

RAPPORT DE CONSULTANCE

Analyse des effets possibles, sur la flore et la végétation du voisinage d'une doline,
devant servir de réceptacle d'effluents industriels
provenant du traitement chimique des latérites nickélifères
par l'usine pilote de INCO-SA



Laboratoire de Botanique et d'Écologie Appliquée
Rapport établi par Tanguy JAFFRÉ, Gilles DAGOSTINI, Frédéric RIGAULT

RÉSUMÉ

La végétation aux alentours de la doline correspond à un type de formation végétale très commune, dans l'extrême sud de la Grande Terre. Elle correspond à différents stades préforestiers, évoluant vers une forêt dominée par du chêne gomme.

Dans le détail, on observe à partir de la berge de la doline, plusieurs faciès de végétation : un maquis bas buissonnant de 1 à 2 m de haut dominé *par Babingtonia leratii* (fausse bruyère), un maquis paraforestier de 3 à 4 m de haut, et une formation plus typiquement forestière de 10 à 12 mètres de hauteur.

L'inventaire floristique a permis de recenser un total de 101 espèces. Aucune d'entre elles ne figure dans la liste des espèces menacées de Nouvelle-Calédonie, dressée selon les critères de l'IUCN.

La formation à *Babingtonia leratii* dominant (maquis ouvert de moins de 2m de haut), qui se développe à proximité de la doline, dans une zone inondable, correspondant à une auréole d'hydromorphie temporaire. On la retrouve aussi dans de petites dépressions, de quelques 2 à 3m de diamètre, au sein de la zone boisée. La flore très appauvrie compte un total de 21 espèces, toutes communes dans les maquis dégradés du massif du sud.

Les caractéristiques des sols ont une forte incidence sur la végétation de la zone, et peuvent suivant les cas, minimiser, annihiler ou accentuer les effets des apports hydriques supplémentaires tout comme ceux des apports minéraux contenus dans les effluents industriels.

Les sols aux alentours de la doline sont de type ferrallitiques ferritiques désaturés, très profonds et indurés en surface. Leur horizon supérieur atteint couramment plus de 50 cm d'épaisseur. Du point de vue granulométrique cet horizon est constitué majoritairement de sables grossiers, ce qui lui confère une forte porosité et un faible pouvoir de rétention de l'eau. Les horizon B et C du profil pédologique, ont par contre une structure argilolimoneuse et ont une réserve hydrique élevée.

Du point de vue de la nutrition minérale des plantes, il s'agit de sols acides à faible capacité d'échange, fortement carencés en tous les éléments majeurs. Ils possèdent par contre des teneurs relativement élevées en Ni, Cr, et Mn ; ce dernier élément pouvant se révéler toxique pour les plantes lorsque le sol devient hydromorphe.

Les risques de transformation de la végétation du fait du déversement d'effluents d'origine industrielle dans la doline sont de deux types : le risque d'engorgement du sol, et le risque de déséquilibres chimiques pouvant entraîner des phénomènes de toxicité.

Risque d'engorgement du sol (hydromorphie)

Il est vraisemblable que les apports d'effluents liquides vont entraîner une élévation du niveau de l'eau dans la doline, rendant ainsi plus fréquents les débordements et l'inondation de la végétation à proximité et dans les points bas à l'intérieur de la forêt.

La conséquence pourrait être une régression, par taches, ("mitage") de la formation préforestière au profit de la formation appauvrie à *Babingtonia leratii*. Il y aurait alors globalement un effet négatif sur la biomasse végétale et sur la richesse floristique stationnelle, mais qui serait sans effet notable sur la diversité floristique de l'ensemble de la zone.

Risques de déséquilibres chimiques

Les concentrations en calcium et en soufre attendus dans l'eau de la doline attestent d'une augmentation considérable des teneurs de ces deux éléments par rapport aux teneurs initiales. Cependant, en dépit de ce fort accroissement, ces éléments ne semblent pas représenter un risque de toxicité immédiat pour la végétation. En effet les teneurs en Ca et

SO₄ de l'eau de la doline demeurent très inférieures aux teneurs optimales de différentes solutions nutritives utilisées habituellement en culture hydroponique.

Les teneurs en Cu attendues dans l'eau de la doline, demeurent à des concentrations inférieures ou égales à celles tolérées (selon des critères de qualité) dans les eaux douces. Elles ne devraient donc pas être source de perturbation pour la couverture végétale. En outre, en raison du pH de l'eau supérieur à 5, ce qui limite l'assimilabilité de cet élément, elles ne représentent pas un risque de toxicité. Si cependant, à long terme, le cuivre s'accumulait dans la matière organique, son action serait contrecarrée par l'effet antagoniste des autres métaux (Ni, Mn, Fe) naturellement présents sur roches ultramafiques à des concentrations élevées.

Les concentrations en aluminium attendues dans l'eau de la doline ne sont pas négligeables. Toutefois les teneurs en aluminium total renseignent peu sur les risques de troubles qu'elles peuvent provoquer sur la nutrition minérale des plantes. La mobilité de l'aluminium est en effet étroitement gouvernée par le pH. Ainsi dans les sols n'est-il assimilable par les plantes qu'en dessous de pH 5,5.

Au regard des données bibliographiques il est peu vraisemblable que les concentrations en aluminium de l'eau de la doline, comprises entre 0,23 et 0,32 mg/l, puissent entraîner des risques de toxicité. En effet, pour une plante comme le maïs, cultivé dans des sols à teneurs moyennes en matière organique, il a été montré que le risque de phytotoxicité apparaissent uniquement lorsque la teneur en aluminium échangeable (extrait par KCl N) excède 50 mg par kg⁻¹.

En outre comme l'une des caractéristique des ion Al³ est de s'associer aux anions phosphates et à la matière organique, pour donner naissance à des composés peu ou pas solubles, une éventuelle accumulation à long terme de l'aluminium dans le sol se ferait principalement sous forme insoluble. Il faudrait toutefois veiller à ce qu'une acidification importante du sol (apport de matière organique acide) ne contribue pas à libérer des quantités importantes d'aluminium assimilable par les plantes.

Les dispositifs de suivi de la végétation ont pour but de permettre d'analyser à tous moment l'effet des effluents industriels sur la végétation et ses composantes floristiques

Dispositif à proximité de la doline. Une placette permanente de 25m² a été délimitée dans une zone facilement inondable, occupée par le groupement à *Babingtonia leratii*. Tous les individus ont été identifiés et étiquetés. La hauteur de tous les plants a été relevée.

Dispositif dans la préforêt. Une parcelle linéaire de 10m de large sur 40 m de long a été délimitée au nord ouest de la doline. Toutes les espèces ont été répertoriées et leur abondance dominance a été évaluée. Les individus d'un diamètre supérieur à 5 cm à leur base ont été identifiés, mesurés et marqués. Pour le suivi des individus d'un diamètre inférieur à 5 cm à la base, 10 placettes de 1m² ont été réparties et délimitées le long de la parcelle linéaire. Dans chaque placette tous les individus ont été également identifiés, mesurés, et étiquetés.

Le dispositif du suivi des variations chimiques du sol sera réalisé à l'aide d'une espèce indicatrice : *Codia montana* (Cunoniaceae).

Trente individus de cet arbuste répartis le long du transect des parcelles permanentes, du bord de la doline à 40 mètres à l'intérieur de la préforêt ont été marqués. Chaque individu a fait l'objet d'un prélèvement foliaire pour analyse, selon un protocole donné. Les prélèvements ultérieurs, destinés à déceler des variations de composition chimique devront être effectués selon le même protocole.

RAPPORT

Etat des lieux

Situation de la doline

Elle se situe dans une zone relativement plane, par 165°54' de longitude Est et 22°20'24" de latitude Sud, à environ 130 m d'altitude, au nord et à moins d'un km en contrebas de l'usine pilote.

La végétation aux alentours de la doline





La doline est entourée d'une couverture végétale relativement dense dont l'aspect sur photographies aériennes s'apparente à de la forêt dense humide. Il s'agit en réalité de différents stades de reconstitution ou de dégradation d'une forêt qui aurait été détruite par un incendie il y a probablement une quarantaine d'années. La forêt initiale, vers laquelle tendrait de nouveau la végétation actuelle, était une forêt dense du type photo-xérophile (selon la nomenclature utilisée par Virot 1956), dominée par du chêne-gomme (*Arillastrum gummiferum*) dont on trouve quelques individus vivants et des troncs blancs (au bois imputrescible), témoins d'arbres détruits par le feu.

La végétation de la zone est globalement marquée par une espèce à comportement grégaire de la famille des Casuarinacées, *Gymnostoma deplancheanum*, surcimée localement par quelques chênes-gomme (*Arillastrum gummiferum*) qui lui impriment sa physionomie originale et très caractéristique.

Cette formation végétale correspond à un type de végétation très commun sur sol ferrallitique ferritique de plateau, dans l'extrême sud du Grand Massif péridotitique du Sud de la Grande Terre. Elle a été qualifiée, en raison de son évolution très lente, de maquis paraforestier (Jaffré 1980), et assimilée à un stade préforestier par McCoy (1998).

Dans le détail on observe à partir de la berge de la doline, plusieurs faciès de végétation: un maquis bas buissonnant de 1 à 2 m de haut dominé par *Babingtonia leratii* (ex *Baeckea leratii*) ou fausse bruyère, un maquis paraforestier de 3 à 4 m de haut, et une formation plus typiquement forestière de 10 à 12 mètres de hauteur. Cette dernière montre des variations locales, notamment un faciès à strate supérieure monospécifique à *Gymnostoma deplancheanum* de 6-8 de hauteur et un faciès marqué par un plus grand nombre de chênes-gomme. La répartition de ces différents types de végétations et faciès est représentée sur la figure 1.

La comparaison de relevés floristiques réalisés dans les trois catégories de formations végétales reconnues autour de la doline avec la liste floristique de l'association végétale des plateaux ferrallitiques du Sud, montre que la partie la plus boisée autour de la doline appartient, du point de vue phytosociologique, à l'association à *Tarenna hexamera* (ex *Tarenna leiloba*) et *Gardenia aubryi* (Jaffré 1980), tandis que le faciès buissonnant à proximité de la doline en diffère.

-  **1** - Formation à *Melaleuca quinquenervia*
 **2** - Formation à *Babingtonia leratii*
Formation préforestière
 **3** - Faciès à *Codia montana* et *Gymnostoma deplancheanum*
 **4** - Faciès à *Arillastrum gummiferum* et *Gymnostoma deplancheanum*
A - Placette sur limon alluvionnaire
B - Transect en formation préforestière

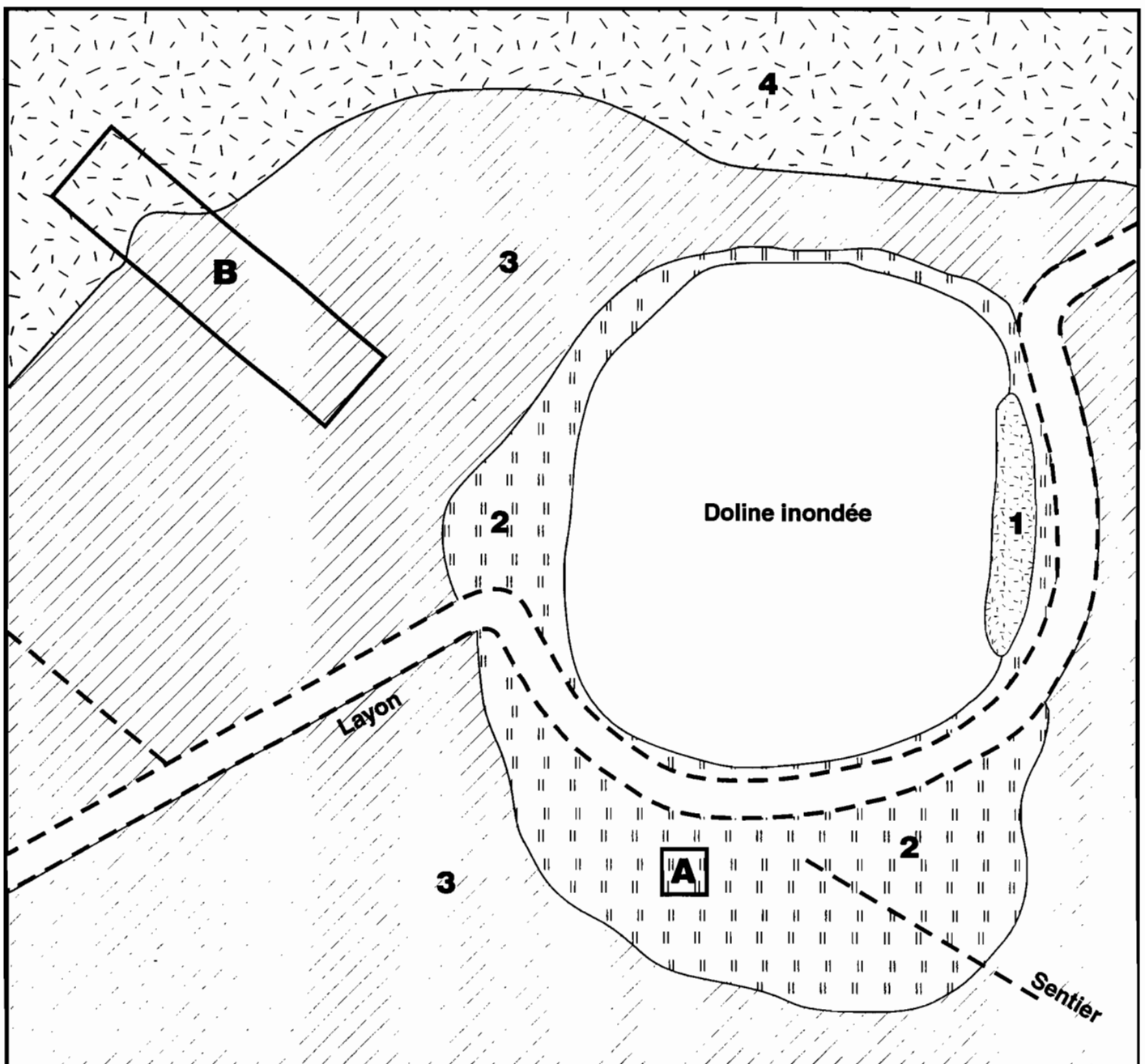
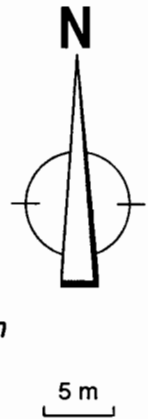


Fig 1 - Répartition des différents faciès de végétation

La végétation préforestière apparentée à l'association à *Tarennia hexamera* et *Gardenia aubryi*

Il s'agit d'un groupement végétal largement représenté dans tout le Grand Sud, comprenant différents stades d'évolution, qui ont été analysés par McCoy (1998). Le stade le plus évolué de ce groupement végétal, qui comprend un fort pourcentage d'espèces typiquement forestières (Palmiers, Araliacées du genre *Shefflera*, Protéacées du genre *Beaupreopsis*, Myrtacées des genres *Arillastrum* et *Metrosideros*) est peu représenté dans la zone étudiée, qui reste largement dominée par *Gymnostoma deplancheanum* et *Codia montana*. Toutefois les espèces les plus typiquement héliophiles (*Dacrydium araucarioides*, *Myrtopsis selligii*, *Tristaniopsis guillainii*, *Scaevola beckii*, *Halfordia kendack*) sont peu abondantes ou absentes.

Les individus les plus grands atteignent 10 à 13m de hauteur et constituent une voûte discontinue (environ 20 à 25% de recouvrement). Le sous bois est dense sans stratification nette, la plupart des arbustes ramifiés à moins d'1m50 du sol, ont des hauteurs comprises entre 2 et 6m. Le recouvrement de cette strate composite est d'environ 80%.

La strate herbacée est réduite, constituée de quelques touffes de *Gahnia novo caledonensis* (Cypéracées) de quelques orchidées (*Dendrobium odontochilum*, *Malaxis taurina*...) et de plantules des espèces arbustives ou arborescentes. Son recouvrement n'excède pas 5 à 10% et laisse apparaître le sol nu cuirassé, lorsque la matière organique ne le recouvre pas complètement.

Dans une étude récente, par un large inventaire, cependant non exhaustif, portant sur les secteurs du Creek Pernod, de Port Boisé, de Prony et du plateau de Goro, McCoy (1998) a recensé 269 espèces dans ce type de végétation. Cette valeur traduit une richesse floristique bien inférieure à celle des forêts denses humides sur pente : 307 phanérogames recensées pour 2,79 hectares pour une forêt sur pente dans le Parc de la Rivière Bleue (Jaffré et Veillon 1989).

L'inventaire floristique de la formation préforestière aux alentours de la doline a permis de recenser un total de 101 espèces dont la liste est donnée dans le tableau 1.

Aucune des espèces répertoriées ne figure dans la liste des espèces menacées de Nouvelle-Calédonie, selon les critères de l'IUCN (Jaffré et al. 1998). Il est à noter à cet égard que les espèces les plus rares de l'extrême sud de la Nouvelle-Calédonie se trouvent, hormis les espèces du genre *Araucaria* et quelques espèces anciennement récoltées et non retrouvées, dans les forêts de pentes et de talwegs ainsi que dans les formations rivulaires.

Aucune des espèces rares ou originales, dont la présence a été signalée dans la forêt des Monts Nengoné, n'a été retrouvée dans la zone étudiée.

Les espèces les plus caractéristiques de cette association végétale sont des espèces ligneuses. Outre *Gymnostoma deplancheanum* qui se retrouve également dans une association végétale affine, au dessus de 800 m, associée alors à des espèces altimontaines, il convient de citer *Tarennia hexamera*, *Gardenia aubryi*, *Guioa glauca*, *Pancheria vieillardii*, *Austrobuxus carunculatus*, *Eugenia stricta*, *Styphelia veillonii*, *Stenocarpus comptonii*, *Codia montana*, *Hibbertia pancheri*, *Pagiantha cerifera*, *Alyxia sp*, *Dacrydium araucarioides*, *Rapanea pronyensis*...)

Tableau 1 : Liste des espèces recensées dans la préforêt

<i>Acsmithia pedunculata</i> - Cunoniaceae	<i>Melodinus balansae</i> - Apocynaceae
<i>Agatea deplanchei</i> - Violaceae	<i>Metrosideros nitida</i> - Myrtaceae
<i>Alphitonia neocaledonica</i> - Rhamnaceae	<i>Montrouziera sphaeroidea</i> - Guttiferae
<i>Alstonia coriacea</i> - Apocynaceae	<i>Morinda candollei</i> - Rubiaceae
<i>Alyxia affinis</i> - Apocynaceae	<i>Nepenthes vieillardii</i> - Nepenthaceae
<i>Alyxia hurlimanii</i> - Apocynaceae	<i>Oxera neriifolia</i> - Verbenaceae
<i>Amyema scandens</i> - Lorantaceae	<i>Pagiantha cerifera</i> - Apocynaceae
<i>Arillastrum gummiferum</i> - Myrtaceae	<i>Pancheria sebertii</i> - Cunoniaceae
<i>Austrobuxus carunculatus</i> - Euphorbiaceae	<i>Pancheria vieillardii</i> - Cunoniaceae
<i>Austromyrtus sp</i> - Myrtaceae	<i>Parsonsia flexuosa</i> - Apocynaceae
<i>Babingtonia leratii</i> - Myrtaceae	<i>Pittosporum deplanchei</i> - Pittosporaceae
<i>Beccariella azou</i> - Sapotaceae	<i>Pittosporum gracile</i> - Pittosporaceae
<i>Beccariella baueri</i> - Sapotaceae	<i>Pittosporum haematomallum</i> - Pittosporaceae
<i>Beccariella lasiantha</i> - Sapotaceae	<i>Polyscias pancheri</i> - Araliaceae
<i>Beccariella sebertii</i> - Sapotaceae	<i>Delarbrea sp</i> - Araliaceae
<i>Casearia silvana</i> - Flacourtiaceae	<i>Psychotria goniocarpa</i> - Rubiaceae
<i>Codia discolor</i> - Cunoniaceae	<i>Psychotria oleoides</i> - Rubiaceae
<i>Codia montana</i> - Cunoniaceae	<i>Psychotria rupicola</i> - Rubiaceae
<i>Costularia comosa</i> - Cunoniaceae	<i>Psychotria semperflorens</i> - Rubiaceae
<i>Cunonia macrophylla</i> - Cunoniaceae	<i>Pteridium esculentum</i> - Dennstaedtiaceae
<i>Dendrobium fractiflexum</i> - Orchidaceae	<i>Pycnantra decandra</i> - Sapotaceae
<i>Dendrobium odontochilum</i> - Orchidaceae	<i>Rapanea asymetrica</i> - Myrsinaceae
<i>Deplanchea speciosa</i> - Bignoniaceae	<i>Rapanea pronyensis</i> - Myrsinaceae
<i>Dianella adenanthera</i> - Liliaceae	<i>Rapanea rouxii</i> - Myrsinaceae
<i>Dysoxylum minutiflorum</i> - Meliaceae	<i>Santaloides balanseanum</i> - Connaraceae
<i>Dubouzetia confusa</i> - Elaeocarpaceae	<i>Scaevola beckii</i> - Goodeniaceae
<i>Eugenia stricta</i> - Myrtaceae	<i>Schizaea laevigata</i> - Schizeaceae
<i>Eriocaulon pancheri</i> - Eriocaulaceae	<i>Smilax neocaledonica</i> - Smilacaceae
<i>Exocarpos neocaledonicus</i> - Santalaceae	<i>Smilax sp</i> - Smilacaceae
<i>Flagellaria neocaledonica</i> - Flagellariaceae	<i>Sp1</i> - Myrtaceae
<i>Gahnia novocaledonensis</i> - Cyperaceae	<i>Sp2</i> - Myrtaceae
<i>Garcinia balansae</i> - Guttiferae	<i>Sp3</i> - Myrtaceae
<i>Garcinia neglecta</i> - Guttiferae	<i>Sp4</i> - Myrtaceae
<i>Gardenia aubryi</i> - Rubiaceae	<i>Sp5</i> - Myrtaceae
<i>Geniostoma densiflorum var oleifolium</i> - Loganiaceae	<i>Sp6</i> - Myrtaceae
<i>Grevillea gillivrayi</i> - Proteaceae	<i>Sp7</i> - Myrtaceae
<i>Guioa glauca var glauca</i> - Sapindaceae	<i>Stenocarpus comptonii</i> - Proteaceae
<i>Guioa glauca var vulgaris</i> - Sapindaceae	<i>Stenocarpus trinervis</i> - Proteaceae
<i>Guioa villosa</i> - Sapindaceae	<i>Stenocarpus umbelliferus</i> - Proteaceae
<i>Gymnostoma deplancheanum</i> - Casuarinaceae	<i>Storthocalyx pancheri</i> - Sapindaceae
<i>Halfordia kendac</i> - Rutaceae	<i>Styphelia pancheri</i> - Epacridaceae
<i>Hibbertia lucens</i> - Dilleniaceae	<i>Styphelia veillonii</i> - Epacridaceae
<i>Hibbertia pancheri</i> - Dilleniaceae	<i>Syzygium austrocaledonicum</i> - Myrtaceae
<i>Ixora francii</i> - Rubiaceae	<i>Tarenna hexamera</i> - Rubiaceae
<i>Lethedon leratii</i> - Thymeliaceae	<i>Tarenna rhyphalostigma</i> - Rubiaceae
<i>Lethedon sp</i> - Thymeliaceae	<i>Tristaniopsis guillainii</i> - Myrtaceae
<i>Litsea triflora</i> - Lauraceae	<i>Uromyrtus emarginata</i> - Myrtaceae
<i>Lomandra insularis</i> - Xanthorrhoeaceae	<i>Wikstroemia indica</i> - Thymeliaceae
<i>Longetia buxoides</i> - Euphorbiaceae	<i>Xylopiia pancheri</i> - Annonaceae
<i>Maytenus fournieri</i> - Célastraceae	<i>Xylopiia sp</i> - Annonaceae



Sous bois de la préforêt



Faciès à *Codia montana*



Formation à *Babingtonia leratii*

Conditions édaphiques

Les caractéristiques des sols ont une forte incidence sur la végétation de la zone, et peuvent suivant les cas, minimiser, annihiler ou accentuer les effets des apports hydriques supplémentaires tout comme ceux des apports minéraux contenus dans les effluents industriels.

L'association végétale à laquelle appartient la préforêt aux alentours de la doline se développe en position de plateau, sur des sols ferrallitiques ferritiques remaniés désaturés très profonds, à horizon supérieur induré, formé de blocs de cuirasse ferrugineux, provenant du démantèlement d'une cuirasse ancienne.

Les caractéristiques physico chimiques de ce type de sol ont été décrites par Latham et al. (1978) et sont ici reprises dans le tableau 2.

L'horizon supérieur atteint couramment plus de 50 cm d'épaisseur. Du point de vue granulométrique, il est constitué de sables grossiers pouvant représenter plus des $\frac{3}{4}$ du sol. En contre partie les argiles et les limons fins sont peu abondants. Ces caractéristiques physiques confèrent à cet horizon une forte porosité et un faible pouvoir de rétention de l'eau. Ceci est confirmé par des valeurs peu élevées des pF (inférieures à 5) et une différence infime entre les valeurs de pF 3 et de pF 4,5 (tableau 2).

L'horizon B, qui apparaît aux environs de 50 cm de profondeur, a une structure argilo-limoneuse, qui s'accroît dans l'horizon C. Ces deux horizons sont très contrastés par rapport à l'horizon supérieur, ils ont une structure plus massive, microporeuse, à faible densité. L'horizon C, dérive directement de la roche sous-jacente, sans modification structurale importante. Ces deux horizons emmagasinent une forte quantité d'eau (70 à 100% du poids sec). Globalement ces sols ont donc une réserve hydrique assez élevée, en dépit d'un horizon supérieur très poreux.

Ces sols ont un pH acide, légèrement supérieur à 5 dans l'exemple donné par Latham et al. 1978. Ils ont cependant, très couramment, dans les horizons racinaires, des pH inférieurs à 5 (cf Jaffré 1980). Il ont une capacité d'échange très faible (inférieure à 1 mé/100g en profondeur) qui varie toutefois, de 2 à environ 12 mé/100g, dans les horizons supérieurs, en fonction des quantités de matière organique présentes.

Il convient de signaler que la majorité des espèces de ce type de formation végétale, développent l'essentiel de leur chevelu racinaire, dans les horizons supérieurs du sol, où elles trouvent l'essentiel des éléments minéraux nutritifs nécessaires à leur développement.

Les bases échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) sont en quantités très faibles, même dans les horizons organiques où elles demeurent toutefois sensiblement plus élevées. On observe en profondeur, une prédominance du Mg par rapport au Ca. Les quantités totales de calcium, potassium, azote et phosphore sont également faibles, ce qui témoigne d'un niveau de fertilité chimique très bas. On note cependant une concentration des éléments fertilisants dans l'horizon A1, où leurs teneurs restent cependant très faibles.

Tableau 2 : Caractéristiques physico chimiques des sols ferrallitiques ferritiques remaniés

Profondeur en cm	0-10	30-40	50-60	90-100	250-260
Texture %					
Argile	2,2	6,6	31,3	36,7	32,9
Limon fin	2	5,2	28,7	41,9	40,5
Limon grossier	1,2	5,2	8,8	7,2	12,5
Sable fin	3,2	10,5	15,7	7,7	7,1
Sable grossier	91,1	73,2	12,9	6,5	5
Eau du sol %					
pF 3	5,2	7,1	31,4	51,8	64,5
pF 4,2	4,1	4,8	25,2	38,4	43,1
Matière organique ‰					
C	10,4	3,78	5,82	4,55	7,54
N	0,49	0,2	0,08	0,07	0,08
C/N	21,2	18,9			
pH	5,7	5,6	5	5,2	5,1
Eléments échangeables m^e/100g					
Ca ⁺⁺	0,16	0,02	0,01	0,01	0,01
Mg ⁺⁺	0,16	0,02	0,01	0,41	0,32
K ⁺	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Na ⁺	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Capacité d'échange m^e/100g	6,94	3,09	0,33	0,01	0,01
Taux de saturation	5,3	2,5	12,5		
Eléments totaux %					
PAF	10,1	10,4	12,5	13,4	14,3
SiO ₂	0,58	0,47	1,18	1,67	1,73
Al ₂ O ₃	3,94	4,83	4,43	3	2,58
Fe ₂ O ₃	76,7	73,3	75,1	76,7	76,5
TiO ₂	0,23	0,2	0,16	0,06	0,06
MnO ₂	0,19	0,23	0,45	0,44	0,57
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,35	0,02	0,38	0,38	1,53
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,04	0,03	0,06	0,08	0,07
NiO	0,12	0,08	0,55	1,23	1,16
Cr ₂ O ₃	6,77	8,31	5,35	3,61	3,17
CoO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
P ₂ O ₅	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01

L'analyse des éléments totaux indique une constitution essentiellement ferrugineuse (plus de 75% d'oxyde de fer). L'aluminium (3 à 4%) et le chrome (3 à 8%) se concentrent dans la partie supérieure du profil. Les concentrations en nickel, relativement faibles en surface pour des sols issus de roches ultramafiques, s'élèvent progressivement en profondeur pour dépasser 1% dès la partie inférieure de l'horizon B.

La formation à *Babingtonia leratii* dominant.

Elle est développée à proximité de la doline dans une zone inondable, correspondant à une auréole d'hydromorphie temporaire. On la retrouve aussi dans de petites dépressions de quelques 2 à 3m de diamètre au sein de la zone boisée, qui correspondent à de petites zones également inondables en période de fortes pluies.

Il s'agit d'un maquis ouvert de moins de 2m de haut. La flore très appauvrie par rapport à celle de la zone boisée, compte un total de 21 espèces dont la liste est donnée dans le tableau 3.

Tableau 3 : Liste des espèces recensées dans la végétation à *Babingtonia leratii*

Abondant et/ou à fort recouvrement	accompagnatrices
<i>Agatea deplanchei</i> (Violaceae)	<i>Casearia silvana</i> (Flacourtiaceae)
<i>Alphitonia neocaledonica</i> (Rhamnaceae)	<i>Costularia comosa</i> (Cyperaceae)
<i>Babingtonia leratii</i> (Myrtaceae)*	<i>Codia discolor</i> (Cunoniaceae)
<i>Lepidosperma perteres</i> (Cyperaceae)*	<i>Codia montana</i> (Cunoniaceae)
<i>Melodinus sp</i> (Apocynaceae)	<i>Eriocaulon pancheri</i> (Eriocaulaceae)*
<i>Montrouziera sphaeroidea</i> (Guttifereae)	<i>Flagellaria neocaledonica</i> (Flagellariaceae)
<i>Scaevola beckii</i> (Goodeniaceae)	<i>Garcinia neglecta</i> (Guttifereae)
	<i>Gardenia urvillei</i> (Rubiaceae)
	<i>Grevillea gillivrayi</i> (Proteaceae)
	<i>Gymnostoma deplancheanum</i> (Casuarinaceae)
	<i>Hibbertia lucens</i> (Dilleniaceae)
	<i>Melaleuca quinquenervia</i> (Myrtaceae)*
	<i>Pagianta cerifera</i> (Apocynaceae)
	<i>Rhynchospora corymbosa</i> (Cyperaceae)*
	<i>Schoenus neocaledonicus</i> (Cyperaceae)
	<i>Syzygium mouanum</i> (Myrtaceae)*
	<i>Wikstroemia indica</i> (Thymeleaceae)

* espèces représentées sur le pourtour immédiat de la doline.

L'espèce dominante, *Babingtonia leratii* (fausse bruyère), qui s'accommode de submersions temporaires, se retrouve sur tout le pourtour immédiat de la doline et ce jusqu'au niveau des hautes eaux. Sur les zones les plus élevées du pourtour de la doline, *Babingtonia leratii* cède la place à une espèce moins résistante à l'hydromorphie : *Alphitonia neocaledonica*. De plus, on note sur la rive Est peu abrupte de la doline, sur une bande d'environ 15m sur 3m correspondant à un dépôt limoneux, une formation à Niaoulis (*Melaleuca quinquenervia*) monospécifique où l'on ne retrouve que deux autres espèces: *Eriocaulon pancheri* et *Rhynchospora corymbosa*, espèce aquatique.



Premier plan: Doline bordée de *Babingtonia leratii*
Second plan: Préforêt dominée par *Gymnostoma deplancheanum*
surcimée par un chêne gomme mort



Zone inondable à *Melaleuca quinquenervia* (niaouli)

Du point de vue floristique on ne note ici aucune espèce rare ou menacée, en outre les espèces rivulaires et aquatiques originales comme *Retrophyllum minor*, *Dracophyllum gracile*, *Cloezia aquarum*, *Myodocarpus elegans*, *Tricostularia guillauminii* sont absentes. Ceci tient probablement au fait que la doline possède des bords abruptes sans véritables berges alluviales constamment humides. Sur les rebords rocheux et jusque dans l'eau se développent quelques touffes d' *Eriocaulon pancheri*.

En raison de la dominance de *Babingtonia leratii*, nous appellerons ce groupement végétal, qui peut être aussi assimilé à un faciès appauvri, du nom de cette espèce. Toutefois comme celle ci est également abondante dans d'autres conditions de milieu qui n'ont pas été à ce jour clairement analysées, cette espèce ne peut être considérée comme caractéristique, au sens phytosociologique du terme, de l'association végétale où elle se trouve.

Conditions édaphiques.

Ce groupement végétal se développe sur un sol ferrallitique ferritique induré, recouvert dans les zones les plus basses de limons récents. La composition chimique du sol, hormis celle des limons constamment remaniés, est selon toute vraisemblance très proche de celles des sols sous couvert préforestier. Ils sont certainement encore moins bien fournis en éléments majeurs (N, P, K, Ca) que les précédents en raison de l'absence de matière organique qui, moins abondante que sous couvert préforestier, se trouve de surcroît entraînée par les eaux lors des phases d'inondation. La submersion temporaire semble être ici le principal facteur limitant pour la végétation. Il n'est pas non plus impossible, mais ceci reste à démontrer dans ce cas, que l'hydromorphie temporaire puisse entraîner des phénomènes de réduction de certains métaux, comme le manganèse, qui pourrait alors se révéler toxique pour certaines espèces sensibles à cet élément.

Essai d'évaluation des risques de transformation de la végétation actuelle du fait du déversement d'effluents d'origine industrielle dans la doline.

Les données concernant la nature et les concentrations en différents éléments minéraux attendus dans la doline à la suite du rejet des effluents industriels sont rassemblées dans les tableau A et tableau B, fournis par les services de la Société Industrielle.

Risque d'engorgement du sol (hydromorphie)

Il est vraisemblable que les apports d'effluents liquides vont entraîner une élévation du niveau de l'eau dans la doline, rendant ainsi plus fréquents les débordements et l'inondation de la végétation à proximité et dans les points bas à l'intérieur de la forêt.

La conséquence pourrait être une régression, par taches (mitage), de la formation préforestière au profit de la formation appauvrie à *Babingtonia leratii* (fausse bruyère). Il y aurait alors globalement un effet négatif sur la biomasse végétale et sur la richesse floristique stationnelle, mais qui serait sans effet notable sur la diversité floristique de l'ensemble de la zone.

Si les apports d'effluents liquides étaient suffisamment réguliers et importants pour maintenir à un niveau constamment élevé le niveau de l'eau de la doline, qui serait en permanence en état de débordement, on pourrait assister à une régression plus importante de la

Tableau A

Concentrations attendues dans la doline (pluviométrie annuelle moyenne, évapotranspiration de 0%)¹

Parametre	Concentration a la sortie de la neutralisation finale (mg/l) ²	Concentration a la sortie des cellules a residus (mg/l)	Concentration naturelle dans la doline (mg/l) ³	Concentration attendue dans la doline (mg/l)	Criteres de qualite des eaux douces (mg/l) ⁵		Concentration naturelle en eau de mer (mg/l) ⁴	
					France	Ontario	Moyenne	Min-Max
Al	2.9	1.95	0.01	0.23	NE	0.075	0.10	0.027-0.25
Ca	730	612	0.4	70	NE	NE	391	295-419
Co	0.04	0.027		0.003	NE	NE	<0.001	<0.001
Cr	0.06	0.040	0.001	0.005	NE	0.1	0.014	0.0024-0.028
Cu	0.07	0.047		0.005	0.011	0.005	0.001	<0.001-0.002
Fe	0.1	0.07	0.14	0.132	NE	0.3	0.070	0.282-1.41
Mg	0.6	0.40	1.1	1.0	NE	NE	1261.0	1182-1323
Mn	0.1	0.07	0.013	0.019	NE	NE	0.124	0.038-0.24
Ni	0.06	0.040	0.028	0.029	NE	0.025	0.021	0.0012-0.044
Si	1	0.67	0.9	0.9	NE	NE	-	-
Zn	0.1	0.07		0.01	0.094	0.02	0.10	0.09-0.11
SO ₄	1500	1297	1.8	148	NE	NE	2925	2100-3433
Hydrocarbures ⁶	10	6.7		0.76	NE	NE	-	-
pH	9.5	<9.5	5.6	6	6.0-9.0	6.5-8.5	-	-
Temperature, °C	50	Ambiante	Ambiante	Ambiante	NE	NE	-	-

1 Basees sur la pluviometrie moyenne enregistree entre mai 1992 et decembre 1998 (2.05 m/an)

2 Basee sur les tests de neutralisation, sauf pour les hydrocarbures

3 Mesuree le

4 Mesuree a Baie Kwe, Wharf Prony et Port Boise durant 2 campagnes d'echantillonnage a 6 stations

5 Arrete francais 91-1283 et Ontario provincial water quality objectives

6 Pour les hydrocarbures totaux, la limite reglementaire est utilisee (Arrete du 1 mars 1993)

7 0.000: concentration qui excede le critere francais ou ontarien

8 NE: non existant

Tableau B

Concentrations attendues dans la doline (pluviométrie annuelle moyenne, évapotranspiration de 25%)¹

Parametre	Concentration a la sortie de la neutralisation finale (mg/l) ²	Concentration a la sortie des cellules a residus (mg/l)	Concentration naturelle dans la doline (mg/l) ³	Concentration attendue dans la doline (mg/l)	Critere de qualite des eaux douces (mg/l) ⁵		Concentration naturelle en eau de mer (mg/l) ⁴	
					France	Ontario	Moyenne	Min-Max
Al	2.9	2.13	0.01	0.32	NE	0.075	0.10	0.027-0.25
Ca	730	634	0.4	92	NE	NE	391	295-419
Co	0.04	0.029		0.004	NE	NE	<0.001	<0.001
Cr	0.06	0.044	0.001	0.007	NE	0.1	0.014	0.0024-0.028
Cu	0.07	0.051		0.007	0.011	0.005	0.001	<0.001-0.002
Fe	0.1	0.07	0.14	0.130	NE	0.3	0.070	0.282-1.41
Mg	0.6	0.44	1.1	1.0	NE	NE	1261.0	1182-1323
Mn	0.1	0.07	0.013	0.022	NE	NE	0.124	0.038-0.24
Ni	0.06	0.044	0.028	0.030	NE	0.025	0.021	0.0012-0.044
Si	1	0.73	0.9	0.9	NE	NE	-	-
Zn	0.1	0.07		0.01	0.094	0.02	0.10	0.09-0.11
SO ₄	1500	1334	1.8	195	NE	NE	2925	2100-3433
Hydrocarbures ⁶	10	7.3		0.83	NE	NE	-	-
pH	9.5	<9.5	5.6	(6)	6.0-9.0	6.5-8.5	-	-
Temperature, °C	50	Ambiante	Ambiante	Ambiante	NE	NE	-	-

1 Basees sur la pluviometrie moyenne enregistree entre mai 1992 et decembre 1998 (2.05 m/an)

2 Basee sur les tests de neutralisation, sauf pour les hydrocarbures

3 Mesuree le

4 Mesuree a Baie Kwe, Wharf Prony et Port Boise durant 2 campagnes d'echantillonnage a 6 stations

5 Arrete francais 91-1283 et Ontario provincial water quality objectives

6 Pour les hydrocarbures totaux, la limite reglementaire est utilisee (Arrete du 1 mars 1993)

7 0.000: concentration qui excede le critere francais ou ontarien

8 NE: non existant

formation préforestière. Ceci dépend toutefois de la profondeur de la nappe phréatique, et de l'épaisseur des horizons grossiers du sol, très poreux et filtrants. Il n'est pas impossible que le surplus d'apports liquides dans la doline, s'il ne se réalise pas de manière brutale et massive, comme lors des très fortes pluies, puisse s'infiltrer et s'écouler latéralement, bien en dessous du niveau des systèmes racinaires des espèces de la préforêt.

L'importance des effets de l'engorgement du sol (phénomène d'hydromorphie) seront largement fonction de l'évolution de la nappe et des écoulements en profondeur qui devront être suivis.

Risques de nature chimique

Les enrichissements en éléments minéraux concernent deux éléments majeurs, ou macroéléments, indispensables à la vie végétale : le calcium et le soufre, et deux métaux, le cuivre et l'aluminium, qui en matière de nutrition minérale, sont qualifiés d'oligoéléments, car les végétaux n'en n'utilisent que des quantités infinitésimales.

Les éléments majeurs (calcium et soufre)

Les valeurs indiquées (tableau A, et B) montrent que les apports d'effluents vont augmenter considérablement les teneurs de ces deux éléments dans l'eau de la doline. Il convient de remarquer toutefois que l'eau initiale, comme c'est très généralement le cas pour les eaux des massifs de roches ultramafiques, est particulièrement peu chargée en élément minéraux.

En dépit de ce fort accroissement, ces éléments ne représentent pas un risque de toxicité immédiat pour la végétation. Les teneurs en Ca et SO₄ demeurent très inférieures aux teneurs optimales de différentes solutions nutritives utilisées en culture hydroponique (tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison des concentrations de Ca⁺⁺ et SO₄⁻⁻ dans l'eau de la doline, avant et après apport d'effluents industriel (sources INCO), avec les concentrations contenues dans des solutions nutritives utilisées pour la culture hydroponique des végétaux (sources Heller 1969)

Ions mg/l	Doline		Solutions nutritives				
	Eau initiale	Eau +effluents	Knop	Hoagland	White	Heller	Socks
Ca ⁺⁺	0,4	70-92	168	200	48	20	408
SO ₄ ⁻⁻	1,8	148-195	96	96	422	50	470

Ces deux éléments, apportés au sol par débordement de l'eau de la doline, pourraient avoir un effet bénéfique sur le développement des plantes, sans toutefois, compte tenu par ailleurs des teneurs excessivement faibles en phosphore et en potassium, perturber l'équilibre des espèces à court et moyen terme.

A long terme il peut être envisagé une accumulation progressive de composés soufrés dans la matière organique de la préforêt, qui pourrait se traduire par des changements de

composition floristique. Ceux-ci sont toutefois à l'heure actuelle, en raison de la complexité des phénomènes d'interaction et de mobilité des éléments minéraux dans les écosystèmes, totalement imprévisibles et demeurent hypothétiques.

Les métaux (Cu et Al)

Les teneurs en ces deux éléments se retrouveront dans l'eau de la doline à des concentrations très supérieures aux concentrations infinitésimales apportées aux plantes dans des solutions nutritives.

Les teneurs en Cu qui demeurent à des concentrations inférieures ou égales aux teneurs tolérées (selon des critères de qualité) dans les eaux douces (tableau A) ne devraient pas être source de perturbation pour la couverture végétale. En outre, en raison du pH de l'eau supérieur à 5, ce qui limite l'assimilabilité de cet élément, elles ne présentent pas un risque de toxicité.

Si à long terme le cuivre s'accumulait dans la matière organique, ce qui est peu probable compte tenu des concentrations mises en jeu, son action serait contrecarrée par l'effet antagoniste des autres métaux (Ni, Mn, Fe) naturellement présents sur roches ultramafiques à des concentrations élevées. A titre indicatif on peut signaler que les concentrations moyennes du cuivre dans les sols non contaminés varient de 2 à 250 mg/kg de sol sec (ADEME-INRA 1995), alors qu'elles atteignent des valeurs supérieures à 2000 mg/kg dans l'horizon supérieur de sol de cultures traitées par des fongicides à base de cuivre (Lepp and Dickinson 1994).

L'aluminium est un élément largement représenté dans de nombreux sols. Avec une valeur moyenne de 8,13%, il est le 3^{ème} élément constitutif de la lithosphère après l'oxygène et le silicium. Dans les sols ferrallitiques ferritiques, comme ceux de la zone considérée, les concentrations en Al se situent entre 1,5 et 2,5% (soit environ entre 2 et 5% d'AlPO₃). Elles sont 3 à 5 fois supérieures dans les sols ferrallitiques de la cote Est de la Nouvelle-Calédonie.

Les teneurs en aluminium total renseignent peu sur les risques de troubles qu'elles peuvent provoquer sur la nutrition minérale des plantes. Il est en effet connu que les modifications de spéciation et de mobilité de l'aluminium sont étroitement gouvernées par le pH du sol. Ainsi Al³ échangeable (assimilable par les plantes) n'est décelable que dans les sols de pH inférieur à 5,5. Pour les pH compris entre 5,5 et 8 il est sans effets sur les plantes. Au delà de pH 8 il est de nouveau solubilisable mais sous forme d'ions aluminates.

Selon un rapport de l'ADEME (1995). L'absorption de l'aluminium est fonction, en premier lieu, de l'importance de sa fraction mobile ou échangeable existant dans le sol. Dans le cas du maïs, par exemple, on considère qu'il y a un risque de prélèvement exagéré d'Al³ et donc de phytotoxicité, dès que la teneur en aluminium échangeable (extrait par KCl N) excède 50 mg par kg⁻¹. Ceci dans le cas des sols à teneur moyenne en matière organique (1,5 à 3%). Ce seuil est toutefois plus élevé, de l'ordre de 100mg/kg⁻¹ de terre, pour les sols riches en matière organique, du fait que les complexes Al/matière organique sont peu utilisables par les végétaux.

Au regard de ces données, il est peu vraisemblable que les concentrations en aluminium de l'eau de la doline, comprises entre 0,23 et 0,32 mg/l, même si celle-ci remplaçait totalement la solution du sol lors des débordements, puissent entraîner des risques de toxicité.

En outre comme l'une des caractéristiques des ions Al^3 , de leurs formes hydroxylées et de leurs hydroxydes amorphes, est de s'associer aux anions phosphates et à la matière organique, pour donner naissance à des composés peu ou pas solubles, une éventuelle accumulation à long terme de l'aluminium dans le sol se ferait principalement sous forme insoluble. Il faudrait toutefois veiller à ce qu'une acidification importante du sol (apport de matière organique acide) ne contribue pas à libérer des quantités importantes d'aluminium assimilable par les plantes.

L'effet néfaste indirecte de l'apport d'aluminium sera d'accentuer les mauvaises conditions de nutrition en phosphore des plantes puisque cet élément est déjà largement immobilisés sous forme de complexes inassimilables, en raison de fortes concentrations d'oxydes et d'hydroxydes de fer dans tous les sols ferrallitiques ferritiques sur roches ultramafiques.

Dispositif de suivi de la végétation

Nous avons recherché un dispositif suffisamment simple et représentatif qui permette de suivre et d'analyser l'effet des effluents industriels sur la végétation et plus précisément sur certaines espèces. (le plan du dispositif est représenté sur la figure 1)

Dispositif à proximité de la doline

Une placette permanente de 25m² a été délimitée dans une zone facilement inondable lors du débordement de la doline. Elle est occupée par le groupement à *Babingtonia leratii* sous sa forme la plus typique, sur un sol recouvert de limons récents.

Tous les individus ont été identifiés et étiquetés. La hauteur de tous les plants d'espèces arbustives a été relevée et l'étendue horizontale des plus développés a été estimée. Le diamètre à la base des touffes de Cypéracées a été mesuré, et une estimation de l'importance des semis (principalement *Babingtonia leratii*), a été réalisée.

Dispositif dans la préforêt

Au nord ouest de la doline, une parcelle linéaire de 10m de large sur 40 m de long a été délimitée pour suivre les éventuelles modifications du couvert végétal au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la doline. Elle s'étend sur les différents faciès de l'association à *Tarenna hexamera.*, englobant un faciès arbustif dominé par *Codia montana*, une formation surcimé à 4-6m par *Gymnostoma deplancheanum*, une formation haute (dominée et surcimée à 10-12m par *Arillastrum gummiferum*).

Au sein de cette parcelle, toutes les espèces ont été repertoriées et leur abondance dominance a été évaluée. Afin de permettre leur suivi, les individus d'un diamètre supérieur à 5 cm à leur base ont été identifiés, mesurés, marqués et numérotés. Lorsqu'il y avait lieu, pour éviter toute interprétation erronée ultérieure, l'état sanitaire de certains plants a été noté.

Pour le suivi des individus d'un diamètre inférieur à 5 cm à la base, 10 placettes de 1m² ont été réparties et délimitées le long de la parcelle linéaire. Dans chaque placette tous les individus ont été identifiés, mesurés, et étiquetés.

Dispositif du suivi des variations chimiques du sol à l'aide d'une espèce indicatrice:
Codia montana.

La méthode s'apparente à celle du diagnostic foliaire. Elle repose sur l'hypothèse que les conditions de nutrition minérale offertes par un sol, intégrant toute la complexité des interactions chimiques et biologiques qui gèrent la biodisponibilité des éléments minéraux, ont une influence directe sur la composition minérale des végétaux. Ceci étant d'autant plus vrai, et c'est le cas sur roches ultramafiques, que les teneurs en éléments minéraux du sol sont loin de présenter des valeurs optimales pour la vie végétale.

Cette méthode a été utilisée pour caractériser les conditions de nutrition minérale de différents sols miniers en Nouvelle-Calédonie (Jaffré 1980, Rigault et al. 1996). Elle a permis d'établir des degrés de risque de toxicité ou de carence en certains éléments minéraux du sol, et a montré que les indications apportées par les analyses foliaires étaient d'autant plus faciles à interpréter et d'autant plus significatives que l'élément considéré est absorbé en quantité plus abondante.

Codia montana, espèce arbustive de la famille des Cunoniacées, qui a tendance à accumuler les métaux à des concentrations supérieures à celles de la majorité des espèces représentées sur le site étudié (tableau 5) a été retenue pour suivre indirectement l'évolution des teneurs en métaux assimilables du sol.

Tableau 5 : Comparaison des teneurs moyennes en éléments minéraux foliaires de *Codia Montana* et d'un ensemble de 278 dicotylédones des groupements végétaux sur substrats ultramafiques.

	N %	P %	K %	Na %	Ca %	Mg %	Mn ppm	Ni ppm	Fe ppm	Cr ppm	Co ppm	Al ppm	S %	SiO ₂ %
<i>Codia montana</i> (n=100)	0,78	0,025	0,38	0,135	0,65	0,34	647	229	68	11,6	53	98	0,15	2,526
Dicotylédones (n=278)	0,91	0,032	0,59	0,21	1,1	0,24	490	97,5						

Trente individus de *Codia montana*, répartis le long du transect des parcelles permanentes, du bord de la doline à 40 mètres à l'intérieur de la préforêt ont été marqués. Chaque individu a fait l'objet d'un prélèvement foliaire pour analyse. Les prélèvements ultérieurs, destinés à déceler des variations de composition chimique devront être effectués dans des conditions analogues, si possible au même stade phénologique de la plante. Les prélèvements de feuilles saines, sans traces de vieillissement, à la phase optimale de leur développement, ont été effectués sur les branches basses à raison de 20 feuilles par arbuste. Les analyses chimiques seront réalisées sur le matériel foliaire réduit en poudre, par le Laboratoire commun d'analyse du Centre IRD de Nouméa.

BIBLIOGRAPHIE

Heller R. 1969. Biologie Végétale, Tome II, Nutrition et Métabolisme. *Précis de Science Biologique*. Masson, Paris. 578 pp.

Jaffré T., 1980. Végétation des roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 124 : 273 p. + annexes.

Jaffré T., Veillon J.M., 1990. Etude floristique et structurale de deux forêts denses humides sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Bull. Mus. natl. Hist. nat., Paris, 4è Sér., 12, section B, Adansonia, (3-4) : 243-273

Jaffré T., Bouchet Ph., Veillon J.M., 1998, Threatened plants of New Caledonia : Is the system of protected areas adequate? *Biodiversity and Conservation*, 7 : 107-135.

Juste C., Chassin P., Gomez A., Linares M., Mocquot B. 1995. Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduelles des stations d'épurations urbaines. ADEME-INRA. 209 pp.

Latham M., Quantin P., Aubert G. 1978. Etude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Notice de la carte pédologique à 1/1000 000^e. ORSTOM, Paris. 137 pp;

Lepp N.W., Dickinson M. 1994. Fungicide-derived copper in tropical plantation crops,. In "Toxic metals in Soil-Plant systems". (ed. S. M. Ross).; Wiley, New York.

McCoy S. 1998; The dynamics of *Gymnostoma* maquis on ultramafic soils in New Caledonia; Thesis. Australian National University. Canberra, Australia.

Rigault F., Dagostini G., Jaffré T., 1997. Relation entre les teneurs en nickel, manganèse et cobalt de quelques espèces des maquis miniers et les risques de toxicité en ces éléments du sol. *Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères*.(éds T. Jaffré, R.D. Reeves , T. Becquer), pp.187-195. ORSTOM Noumea.

Viot R. 1956; La végétation canaque. *Mémoire du Muséum national d'Histoire Naturelle* , Paris, Sér. Botanique, 8, 253pp.