMITH (R. A. H.), BRADSHAW (A. D.), 1970. — Reclamation of toxic metalliferous wastes using tolerant populations of grass. *Nature*, Vol. 227, N° 5256 : 376-377.
- VERLIÈRE (G.), 1974. — Etude de la croissance et de la nutrition minérale du chêne-gomme (*Arillastrum gummiferum*) sur quelques sols Calédoniens. Rapport *multigr.* 18 p. ORSTOM, Nouméa.
- WILD (H.), WILTSHIRE (G. H.), 1971. — The problem of vegetation Rhodesian Mine dumps examined. *Chamber of Mines Journal, Rhodesia*. Vol. 13, n° 11 : 26-30. Vol. 13, n° 12 : 35-37.
- VIROT (R.), 1956. — La végétation canaque. *Mém. Mus. Natl. Hist. Nat.*, série B., Bot. 8 : 388 pages.