



ANNEXE III-C-5-3

**Stéphane McCoy, *Plan de réutilisation de la terre végétale
dans l'emprise du projet Goro Nickel***

Plan de réutilisation de la terre végétale dans l'emprise du projet Goro Nickel

Par: Dr Stéphane McCoy (BSc. Hons. Foresterie; Ph.D Ecologie Végétale, ANU)

Avant propos

Le plan de réutilisation de la terre végétale est un document évolutif compte tenu des lacunes en Nouvelle Calédonie sur l'utilisation de la terre végétale et les recherches nécessaires pour maîtriser l'utilisation de la terre végétale de façon optimale. Les techniques de réutilisation et stockage seront revues après chaque opération et un document technique sommaire sera fourni de façon annuelle au Département de Mine pour mieux optimiser les techniques.

Ce rapport est divisé en quatre sections. La première section fournit un aperçu global sur les connaissances de la rhizosphère des sols latéritiques, leur activité biologique, leur teneur en éléments nutritifs, ainsi qu'un historique sur l'utilisation de la terre végétale par les compagnies minières en Nouvelle Calédonie et le retour d'expérience de son utilisation par Goro Nickel depuis 2000. La deuxième section présente les objectifs, les techniques de défrichage, les techniques de réutilisation ainsi que le stockage. La troisième section présente une description générale de la végétation et terre végétale sur chaque site qui fera l'objet des travaux pendant la phase de construction du Projet Goro Nickel ainsi que la planification de la réutilisation de la terre végétale. La quatrième section présente les idées générales du plan de réutilisation de la terre végétale pendant la phase des opérations ainsi que les études à mener.

Table des matières

Avant propos	1
Table des matières.....	2
1.0 Connaissance sur la rhizosphère latéritique du sud	4
1.1 La rhizosphère des sols ferralitiques ferritiques cuirassés	4
1.2 La rhizosphère des sols ferralitiques ferritiques érodés	5
1.3 La microbiologie de la rhizosphère des sols ferralitiques.....	5
1.4 La banque de graines dans la terre végétale.....	6
1.5 La matière organique et éléments nutritifs.....	6
1.6 Historique sur l'utilisation de la terre végétale	8
1.7 Réutilisation de la terre végétale par Goro Nickel.....	8
1.7.1 Le chantier de construction de l'usine hydro-metallurgie	8
1.8 Retour des expériences sur l'utilisation de la terre végétale	9
1.8.1 Le rétablissement végétal sur la terre végétale directement réutilisé	9
1.8.1.1 Méthodologie des suivis de rétablissement sur terre végétale	9
1.8.1.2 Le rétablissement naturel sur terre végétale.....	11
1.9 La rétablissement végétale sur la terre végétale réutilisé après stockage	12
1.10 Epanchage des graines sur des stockes de terre végétale	12
1.11 Stabilité physique des terres végétales.....	13
2.0 Objectifs du plan de réutilisation de la terre vegetale.....	14
2.1 Principes d'utilisation directe ou stockage	14
2.1.1 Avantages et inconvénients de la terre végétale latéritique	14
2.1.1.1 Inconvénients de la terre végétale cuirassé.....	14
2.1.1.2 Avantages.....	14
2.2 Coordination logistique des travaux de défrichage.....	15
2.3 Technique de défrichage de la terre végétale.....	17
2.3.1 Les moyennes techniques de défrichage.....	17
2.3.1.1 Le râteau a végétation "bush rake"	17
2.3.1.2 Le débroussaillage manuel ou mécanique	18
2.4 Consignes de débroussaillage.....	19
2.5 Consignes de défrichage de la terre végétale.....	20
2.6 Technique de réutilisation de terre végétale	21
2.6.1 Technique de transfert direct	21
2.6.1.1 Inconvénient.....	21
2.6.1.2 Avantages.....	21
2.6.2 Stockage de la terre végétale.....	21
2.6.2.1 Inconvénient.....	22
2.6.2.2 Avantages.....	22
3.0 Plan de réutilisation de la terre végétale pendant la phase de construction	23
3.1 Aires des travaux de construction de l'usine et bassin de stockage de résidus sur la Kwé Ouest.....	23
3.1.1 Cartographie des stockes de terre végétale	23
3.1.2 Cartographie de réutilisation.....	23
3.2 L'utilisation de la terre végétale des aires d'entreposage et stockage	23
3.2.1 Aire d'entreposage du Col de l'Antenne.....	23
3.2.2 Aire de travaux de construction-Berme Kue Ouest	24
3.2.3 L'aire de stockage des résidus de la Kué Ouest	24
3.3 Aires des travaux de construction et développement de la mine de pré production.	26

3.3.1 Cartographie des stocks de terre végétale	26
3.3.2 Cartographie de réutilisation.....	26
3.3.3 L'exercice minier.....	26
3.3.4 Carrière de la Kué Est	26
3.3.5 Fosse minière de pré production	27
3.3.6 Verse à stérile latéritique et voie de roulage de la Kué Est	28
3.3.7 Centre industriel minier (CIM)	29
4.0 Plan de réutilisation de la terre végétale pendant la phase d'opération.....	31
4.1 Etudes a mener.....	31
4.1.1 La banque de graines des terres végétales latéritiques.....	31
4.1.2 Cartographie des terres végétales.....	31
4.1.3 Recensement de la fourmi électrique.....	32
4.1.4 Techniques d'aération des sols	33
4.1.5 L'influence des résidus industriel sur l'activité biologique de la terre végétale	33
4.1.6 Techniques de gestion de la terre végétale	34
4.1.7 Planification des défrichages et stockage de la terre végétale	35
4.1.8 Planification des études a mener	36
5.0 Bibliographie.....	37

1.0 Connaissance sur la rhizosphère latéritique du sud

1.1 La rhizosphère des sols ferralitiques ferritiques cuirassés

Les sols ferralitiques ferritiques cuirassés du plateau de Goro sont caractérisés par une couche superficielle composée en grande partie de blocs, agrégats et graviers pisolithiques de cuirasse contenant de la matière organique en provenance de la décomposition de la litière qui varie en recouvrement selon le type de végétation. Cette couche superficielle colluvionnaire de « terre végétale » a un développement racinaire qui dépasse rarement 30cm de profondeur dans les formations de maquis minier, indiquant ainsi la zone biologique de développement des plants (Bourdon et Podwojeweski, 1988; Becquer *et al*, 1995). Les racines fines (<2mm) sont communes (> 10-25/0.01m²) de 0 à 36cm de profondeur et absentes après 40cm de profondeur indiquant ainsi la limite maximale d'une grande partie de l'activité biologique. Les racines moyennes (>2mm): sont aussi abondantes dans cette horizon et peuvent descendre jusqu'à 60cm de profondeur.

Tableau 1: Les poids des différents composants de la terre végétale de surface (environ + 5 a -5cm)

Matière kg/m ²	Maquis arbustif		Maquis para-forestier	
	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
Litiere	1.2	1.0	3.6	1.1
Agrégats >10mm	22.5	8.0	12.3	3.9
Agrégats & pisolites 10-4mm	9.0	2.9	1.4	0.5
Pisolites & fines <4mm	22.0	10.2	6.3	1.5



Figure 1 (a) Un profil de sol ferralitique ferritique cuirassé montrant l'hétérogénéité des poches de terre végétale en poche. (b) La litière en maquis arbustif ouvert. (c) La litière en maquis para-forestier (d) montrant l'épaisseur de la litière dans les poches de terre végétale.

1.2 La rhizosphère des sols ferralitiques ferritiques érodés

Les sols ferralitiques ferritiques érodés des pentes sont généralement < 2m de profondeur avec un horizon supérieur composé de graviers ferrugineux avec parfois des blocs de péridotite (Latham *et al*, 1978). L'humus est < 2cm d'épaisseur (Figure 2a) et très éparse avec recouvrement <10% de 1m² (Figure 2b). Les racines fines (<2mm) sont abondantes (> 200/0.01m²) de 0 à 10cm de profondeur et absentes >40cm de profondeur. Les racines moyennes (>2mm) peuvent descendre jusqu'à 60cm de profondeur.



Figure 2 (a): Un profil de sol ferralitique ferritique érodé montrant la couche quasi inexistante de terre végétale. (b) La litière du maquis ligno-herbacé.

1.3 La microbiologie de la rhizosphère des sols ferralitiques

La microbiologie de la rhizosphère des latérites a fait l'objet de nombreuses études taxonomiques et microbiologiques en laboratoire. Les premières études ont découvert que les Casuarinacées endémiques possédaient un lien symbiotique avec une bactérie fixatrice d'azote, dont le genre *Frankia*, favorisant leurs développements sur des sols appauvris en éléments nutritifs (Jaffré *et al*, 1994b). Ce lien symbiotique a permis à plusieurs espèces de *Gymnostoma* de coloniser de façons grégaires des sites dégradés par le feu et éboulements (McCoy, 1998). D'autres études menées sur les mycorhizes des latérites ont démontrés que la plupart des espèces des maquis miniers avaient des liens avec des endo-mycorhizes (Amir *et al*, 1997). Les espèces souvent très grégaires (*Gymnostoma*, *Alphitonia*, *Nothofagus*) posséderaient aussi des écto-mycorhizes (*Glomules*) connues pour leurs facultés d'accumulation d'éléments nutritifs, surtout la potasse (Diem & Arahou, 1996). Des familles Gondwaniennes comme les Proteacées et Myrtacées possèdent aussi des racines protéoides (Figure 3), maximisant ainsi leur absorption des éléments nutritifs (Lamont, 1993). Les liens symbiotiques des mycorhizes et bactéries bénéfiques aux plantes sont méconnues et font l'objet d'études par l'Université de la Nouvelle Calédonie regardant la résistance potentielle des mycorhizes aux métaux lourds.



Figure 3: Des racines proteoid sur une *Grevillea exul* (Proteacée)

1.4 La banque de graines dans la terre végétale

Aucune étude (publiée) n'a été faite sur la banque de graines dans la terre végétale en milieu latéritique en Nouvelle Calédonie. Des sources d'information indirecte montrent que la banque de graines 1) varie selon la composition floristique, 2) montre des tendances saisonnières avec 3) une survie des germes qui varient selon les habitats.

Les données obtenues en pépinière de dormance et germination montrent que beaucoup d'espèces germent pendant la saison des pluies après une dormance qui peut durer jusqu'à un an. Cette période chaude et pluvieuse correspond aussi avec la période de fructification de beaucoup d'espèces de maquis minier (Jaffre *et al*, 1997 b). Cependant, la durée de vie des graines de beaucoup de ces espèces est courte et liée aux conditions optimales de germination entre Décembre et Mars. Une étude de survie de germes *Gymnostoma deplancheanum* en maquis sur cuirasse suggère que les germes de graines de maquis minier survivent généralement plus longtemps dans des fissures entre les blocs et agrégats que sur des surfaces planes de gravier (McCoy, 1998).

L'épaisseur de la litière en milieu forestier joue aussi un rôle sur la survie des graines. La litière en forêt humide et maquis ligno-herbacé de piedmont ou pente est peu épaisse avec des surfaces de sol dénudées ce qui facilite la colonisation des germes des plantes. Cependant en maquis dominé par *Gymnostoma deplancheanum* la litière peut être très épaisse et dense <20cm empêchant la colonisation des germes de plantes à grosses graines. Ce phénomène de couche épaisse d'aiguilles de *Gymnostoma* peut ainsi réduire la diversité de la banque de graines dans les maquis à *Gymnostoma* pour les familles possédant des fruits <0.1cm telles que les Myrtaceae, Cyperaceae pouvant traverser la litière au sol (McCoy *et al*, 1996).

1.5 La matière organique et éléments nutritifs

Les sols ferralitiques ferritiques cuirassés du sud de la Nouvelle Calédonie ont une très ancienne pédogenèse issue de plusieurs phases de développement de couche de cuirasse, l'érosion des surfaces et dépôts, qui

ont duré plusieurs millions d'années pour ainsi produire un sol composé de colluvions ferrugineuses en surface et un lessivage des argiles en profondeur (Latham *et al*, 1978). Des études sur les éléments nutritifs, essentiels pour la croissance des plantes, montrent que ces sols ont des fortes carences en azote, phosphore, potasse et calcium, dues à leur absence dans la roche mère lors de leur dégradation en éléments minéraux (Jaffre, 1980). Cette carence édaphique a favorisé un développement végétal composé des familles de plantes sclérophylles possédant des adaptations (petites feuilles, racines spécialisées) pour accumuler et retenir les maigres ressources en éléments nutritifs de la pluie et du sol (Beadle, 1966 ; Morat *et al*, 1986).

Les teneurs en éléments nutritifs des terres végétales des sols ferralitiques cuirassés à Goro sont directement liées au type de végétation et à son stade de développement (Voir tableaux 2). La tendance générale est à une augmentation légère en azote, phosphore et potasse dans la matière organique selon le stade de développement de la végétation. Cette matière organique contient souvent nettement plus des ces éléments que dans le sol dessous indiquant une décomposition et libération des éléments nutritifs qui est lente.

Tableau 2: Les éléments nutritifs et métaux dans la litière, humus et sol dans différente végétation.

	Maquis Ouvert	Maquis Fermé	Maquis para-forestier
Litière			
<i>Total %</i>			
N	0.067	1.262	0.391
P	0.001	0.003	0.001
K	0.000	0.001	0.033
Na	0.058	0.045	0.066
Ca	0.405	0.929	0.206
Mg	0.433	0.119	0.034
Mn	0.133	0.121	0.153
Ni	0.005	0.008	0.006
Humus			
<i>Total %</i>			
N		1.101	0.374
P		0.001	0.001
K		0.000	0.015
Na		0.043	0.073
Ca		1.076	0.024
Mg		0.111	0.042
Mn		0.153	0.088
Ni		0.002	0.077
Sol			
<i>Total %</i>			
N	0.032	0.008	0.225
P	0.019	0.021	0.020
K	0.005	0.006	0.008
Na	0.006	0.012	0.014
Ca	0.025	0.007	0.011
Mg	0.059	0.057	0.039
Mn	0.103	0.163	0.257
Ni	0.201	0.297	0.303
Fe	49.193	49.159	40.661
Cr	3.904	3.766	2.581
Co	0.013	0.020	0.028

1.6 Historique sur l'utilisation de la terre végétale

La réutilisation de la terre végétale lors des décapage des mines à ciel ouvert a pour objectif de reconstituer une couche de substrat sur des stériles miniers contenant des pouvoir biologiques (mycorhizes, bactéries) permettant un développement de la végétation à partir des graines se trouvant dans le sol. Cette technique est couramment utilisée dans de nombreux pays (Australie, Etats-Unis, Asie, Europe) par des compagnies minières pour reconstituer une végétation floristiquement similaire à celle d'origine sur des stériles et résidus miniers à des coûts moins élevés que par des opérations de revégétalisation nécessitant une logistique de récoltes, plantations et amendement édaphique souvent lourd. Cependant l'efficacité des techniques requière de nombreuses années d'études sur le pouvoir germinatif et suivis biologiques pour obtenir des résultats pouvant montrer des directions techniques pour une réutilisation optimale de la terre végétale. C'est seulement après 30 ans de recherche sur l'utilisation de terre végétale que des compagnies telles que, Alcoa a pu développer des techniques de réutilisation optimale de la terre végétale (Gardner, 2003).

La réutilisation de la terre végétale sur les massifs latéritiques en Nouvelle Calédonie est faite depuis peu de temps sur des petites surfaces compte tenu de la topographie accidentée créant des conditions difficiles pour le défrichage et extraction des couches fines de terre végétale. Les dernières études (publiées) par la SLN sur l'utilisation de terre végétale en 1991, consistant à transporter de la terre végétale alluviale des vallées de Thio sur les versants latéritiques des mines avoisinantes. Le développement spontané végétal issu de la terre végétale était composé des espèces des vallées souvent nocives pour la flore in situ (Graminées, Sensitives, Bois de fer). La végétation ligneuses a progressivement disparu, mais avec peu de recolonisation par les espèces endémique du massif (Jaffré *et al*, 1995).

1.7 Réutilisation de la terre végétale par Goro Nickel

1.7.1 Le chantier de construction de l'usine hydro-metallurgie

La plate-forme du chantier de construction de l'usine ainsi que la base vie de Goro Nickel ont été défrichées de leur végétation en 2001. La végétation de ces zones était composée de trois formations principales; maquis ligno-herbacé de piedmont, maquis arbustif semi-ouvert et maquis fermé dominé par *Gymnostoma*. La plate-forme du chantier de la centrale électrique de Prony Energie se trouvait en zone marécageuse caractérisée par un maquis et forêt rivulaire.

Une procédure de stockage de la terre végétale a été mise en place et appliquée par Goro Nickel et le consortium de construction Bechtel, Technip & Hatch dès le démarrage des défrichages du chantier en 2001. Les matériaux de défrichage *en vrac* (de végétation et terre végétale rocheuse) ont été stockés à trois endroits principaux dans l'idée de les utiliser pour revégétaliser les pentes des versants contrôlés en proximité des chantiers. La première décharge a été créée sous forme de deux décharges de 30m large x 5m de haut à proximité de l'usine pilote pour stocker la terre végétale en provenance du défrichage du chantier de l'usine. Une deuxième décharge de terre végétale a été établie en proximité du chantier de construction de la

centrale électrique de Prony Energie. Cette décharge (20m large x 8m haute) était composée de végétation et terre végétale très rocheuse en provenance des formations de maquis para forestier. Les premières opérations d'épandage de terre végétale ont été faites sur les pentes dégradées du centre de télécommunication en juillet 2001. Des opérations subséquentes d'épandage de terre végétale et végétation ont été fait progressivement jusqu'en Février 2003 sur les pentes des versants à stériles du chantier de l'usine avec de la terre végétale rocheuse en provenance de la décharge de la centrale électrique ainsi que la décharge derrière l'usine pilote.

La troisième décharge de terre végétale de 30m de large x 5m de haut a été établi en 2001 en dessus du col de l'Antenne (versant Prony) pour stocker la terre végétale défrichis du chantier de construction de la base vie. Cette terre végétale été stocké en proximité de la base vie pour pouvoir servir comme substrat pour une revégétalisation paysagère de la base vie après sa construction ainsi que le camp de construction après son démantèlement.

En résumé, plus de 6000m³ de terre végétale on été épandées entre 2001 et 2003 sur les pentes des versants contrôlés du chantier de construction après un stockage de moins de 2 ans. La seule décharge de terre végétale restante datant de l'époque BTH est la décharge en dessous du col de l'Antenne en attendant la fin des travaux de la base vie.

1.8 Retour des expériences sur l'utilisation de la terre végétale

Plusieurs études ont été mise en place depuis 2003 pour étudier la terre végétale lors de son défrichage et stockage compte tenu des énormes lacunes d'information sur la stabilité édaphique, composition, taille et viabilité de la banque de graines dans les latérites en Nouvelle Calédonie. Des récapitulatifs des études en cours sont présentés dans les sections ci dessous.

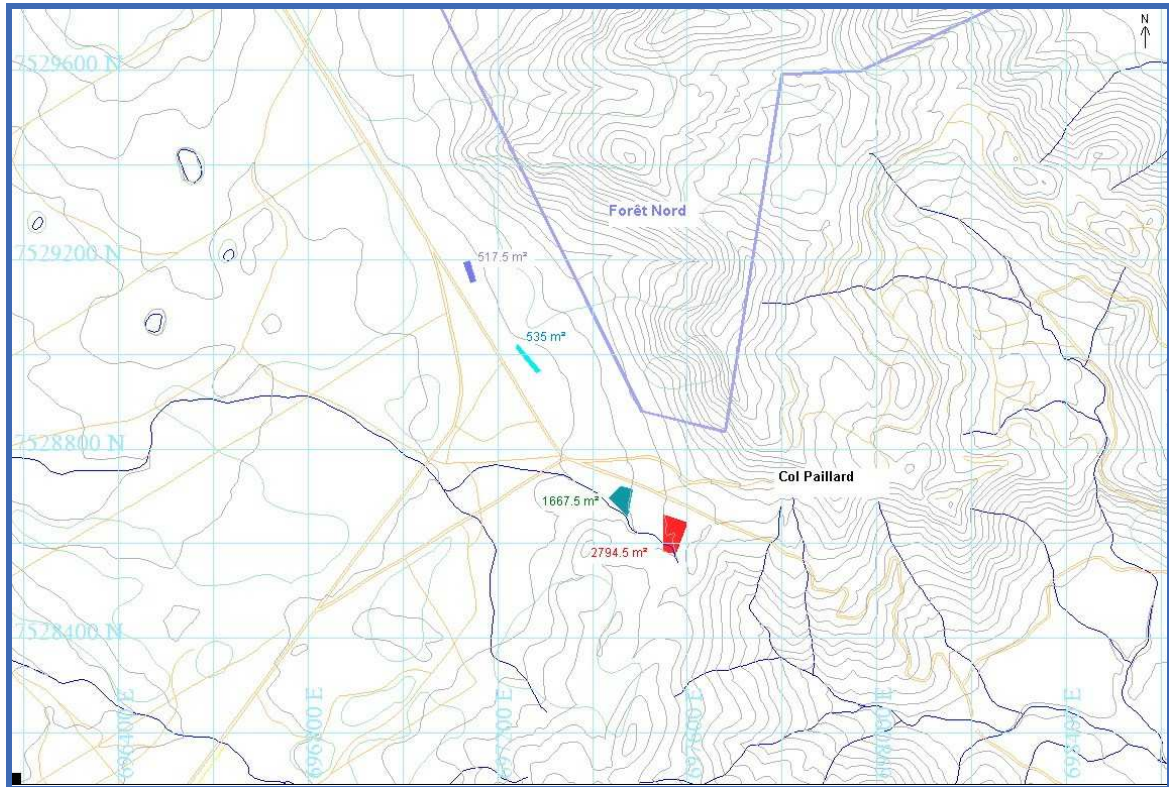
1.8.1 Le rétablissement végétal sur la terre végétale directement réutilisé

1.8.1.1 Méthodologie des suivis de rétablissement sur terre végétale

Des parcelles permanentes de suivi de germination ont été établies en septembre 2004 sur des plates-formes et pentes du chantier de construction qui ont fait l'objet d'un transfert et épandage immédiat de la terre végétale en 2003. L'étude a été mise en place afin d'obtenir des informations sur la composition et abondance végétale des espèces germant sur des différentes terres végétales. Cette information pourra ainsi être utiliser pour classer les différentes terres végétales selon leur banque de graines et ainsi leur potentielle réutilisation en revégétalisation.

La première surface d'étude est composée de deux plates formes de 10,000m² au Col Paillard qui ont reçu de la terre végétale très rocheuse en provenance du défrichage d'un maquis para forestier pour la construction de la centrale électrique de Prony énergie en novembre 2002 (Carte 1). La terre végétale a été épandée par bulldozer sur environ 40 cm d'épaisseur. Le deuxième site d'étude concerne la partie extérieure d'un remblai du caniveau périphérique de l'usine. Cette zone a reçu une couche de <10cm de terre

végétale en Novembre 2001 en provenance du maquis ligno-herbacé existant sur le positionnement du caniveau en proximité de la Forêt Nord. Cette terre végétale a été étalée puis compactée sur la pente avec une excavatrice.



Carte 1: Localisation des parcelles d'étude de régénération naturelle sur la terre végétale.

89 carrés de 1m² ont été établis et recensés sur les pentes du caniveau en proximité de la Forêt Nord (Figure 4). 127 carrés de 1m² ont été établis et recensés sur les deux plates-formes du Col Paillard (Figure 5). Toutes les plantes ont été identifiées pour chaque carré afin d'obtenir des informations sur la diversité ainsi que l'abondance dans le rétablissement de la végétation.



Figure 4 (à gauche): Le suivi des parcelles de régénération sur pente de sol érodé fait par les étudiants du DEUST RGEM en 2005.

Figure 5 (à droite): Le suivi des parcelles de régénération sur cuirasse fait par les étudiants du DEUST RGEM en 2005.

1.8.1.2 Le rétablissement naturel sur terre végétale

Les premiers résultats des suivis des comptages des carrés (en tableau 3) sur les plates-formes et pentes de terre végétale montrent plusieurs tendances:

1. Le rétablissement sur la terre végétale cuirassée des plates-formes est plus élevé (27 espèces) que sur les pentes (17 espèces).
2. Le rétablissement est moins abondant sur les plates-formes (3.7 plantes/m²) que sur les pentes (9.2 plantes/m²).
3. Le rétablissement des plates-formes est dominé par des arbustes et des herbacées sur les pentes.
4. Le rétablissement des pentes est plus grand que sur les plates-formes.

Tableau 3: Les résultats des comptages de régénération des plantules dans la terre végétale au Col Paillard et au caniveau de Forêt Nord.

Localisation		Banquets Col Paillard			Remblai du caniveau périphérique		
Lieu d'origine du top soil		Centrale électrique			Construction du caniveau		
Végétation d'origine		Maquis paraforestier			Maquis ligno-herbacé de piedmont		
Substrate d'épandage		Sol ferralitique cuirassé 60-90% Bois 10-40%			Sol ferralitique érodé 90% Bois 10%		
Épaisseur de l'épandage		20-30cm			<10cm		
Date de l'épandage de top soil		November-02			November-01		
Famille	Espèce	Total	Nombre moyenne (n=127) m ²	Hauteur moyenne cm	Total	Nombre moyenne (n=89) m ²	Hauteur moyenne cm
Agavaceae	<i>Cordyline neocaledonica</i>	3	0.024	6.0	13	0.146	4.0
Apocynaceae	<i>Parsonsia flexuosa</i> *	2	0.016				
Araliaceae	<i>Myriophyllum fraxinifolius</i>	2	0.016	3.0			
Araliaceae	<i>Polyscias pancheri</i>	29	0.228	3.8	3	0.034	
Celastraceae	<i>Geniostoma densiflorum</i> *	2	0.016				
Cyperaceae	<i>Baumea deplanchei</i>	36	0.283	5.4	499	5.607	17.0
Cyperaceae	<i>Costularia comosa</i>	2	0.016				
Cyperaceae	<i>Costularia nervosa</i>				11	0.124	
Cyperaceae	<i>Gahnia novaealedonica</i>	6	0.047	13.0			
Cyperaceae	<i>Lepidosperma perterres</i> *	7	0.055	25.5	108	1.213	4.5
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium esculentum</i> *				10	0.112	22.0
Dilleniaceae	<i>Hibbertia lucens</i>	18	0.142	9.7	65	0.730	15.1
Dilleniaceae	<i>Hibbertia pancheri</i>	6	0.047	6.7	13	0.146	
Elaeocarpaceae	<i>Elaeocarpus alaternoides</i>	1	0.008	5.0			
Epacridaceae	<i>Styphelia veillonii</i>	3	0.024		1	0.011	
Euphorbiaceae	<i>Austrobuxus ellipticus</i>				2	0.022	
Goodeniaceae	<i>Scaevola balanseaunum</i>	34	0.268	21.6	6	0.067	
Lomandraceae	<i>Lomandra insularis</i>	29	0.228	1.5			
Myrtaceae	<i>Babingtonia leratti</i> *	17	0.134	9.3	2	0.022	
Myrtaceae	<i>Cloezia ardensis</i> *				1	0.011	
Myrtaceae	<i>Eugenia brongniartiana</i> *	1	0.008				
Myrtaceae	<i>Tristanopsis glauca</i> *	1	0.008				
Myrtaceae	<i>Uromyrtus emarginata</i>	3	0.024	5.0			
Orchidaceae	<i>Acianthus sp.</i>	7	0.055				
Orchidaceae	<i>Eriaxis rigida</i>	150	1.181	8.3			
Rhamnaceae	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	73	0.575	8.0	43	0.483	19.1
Rubiaceae	<i>Psychotria rupicola</i>	1	0.008				
Rutaceae	<i>Comptonella drupaceae</i>	9	0.071	16.7			
Rutaceae	<i>Myrtopsis selengii</i>	6	0.047		1	0.011	
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>	28	0.220	9.4	44	0.494	22.4
Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>	3	0.024				
Violaceae	<i>Agathe deplanchei</i>				1	0.011	
Nombre d'espèces		27			17		
Nombre de plantules en moyenne m ²		3.772			9.247		
Total plantules inventoriées		479			823		

Les résultats des suivis de rétablissement sur les différents types de terre végétale montrent d'une manière générale que la terre végétale (sol ferralitique ferritique érodé) en provenance des maquis ligno-herbacé a une banque de graines plus importante mais moins divers. La terre végétale

cuirassé (sol ferralitique ferritique cuirassé) contient moins de rétablissement indiquant que la banque de graines est limitée et peut être appauvrie par le caractère rocheux de la terre végétale lors de son défrichage et étalage. Cette réduction en abondance semble être due à plusieurs phénomènes.

1. Le caractère rocheux de la terre végétale cuirassée ne permet pas la survie des graines sur les surface planes du aux températures élevées des agrégats ferreux (peux atteindre 70°C) correspondant avec les périodes de production de la plupart des espèces entre Décembre et Avril. C'est ainsi que la banque de graine est composée de ceux qui se trouvent dans les fissures de la cuirasse et dans la matière organique qui varie en fonction du recouvrement de la végétation.

2. Le décapage de la terre végétale cuirassée par strate d'activité de façon mécanique (excavatrice, bulldozer) est quasi impossible dû à la nature rocheuse du substrat. La terre végétale ainsi décapée est composée de blocs et agrégats de cuirasse pouvant ensevelir et endommager la banque de graines.

3. La composition floristique des formations végétales sur cuirasse est largement dominée par des espèces ligneuses produisant moins de graines que des Cypéracées. Ceux si sont quasi absent sur cuirasse et font une partie dominante des formations de maquis ligno-herbacé.

1.9 La rétablissement végétale sur la terre végétale réutilisé après stockage

La terre végétale défrichée du chantier entre 2001 et 2003 de l'usine de Goro Nickel a été stockée pendant une période entre 1 et 3 ans et ensuite a été étalée sur les pentes des vers à stériles après leur construction. Des observations depuis leur étalage montrent que d'une manière générale, très peu de rétablissement de plantes a eu lieu sur la terre végétale cuirassée des pentes (1 plante/25m²). Les zones montrent plus de rétablissement (2 plantes/1m²) se situent sur les zones contenant plus de matière organique sous forme de végétation écrasée par l'étalage des chenilles des bulldozers.

1.10 Epannage des graines sur des stocks de terre végétale

Une étude de germination des espèces pionnières a été mise en place en Décembre 2004 sur de la terre végétale cuirassée en provenance de l'exercice minier de Goro Nickel. Cette étude a plusieurs objectifs dont la principale était de savoir quelle période de l'année était la plus propice à un maximum de germination de graines sur la terre végétale. Cette information est essentielle pour des éventuelles opérations d'ensemencement des stocks de terre végétale latéritique. Un deuxième objectif été de savoir lesquels parmi 6 espèces testées présentaient une bonne germination et survie des plantules en conditions "non assistées" (comparativement aux essais de revégétalisation pour lesquels les graines sont associées à des copeaux et couvertes de toile de jute.

2000m³ de la terre végétale cuirassé a été défrichis en Septembre 2004 sur une épaisseur de 40cm en utilisant un râteau végétal fixé à un bulldozer et ensuite transporté et déposé en sillon de 300 m de longueur sur 3m de largeur et 2 m de hauteur sur la plate-forme de Cofremmi.

Des lots des six espèces testées (*Dodonaea viscosa*, *Alphitonia neocaledonia*, *Costularia comosa*, *Hibbertia lucens*, *Hibbertia pancheri* et *Guioa villosa*) ont été semées sur le sillon chaque mois pendant une période d'un an. Un comptage des plantules chaque mois a été effectué pour obtenir l'information sur leurs germination et survie.

1.11 Stabilité physique des terres végétales

Les nombreuses surface de pentes des versants qui ont reçu de la terre végétales entre 2001 et 2003 ont été visitées à de nombreuses reprises afin d'observer leur stabilité physique. Les surfaces de pentes autour du centre de télécommunication qui ont reçu une couche de la terre végétale en provenance du sol ferrallitique ferritique érodé du maquis ligno-herbacé ont subi une érosion de surface créant ainsi des fissures d'un vingtaine de centimètres de profondeur. Cette surface a été revégétalisée en 2003 et recouverte de toile de jute afin de réduire la fissuration des pentes. Par contre les surfaces des versants qui ont reçu une couche de terre végétale cuirassée ne montrent quasiment pas de signe d'érosion de la surface à part sur des zones de drainage depuis leur mise en place il y a 3-5 ans. Ceci est dû au caractère rocheux de la terre végétale cuirassée créant ainsi une protection anti-érosive des matériaux fins de la terre végétale.

2.0 Objectifs du plan de réutilisation de la terre végétale

L'objectif du plan de réutilisation de la terre végétale est centré sur 4 axes.

1. Intégration du défrichage de la terre végétale dans la planification des opérations de terrassement pendant la phase de construction ainsi que dans l'exploitation minière.
2. La réutilisation de la terre végétale, soit directement après défrichage sur des zones à revégétaliser en proximité avec une coordination entre les différents services miniers, soit après une période de stockage avec une planification d'utilisation.
3. Continuer les études scientifiques visant à déterminer les qualités des terres végétales en pouvoir germinatif (diversité, quantité et durée) pour ensuite générer des cartes de valorisation des terres végétales.
4. Développer des techniques industrielles pour mieux réutiliser la terre végétale d'un point de vue économique (criblage, transport, étalage), et biologique (meilleure période de défrichage, cibler les types ou couches de terre végétale ayant les meilleurs pouvoirs germinatifs).

2.1 Principes d'utilisation directe ou stockage

La couche supérieure de terre du plateau de Goro est souvent recouverte par la cuirasse de fer ce qui rend la récupération de la terre végétale (graviers, colluviaux) techniquement difficile sur une grande partie de la concession. Toutefois, il est important de récupérer le maximum de la terre car la terre végétale représente une source importante de graines, d'activité microbienne et fongique et de minéraux nutritifs qui sont des éléments importants pour la croissance des plantes endémiques.

2.1.1 Avantages et inconvénients de la terre végétale latéritique

2.1.1.1 Inconvénients de la terre végétale cuirassée

- Lourde à transporter et à manipuler.
- Pauvre en éléments nutritifs.
- Moyenne-pauvre rétention en eau.
- pH acide
- Des déséquilibres de Mg/Ca et des risques de phytotoxicité pour des plantes non adaptées

2.1.1.2 Avantages

- Souvent disponible à proximité.
- Gratuit (à part les coûts de l'extraction, du transport et de l'étalage)
- Texture sablo-limoneuse permettant une bonne perméabilité et aération.
- Mauvaises herbes et pathogènes absents.
- Graines, mycorhizes et champignons symbiotiques présents.

- Sol résistant a l'érosion de surface.

2.2 Coordination logistique des travaux de défrichage

Plusieurs services sont concernés lorsqu'il y a des travaux miniers nécessitant ainsi une coordination logistique des travaux à mener avant de commencer les travaux de défrichage.

Plusieurs services de Goro Nickel et sous traitants sont concernés par les travaux de défrichage.

Le service ingénierie développe les plans des travaux ainsi que le balisage de l'emprise de la zone des travaux qui sont validés par les autres services du département mine, environnement et permis suite a une visite technique fait par les services provinciaux et territoriaux.

Le service revégétalisation assure l'inventaire floristique, le marquage des espèces rares et leur transplantation avec des engins de la mine, ainsi que la supervision des opérations de défrichage de la végétation par débroussaillage, du transfert de la terre végétale vers des zones de stockage ou étalage pour des opérations de revégétalisation par des sous traitants. Le broyage des végétaux est aussi assuré par le service de revégétalisation.

Le département mine exécute les travaux de défrichage de la terre végétale, le triage des végétaux par grappin, le transfert par camion vers des zones de stockage (ou sur des zones de revégétalisation pour être étalées).

Une liste des besoins en équipements (camions, excavatrice, bulldozer) et personnels sous traitants sera fait au début de chaque campagne de défrichage et transmis au Service Logistique par le Département Mine pour une diffusion sur la commune de Yaté afin d'intégrer les entreprises locales (GDPL Nue Mwadré; SAS Goro Mine).

Un schéma de coordination est présenté dans le tableau 4.

Tableau 4: Coordination logistique des travaux de défrichage de la végétation et de la terre végétale.

Activité	Durée					
		Permit/DIMENC	Ingénierie	Pépinière	GDPL	Mine
Plan des travaux	Durée Operation		x			
Inventaire floristique de l'emprise du zone a defricher	Durée Operation			x		
Localisation & balisage des espèces rares	1 journée			x		
Visite du site des travaux et defrichage	1 journée	x				
Transplantation des especes rares	1 Journee			x		
Balisage du périmètre des travaux	1 journee		x			
Localisation des zones de défrichage forestière	1 journee			x		
Visite de la zone de défrichage	1 journee			x	x	x
Supervision - assistance technique coupe	Durée Operation			x		
Coupe des arbres >20cm de diamètre a 10cm du sol	Durée Operation				x	
Coupe des arbres <20cm de diamètre a 10cm du sol	Durée Operation				x	
Rassemblement des bois pour les tribus a l'extérieur du zone défriché	Durée Operation				x	
Nettoyage des végétaux par bush rake	Durée Operation					x
Rassemblement des stockes de végétaux	Durée Operation					x
Transfert au camion par grappin	Durée Operation					x
Roulage par camion	Durée Operation					x
Broyage & stockage	Durée Operation			x		
Localisation des zones de terre végétale	1 Journee			x		x
Organisation logistique du transfert & transport de la terre vegetale	Durée Operation					x
Visite des zones de terre végétale, zone de stockage & étallage	1 Journee			x		x
Défrichage terre végétale par bulldozer	Durée Operation					x
Triage des bois dans terre végétale	Durée Operation					x
Transfert terre végétale au camion par excavatrice	Durée Operation					x
Roulage par camion au zone de stockage ou réutilisation	Durée Operation					x
Étalage par bulldozer sur lieu a revégétaliser	Durée Operation			x		x

2.3 Technique de défrichage de la terre végétale

Les zones qui doivent être défrichées pour la construction et l'exploitation de la mine contiennent des volumes importants de terre et de cuirasse de fer. Dans la mesure du possible, cette terre végétale sera défrichée jusqu'à une profondeur de 200-300mm (double grattage) avec un râteau végétal "bush rake" fixé sur un bulldozer sur les zones de plateau. Le sol de surface sera trié des végétaux avec un excavatrice équipé d'un grappin forestier et ensuite criblé pour séparer la terre des rochers, du terreau et des végétaux. La végétation triée par grappin sera ensuite broyée et stockée pour des opérations de revégétalisation.

Les zones de pentes des versants des bassins sont des zones où la technique de défrichage par bulldozer muni d'un bush rake sera difficilement praticable. Ces zones de pentes feront l'objet d'un layonnage de la végétation pour récupérer le maximum de biomasse végétale après broyage. La terre végétale des pentes sera criblée pour séparer la cuirasse de la terre végétale.

2.3.1 Les moyennes techniques de défrichage

Plusieurs types d'équipement de chantier minier ainsi que d'exploitation forestière seront utilisés lors du défrichage, de triage de la terre végétale et végétation de la cuirasse et de stockage pendant la durée de l'exploitation de la mine.

2.3.1.1 Le râteau à végétation "bush rake"

Le râteau à végétation ou "bush rake" est conçu pour être fixé sur un bulldozer pour défricher la végétation en conservant le sol. Il consiste en une série de barres verticales en métal remplaçant la lame du bulldozer (Figure 6).

Un râteau à végétation fixé sur un bulldozer a été utilisé sur diverses opérations de défrichage à l'exercice minier de Goro Nickel depuis fin 2004. Cet outil s'avère efficace sur du maquis arbustif sur des zones plates du plateau. Cependant son efficacité est médiocre sur les pentes car les blocs de cuirasse deviennent accrochés dans les dents du bush rake créant un mélange de végétation et cuirasse composée plutôt de blocs. Les tests de bush rake en maquis para forestier montrent que l'outil récupère la litière et la végétation. Toutefois un mélange de cuirasse et végétation est créé par un passage de bush rake. Des modifications structurelles sur le bush rake devrait réduire l'incidence de récupération de blocs. Cet outil est utilisé dans nombreux pays en conjonction avec une excavatrice équipé d'un grappin forestier dans des zones rocheuses pour trier les tas créés par le bush rake. Cette technique de défrichage sera appliquée dans les opérations suivantes:

- Défrichage du maquis arbustif sur des zones plats.
- Défrichage des sous bois et litière végétale après le débroussaillage et récupération de bois dans les maquis para forestier.



Figure 6: Une opération d'épandage de la terre végétale fait avec le "bush rake"

2.3.1.2 Le débroussaillage manuel ou mécanique

Le layonnage ou débroussaillage manuel avec des couteaux de défrichage et des tronçonneuses est fait systématiquement sur les opérations d'exploration géologique de Goro Nickel depuis 1996. La raison pour le choix de cette technique est de réduire l'impact des routes d'exploration sur l'environnement. Plus récemment, les opérations de layonnage des routes d'exploration pour le développement minier de pré-production en 2002 ainsi que le défrichage par layonnage des formations forestières de l'exercice minier en 2003 a permis une bonne récupération de la végétation. Cette végétation a été ensuite transféré et broyé directement par le broyeur Vermeer qui a été mise en service en 2001. Les copeaux produits de la végétation des routes d'exploration ainsi que l'exercice minier ont ainsi été utilisée dans des opérations de revégétalisation en 2003 et 2005.

La technique de débroussaillage manuel a été applique sur les pentes de l'exercice minier avec succès. Cependant, les opérations de ramassage de végétation sont lent compte tenu du terrain accidenté et la présence de nombreuses tiges de souche coupée rendant ainsi l'accès au ramassage difficile. Cette technique de défrichage sera appliquée dans les opérations suivantes:

- Les routes d'exploration de la définition de la ressource minéralogique
- Les zones de maquis para forestier et forêt >6m de hauteur afin de récupérer les arbres pour broyage ou pour les besoins des tribus avoisinantes en bois.
- Sur les zones accidentées de pente inaccessible pour une utilisation du "bush rake".



Figure 7 (a) Layonnage manuel de l'exercice minier par le GDPL (b) ainsi que le transfert des végétaux par camionnette 4x4. (c) Campagne de broyage des layons du "First Ore" en 2002. (d) Campagne de broyage des végétaux de l'exercice minier en 2004. (e) Débroussaillage des végétaux avec une débroussailleuse à moteur thermique (f) utilisant une lame forestière.

2.4 Consignes de débroussaillage

- Le périmètre de la zone doit être balisé par le service d'ingénierie afin de délimiter la zone de défrichage et travaux de terrassement.
- Une visite du terrain est faite sur la zone de défrichage avec les sous-traitants (GDPL) une semaine avant l'opération afin de connaître le terrain, la végétation et les outils nécessaires pour le débroussaillage (tronçonneuse, couteaux de défrichage, débroussailleuse).
- Des zones de stockage de bois pour les tribus ainsi que des zones pour la végétation broyée (route d'exploration, zone dénudée, plateforme) seront aussi visitées afin de planifier les opérations.

- Les sous-traitants de débroussaillage se réunissent chaque matin avec un membre du personnel de Goro Nickel chargé de la supervision du débroussaillage afin de planifier les activités de la journée, déterminer des éventuelles difficultés, de vérifier l'état de l'équipement de débroussaillage et s'assurer que les sous traitants possèdent des tenues de sécurité pour l'opération (Lunettes, gants, jambiers, chaussure de sécurité).
- Le débroussaillage visera à couper premièrement les petits arbustes et à les placer en tas sur une zone déjà défrichée afin de dégager la surface pour l'abattage des gros arbres.
- Les grands arbres (>20cm de diamètre) sont ensuite abattu par tronçonneuse et coupé en plus petites longueurs pour permettre leur transfert en tant que bois pour les tribus ou végétation pour être broyés.
- Une visite du site défriché est organisée entre les sous traitant, le superviseur du défrichage et le superviseur mine une fois que l'opération de défrichage est terminée afin de calculer les volumes de matière végétale et de déterminer les moyens de ramassage (bush rake, grappin) et de transport des bois et matière végétale.
- Le défrichage de la terre végétale par « bush rake » est fait une fois que les tas de matière végétale ainsi que bois ont été transféré aux zones de stockage.

2.5 Consignes de défrichage de la terre végétale

- Une visite de terrain défriché de la végétation est faite entre le superviseur du défrichage, le technicien en revégétalisation, le superviseur de mine ainsi que l'opérateur du bush rake afin de déterminer les zones contenant des quantités de terre végétale et de localiser les endroits de construction des sillons fait par le défrichage avec le bush rake.
- Une deuxième visite est faite sur les lieux du stockage ou de réutilisation de la terre végétale par l'opérateur du camion, le technicien de revégétalisation et le superviseur de la mine afin de planifier les dépôts et de placer la terre végétale en sillons de façon à ce que les stocks soient dans des conditions optimales pour leur conservation ou réutilisation.
- Un défrichage par bush rake des poches de terres végétale sur les zones plats vise à créer des sillons de matière organique d'une hauteur maximum de 3 mètre pour une largeur de 3 mètre afin de faciliter le triage de la végétation arbustif des blocs de cuirasse par grappin et le transport de la terre végétale.
- Un défrichage par bush rake des zones de pentes vise à construire des sillons de matière organique perpendiculaire à la pente afin contrôler et maintenir les latérites fines sur la pentes (réduire l'érosion en utilisant les sillons comme barrière à sédiments).

- Les sillons devraient être construits par le bush rake en proximité d'un endroit accessible pour leur triage et transfert par camion.
- Le décapage de la latérite de recouvrement peut se faire une fois que les sillons de terres végétales ont été triées et transférées vers des zones de stockage ou de revégétalisation.

2.6 Technique de réutilisation de terre végétale

2.6.1 Technique de transfert direct

La technique de transfert direct consiste à étaler la terre végétale sur une zone à revégétaliser immédiatement après son défrichage. De préférence, les opérations de transfert direct sont à réaliser de mars à mai afin d'assurer que les espèces fruitières sont bien présentes dans la banque de graines pendant la saison humide (décembre-mars), et, la banque de graines dispose de conditions climatiques idéales à la germination.

2.6.1.1 Inconvénient

- Les surfaces à revégétaliser sont souvent loin du défrichage donc il y a un coût important dans l'immédiat pour une opération de transfert de terre végétale.
- Un coût supplémentaire car le transfert nécessite plus d'engins (engins de défrichage, transfert et étalage).

2.6.1.2 Avantages

- Meilleur rétablissement à partir de la banque de graines.
- Moins de coût dans le long terme pour la remise en état d'un site avec terre végétale pour une opération de revégétalisation.

2.6.2 Stockage de la terre végétale

La technique de stockage de terre végétale a pour objectif de maximiser l'activité biologique de la terre végétale pendant son stockage. Les travaux de stockage devront avoir pour but de placer la terre végétale en rangées < 2 mètre de hauteur sur des aires établies dans des zones n'ayant aucune espèce rare, peu de reliefs et destinées au décapage de la mine. Les rangées de terre végétale devront être placées perpendiculaires à la pente pour pouvoir retenir les sédiments.

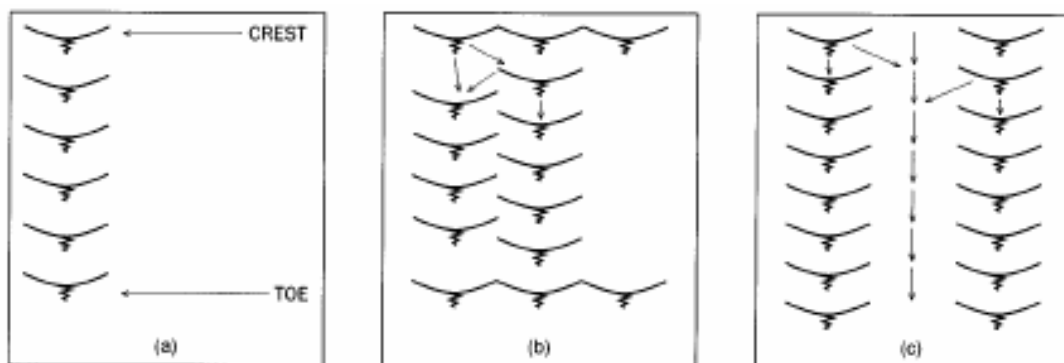


Figure 8: Les techniques de stockage en sillons montrant a). Le pied (Toe) et crête (Crest); b) la configuration correcte des sillons pour réduire l'érosion, en utilisant le dernier sillon comme barrière à sédiment; c) configuration incorrecte des sillons montrant direction de l'érosion.

La hauteur des rangées ou sillons est fixée à 2 mètres pour permettre une meilleure aération de la terre végétale ainsi qu'un maintien de son activité biologique en profondeur. Les sillons seront ensemencés en saison des pluies avec des graines des espèces pionnières arbustifs de maquis miniers (*Gymnostoma deplancheanum*, *Alphitonia neocaledonica*, *Dodonaea viscosa*, *Hibbertia lucens*) pour permettre une survie biologique des mycorhizes et bactéries symbiotiques des racines.

Les opérations de nettoyage des zones minières impliquant le stockage de la terre végétale sont à réaliser de juin à novembre puisque les activités biologiques du sol sont moindres à cause des conditions climatiques plus froides et plus sèches. Afin de permettre la survie de ses activités biologiques, il est préférable de réduire au maximum la durée de stockage de la terre végétale.

2.6.2.1 Inconvenient

- Nécessite le défrichage d'une zone de végétation pour construire une aire de stockage avec les coûts de construction associés.
- où stockage sur une zone dénudée à distance avec les coûts de transport associés.
- La terre végétale doit être replacée sur une zone à revégétaliser avec des engins.
- Réduction important dans la viabilité de la banque de graines.
- Réduction important dans l'activité biologique en profondeur.
- Des problèmes d'anaérobie des matières organiques en profondeur lorsque la terre végétale commence à décomposer.

2.6.2.2 Avantages

- La terre végétale est conservée pour être utilisée en revégétalisation
- Nécessite moins de travaux d'engins car il y a juste l'étape de stockage dont moins de coût à court terme.

3.0 Plan de réutilisation de la terre végétale pendant la phase de construction

3.1 Aires des travaux de construction de l'usine et bassin de stockage de résidus sur la Kwé Ouest.

Un plan de réutilisation de la terre végétale a été établi par Goro Nickel/GCT lors du démarrage de la deuxième phase de construction en 2005. Ce plan vise les zones qui seront défrichées pour terminer les travaux de construction de l'usine telles que l'aire d'entreposage du Col de l'Antenne, l'aire des travaux pour la construction de la berme de stockage de résidu et le centre de maintenance de la berme.

3.1.1 Cartographie des stocks de terre végétale

3.1.2 Cartographie de réutilisation

3.2 L'utilisation de la terre végétale des aires d'entreposage et stockage

3.2.1 Aire d'entreposage du Col de l'Antenne

La surface de l'aire d'entreposage de matériel en dessus du Col de l'Antenne de environ 35 hectares est composée de sol ferrallitique érodé (40%) et sol ferrallitique cuirassé (60%). Le sol érodé contient un horizon superficiel de « top soil » d'une épaisseur de 10-30cm qui est moins rocheux avec un meilleur pouvoir germinatif compte tenu du recouvrement important du maquis minier. Le sol cuirassé contient un horizon superficiel de « topsoil » très hétérogène <(5cm de profondeur) et généralement interrompu par des blocs de cuirasse. Cependant, les estimations (Tableaux 5) montrent que les zones para-forestiers possèdent une couche de litière végétale importante.

Le décapage du « topsoil » sur l'aire d'entreposage a pour objectif de viser leur réutilisation simultanée sur deux endroits à proximité de l'usine dont la revégétalisation est programmée en 2007 et 2008. Le « topsoil » sur sol érodé à proximité de la route sera décapé sur 20 cm de profondeur et déplacé puis immédiatement étalé sur une épaisseur de 20 cm sur les pentes légères et plates-formes des trois versants à stériles contrôlés (environ 6 hectares) à l'Est de l'usine pilote. Le « topsoil » sur sol cuirassé autour des dolines sera gratté en surface pour obtenir le maximum de matière organique et minimum de roche. Ce « topsoil » sera stocké pendant la saison des pluies et ensuite déplacé pour être étalé sur une épaisseur de 20cm sur les pentes de gabbro dénudé sur la route du port (environ 2 hectares) suite aux travaux des paysagistes.

Tableau 5: Les estimations de biomasse végétale et rhizosphérique sur l'aire d'entreposage du Col de l'Antenne. A noter les valeurs de biomasse sont pour la litière et non la terre végétale.

Groupements végétales	Biomasse végétale		Biomasse rhizosphérique	
	Végétation	Biomasse	Litière	Biomasse
	Hectares	Tonnes	Hectares	Tonnes
Maquis para-forestier à <i>Arillastrum</i>	2.81	422.07	1.41	25.32
Maquis para-forestier à <i>Gymnostoma</i>	12.94	1940.36	9.05	162.99
Maquis arbustif semi-ouvert a dense	14.93	209.02	4.48	26.87
Maquis ligno-herbacé sur sol hydromorphie temporaire	1.87	13.10	0.19	0.56
Mosaïc maquis et hydromorphe	0.24	1.71	0.02	0.07
Total	32.80	2586.26	15.15	215.82

3.2.2 Aire de travaux de construction-Berme Kue Ouest

La surface de l'aire de construction de la berme sur la Kué Ouest d'environ 19 hectares est composée de sol ferrallitique ferritique gravillonnaire. La terre végétale des aires de travaux pour la construction de la berme a été très réduite en activité et en qualité organique par le passage du feu en Novembre 2004. La majorité de la zone inventoriée est recouverte d'un sol nu. Cependant la texture gravillonnaire du sol a des bonnes propriétés de croissance racinaire et sera utilisé comme recouvrement sur les zones compactées de l'ancienne route a revégétaliser du col de l'Antenne (4 hectares) lorsque la nouvelle route sera terminée et sur les routes d'exploration géophysique du barrage de la Kué.

La terre végétale sur l'aire de maintenance de la berme est peu utile sans criblage car elle est composée en grande partie de blocs de cuirasse et contient peu de matière organique. Cependant le sol recouvert de maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie temporaire dans la vallée en aval du plate forme de maintenance présente des bonnes propriétés physiques et chimiques pour la croissance des semis et sera étalé directement sur les routes d'exploration dans la vallée de la Kué (2 hectares).

3.2.3 L'aire de stockage des résidus de la Kué Ouest

Ce bassin englobant une superficie de 221 hectares est composé en grande partie (90%) de maquis ligno-herbacé de pente et de piedmont avec quelques lambeaux de forêt humide et de maquis para-forestier dans les thalwegs (10%). Ses formations végétales ont fait l'objet d'un inventaire floristique en 2004 par l'IRD.

Les estimations de biomasse végétale montrent que les lambeaux de forêts humides contiennent plus de 2/3 de la biomasse végétale pour une superficie inférieur a 5% du totale. Ses formations feront l'objet d'une exploitation forestière par une entreprise forestière afin de récupérer les grumes de bois à valeur économique (Kaori, Tamanou).

Tableau 6: Les estimations de biomasse végétale et rhizosphérienne sur l'aire de stockages des résidus. A noter les valeurs de biomasse sont pour la litière et non la terre végétale.

Groupements végétales	Biomasse végétale		Biomasse rhizosphérienne	
	Végétation	Biomasse	Litière	Biomasse
	Hectares	Tonnes	Hectares	Tonnes
Forêt humide	11.62	3055.93	6.97	125.49
Maquis ligno-herbacé de piedmonts	8.34	58.35	2.50	15.00
Maquis ligno-herbacé de pentes	32.81	98.42	3.28	9.84
Maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie permanente	13.50	40.50	1.35	4.05
Maquis ligno-herbacé sur sol à hydromorphie temporaire	77.44	232.33	7.74	23.23
Maquis para-forestier à <i>Gymnostoma</i>	2.39	358.79	1.91	34.44
Maquis arbustif semi-ouvert à dense	24.72	346.08	4.94	29.66
Mosaïc maquis <i>Gymnostoma</i> & hydromorphes	6.14	42.98	1.84	5.53
Reliques forêts & maquis	19.13			
Zones dénudées, dégradées	18.95			
Zones anthropisées	6.49			
Total	221.53	4233.37	30.55	247.25

Les estimations de terre végétale montrent qu'il y a environ 30 hectares de l'aire de stockage des résidus qui contient de la litière. Cette litière est importante dans les lambeaux de forêts humides, mais reste peu importante dans les maquis ligno-herbacés parce que ces formations produisent très peu de litière.

La terre végétale des maquis ligno-herbacé est peu profond (<20cm) avec peu de litière végétale de surface dû a un fort recouvrement de Cypéracées. Cependant le bon rétablissement des Cypéracées sur des zones de suivis suggère que la banque de graines de Cypéracées est importante et devrait être conservée en utilisant cette terre végétale pour des opérations de revégétalisation. La terre végétale dans les lambeaux de forêt humide contient beaucoup de matière organique qui sera défrichée et conservée au même titre que pour le maquis ligno-herbacé car elle contient sans doute une importante banque de graines. Les zones de maquis para forestier et maquis ouvert ainsi que l'humus généré par ses formations ont été en partie détruites par le feu de Novembre 2004 créant des surfaces de sol ferrallitique cuirassé avec peu de terre végétale. La terre végétale des zones présente moins d'intérêt en tant que terre végétale mais sera utilisée comme recouvrement gravillonnaire, dans le cadre des contrôles d'érosion.

La terre végétale du maquis ligno-herbacé et des lambeaux de forêt humide ne sera pas utilisée directement sur l'aire de stockage des résidus étant donné que cette structure doit recevoir les résidus industriels pendant une période de 7 ans. Cependant la terre végétale défrichée de l'aire de stockage des résidus sera stockée en périphérie de l'aire de construction de la berme pendant un période < 2 ans permettant ainsi la fin des travaux sur d'autres zones devant faire l'objet d'étalage de la terre végétale. Les zones qui devront recevoir de la terre végétale sont les suivant:

1. Aire de construction de la berme et surverse sur la Kué Ouest (19 hectares)
2. Aire d'empreinte de déblai, remblais sur la Kué Ouest (27 hectares)
3. Carrière Audemard (17 hectares)

3.3 Aires des travaux de construction et développement de la mine de pré production.

3.3.1 Cartographie des stocks de terre végétale

3.3.2 Cartographie de réutilisation

3.3.3 L'exercice minier

La mise en place d'un exercice minier sur le plateau de Goro en 2003 avait pour rôle de développer, examiner et déterminer la faisabilité des différentes techniques minières afin de mieux maîtriser la mine dans le futur. Ce développement minier était passé par une première étape consistant à développer, examiner et déterminer les techniques de défrichage de la végétation et terre végétale sur les pentes de l'exercice minier.

La campagne de défrichage avait pour but de layonner des formations para-forestières existant sur la verse et fosse minière et de les transférer vers une zone de tri pour être soit broyées en copeaux soit récupérées en tant que bois pour des constructions légères. Cette campagne a transformé 2.77 hectares de maquis para-forestier en 300m³ de bois de construction pour les tribus et 457m³ de copeaux pour les opérations de revégétalisation. Cependant, l'opération de layonnage et ramassage de bois s'est avéré long (8 mois) car les pentes accidentées rendait difficile la récupération de la végétation défrichée manuellement.

3000m³ de terre végétale a été défriché en 2004 sur une profondeur de 30cm sur les zones plats deux maquis para-forestier et ensuite transféré par camion a une zone de stockage en proximité de la base des opérations. Cette terre végétale doit être étalée sur les banquettes de la verse à stérile de l'exercice minier en 2006 suite à la fin des travaux sur les pentes de la verse.

3.3.4 Carrière de la Kué Est

La carrière de péridotite recouvre une surface de 3 hectares et se situe sur une terminaison de crête de péridotite détachée de la ligne de crête principale de la Kue est. Cette terminaison de crête se trouve en tant que versant sud du bassin de la Kué est et versant nord d'un sous bassin alimentant la Kué est. La voie de roulage, la verse à stérile et le décanteur se trouvent dans le sous bassin de la Kué est et recouvre une surface de 1.64 ha.

Les inventaires floristiques montre que l'emprise de la carrière est largement composée de maquis ligno-herbacé de pente et de piedmont avec des lambeaux de maquis para-forestier à *Arillastrum* sur les versants des thalwegs. Ces groupements ont subi un incendie dans les années 1980 qui a changé leur répartition et composition floristique. L'aire de répartition des groupements de maquis ligno-herbace a été élargie par le feu au détriment des formations forestières et rivulaires qui sont aujourd'hui très dégradées et réduites.

Tableau 7: Les estimations de biomasse végétale et rhizosphérique sur l'aire de la carrière de la Kué est. A noter les valeurs de biomasse sont pour la litière et non la terre végétale.

Groupements végétaux	Biomasse végétale		Biomasse rhizosphérique	
	Végétation	Biomasse	Litière	Biomasse
	Hectares	Tonnes	Hectares	Tonnes
Maquis para-forestier à <i>Arillastrum</i>	0.01	1.55	0.00	0.04
Maquis ligno-herbacé de piedmont	0.96	6.70	0.29	5.17
Maquis ligno-herbacé de pentes	2.06	6.17	0.41	1.23
Maquis arbustif semi-ouvert à dense	1.48	20.71	0.44	2.66
	4.50	35.12	1.14	9.10

Les estimations de biomasse végétale montre que l'emprise de la carrière ne contient que très peu de végétation par rapport à sa surface. Cette végétation a été défrichée en Mars 2006 avec le bush rake après que les 20 pieds de *Serianthes petitiana* soient enlevés par le service revégétalisation avec une excavatrice de la mine et transplantés dans des trous situés en aval sur la Kué principale.



Figure 9: Transplantation de *Serianthes petitiana* sur la carrière de la Kué est.

La végétation ainsi que la terre végétale a été détruite par le passage de feu dans les années 1980. La terre végétale est quasi absente sur la carrière. Cependant le défrichage de la terre végétale sur la zone du versé contenant du maquis ligno-herbacé a permis de récupérer environ 4000m³ sur une surface d'environ 1 hectare, indiquant que des couches de terre végétale reliques des forêts avant le passage de feu se sont accumulées dans cette zone de piedmont.

Cette terre végétale sera utilisée sur les routes et plate-formes d'exploration sur la Kué principale (Forages pour le barrage d'eau douce) ainsi qu'une ancienne carrière de route entre Goro et Port Boisé en proximité de la Kué principale en 2006 après une période de stockage sur la versé à stérile de l'exercice minier.

3.3.5 Fosse minière de pré production

L'emprise de la fosse minière de pré production englobe une surface d'environ 50.4 hectares, dont 20 hectares pour l'exercice minier. Les

formations végétales ont déjà fait l'objet d'une étude floristique en 2002 par l'IRD dont le sommaire a été rendu avec la déclaration minière de Mars 2005. Cette végétation a été très impactée par le quadrillage de l'exploration de la mine en 2002 (maille 25x25) et le défrichage de l'exercice minier en 2003 créant un séries de lambeaux de végétation séparés par des routes de sondages.

L'objectif du défrichage de la fosse minière de pré production est de produire de la terre végétale ainsi que des copeaux. La terre végétale sera, dans la mesure du possible, directement réutilisée sur des anciennes zones dénudées (anciennes carrières de routes). Le défrichage de la végétation aura pour but de récupérer le maximum de végétation et le minimum de cuirasse afin de les broyer avec le broyeur Vermeer 2000. Ces copeaux seront utilisés pour revégétaliser divers sites en 2007.

Le plateau de la mine de pré production est dominé par des plaques de cuirasse interrompues par des poches de grenaille contenant de la terre végétale. L'estimation de la quantité de végétation et litière végétale (en tableau ci-dessous) montre qu'il y a 70 tonnes de litière végétale et environ 1250 tonnes de biomasse végétale sur la mine de pré production.

Le défrichage de la végétation et terre végétale des formations de maquis arbustifs sur les zones de plateau utilisera un bulldozer équipé d'un "bush rake". Le défrichage des maquis para forestier se fera par abattage des grands arbres selon la procédure d'exploitation de bois utilisé pour l'exercice minier. Le bulldozer muni du "bush rake" défrichera la végétation restante pour ensuite le stocker pour être triée.

Les tas de terre végétale, cuirasse et végétation regroupés en sillons seront transférés par camion à la zone de stockage de terre végétale et de copeaux pour être triés des blocs de cuirasse et d'arbres avec une excavatrice (équipé d'un grappin forestier?). La végétation (>10cm de diamètre) sera broyée avec le broyeur Vermeer et la terre végétale sera, si possible, directement transférée par camion (<20 tonnes) sur trois zones dénudées à < 5km (voir carte) pour être étalée pour de futures opérations de réhabilitation.

Tableau 7: Les estimations de biomasse végétale et rhizosphérienne sur la mine de pré-production.
A noter les valeurs de biomasse sont pour la litière et non la terre végétale.

Groupements végétales	Biomasse végétale		Biomasse rhizosphérienne	
	Végétation	Biomasse	Litière	Biomasse
	Hectares	Tonnes	Hectares	Tonnes
Maquis arbustif ouvert	22.81	319.33	2.28	13.69
Maquis arbustif semi-ouvert à dense	1.84	25.82	0.37	2.21
Maquis para-forestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	2.85	427.64	1.43	25.66
Maquis para-forestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	3.19	478.10	1.59	28.69
Sol Nu	19.70			
Total	50.39	1,250.89	5.67	70.24

3.3.6 Verse à stérile latéritique et voie de roulage de la Kué Est

La verse à stérile latéritique de la mine de pré-production se trouve dans la partie supérieure de la vallée de la Kué Est englobant environ 25 hectares. Cette vallée ouverte, est caractérisée par du maquis ligno-herbacé de piedmont et de sol érodé, cette végétation ne dépassant pas 3m de hauteur.

La litière végétale est quasi inexistante entre les Cypéracées et arbustes. Cependant la couche supérieure du sol est riche en matière organique et moins rocheuse que le sol ferrallitique cuirassé. La banque de graines est potentiellement importante (à vérifier) compte tenu de la couverture de Cypéracées.

Tableau 8: Les estimations de biomasse végétale et rhizosphérienne sur la verse à stérile de la Kué est. A noter les valeurs de biomasse sont pour la litière et non la terre végétale.

Groupements végétales	Biomasse végétale		Biomasse rhizosphérienne	
	Végétation	Biomasse	Litière	Biomasse
	Hectares	Tonnes	Hectares	Tonnes
Verse à stérile				
Maquis ligno-herbacé de piedmonts	16.27	113.92	4.88	29.29
Maquis ligno-herbacé de pentes	1.43	4.30	0.43	1.29
Maquis arbustif ouvert	4.25	29.72	2.97	8.91
Maquis arbustif semi-ouvert à dense	0.55	7.77	1.55	9.32
Données dénudées, dégradées	2.71			
	25.22	155.70	9.84	48.82

Les estimations de biomasse végétale sur la verse à stérile montre qu'il y a très peu de biomasse par rapport à la surface de l'emprise. Ceci est dû à la composition des maquis ligno-herbacé qui sont dominés par des Cypéracées.

La végétation et la terre végétale seront défrichées sur l'emprise de la verse à stérile par bush rake. La végétation ainsi que la terre végétale sera rassemblée en sillons et triée avec un grappin sur excavatrice afin d'enlever la végétation. Cette végétation sera transférée sur la zone de stockage des végétaux pour être broyée. La terre végétale sera transférée par camion articulé ou autres camions (<20 tonnes) sur trois zones dénudées à < 5km (voir carte) pour être étalés sur des futures opérations de revégétalisation.

3.3.7 Centre industriel minier (CIM)

L'emprise du centre industriel minier regroupant les bureaux de la mine, le centre de maintenance de la mine, l'unité de préparation de minerai ainsi que le dépôt de minerai à court terme, correspond à une surface d'environ 15 hectares. Cette zone fait l'objet d'un inventaire floristique par les botanistes de Goro Nickel, dont le rapport préliminaire concernant la CIM a été rendu en Janvier 2006. La végétation est composée de 10 hectares de maquis arbustif et de 5 hectares de maquis para forestier se trouvant dans la zone du centre de maintenance et bureaux des mines. La biomasse végétale sur le CIM est assez important (926 tonnes) par rapport à sa surface due à la forte densité des arbres de petites tailles dans le maquis para-forestier.

La surface du centre industriel minier est composée de sol ferrallitique cuirassé (100%). Le sol cuirassé contient un horizon superficiel de « topsoil » très hétérogène et généralement interrompu par des blocs de cuirasse. Le recouvrement de la terre végétale des zones de maquis para forestier est plus important <90% et caractérisée par une couche de litière allant jusqu'à 20cm d'épaisseur. La terre végétale des maquis arbustif est composée de poches de litière <5cm de profondeur interrompu par des surfaces de blocs de cuirasse exposée.

Le décapage de « topsoil » sur le CIM a pour objectif d'utiliser la terre végétale sur des endroits à proximité des travaux sur la Kué Ouest. Un endroit potentiel serait la carrière d'Audemard, dont l'utilisation éventuelle de la terre végétale comme substrat de recouvrement permettrait de revégétaliser le site rocheux après exploitation. Cependant, la terre végétale sera stockée en sillon (3 mètres de large sur 2 mètres de haut) après le décapage du CIM sur une plate-forme périphérique des dépôt de minerai à court terme pour une durée < 2 ans afin de permettre la fin des activités et paysagisme de la carrière d'Audemard. L'activité biologique des sillons de terre végétale sera enrichie par des apports annuels de graines d'espèces pionnières comme *Alphitonia neocaledonica*, *Dodonaea viscosa*, *Grevillea exul* et *Costularia comosa*.

Tableau 9: Les estimations de biomasse végétale et rhizosphérique sur le centre industriel minier et voie de roulage entre la mine et centre industriel minier. À noter les valeurs de biomasse sont pour la litière et non la terre végétale.

Groupements végétaux	Biomasse végétale		Biomasse rhizosphérique	
	Végétation	Biomasse	Litière	Biomasse
	Hectares	Tonnes	Hectares	Tonnes
Centre industriel minier (CIM)				
Maquis arbustif semi-ouvert à dense	10.20	142.77	3.06	18.36
Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	5.23	783.90	4.70	84.66
Total	15.42	926.67	7.76	103.02
Voie de roulage entre la mine et CIM				
Maquis arbustif semi-ouvert à dense	23.13	323.85	6.94	41.64
Maquis para-forestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i>	5.51	826.11	4.96	89.22
Maquis para-forestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>	0.30	77.10	0.24	4.25
Total	28.64	1149.96	11.90	130.86

4.0 Plan de réutilisation de la terre végétale pendant la phase d'opération

Les planifications et applications des techniques de réutilisation de la terre végétale pendant la phase d'opération de la mine de Goro Nickel seront développées après un retour d'expérience (régénération végétale, types de techniques) sur les campagnes de réutilisation pendant la phase de construction. Ce retour d'expérience comprends aussi plusieurs études à mener pendant la phase de construction qui sont élaboré ci-dessus.

4.1 Etudes à mener

4.1.1 La banque de graines des terres végétales latéritiques

Très peu d'information existe sur les banques de graines dans les sols latéritiques. Les retours d'expérience de Goro Nickel montrent qu'une plus forte diversité d'espèces existe dans les sols cuirassés, mais avec moins de plantules. Les sols érodés contiennent plus de plantules de moins d'espèces, existant sur un sol qui s'érode plus facilement quand placé sur des pentes.

L'étude de banque de graines sera faite en serre à Plaines des lacs. Elle consistera de prélever la terre végétale des différents sols latéritiques (cuirassé, piedmont, érodé) sous différentes couvertures végétales (maquis arbustif, ligno-herbacé, para-forestier) utilisant plusieurs techniques (aspiration, pelles) pour obtenir le sol de surface <5cm contenant la banque de graines. Ses trois types de sols sous trois types de végétation seront mis dans des bacs à germinations avec une réplication (120 bacs) suffisante pour faire des traitements statistiques sur la banque de graines afin d'obtenir des résultats sur leur taille et viabilité.

Cette étude en serre sera menée pendant la saison des pluies en 2007 et pendant la saison sèche en 2008 afin d'obtenir des informations sur les meilleures périodes de défrichage de la terre végétale.

4.1.2 Cartographie des terres végétales

Dans le cadre de la déclaration minière il est prévu d'établir une série d'inventaire correspondant à 5, 10, 15, 20 et 25 ans de la mine dans une échéance de 3 ans. Le premier inventaire correspondant aux cinq premières années de la mine est planifié pour Septembre 2006. Cet inventaire établi sur une maille de 10,000 m² comprendra les recensements suivants:

- Inventaire floristique
- Localisation des espèces rares
- Quantification des bois exploitables
- Recouvrement et qualité de la litière (10 parcelles de 100m²).
- Epaisseur et composition de la terre végétale (par formation végétale).
- Recensement de la fourmi électrique (*Wasmannia auropunctata*) selon la procédure développée par l'IRD (lire ci-dessous).

4.1.3 Recensement de la fourmi électrique

Appelée localement la fourmi électrique (Figure 10), *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera : Formicidae, Roger, 1863) est présente depuis une trentaine d'années en Nouvelle-Calédonie. Originnaire d'Amérique du Sud, *W. auropunctata* connaît maintenant une dispersion mondiale surtout dans les milieux tropicaux et insulaires (Hawaii, Vanuatu, Îles Salomon, Wallis & Futuna, les Îles Galapagos). L'expansion de cette fourmi vagabonde, appelée « little fire ant » par les Anglo-saxons, a des conséquences écologiques et humaines notables.



Figure 10 : Le fourmi électrique avec stylo comme échelle. Le fourmi électrique.

Un recensement de la myrmécofaune a été entrepris par Dr Hervé Jourdan de l'IRD à plusieurs stations d'échantillonnage de l'emprise de la mine en 2003 (Voir carte en annexe 1). Les résultats montrent que les zones envahies par *Wasmannia* sont dans la partie bas du bassin de la Kué au confluent de la Kué Est et Kué Nord jusqu'à les formations para-forestier qui existait sur l'exercice minier. Sa présence semble directement due à des introductions ponctuelles liées à l'histoire de la zone, en particulier aux défrichements de layons par des engins qui ont pu être des vecteurs de l'invasion. La dégradation des formations végétales par des feux dans les années 1980 aurait aussi permis l'expansion de cette fourmi dans les zones envahies. Les cours d'eau peuvent avoir ponctuellement permis l'extension de son aire à partir de sites contaminés, comme cela semble être le cas dans la station sur l'exercice minier.

L'échantillonnage entrepris par l'IRD a fait sur des zones bien définies par leur habitat végétal en périphérie du gisement de Goro Nickel afin de fournir une description de la diversité de la myrmécofaune par type de végétation. Cependant l'échantillonnage n'a pas été fait à une échelle permettant de décrire l'étendu de la fourmi électrique. Cette opération sera établie en conjonction avec l'IRD dès le démarrage des inventaires floristique en commençant avec la mine de pré-production est les structures auxiliaires afin de localiser l'étendu du *Wasmannia*. Cette cartographie évolutive sera établie par principe de précaution afin de développer des techniques de réutilisation de la terre végétale lors que décapage en évitant de propager *Wasmannia* sur des zones non envahies par cette fourmi. Le technique de détection est par appât sur une maille déterminée selon la surface d'échantillonnage (10m x 10m en générale).

4.1.4 Techniques d'aération des sols

La croissance racinaire des plantes sur les latérites est en grande partie liée à la rhizosphère composée de litière et de sol organique issue de la décomposition formant une terre végétale. Cependant les couches argileuses jouent un rôle fondamental dans l'approvisionnement des plantes en eau dû à leur meilleure capacité de rétention en eau. Cette source d'eau devient primordiale pour les plantes pendant des périodes de sécheresse.

Des études de réutilisation de la terre végétale sur les latérites en Australie (Figure 11), en particulier sur les gisements d'alumine ont découvert des réductions de croissance des plantes sur des zones où la terre végétale n'a pas été homogénéisée avec le sous-sol par ripage. Le ripage a permis une amélioration de la capacité de rétention d'eau de la surface ainsi qu'un meilleur développement racinaire en profondeur car les propriétés de porosité des sous-sols sont améliorées en aération. Ce ripage est pratiqué perpendiculairement à la pente pour permettre une meilleure infiltration verticale de l'eau qui est retenue par le substrat pour une plus longue durée de temps.

Des techniques de ripage ou griffage avec différents outils seront testées sur des zones après l'épandage de la terre végétale afin d'affiner l'aération des sols. Ceci est primordial surtout quand la terre végétale sera épandue sur des substrats argileux (limonite rouge des versants à stérile, résidu industriel).



Figure 11 : Aération par ripage du sous sol sur une mine de Bauxite de Alcoa en Australie Occidentale

4.1.5 L'influence des résidus industriels sur l'activité biologique de la terre végétale

Le résidu industriel issu du procédé hydrometallurgique de Goro Nickel est un substrat similaire en granulométrie à des limonites latéritiques qui possèdent un pH neutre. Leur composition chimique est dominée par des hématites et les

métaux existant dans les latérite ainsi que du soufre et calcium sous forme de sulfate de calcium ou Gypse. Les deux derniers éléments existant dans les latérites et sont essentiel pour la croissance des plantes mais existent a des concentration très faibles. Les plantes des latérites ont ainsi évolué des adaptations aux carences en Ca et S.

A ce jour, les résultats des essais en vases de végétation démontrent que les plantes ne poussent pas sur les résidus car les racines n'arrivent pas à pénétrer la couche argileuse de cette structure. Cependant les plantes peuvent pousser dans un mélange de gravier de latérite (60%) et de résidus (40%). Les cellules de résidus sont prévu d'être revégétalisé suite a une opération d'étalage d'un couche de limonite et une recouvrement de terre végétale pour reconstituer une profile édaphique. Cependant les variations de la nappe phréatique pourraient augmenter les teneurs en S et Ca de la terre végétale et ainsi influencer sa composition microbienne. Une étude microbiologique sera menée en 2006 l'Université de la Nouvelle Calédonie pour examiner l'effet du résidu sur la microfaune et flore de la terre végétale latéritique.

4.1.6 Techniques de gestion de la terre végétale

Le sol superficiel du plateau de Goro est largement composé de blocs et agrégats de cuirasse contenant une terre végétale très dispersée. La récupération de cette terre végétale va nécessiter un criblage afin de réduire le volume de matériel à transporter et étaler sur des zones a revégétaliser. Plusieurs techniques mécanisées de criblage (Figure 12) existes et seront testées pendant l'ouverture de la mine afin de réduire les quantités de roches dans la terre végétale et conserver la partie biologique de la terre végétale.



Figure 12 : La remise de la terre végétale sur le tranché du tuyau d'eau de Goro Nickel par un cribleur vibrant sur chenille

4.1.7 Planification des défrichages et stockage de la terre végétale

Le climat de la Nouvelle Calédonie est caractérisé par une saison de pluie entre Décembre et Avril et une période sèche entre Mai et Novembre. Ses différences climatiques ont une influence sur la productivité végétale en fruit, l'activité biologique des sols ainsi que les déroulements des activités de défrichage et de stockage. L'activité biologique est maximale pendant la saison des pluies au niveau de la production de graines. Les sols sont en général saturés en eau pendant cette période favorisant l'activité biologique de la rhizosphère (développement des germes, bactéries, germination des graines). La saison sèche correspond avec une diminution des températures et une réduction graduelle de la pluviométrie qui se traduit par une réduction d'activité biologique au niveau de la production des graines et activité biologique de la rhizosphère.

Des opérations de défrichage pendant l'exploitation de la mine devraient s'orienter, si possible, vers une planification du déroulement du défrichage qui prend en compte les variations biologiques (donc climatiques).

Ainsi, des défrichages de la végétation à la fin de la saison des pluies pourraient maximiser la quantité de semences dans les stocks de végétation sous forme de copeaux. Le défrichage de la terre végétale en voie d'une réutilisation directe pourrait aussi se faire en saison des pluies pour bénéficier des conditions climatiques pour favoriser la germination des banques des graines et l'activité biologique. Le défrichage de la terre végétale en voie d'un stockage ou réutilisation programmé pour la saison des pluies suivantes pourrait se programmer pour la période sèche quand l'activité biologique de la rhizosphère est minimale et les sols de surfaces sont suffisamment secs pour être défrichés et stockés.

4.1.8 Planification des études à mener

Études à mener	2006				2007				2008				2009				2010			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
<u>La banque des graines dans la terre végétale</u>																				
Saison des pluies																				
Saison sec																				
<u>Cartographie de la terre végétale</u>																				
5 ans																				
10 ans																				
15 ans																				
20 ans																				
25 ans																				
<u>Recensement de la fourmi électrique</u>																				
Mine de pré-production																				
Procédure de gestion pour les 25 ans																				
<u>L'influence du résidu sur l'activité biologique</u>																				
Étude micro biologique																				
Étude en vase de végétation																				
Étude sur champ																				
<u>Technique de gestion de la terre végétale</u>																				
Transfert directe																				
Criblage																				
<u>Planification des défrichage</u>																				

5.0 Bibliographie

- Amir, H. & Pineau, R. (1998) Influence of plants and cropping on microbiological characteristics of some New Caledonian ultramafic soils. *Aus. J. Soil. Res.* 36: 457-471.
- Amir, H., Pineau, R. & Violette, Z. (1997) Premiers resultats sur les endomycorrhizes des plantes de maquis miniers de Nouvelle Calédonie. *In: The ecology of ultramafic and metalliferous areas.* (Eds: T. Jaffré, R. D. Reeves & T. Becquer) Proc. 2nd Int. Conference on Serpentine Ecology. pp 79-85. ORSTOM, Nouméa.
- Becquer, T., Bourdon, E., & Petard, J (1995) Disponibilité du nickel le long d'une toposequence de sols développés sur roches ultramafiques de Nouvelle Calédonie. *C. R. Acad, Sci. Paris* 321: 585-592.
- Beadle, N. C. W (1966) Soil phosphate and its role in molding segments of the Australian flora and vegetation with special reference to xeromorphy and sclerophylly. *Ecology* 47: 993-1007.
- Bourdon, E. & Podwojewski, P. (1988) Morphopédologie des formations superficielles dans le Sud de la Nouvelle Calédonie (Rivière des Pirogues, Plaines des Lacs). *Cahiers ORSTOM, sér. Sci. Terre Pédol* (2), Paris, 43 p.
- Diem, H. G & Arahou, M (1996) A review of cluster root formation: A primary strategy of Casuarinaceae to overcome soil nutrient deficeincy. *In: Recent Casuarina Research & Developement* (Eds: K. Pinyopusarerk, J. W. Turnbull, S. J. Midgley) pp 51-58. Proc. 3rd Int. *Casuarina* Wkshp, Vietnam.
- Gardner, J (2003) Rehabilitating mines to meet land use objectives: bauxite mining in the jarrah forest of Western Australia, Research Note No 11. Internet document: www.alcoa.com.au/environment/bib_internet.pdf
- Jaffré T. (1980) Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Trav. et Doc. n° 124, ORSTOM, Paris.
- Jaffré, T., Gauthier, D., Rigault, F., and McCoy, S. (1994 b) Les Casuarinacées endémiques. *Bois et Forêts des Tropiques* 242: 31-44.
- Jaffré, T., McCoy, S., Rigault, F. & Dagostini, G. (1997 b) Quelle méthode de végétalisation pour la réhabilitation des anciens sites miniers de Nouvelle Calédonie? *In: The ecology of ultramafic and metalliferous areas.* (Eds: T. Jaffré, R. D. Reeves & T. Becquer) pp 163-170. Proc. 2nd Int. Conference on Serpentine Ecology, ORSTOM, Nouméa.
- Lamont, B. (1993) Why are hairy root clusters so abundant in the most nutrient impoverished soils of Australia? *Plant & Soil* 155/156: 269-272.
- Latham, M., Quantin, P., & Aubert, G. (1978) Etude des sols de la Nouvelle Calédonie. Notice Explicative , 78, ORSTOM, Nouméa.
- McCoy, S., Ash, J., & Jaffré, T. (1996) The effect of *Gymnostoma deplancheanum* litter on seedling establishment of New Caledonian ultramafic species. *In: Proceedings of the 2nd Australian Workshop on Seed Biology for Revegetation* (Eds. S.M. Bellairs & J. M. Osborne), ACMMR, Australia.

McCoy, S., Jaffre, T., Rigault, F, & Ash. J. (1999) Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia. *Journal of biogeography* 26(3): 579-594.

McCoy, S. (1998) The dynamics of *Gymnostoma* maquis on ultramafic soils in New Caledonia. Ph.D thesis, Australian National University, Canberra, 273 pages.

McCoy, S. Kurpysz, D. & Newedou, S (2002) Species selection for revegetation of the Goro Nickel project area in New Caledonia. Proceedings 26th Annual British Columbia Mine reclamation symposium.

Morat Ph., Jaffré T., Veillon J.M., Mac Kee H.S. 1986. Affinités floristiques et considérations sur l'origine des maquis miniers de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris, 4è sér., sect. B, Adansonia*, 2: 133-182.

Pelletier, B., and Esterle. T. (1995). Revegetation of nickel mines in New Caledonia. In: Colloque: Quelle recherche française en environnement dans le Pacifique sud; Bilans et perspectives. Paris 1995.